

DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA A LOS ACUÍFEROS SUBTERRÁNEOS EN LA SERRANÍA DEL AGUARAGÜE- ZONA OESTE DEL MUNICIPIO DE YACUIBA.

DETERMINATION OF WATER RECHARGE TO UNDERGROUND AQUIFERS IN THE SERRANIA DEL AGUARAGÜE- WEST AREA OF THE MUNICIPALITY OF YACUIBA.

Coa Garcia Romina Rocio - Ph. D. Artunduaga Eysin Neri

Licenciada en Ingeniería Sanitaria y Ambiental – Docente de la Facultad de Ciencias Integradas del Gran Chaco

Dirección de correspondencia: C/ Jacinto Del fin entre Ballivián y Avaroa.

Correo electrónico: rrcgtomasina@gmail.com

Celular: (+591) 77897507

RESUMEN

El presente artículo surge a raíz de la escasez hídrica que se produce en el Municipio, debido a diferentes problemáticas (sequía, cambio climático, crecimiento urbanístico, sobre explotación mediante pozos).

Es por ello que se busca contribuir al incremento del recurso hídrico subterráneo mediante la implementación de un sistema de infiltración.

Para la determinación de la recarga hídrica a los acuíferos subterráneos se siguió una metodología basada en el trabajo de campo; que incluyó estudios de suelos; y en el trabajo de gabinete: revisión bibliográfica y obtención de informaciones como: datos de precipitación, geología, elaboración - diseño de mapas (mapa topográfico, mapa de microcuencas y mapa de pendientes de la zona de estudio) y procesamiento de datos.

Obteniendo como primer resultado, la precipitación en la zona propuesta para la recarga, obtenidos de la base de datos del SENAMHI de la estación de Yacuiba a partir de 1958 a la actualidad.

Luego, se determinó que el área de estudio, constituida principalmente por gravas, arenas limosas, resulta beneficiosa para la infiltración debido a que estos materiales son permeables.

Posteriormente se procedió a dimensionar y diseñar las zanjas de infiltración en función a los datos de geología, permeabilidad, pendiente, precipitación y escorrentía.

Interpretando y reemplazando valores se obtuvo que el volumen de aporte a la zona impluvio es menor al volumen de captura en la zanja de infiltración más el volumen de infiltración de la zanja, dicho valor es indicador de que el diseño de la zanja va a llegar a cumplir el objetivo principal del proyecto.

Una vez culminado con el análisis numérico, se obtiene

que la instalación de un sistema de infiltración favorecerá y aportará a incrementar la infiltración en los acuíferos subterráneos de la zona, además de disminuir la escorrentía superficial que llega con gran intensidad a la ciudad de Yacuiba.

PALABRAS CLAVE

Aguas Subterráneas, acuíferos, infiltración, zanjas de infiltración.

ABSTRACT

This article arises as a result of the water shortage that occurs in the Municipality, due to different problems (drought, climate change, urban growth, over exploitation through wells).

That is why we seek to contribute to the increase of underground water resources through the implementation of an infiltration system.

For the determination of water recharge to underground aquifers, a methodology based on field work was followed; which included soil studies; and in the cabinet work: bibliographic review and obtaining information such as: precipitation data, geology, preparation - map design (topographic map, microbasin map and slope map of the study area) and data processing.

Obtaining as a first result, precipitation in the area proposed for recharge, obtained from the SENAMHI database of Yacuiba station from 1958 to the present.

Then it was determined that the study area, consisting mainly of gravels, silty sands, is beneficial for infiltration because these materials are permeable.

Subsequently, the infiltration ditches were sized and designed according to the geology, permeability, slope, precipitation and runoff data.

Interpreting and replacing values it was obtained that the volume of contribution to the impluvial zone is sma-

ller than the volume of capture in the infiltration trench plus the volume of infiltration of the trench, said value is an indication that the design of the trench will reach fulfill the main objective of the project.

Once completed with the numerical analysis, it is obtained that the installation of an infiltration system will favor and contribute to increase the infiltration in the underground aquifers of the area, in addition to reducing the surface runoff that arrives with great intensity to Yacuiba city.

KEY WORDS

Groundwater, aquifers, infiltration, infiltration ditches.

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para subsistir a nivel mundial, es considerable el aumento de la demanda de agua como consecuencia del rápido desarrollo poblacional, provocando su escasez en diferentes regiones, tal es el caso del Norte de África, donde el acceso a este recurso es limitado, prácticamente un privilegio.

Bolivia se ve afectada por la escasez de agua, varios departamentos en los últimos años han venido batallando con este gran inconveniente que repercute directamente en la calidad de vida de los pobladores, mediante la implementación de técnicas de conservación de agua y suelo.

El municipio de Yacuiba no es indiferente a este fenómeno ya que ha sufrido un incremento considerable en la escasez de agua en los últimos años. Este incremento se debe sobre todo al aumento de la demanda del recurso hídrico por parte de la población, por el aumento demográfico y el cambio climático que se está dando en la zona agudiza aún más este fenómeno.

La tendencia general dentro del municipio ha sido el aumento de reservas de agua superficial mediante presas, embalses, etc. Sin tomar en consideración que Yacuiba se abastece en su gran mayoría de los reservorios de aguas subterráneas, los cuales no están siendo recargados.

Es por ello que se hace crucial la intervención de mecanismos rápidos y eficaces para contrarrestar la problemática de escasez de agua, basándose en el principio de utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas de manera sostenible y racional.

Mediante el diseño e implementación de sistemas que permitan la captación de las aguas de precipitaciones y escorrentías para ser transportadas a través del suelo hasta las aguas subterráneas, se podrá obtener la reducción del riesgo de avenidas responsables de inun-

daciones y aumentando los volúmenes de agua en los acuíferos para abastecimiento de la generaciones futuras, así también se lograría frenar la disminución o escasez del líquido vital en el Municipio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad el municipio de Yacuiba se abastece solo del 20% de agua superficial, el 80% restante proviene de la explotación de aguas subterráneas mediante pozos profundos (Gerente Gral. de EMAPYC, 2015), generando la disminución de los recursos hídricos en especial de los acuíferos subterráneos que constituyen las aguas subterráneas, esto lo realizan de manera constante sin tener en cuenta la posterior restauración o recarga de los mismos.

Dicha explotación es más evidente debido al crecimiento urbanístico y rural, lo que lleva consigo la búsqueda de satisfacción de los diferentes servicios básicos (agua, energía eléctrica, entre otros); ocasionando la alteración de los diferentes ciclos naturales, como es el caso del ciclo hidrológico.

El cambio climático por el que atraviesa el municipio de Yacuiba también ha ocasionado alteraciones en el ciclo hidrológico por falta de precipitaciones o bien por excesiva escorrentía de la misma que impide la infiltración del agua a los cuerpos hídricos subterráneos.

La sequía en la zona de igual manera se ha convertido en un factor clave para la escasez de agua en el municipio, trayendo como consecuencia la disminución constante de los volúmenes de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas, además de afectar considerablemente el progreso económico de la población que emplea el líquido para realización de sus actividades (agricultura, ganadería, entre otros).

La explotación irracional y constante de los acuíferos subterráneos y la falta de interés sobre el cuidado o recarga de los mismo con el tiempo traerá considerables problemas de suministro de agua a la población, además de problemas ambientales más severos.

JUSTIFICACIÓN

Es evidente que el municipio de Yacuiba, hoy en día, atraviesa por una notable disminución de los volúmenes de cuerpos de agua tanto superficial como subterránea.

En el caso de los cuerpos de agua superficial estos con el pasar del tiempo han llegado a ser escasos debido al factor de la sequía que azota, no solo al municipio, sino a toda la región Autónoma del Gran Chaco.

El cambio climático es otro factor que ha afectado el ciclo hidrológico ya que los cursos de agua no llegan a

abastecer a varias comunidades del municipio, debido a los cambios bruscos de las temperaturas que ocasionan su evaporación o bien provoca inundaciones por la presencia de un volumen elevado de escorrentía en algunas zonas; mientras que en otros sectores no existe presencia de la misma.

El volumen de agua subterránea ha disminuido debido a la constante explotación por pozos de agua que son empleados para el suministro del líquido vital a la mayoría de la población.

La Serranía del Aguaraquí es la fábrica de agua que provee de este elemento a las principales poblaciones urbanas y rurales de la provincia del Gran Chaco.

Las cuencas en la Serranía se constituyen en las principales unidades territoriales donde el agua proveniente del ciclo hidrológico, es captada, almacenada, y disponible como oferta de agua ya sea por cursos superficiales o bien subterráneos.

El agua es un recurso limitado y su cantidad y calidad está bajo amenaza constante, debido a diferentes actividades que se realizan dentro y en zonas aledañas a la Serranía como la ganadería, agricultura, extracción ilícita de madera y principalmente las actividades hidrocarbúricas.

Por lo cual genera la necesidad de establecer mecanismos para la conservación de las fuentes de agua, promover alternativas de solución sostenibles que contribuyan al desarrollo en nuestra región, mediante el manejo de nuestros recursos de forma oportuna e integral.

Es por ello que se hace crucial actuar de manera inmediata para contrarrestar esta problemática, que afecta considerablemente a la población.

Con la implementación de un sistema de infiltración de recarga hídrica de acuíferos, este caso de las zanjas de infiltración en las cuencas ubicadas en el interior de la Serranía del Aguaraquí, podremos infiltrar aguas provenientes de precipitaciones o escorrentías a los acuíferos, aumentando así los volúmenes de reserva de agua subterránea que servirá para la utilización de las generaciones futuras, favoreciendo de tal manera a la conservación de las fuentes de agua; además que las zanjas de infiltración colaboran con la estabilización del suelo ya que proporcionan almacenamiento de humedad para el uso de las plantas y así también colabora a combatir la erosión de los suelos, lo cual será de gran beneficio para el medio ambiente y para la misma población y ocasionará la disminución de los volúmenes de agua que llegan a inundar las calles en épocas de lluvias torrenciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El área de estudio se ubica dentro del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Serranía del Aguaraquí que presenta una extensión aproximada de 108307,750 ha. de las que 45822,500has., corresponden a la categoría Parque Nacional y 62485,250 ha., corresponden a la categoría Área Natural de Manejo Integrado; dicha Serranía se localiza en los municipios de Yacuiba, Caraparí y Villa Montes en la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija.

Para esto se realizó la selección de una porción de área representativa de la Serranía del Aguaraquí, la cual cumpla con las características esenciales para el diseño (Vegetación, topografía, suelo, entre otros).

El área de estudio abarca un total de 43252,8 Hectáreas

Figura 1: Ubicación del Área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

Metodología

El presente trabajo es tipo empírico y cuantitativo.

Empírico porque se basa en la recolección de datos que incluyen toma de muestras y documentación, que posteriormente serán analizados para el diseño de las zanjas de infiltración.

Cuantitativo porque permitirá examinar algunos datos en forma numérica para realizar los cálculos necesarios para el diseño.

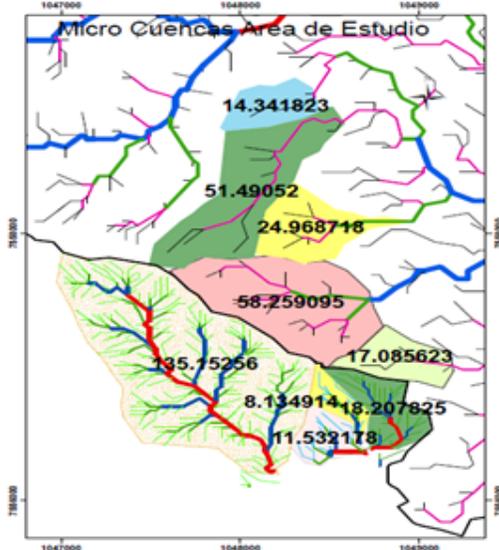
La metodología a seguir se desarrolla siguiendo los siguientes pasos:

- **Delimitación del Área de las microcuencas dentro el zona de estudio**

La delimitación de las áreas de las microcuencas existentes dentro de la zona donde se pretende realizar la

instalación de las zanjas de infiltración es de gran importancia, ya que mediante la determinación de las microcuencas se podrá calcular el volumen de agua que aportará para la recarga.

Figura 2: Mapa Microcuencas en el Área de estudio



Fuente: Elaboración Propia

La zona de estudio se encuentra influenciada por dos subcuencas; las cuales a su vez están compuestas por una serie de microcuencas.

Para la realización del análisis se ha tomado en cuenta las microcuencas más representativas del área de estudio, siendo estas nueve, de las cuales se realizarán los cálculos posteriores de las dos que tengan mayor influencia o magnitud.

Tabla 1: Áreas de las Microcuencas

Número de Microcuencas	Área de Microcuenca (Ha)
C ₁	195,15
C ₂	8,13
C ₃	11,53
C ₄	18,21
C ₅	17,09
C ₆	58,26
C ₇	24,97
C ₈	14,34
C ₉	51,49

Fuente: Elaboración propia.

- Realización de estudios geotécnicos o de suelos.

Para la obtención de datos sobre la estructura o perfil de suelo de la zona de estudio, se realizó la excavación de tres calicatas con diferentes profundidades y ubicaciones, con la finalidad de extraer muestras representativas para su posterior análisis en laboratorio.

Figura 3: Excavación de calicatas



Figura 4: Toma de datos y profundidades de las calicatas

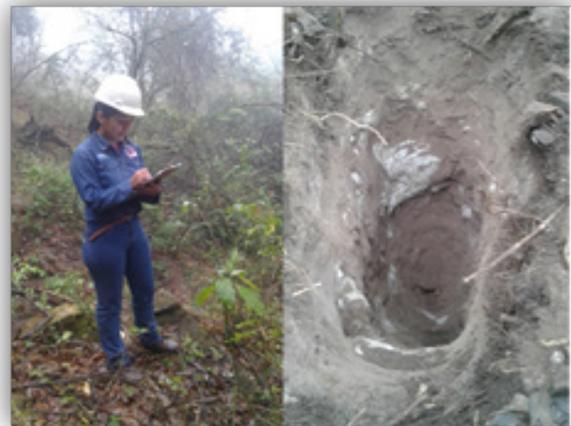


Tabla 2: Tipo de suelo del área de acuerdo a las calicatas

FOSA	PROFUNDIDAD	COORDENADAS	TIPO DE SUELO
1	0.10 a 2.0 m	Lat: 22°01'09.915 S Long: 63°41'26.5043 O	Orgánico, gravas y arenas.
2	0.20 a 2.50 m	Lat: 22°02'37.5 S Long: 63°41'17.0 O	
3	0.30 a 2.0 m	Lat: 21°59'34.565 S Long: 63°41'26.28 O	



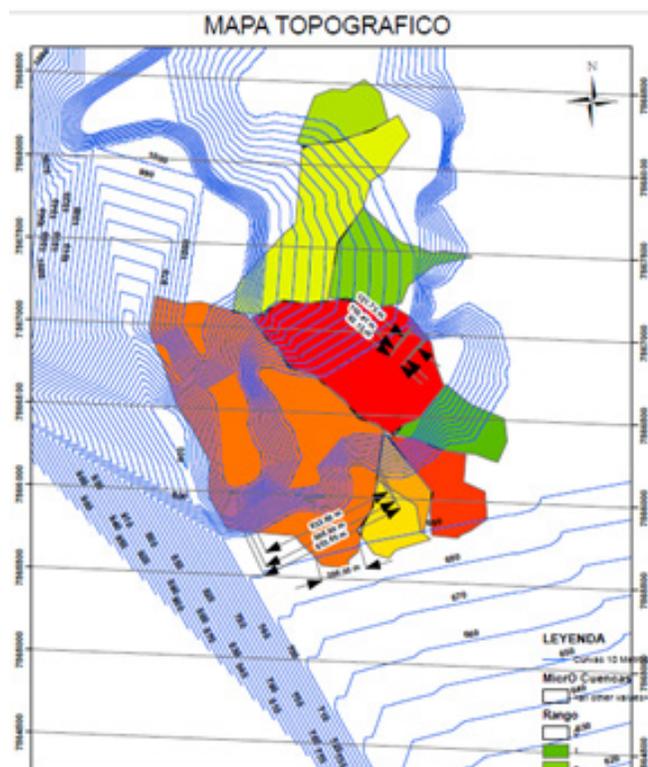
Fuente: Elaboración Propia

- Levantamiento topográfico

La obtención de los datos del levantamiento topográfico permitió la obtención de las cotas terreno de la zona de estudio, para posteriormente poder contar con los

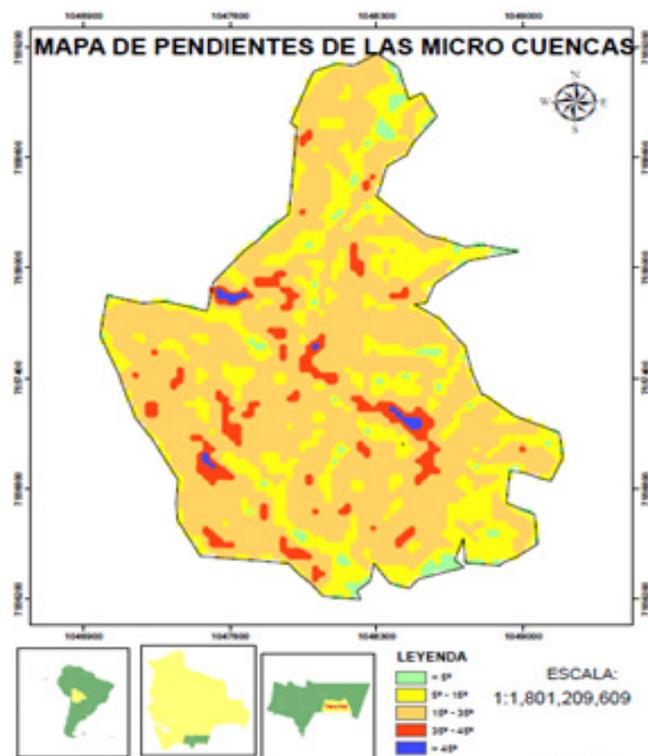
datos de la pendiente del área que es gran importancia para la realización de las zanjas de infiltración.

Figura 5: Mapa Topográfico del Área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6: Mapa de Pendientes de las micro-cuencas en el área de estudio



Fuente: Elaboración Propia

El tipo del terreno a estudiar presenta pendientes de 25° correspondiente al 47%

- **Obtención de datos meteorológicos.**

La información meteorológica se obtuvo mediante los registros proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – Bolivia, de la estación del Municipio de Yacuiba, dicha estación cuenta con diversos tipos de registros, como por ejemplo: precipitación, temperatura, velocidad de viento, humedad relativa, entre otros.

Para la realización del presente trabajo de investigación se empleó los datos de la precipitación máxima diaria, la cual será utilizada para la obtención de resultados.

RESULTADOS

Una vez recolectados los datos tanto en campo como en gabinete, estos fueron procesados con la finalidad de obtener los resultados necesarios para la culminación y cumplimiento del objetivo del trabajo de investigación.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

- **Determinación del coeficiente de escorrentía**

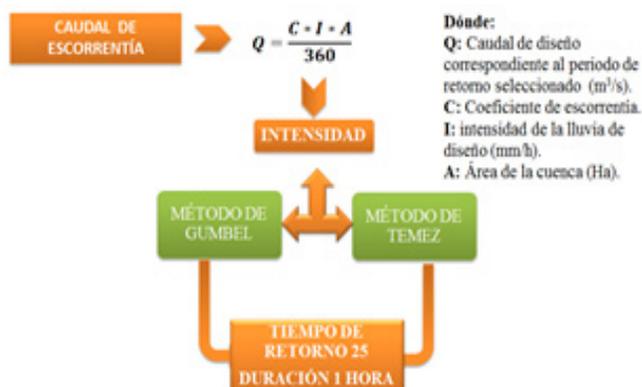
Para la obtención de este resultado se requiere el dato de la pendiente del terreno el cual es obtenido del mapa de pendientes (fig.6).

De acuerdo al tipo de uso de suelo y a la pendiente del área estudiada, se obtiene el coeficiente de escorrentía mediante la utilización de la tabla de textura de suelos.

Tabla 3: textura del suelo

Textura del suelo				
Uso del suelo	Pendiente (%)	Arenoso - limoso	Limoso	Arcilloso
		Limoso - arenoso	Limoso - arenoso	
Bosque	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,40	0,60
	>30	0,32	0,42	0,63

- **Obtención del caudal de escorrentía**

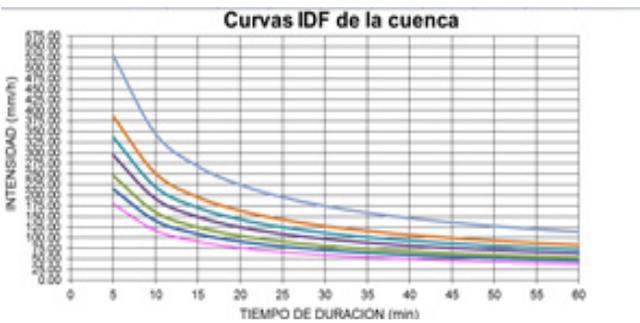


Previamente al cálculo de caudal de escorrentía se requiere obtener el valor de la intensidad para un tiempo de retorno de 25 años, el cual es el más recomendable para algún tipo de construcción hidráulica de estas características.

Tabla 4: Intensidades vs tiempo de duración

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia	Duración en minutos											
Años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	179.42	116.84	90.91	76.08	66.27	59.20	53.81	49.54	46.06	43.15	40.68	38.55
5	214.71	139.81	108.79	91.05	79.30	70.84	64.40	59.29	55.12	51.64	48.68	46.13
10	245.94	160.15	124.61	104.29	90.84	81.15	73.76	67.91	63.14	59.15	55.76	52.84
25	294.30	191.65	149.12	124.80	108.70	97.10	88.27	81.27	75.55	70.79	66.73	63.23
50	337.11	219.53	170.81	142.95	124.51	111.23	101.11	93.09	86.55	81.08	76.44	72.43
100	386.15	251.46	195.66	163.75	142.63	127.41	115.82	106.63	99.13	92.88	87.56	82.97
500	529.31	344.68	268.19	224.45	195.50	174.64	158.75	146.16	135.89	127.31	120.02	113.73

Fuente: Elaboración Propia



Empleando la fórmula anterior, se obtienen como resultado los siguientes valores:

Tabla 5: Caudal de escorrentía

Microcuenca	Pendiente (%)	Coefficiente de Escorrentía	Área (Ha)	Área (m²)	Intensidad (mm/h)	Caudal (m³/seg)
C ₁	47%	0,32	135,15	1.351.500	63,23	7,60
C ₄			58,26	582.600		3,27

Fuente: Elaboración Propia

• **Diseño de zanjas de infiltración**

PEI principio fundamental a la hora de diseñar las zanjas de infiltración corresponde a que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de impluvio, debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja donde se genera la escorrentía.

$$V_{ai} = V_{cz} + V_{in}$$

Dónde:

V ai: Volumen de aportación zona de impluvio.

V cz: Volumen de captura zona de zanjas.

V in: Volumen de infiltración de la zanja.

Volumen de aportación zona de impluvio (m³) precipitación (máxima en 1 hora) superficie de captación coeficiente de escorrentía

$$V_{ai} = P \times S \times e$$

$$V_{ai} = V_{cz} + V_{in}$$

Volumen de captación de las zanjas (m³/hr) Base de la zanja en metros Altura de la zanja en metros Largo de la zanja en metros

$$V_{cz} = b \times h \times l$$

$$V_{ai} = V_{cz} + V_{in}$$

Volumen de infiltración (m³/hr) Base de la zanja en metros Largo de la zanja en metros

$$V_{in} = b \times v \times l$$

Velocidad de infiltración de la zanja en metros

$$V_{ai} = V_{cz} + V_{in}$$

Empleando la fórmula y utilizando los datos obtenidos tenemos el siguiente resultado:

$$V_{ai} \leq V_{cz} + V_{in}$$

$$63,2 \text{ mm/hora} \times 2\text{m}^2 \times 0,32 \leq 2\text{m} \times 2\text{m} \times 10\text{m} + 2\text{m} \times 0,02 \text{ m/hora} \times 10\text{m}$$

$$40,4\text{m}^3/\text{h} \leq 40\text{m}^3 + 0,4 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$40,4 \text{ m}^3/\text{h} \leq 40,4\text{m}^3/\text{hora} \text{ Cumple con la condición!!!}$$

• **Determinación del número de zanjas de acuerdo a la longitud total de la cota terreno.**

$$N^{\circ} \text{ zanjas} = L_T / (l_{cz} + d)$$

El resultado obtenido de acuerdo a la aplicación de la fórmula es el siguiente:

MICROCUCUENCA N° 1			
N° de C.N	Curvas de nivel	Longitud total (m)	N° de zanjas
1	710	832,60	81
2	700	286,30	28
3	720	886,88	87
4	730	933,65	92

288 zanjas

MICROCUENCA N° 6			
Nº de C.N	Curvas de nivel	Longitud total (m)	Nº de zanjas
1	810	121,73	12
2	800	110,41	11
3	790	92,13	9

32 zanjas

Las zanjas fueron instaladas de forma intercalada o en zigzag de acuerdo a la longitud y curvas de nivel del terreno (fig.5) con el único propósito de aprovechar correctamente el escurrimiento del agua.

• **Volumen de infiltración total a aportar**

$$\text{Volumen de infiltración total} = \text{Nº zanjas} + \text{Volumen de infiltración de zanjas}$$

La realización de los diferentes cálculos va dirigida con la finalidad de obtener el volumen de infiltración total que se podrá aportar a los acuíferos subterráneos mediante las zanjas de infiltración.

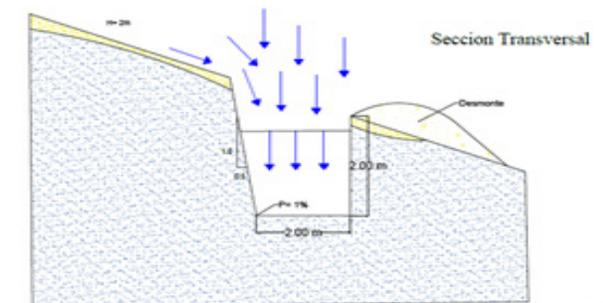
Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6: volúmenes de infiltración de aportación

Volúmenes de infiltración	
Volumen de infiltración por zanja	0,4 m³/h
Número de zanjas en total	320
Volumen de infiltración total	128 m³/h

Fuente: Elaboración Propia

Figura 7: Dimensiones de las zanjas de infiltración



Fuente: Elaboración Propia

DISCUSIÓN

El área de estudio donde se llevó a cabo los análisis y ensayos abarca un total de 43252,8 Hectáreas de la Serranía del Aguarağüe.

A partir de resultados obtenidos se puede evidenciar que existe un considerable caudal de escorrentía que puede ser aprovechado para la infiltración de agua en el suelo, con la finalidad de incrementar los recursos hídricos subterráneos; además de favorecer a la vegetación y al suelo otorgándoles los beneficios necesarios para evitar problemas ambientales y deterioro de los mismos.

Para la obtención del caudal de escorrentía se empleó las precipitaciones máximas diarias probables obtenidas a partir de las precipitaciones máximas diarias registradas en las estaciones pluviométricas del municipio de Yacuiba, mediante estas se pudo obtener la intensidad, dato que resulta ser de mucha importancia, ya que determina cuanta magnitud o fuerza tienen las precipitaciones.

Cabe mencionar que las características del lugar (topografía, suelo, vegetación, entre otros), son favorables para la implementación de un sistema de infiltración, tal es el caso de las zanjas de infiltración, que es un sistema destinado a incrementar volúmenes de agua y a mejorar las características de la zona donde se desee implementar, sin desmerecer que reducen el caudal de escorrentía, evitando así que lleguen en gran volumen a las zonas bajas del municipio.

El volumen de infiltración total obtenido de 128m3/h resulta ser de suma importancia y beneficioso para el incremento de los recursos hídricos ya que de una u otra manera proporcionará mayor volumen de agua que en un futuro serán empleadas por las generaciones futuras.

Los resultados de este estudio podrían ser la base para que se llegue a considerar o implementar sistemas que puedan favorecer al municipio, ya que no es ajeno que al transcurrir de los años los volúmenes de agua van disminuyendo considerablemente.

Pero para esto es necesario que se tengan datos actualizados de diferentes factores, ya que de lo contrario el resultado será erróneo.

Al momento de realizar el diseño de zanjas de infiltración, se debe de considerar los criterios de diseño establecidos, para poder adecuarlo de la mejor manera, si se pretende instalar zanjas de tipo lineal estas podrán ser colmatadas rápidamente, es recomendable verificar o seleccionar correctamente las medidas de las zanjas, para que estas funcionen de la mejor manera.

Es recomendable que para el diseño de la zanja de infiltración se cumpla con el principio fundamental; la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona a ser recargada, la cual debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo. Adoptar este sistema de zanjas de infiltración ayudará a recuperar la capa freática y el volumen hídrico subterráneo.

Para poder realizar una explotación racional de los recursos hídricos subterráneos, se debe contar con los estudios hidrogeológicos del Municipio además de realizar pruebas de bombeo para saber las características del acuífero, ya que en la actualidad no se cuenta con estudios hidrogeológicos y las pruebas de bombeo son casi nulas, lo que se convierte en una traba para desarrollar cualquier trabajo de este tipo.

Para que la infiltración sea más rápida, se recomienda la instalación de una cama de arena fina y piedras medianas en la base de las zanjas hasta una altura de 0,30m, de tal manera que actúe como filtro.

Para que la infiltración sea eficiente, se recomienda una limpieza mensual de zanjas, es decir, para mejorar y mantener la eficiencia en la recarga se debe hacer limpieza de zanjas antes que comience la época de lluvias (entre junio y septiembre), de tal manera que las primeras lluvias sean retenidas en las zanjas y generen suficientes caudales de infiltración.

Se recomienda colocar camellones de área del material extraído en la excavación a unos 20 cm de las zanjas, además de realizar un corte biselado en la parte superior de las zanjas.

CONCLUSIÓN

Se obtuvo como resultado que el volumen de aportación a la zona impluvio es de 40,4m³/h, la cual es igual al volumen de captura en la zanja más el volumen de infiltración de la zanja, el cual tiene un valor de 40,4m³/h, por lo que se concluye que cumple la condición del principio fundamental del diseño de zanjas de infiltración, lo que conlleva a un correcto funcionamiento y aporte hídrico.

Se logrará infiltrar un volumen de 128 m³/h mediante la instalación de 320 zanjas (288 zanjas de la microcuenca N°1 y 32 zanjas de la microcuenca N°6) lo que resulta favorable.

Mediante el diseño de las zanjas de infiltración se logrará favorecer la recarga hídrica de las aguas subterráneas, además de combatir el déficit hídrico que se presenta en la zona y en el Municipio de Yacuiba.

Este sistema aportará a la regulación del caudal de escorrentía que se produce en la Serranía del Aguaraque, de tal manera se evitará las inundaciones que se produce en las zonas bajas del Municipio.

Contribuirá a proporcionar una fuente de agua segura y permanente para las generaciones futuras.

El dimensionamiento de las zanjas de infiltración se ha realizado en función a la geología de la zona, la cual tiene como pendiente entre 15° a 35°, a su vez las zanjas tendrán una pendiente entre 1% a 2% de acuerdo a la topografía del terreno, además de contar con una litológica favorable para la infiltración (grava, arenas limosas o arcillosa).

En conclusión, el diseño de zanjas de infiltración se ha diseñado en función directa a la geología, permeabilidad, pendiente, precipitación y coeficiente de escorrentía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a.t. (s.f.). Factores para la fórmula de Nadal (1986).

a.t. (s.f.). Factores para la fórmula de Nadal (1986).

a.t. (s.f.). Hidrología- Ciclo hidrológico (Escorrentía).

C.A.A., O. (2011). Elaboración del Diseño del Programa de Resiliencia al Retroceso de Glaciares a través del Estudio de Gestión de Agua Potable de las Ciudades de La Paz, El Alto, Bolivia, Proyecto de —Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de los Glaciares en los An.

Crespo, I. R. (2000). INFORME NACIONAL SOBRE LA GESTION DEL.

Custodio, E. (1986.). Recarga artificial de acuíferos. Boletín de Informaciones y.

Esther, M. Q. (2017). Recarga Artificial de Acuíferos en Función De Las Características Geohidráulicas Para Incremento De La Disponibilidad Hídrica En el Manantial Collana – Cabanilla.

FAO. (2013). Captacion y almacenamiento de agua de lluvia. Santiago (Chile).

Flores Villanelo, J. P. (2004). Diseño de zanjas de infiltracion bajo criterios de ingenieria hidrológica.Talca.

Gálvez, J. J. (s.f.). Cartilla técnica Aguas Subterráneas-acuíferos.

GEOBOL. (1979). Proyecto Integrado de Recursos hídricos en Cochabamba (PIRCH). Servicio Geológico de Bolivia.

González., B. y. (2006). Determinación de la recarga

por precipitación en la zona de la Mayca Aplicando el modelo hidrológico Help, UMSS.

GUZMAN, G. (2005). LAS FUENTES DE AGUA EN EL PARQUE NACIONAL AGUARAGÜE. PROVINCIA GRAN CHACO- TARIJA- BOLIVIA.

H. Silva-Hidalgo, M. A.-N. (s.f.). PROYECTO DE MANEJO DE RECARGA DE ACUÍFEROS EN LOS OJOS DEL CHUVÍSCAR, CHIHUAHUA, MÉXICO.

Hernández, C. (2013). Recarga del abanico aluvial de Punata Cochabamba-Bolivia. Tesis de Grado de Magister en Hidrogeología y Recursos Hídricos. USFX-Succe-Bolivia.

Irastortza., S. (2009).

J., D. L. (2006). Estudio de la recarga artificial en la plana de Gandía- Denia.

López, B. (1994). Balance Hídrico Subterráneo para los Abanicos de Punata y Cliza. Informe técnico CORDEP DAI. Cochabamba, Bolivia.

ORDOÑEZ, J. J. (2011). CARTILLA TECNICA AGUAS SUBTERRANEAS- ACUIFEROS.

Pacheco, G. M. (s.f.). Recursos Hídricos.

Pacheco, G. M. (s.f.). Recursos Hídricos .

Peña Laureano, F., Charca Huaricallo, M. A., & Condiri Quispe, E. (2015). Inspección hidrogeológica para la recarga artificial de acuíferos, en la sub cuenca Santa Eulalia. Lima.

ROGER QUIROGA B., L. A. (s.f.). ATLAS- AMENAZAS VULNERABILIDADES Y RIESGOS DE BOLIVIA.

Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga Potencial de los Acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica de América Central, Vol. 34-35, pp. 13-30.

Stefan, J. P. (s.f.). MANEJO DE LA RECARGA DE ACUIFEROS.

TUNDISI, B. J. (s.f.). DIAGNOSTICO DEL AGUA EN LAS AMERICAS.