

Siembra de agua a través de infraestructura natural de recarga hídrica (AMUNA) en la comunidad San Pedro de Casta, Lima, Perú

Planting water through natural water recharge infrastructure (AMUNA) in the San Pedro de Casta community, Lima, Peru

Ohaira Ricra¹, Pamela Quino^{1*}, Gianella Vázquez¹

RESUMEN

Se realizó un estudio de monitoreo hidrológico en una infraestructura natural (amuna) para evaluar su efectividad en el control de agua de lluvia y en la recarga de acuíferos. La amuna se encuentra en el distrito San Pedro de Casta, Lima, Perú. La precipitación histórica fue medida por la estación pluviométrica Autisha, instalada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La precipitación en época de lluvia del 2018 fue medida por dos estaciones pluviométricas automáticas. El caudal se estimó usando sensores de nivel de agua instalados en 11 vertederos y el cálculo de la recarga de acuíferos se realizó a través de la diferencia de caudales (caudal inicial menos caudal final). La precipitación es mayor en los meses de enero a marzo y existe una relación directa entre precipitación y caudal. La estimación de recarga de acuífero indica que en los meses de diciembre a marzo existió una infiltración potencial de $225.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{km}$ en la amuna.

Palabras clave: amuna, siembra de agua, precipitación, caudal, recarga de acuífero.

ABSTRACT

Hydrological monitoring was carried out in a natural infrastructure (amuna) to evaluate its effectiveness in rainwater control and aquifer recharge. The amuna is located in the San Pedro de Casta district, Lima, Peru. The historical precipitation was measured by a pluviometric station called Autisha installed by the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI), the 2018 rainy season precipitation was measured by two automatic pluviometric stations, the flow was estimated using water level sensors installed in 11 spillways and the calculation of aquifer recharge was performed through the difference of flows (initial flow minus final flow). Precipitation is higher from January to March and there is a direct relationship between precipitation and flow. The estimation of water recharge indicates that from December to March there was a water infiltration of $225.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{km}$ in the amuna.

Keywords: amuna, water sowing and harvesting, precipitation, flow, aquifer recharge.

Introducción

La siembra y cosecha de agua es una práctica que consiste en retener el agua en las cabeceras de cuenca para infiltrarla en el suelo y recargar las aguas subterráneas (siembra), con el fin de disponer de ellas en épocas secas (cosecha) (Martos-Rosillo *et al.*, 2020). Específicamente, la siembra de agua es un proceso a través del cual se recolecta e infiltra el agua de escorrentía superficial proveniente de la lluvia, con la finalidad de realizar la recarga hídrica del suelo, subsuelo y acuíferos.

Las montañas abastecen a más de la mitad de la población mundial con agua para beber y para el riego agrícola (UNESCO, 2014). Este papel es aún más importante en las zonas semiáridas y áridas, donde la contribución de agua varía entre el 50% y el 90% (Messerli *et al.*, 2004; Viviroli *et al.*, 2007). El agua que proviene de la cuenca alta es esencial no sólo para el sustento humano, sino también para mantener los ecosistemas asociados aguas abajo y mejorar su diversidad ecológica (Beniston *et al.*, 1997). Sin embargo, actualmente las montañas se encuentran entre

¹ AQUAFONDO - Fondo de Agua para Lima y Callao. Calle Germán Schreiber 276 San Isidro, Lima, Perú.

* Autor correspondiente: pquino@aquafondo.org.pe

las zonas más vulnerables al cambio climático (UNESCO, 2014; Immerzeel *et al.*, 2010) y esto puede afectar la disponibilidad hídrica para toda una cuenca.

En el Perú, la siembra y cosecha de agua retoma relevancia por el proceso de degradación ambiental acelerado en cuencas andinas y amazónicas, por efectos socioambientales y por la exacerbada variabilidad climática producto del cambio climático (MINAGRI, 2016). Sobre todo es importante implementar estos mecanismos en regiones áridas como Lima, departamento del Perú que se encuentra en una alarmante situación de escasez hídrica (Aquafondo y Grade, 2020). La principal fuente de agua para Lima es el río Rímac, que es recargado por todas las quebradas y lagunas ubicadas en la parte alta de la cuenca.

El estudio tiene como objetivo demostrar la eficiencia de las infraestructuras naturales de recarga hídrica (amunas) en el control de agua y recarga de acuíferos, como un ejemplo de siembra y cosecha de agua que contribuye a la adaptación al cambio climático y la disponibilidad hídrica.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra a 13 km del distrito de San Pedro de Casta, departamento de Lima, Perú (Figura 1), en la margen izquierda de la quebrada Chanicocha a 4370 msnm aproximadamente. Dentro de esta área se rehabilitó una infraestructura natural denominada amuna Saywapata, que tiene una longitud de 1,93 km,

donde se hizo el monitoreo hidrológico en los primeros 727 metros.

Precipitación: la precipitación histórica mensual (1980-2009) se midió en la estación meteorológica Autisha, que fue instalada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y se encuentra cerca del área de estudio. Para obtener la precipitación durante el periodo de monitoreo se instalaron dos estaciones semiautomáticas denominadas Amuna y Cima (Tabla 1), donde el periodo de monitoreo fue desde enero a mayo del 2018.

Caudal: los valores de caudal se midieron durante la época de lluvia, desde diciembre del 2018 a marzo del 2019. Para ello se utilizaron sensores ODISSEY instalados en 11 vertederos (V) a lo largo de la amuna Saywapata (Figura 2).

Recarga de acuíferos (infiltración potencial)

Método de balance de agua

La recarga de acuífero se realizó usando el método *balance de agua* basado en Vélez Otálvaro y Vásquez Ariza (2004), donde se aplica el principio

Tabla 1. Ubicación y altitud de las estaciones pluviométricas instaladas.

Estación Semi-Automática	Norte	Este	Elevación (msnm)
Cima	8697998	336059	4645.00
Amuna (Existente)	8698440	334624	4366.00

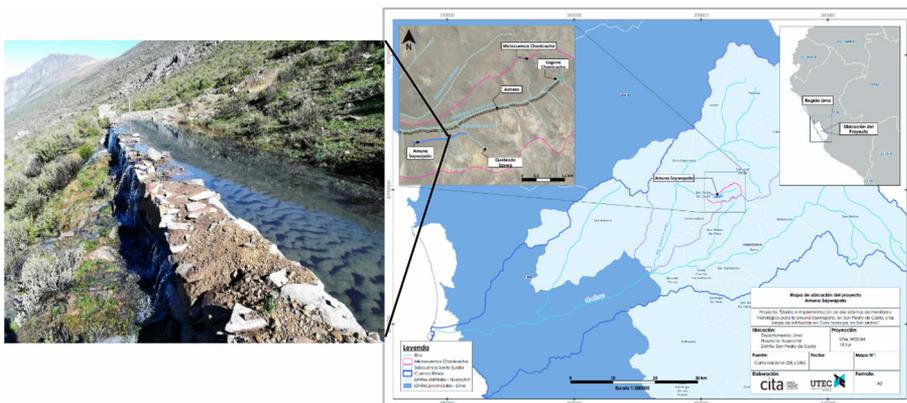


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Elaboración propia.

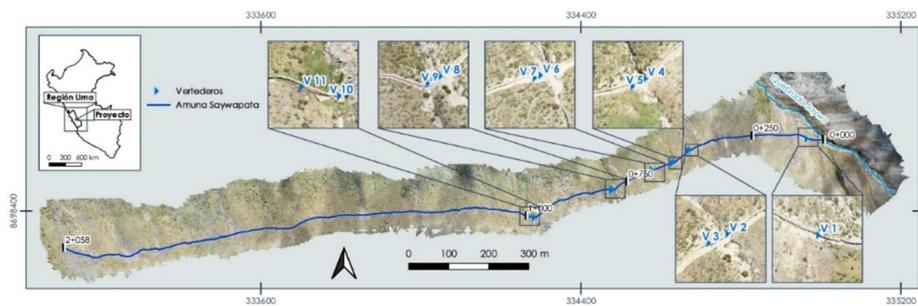


Figura 2. Ubicación de once (11) sensores para medir el caudal en la amuna Saywapata. Elaboración propia.

de la conservación de masa a cierta región de volumen de agua conocido (volumen de control), definida por unas condiciones de frontera, durante un período de tiempo. En este método la diferencia en las entradas y las salidas debe ser igual al cambio en el almacenamiento de agua (Figura 3). Se realizó una sumatoria de variables de caudal a través de la siguiente ecuación:

$$R = Q. \text{ Arriba} - Q. \text{ Abajo} + \sum Q. \text{ Entra} - Q. \text{ Sale}$$

R: Recarga.

Q: Caudal.

Q: Arriba: flujo aguas arriba.

Q: Abajo: flujo aguas abajo.

Q: Entra: flujo que llega de los arroyos tributarios, efluentes urbanos e irrigación.

Q: Sale: flujo que sale.

El periodo de medición fue en época húmeda (septiembre del 2018 a febrero del 2019). Para el cálculo de aporte de caudal medido desde la ladera (aportes de ladera) y la infiltración potencial, se consideran los tramos de aporte entre sensor y sensor.

Resultados y discusión

Precipitación

Los resultados muestran que existe mayor precipitación en los meses de enero, febrero y marzo,



Figura 3. Recarga de acuífero. Elaboración propia.

mientras que las precipitaciones más bajas son en julio y agosto. Esto se evidencia en la precipitación mensual histórica registrada por la estación Autisha (Figura 4) y en las estaciones automáticas Amuna y Cima (Figura 5). Estos resultados coinciden con lo señalado por Holguín (2020), quien estudió los patrones de precipitación en la sierra sur del Perú, donde los meses con valores más altos de precipitación son de enero a marzo.

Caudal

En los 11 vertederos el caudal empezó a subir significativamente a partir del mes de enero. Los mayores valores de caudal medio mensual se dieron en febrero del 2018 (Figura 5). Existe una relación directa con la precipitación, lo cual coincide con las conclusiones de Sandoval y Aguilera (2014), quienes señalan que los caudales son variables y que están en función de la precipitación. Por lo tanto, se puede afirmar que en las épocas de lluvias existe mayor flujo de agua en las amunas.

Vásquez & Tapia (2011) destacan que este tipo de infraestructuras naturales captan el agua de lluvia en las laderas y controlan la erosión hídrica. Esto permite afirmar que las amunas, además de controlar el agua de lluvia y disponerla para el uso en riego, evitan la erosión de las laderas por escorrentía.

Por otro lado, se espera que el flujo disminuya a medida que nos vamos aproximando al final de la amuna, debido a que parte del volumen de agua se infiltra o es aprovechado por la vegetación alrededor de la infraestructura. Sin embargo, los resultados demuestran que esto deja de ocurrir en los vertederos 7 y 10 en casi el 100% de los casos, puesto que los caudales se incrementan (Tabla 2), lo cual se debería a la presencia de pequeñas quebradas en la ladera que permiten el ingreso de flujos de agua a la amuna. Considerando este incremento de caudales de los vertederos 7 y 10, se puede afirmar que, aparte del agua que proporciona la quebrada Saywapata a la amuna, existe más de un aporte de las laderas. En consecuencia, se diferencian dos

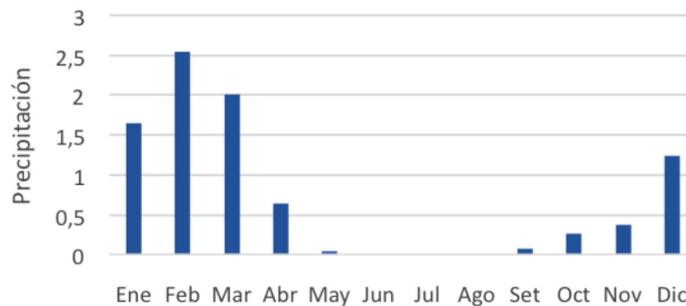


Figura 4. Precipitación histórica (1980-2009) en la estación Autisha. Elaboración propia.

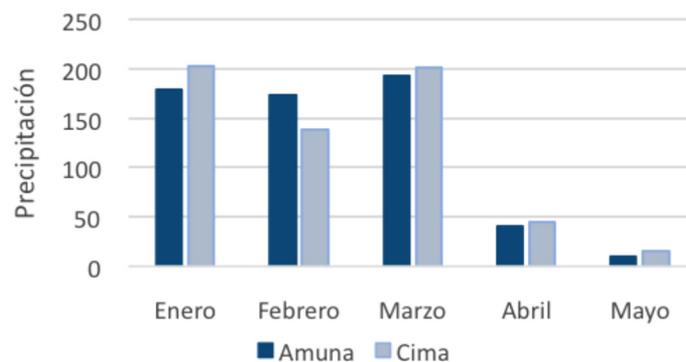


Figura 5. Precipitación en época de avenida: Amuna y Cima (enero-mayo del 2018). Elaboración propia.

Tabla 2. Caudales promedios mensuales (l/s) de los vertederos de la amuna Saywapata (Dic 2017 - Mar 2018).

Año	Mes	Caudal de cada vertedero (l/s)										
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
2017	Dic	0,83	0,47	0,42	0,35	0,33	0,30	0,35	0,08	0,05	0,28	0,26
2018	Ene	12,42	8,17	7,94	4,21	2,19	1,84	2,26	1,77	1,52	1,93	1,82
	Feb	46,49	41,63	36,16	27,09	11,57	10,63	10,22	9,43	8,36	10,49	9,33
	Mar	6,86	5,72	5,18	4,77	4,62	4,22	5,84	5,27	5,11	5,54	4,23
Prom (Dic-Mar)		16,65	14,00	12,43	9,11	4,68	4,25	4,67	4,14	3,76	4,56	3,91

Fuente: Aquafondo.

escenarios: si el caudal del vertedero aguas abajo es mayor que el del vertedero aguas arriba, entonces el aporte de ladera es el dominante. Si sucede lo opuesto, el aporte de la quebrada Saywapata sería el dominante y se puede cuantificar la infiltración como la diferencia de caudales registrados entre estos dos vertederos, sin considerar el caudal que entra de la ladera ni el que sale en las fugas. En la Figura 6 se muestra un resumen de la diferencia de caudales (infiltración potencial) registrados diariamente (en l/s) para cada tramo en análisis.

En los meses en que no existen datos, se entiende que el aporte de la ladera fue mucho mayor que el de la infiltración, lo cual hace que los caudales registrados en el sensor aguas abajo sean mayores que los registrados en el sensor aguas arriba.

Recarga de acuíferos (infiltración potencial)

La estimación de la recarga de acuífero se efectuó siguiendo el método de balance de agua. Los resultados de la diferencia de caudales en

distintos tramos fueron escalados considerando toda la extensión de la amuna, así como el aporte de volúmenes en periodos de tiempo definidos.

Con el fin de obtener el volumen total de infiltración a lo largo de los 727 m de amuna, se realizó la sumatoria de caudales de infiltración potencial por tramos. Con ello se obtuvo una infiltración de 88,7 l/s/km de amuna durante los 6 meses húmedos significativos en los que se realizó la medición (septiembre a febrero). La infiltración potencial podría alcanzar hasta un máximo de 3873,4 m³/día/km de amuna en el mes de febrero y considerando que es posible una persistencia de este fenómeno en algunos tramos con mayores tasas de infiltración, durante todo el periodo de monitoreo, se logró infiltrar potencialmente **225,8 x 10³ m³ km** (Tabla 3). Es importante resaltar que esta cifra no contabiliza el mes de marzo, el cual al ser el último mes del periodo húmedo según los balances hídricos realizados, debería incrementar la cifra. Esto debería ser considerado en los siguientes años de monitoreo.

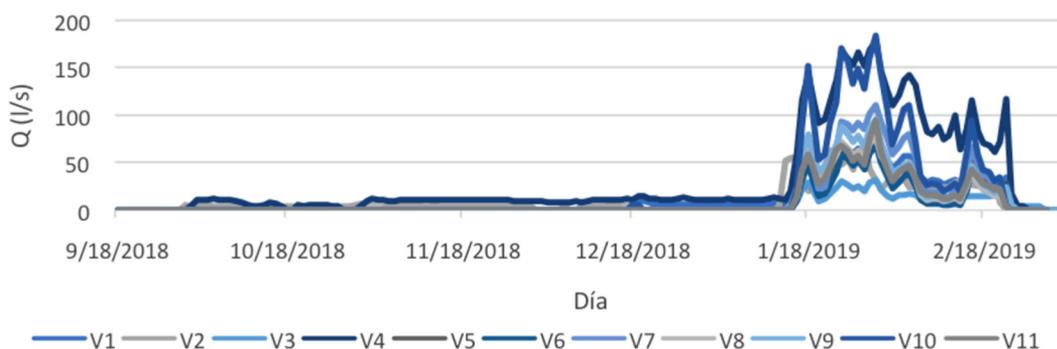


Figura 6. Caudales registrados por vertederos. Elaboración propia.

Tabla 3. Infiltración escalada por longitud de tramos de amuna.

Tramo	Longitud (m)	Infiltración potencial (l/s)						
		Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
V1-V2	317	1,29	0,56		4,32	6,26	8,64	0,90
V3-V4	42						1,31	
V5-V6	47		0,05	0,11	0,16	6,93	6,01	
V7-V8	109	0,08	0,09	0,22	0,40	9,89	13,33	
V9-V10	212	0,33	0,18	0,01	0,49	0,56	3,29	0,27
Promedio (l/s)		0,76	0,62	0,09	4,14	9,53	7,19	0,65
Max (l/s)		1,29	0,56	0,22	4,32	9,89	13,33	0,90
Min(l/s)		0,08	0,05	0,01	0,16	0,56	1,31	0,27
Total	727 m	1,69	0,88	0,34	5,36	23,65	32,59	1,17
Total (l/s/km)		88,7						
Total (m ³ /día/km)		200,7	104,3	40,4	637,5	2810,2	3873,4	
Total (m ³ /mes/km)		6021,3	3233,8	1210,7	19762,5	87115,1	108455,2	
Total (m ³ /km)					225799			

*Los meses en gris no generaron infiltración potencial y los valores de marzo no fueron considerados para este cálculo de infiltración ya que están incompletos. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión

La precipitación en la zona donde está ubicada la amuna Saywapata es mayor en los meses de enero a marzo. Luego los periodos de lluvia disminuyen presentando valores muy bajos en los meses de julio y agosto.

Existe una relación directa entre precipitación y caudal, ya que los valores máximos de caudal se dieron en los meses de enero y febrero, cuando la precipitación era alta. Este hecho demuestra que las amunas controlan el agua de lluvia evitando la erosión hídrica en las laderas.

Se estimó que durante el periodo de monitoreo, el cual duró de diciembre del 2017 a febrero del 2018 (época de lluvia), la amuna presentó una infiltración potencial de 225,8 x 10³ m³/km que representa la cantidad de agua que recarga a los acuíferos de la zona.

Agradecimiento

Agradecemos a The Nature Conservancy (TNC) y al Centro de Investigación y Tecnología del Agua CITA -UTEC por su apoyo en el periodo del monitoreo del estudio.

Literatura citada

UNESCO.

2014. La Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica: un sistema ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza. Disponible en: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2020/02/la-siembra-y-cosecha-del-agua-en-iberoamerica-un-sistema-ancestral-de-gestion-del-agua-que-utiliza-soluciones-basadas-en-la-naturaleza/> Consultado: 15-08-21.

Aquafondo - Grade.

2020. Crisis de agua: una amenaza silenciosa para el desarrollo económico. Lima, Perú. 94 p.

Holguín, A.

2020. Patrones de circulación sinóptica en Sudamérica asociados a las lluvias extremas en la sierra sur del Perú. Lima, Perú. 113 p.

Martos-Rosillo, S.; Durán, A.; Castro, M.; Vélez, M.; Herrera, G.; Martín-Civantos, J.; Mateos, L.; Durán, J.; González-Ramón,

A.; Ruiz, A.; Jódar, J.; Marín-Lechado, C.; Gutiérrez, C.; Hermoza, R.; Bardales, J.; Peña, F.

2020. *La Siembra y Cosecha del Agua en Iberoamérica: un sistema ancestral de gestión del agua que utiliza Soluciones Basadas en la Naturaleza*. 26. Disponible en: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2020/02/la-siembra-y-cosecha-del-agua-en-iberoamerica-un-sistema-ancestral-de-gestion-del-agua-que-utiliza-soluciones-basadas-en-la-naturaleza/#> Consultado: 15-08-21

MINAGRI.

2016. Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. Lima, Perú. 125 p. Sandoval Erazo, W.R.; Aguilera Ortiz, E.P.

2014. Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Ciencia Unemi*, 7(12): 100-110.

UNESCO.

2014. *Las montañas como torres de agua del mundo: protegiendo el agua y los servicios ecosistémicos de montaña ante el cambio climático*. 8. Disponible en: http://www.unesco.org/new/es/media-services/single-view/news/unesco_presenta_el_informe_de_politica_las_montanas_com/ Consultado: 15-08-21

Vásquez, A.; Tapia, M.

2011. Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3): 473-485.

Vélez Otálvaro, M.; Vásquez Ariza, L.

2004. Métodos para determinar la recarga en acuíferos. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 11: 51-62.

