

# Concentración de nitratos y sulfatos en el agua de escorrentía superficial

*Concentration of nitrates and sulphates in surface runoff wáter*

*Pablo Huerta Fernández\*<sup>1</sup>, Julio Alegre Orihuela<sup>1</sup>, Oscar Loli Figueroa<sup>1</sup>, Antonio Huerta Fernández<sup>2</sup>, Víctor Vásquez Arce<sup>3</sup>, Víctor Carranza Elguera<sup>4</sup>, Betzabe Argomedo Arteaga<sup>5</sup>, Manuel Urcia Cruz<sup>5</sup>, Pablo Valderrama Fernández<sup>5</sup>*

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar los niveles de concentración de nitratos y sulfatos en las aguas de escorrentía superficial de las microcuencas Huangamarca y Pollo de la provincia Otuzco, región La Libertad. Los estudios experimentales de las aguas captadas de las escorrentías superficiales en los agroecosistemas permitieron determinar concentraciones promedio de nitratos de 0,214 meq/l y 0.662 meq/l en las microcuencas Huangamarca y Pollo, respectivamente. Los sulfatos fluctuaron entre 0,435 meq/l en Huangamarca y 1,321 meq/l en Pollo. Estos valores de acuerdo a los niveles permisibles están por debajo de los niveles de contaminación, según los estándares de calidad de agua para riego. Se concluye que las aguas de las microcuencas estudiadas en Huangamarca y Pollo no tienen riesgos para su utilización.

**Palabras claves:** concentración, nitratos, sulfatos, aguas de escorrentía, microcuencas.

## ABSTRACT

*The objective of this research was to evaluate the concentration levels of nitrates and sulfates in the surface runoff waters of the Huangamarca and Pollo micro-watersheds in Otuzco Province, La Libertad Region. Experimental studies of the water collected from surface runoff in the agroecosystems determined average nitrate concentrations of 0.214 meq/l and 0.662 meq/l in the Huangamarca and Pollo micro-watersheds, respectively. Sulfates ranged from 0.435 meq/l in Huangamarca to 1.321 meq/l in the Pollo microbasin. These values, according to the permissible levels, are below the contamination levels according to the water quality standards for irrigation. It is concluded that the waters of the Huangamarca and Pollo micro-watersheds studied are safe for use.*

**Keywords:** concentration, nitrates, sulfates, runoff water, micro watershed.

## Introducción

La gestión de los recursos hídricos en la región La Libertad es fundamental para garantizar la vida humana, así como para la seguridad energética, productiva y ambiental. Sin embargo, la sostenibilidad se ve afectada por factores de riesgo que reducen la eficiencia en los procesos de gestión de los recursos hídricos. Por lo tanto, inciden negativamente en el desarrollo económico

y social de esta región. Entre los factores de riesgo identificados en la gestión regional se destacan los siguientes: 1. La compleja geografía de irregulares valles interandinos y de áridas franjas costeras, 2. El cambio climático que altera la sostenibilidad de los glaciares andinos, 3. La acción contaminante que ocasionan las actividades mineras o industriales sobre el agua proveniente de las cuencas andinas, o sobre los ríos que fluyen en los valles interandinos y en la costa, lo cual afecta la salud de personas y

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

<sup>2</sup> Universidad de Lleida. Lleida, España.

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

<sup>5</sup> Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú.

\* Autor por correspondencia: apablohuerta@gmail.com



diferentes cursos de órdenes (grado de ramificación). De este modo, el río principal Moche es el resultado de la formación de los ríos Huangamarca y Pollo, entre otros, que son materia del estudio.

En estos espacios de microcuencas, que constituyen sistemas de drenaje definido por sus cauces principales y sus tributarios, se encuentran los ecosistemas en los cuales se desarrollan las actividades principales como las agropecuarias y forestales. Con base en este estudio se determinarán los niveles de concentración de nitratos y sulfatos, que tienen su origen en las grandes extensiones de agroecosistemas y en las áreas agrícolas.

### Estudio hidrográfico

Las microcuencas Huangamarca y Pollo presentan redes hídricas que pertenecen a la provincia de Otuzco (Figura 1), conformadas por ríos y quebradas que son aprovechadas en algunos casos como fuentes de agua para la irrigación. Estos ríos y quebradas, en general, tienen caudales muy variables, dependiendo de las épocas de lluvias, y llegan a niveles muy bajos durante los períodos secos como en el caso de Pollo en los meses de julio a septiembre.

La microcuenca Huangamarca presenta cuatro ríos: Huangamarca (río principal), Carca, Hondura y Monchacap; y 19 quebradas con longitudes de cursos de agua diferentes: Tembladera, Ciénego, Monchacap Alto, La Cruz, Chagapampa, Quisho, Hornillo, Tambillo, Pango 2, Hondura, Porvenir, Pusunchas, Allacday, San Isidro, Pactire, Pango 1, Monchacap, Pango y Tembladera 1 (Figura 1).

La longitud del río Huangamarca es de 10,742 km que recorre de norte este a sur oeste con un caudal promedio de 4,29 m<sup>3</sup>/s al final del período de lluvias (mes de abril). El período de crecidas o avenidas se inicia en octubre y concluye en marzo, alcanzando su nivel máximo en los meses de enero y febrero. Al término de su recorrido se une con el río Pollo para formar el río Otuzco, que es tributario del río Moche, el cual recorre a lo largo de la cuenca del mismo nombre hasta desembocar en el océano Pacífico. En la microcuenca Pollo se encuentran el río Pollo y las quebradas Machigón, San Francisco y Culpit. Este río tiene sus nacientes entre los flancos noreste y sus tributarios son las quebradas mencionadas (como se puede ver en el mapa hidrográfico de la Figura 1), que alimentan sus cursos de agua

principalmente con las precipitaciones estacionales y originan un escurrimiento de comportamiento irregular a través de todo el año.

La longitud del río Pollo es de 10,351 km, siguiendo su curso aguas abajo en dirección norte a sur, con caudal promedio de 0,72 m<sup>3</sup>/s, hacia el pueblo de Otuzco, para llegar a unirse con el río Huangamarca, aproximadamente a una altitud de 2,600 msnm, y formar el río Otuzco.

### Toma de muestras de agua

Para captar el agua de escorrentía que será analizada se construyeron los medidores-vertederos, los cuales permitieron tomar muestras de agua de escorrentía superficial.

Los muestreos de agua se tomaron semanalmente por un período de 9 meses, después de cada evento lluvioso. Los análisis completos de agua se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se hicieron los análisis de cationes mediante espectroscopía de absorción atómica y por volumetría y colorimetría para los aniones. Los resultados de las concentraciones de nitratos y sulfatos son evaluados en el siguiente capítulo.

## Resultados y discusión

### Análisis de agua obtenido de los medidores-vertederos de la microcuenca Huangamarca

El ciclo hidrológico abarca diversas variables, siendo una de ellas la escorrentía, la cual nace desde que el agua se precipita en forma de lluvia, siendo esta la opción en la cual el agua alcanza la superficie del suelo y escurre, debido a que la intensidad de la lluvia supera a la velocidad para su infiltración, entonces es producida la escorrentía superficial, que resulta ser en muchos casos negativa al causar daños al suelo con contaminación, sedimentación. Entonces, puede existir escorrentía superficial y subsuperficial según factores climatológicos, hidrológicos, geológicos y edáficos; influye la textura y estructura del suelo para impedir que el agua filtre al subsuelo y se almacene (FAO, 2013).

El estudio considera el manejo del agroecosistema, en el que “se desarrolla la actividad agropecuaria que es una fuente de contaminación no puntual en crecimiento y es responsable de la aplicación de fertilizantes (nutrientes), pesticidas

y arrastre de sedimentos a las aguas costeras a través de los ríos” (Escobar, 2002).

En consecuencia, se investiga en los agroecosistemas la concentración de sustancias contaminantes en grandes extensiones de tierra, como en la totalidad de las áreas de cultivos agrícolas. Para ello se recolectaron 22 muestras de agua de los agroecosistemas vertidos por escorrentía hacia los medidores vertederos instalados especialmente para la captación de las aguas, después de cada evento de lluvias ocurridas en el período de octubre del 2005 a mayo 2006 en la microcuenca Huangamarca. Los resultados de análisis y valores promedio por zonas se expresan en la Tabla 1.

La concentración de  $N-NO_3^-$  en aguas de escorrentía superficial fue en promedio 0,214 meq/l. Este valor está muy por debajo del nivel crítico de contaminación para las aguas de regadío según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, que es 10 mg/l, e indica que las aguas superficiales no están contaminadas con  $NO_3^-$ . El resultado de bajas concentraciones de  $NO_3^-$  “en aguas superficiales se debe a la dinámica de este ion que tiende a moverse muy rápido primero con el agua de infiltración hacia las aguas subterráneas y generalmente el agua de escurrimiento superficial de las partes bajas y tiene concentraciones reducidas de  $NO_3^-$ ” (Melvin *et al.*, 1992).

Si bien es cierto que para mejorar el rendimiento de cultivos se puede emplear agroquímicos en su forma de fertilizantes, el uso excesivo o indebido puede causar contaminación del suelo, por otro lado el uso insuficiente de fertilizantes puede originar que no se cubra la producción para toda la población en crecimiento (FAO, 2019); asimismo, el suelo se ve contaminado con pesticidas y/o plaguicidas para la prevención, detención o eliminación de plagas (FAO - OMS, 2014), estos agroquímicos generan daños tanto al medio ambiente como a la salud de las personas (Butinof *et al.*, 2017).

Los mayores niveles de contaminación por  $NO_3^-$  parecen estar asociados a la presencia de cámaras sépticas, en lugares de acumulación de residuos o de concentración animal, y no de la actividad agrícola (Perdomo *et al.*, 2001).

En relación con la presencia de sulfatos, en niveles promedio de 0,435 meq/l, se puede afirmar de acuerdo con varios autores que este ion sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, y se encuentra en la mayoría de las aguas naturales (Amachi, 2015). Los sulfatos disueltos en las aguas proceden en mayor proporción de los fertilizantes utilizados en la agricultura (Casado *et al.*, 2013).

Los resultados se muestran en la Tabla 1, determinándose niveles de nitratos y sulfatos en

Tabla 1. Contenido de nitratos (meq/l) y sulfatos (meq/l) en tres zonas altitudinales diferentes de la microcuenca Huangamarca.

Observ.	Microcuenca Huangamarca					
	César Vallejo - Zona alta		San Francisco - Zona media		Huangamarca - Zona baja	
	Nitratos	Sulfatos	Nitratos	Sulfatos	Nitratos	Sulfatos
1	0,70	0,31	0,01	0,02	0,63	0,52
2	0,20	0,70	0,02	0,12	0,40	0,20
3	0,23	0,80	0,04	0,05	0,38	0,20
4	0,05	0,24	0,07	0,25	0,22	0,31
5	0,47	3,20	0,05	0,12	0,25	0,31
6	0,00	0,12	0,00	0,28	0,23	0,63
7	0,04	0,20	0,01	0,02		
8	0,75	0,41				
9	0,26	1,42				
Promedio	0,30	0,82	0,0286	0,1229	0,31517	0,3617
Valor de $t$	-1,540		2,29		-0,10	
Pr > F	0,144		0,003		0,8081	
Valor de F	12,23**		17,33**		1,26 ns	
	$t_c = 1,54 < t_{0,025,16\text{ gl}} = 2,12$		$t_c = 2,29 < t_{0,025,12\text{ gl}} = 2,179$		$t_c = 0,10 < t_{0,025,10\text{ gl}} = 2,228$	

las zonas altas, medios y bajos de la microcuenca Huangamarca, en cantidades promedio por debajo del nivel permisible (300 mg/L) para las aguas de riego. Esto nos indica que el agua de las zonas en estudio se encuentra libre de contaminación por sulfatos.

En las zonas alta y baja de la microcuenca Huangamarca no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los contenidos promedio de nitratos y sulfatos. Esto probablemente se debe a que en las zonas evaluadas las aplicaciones de fertilizantes como urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio y fosfatodiamónico no están muy generalizadas o sus usos son escasos. En cambio, en la zona media (San Francisco) sí hay diferencia estadística significativa para los promedios de nitratos y sulfatos. Este proceso de acumulación puede deberse a la mayor concentración de esos elementos químicos en los espacios de configuración de relieve caracterizados por ondulaciones en la zona media. Sin embargo, en todos los casos los valores determinados están muy por debajo del límite permisible.

### Análisis de agua obtenido de los medidores-vertederos de la microcuenca Pollo

El nitrato forma parte del ciclo natural del nitrógeno; pero por procesos antrópicos hace que su

nivel se eleve en el suelo; además de ser soluble en agua, su concentración en ríos o lechos es importante (Bolaños *et al.*, 2017). Precisamente los análisis corresponden a las aguas de escorrentía captadas en 12 muestras en los medidores-vertederos durante el período de lluvias ocurridas en octubre 2005 y mayo 2006, y cuyos resultados se presentan en la Tabla 2. Los valores de la presencia de nitratos, en las zonas alta, media y baja de la microcuenca Pollo, en promedio fueron de 0,662 meq/l y sulfatos 1,321 meq/l. Estos niveles son permisibles para las aguas de regadío, según los parámetros establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental –ECA– para agua (D.S. N° 002-2008-MINAM), y el nivel máximo permisible es 10 mg/l.

Los cultivos sensibles resultan afectados por concentraciones de nitrógeno superiores a 5 mg/l, mientras que la mayor parte de los otros cultivos no son afectados hasta que las concentraciones excedan los 30 mg/l (pág. web, Grupo de trabajo N° 3 de la Dirección General de Salud Ambiental-DIGESA, 2010).

Por los valores encontrados en las concentraciones de nitratos y sulfatos, que podrían afectar aún más la calidad del agua de riego en los agroecosistemas estudiados en las microcuencas Huangamarca y Pollo, podemos afirmar que no hay riesgo en la calidad del agua que es utilizada en los sistemas de

Tabla 2. Contenido de nitratos (meq/l) y sulfatos (meq/l) en tres zonas altitudinales diferentes de la microcuenca Pollo.

Observ.	Microcuenca Huangamarca					
	César Vallejo - Zona alta		San Francisco - Zona media		Huangamarca - Zona baja	
	Nitratos	Sulfatos	Nitratos	Sulfatos	Nitratos	Sulfatos
1	0,70	0,31	0,01	0,02	0,63	0,52
2	0,20	0,70	0,02	0,12	0,40	0,20
3	0,23	0,80	0,04	0,05	0,38	0,20
4	0,05	0,24	0,07	0,25	0,22	0,31
5	0,47	3,20	0,05	0,12	0,25	0,31
6	0,00	0,12	0,00	0,28	0,23	0,63
7	0,04	0,20	0,01	0,02		
8	0,75	0,41				
9	0,26	1,42				
Promedio	0,30	0,82	0,0286	0,1229	0,31517	0,3617
Valor de $t$	-1,540		2,29		-0,10	
Pr > F	0,144		0,003		0,8081	
Valor de F	12,23**		17,33**		1,26 ns	
	$t_c = 1,54 < t_{0,025,16\ gl} = 2,12$		$t_c = 2,29 < t_{0,025,12\ gl} = 2,179$		$t_c = 0,10 < t_{0,025,10\ gl} = 2,228$	

secano y bajo regadío en las producciones agrícolas de las zonas en estudio.

En la zona alta de la microcuenca Pollo no se observaron diferencias significativas entre los nitratos y sulfatos. Ambos compuestos químicos inorgánicos están por debajo del límite permisible, lo cual probablemente se debe al nulo o escaso uso de fertilizantes químicos artificiales en los campos de cultivos que pertenecen al sistema de agricultura familiar.

En Carnachique, zona media de la microcuenca El Pollo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los promedios de los dos compuestos químicos evaluados. En este caso, puede deberse a que se hayan producido mayores pérdidas de nitratos por una mayor tasa de infiltración y un mayor grado de lixiviación con relación a los sulfatos en la zona media, favorecida por la geomorfología de los terrenos con predominancia de relieves ondulados.

En la zona baja, denominada Trigopampa, de la microcuenca Pollo, las concentraciones de nitratos y sulfatos son mayores, como normalmente ocurre porque es en las cuencas de las partes bajas donde se depositan en mayor cantidad los compuestos químicos. Entre las cantidades promedio registradas hay diferencias altamente significativas, y es relevante la presencia de sulfatos que probablemente no han tenido mayor lixiviación debido a una menor precipitación pluvial, que corrobora el registro de dos observaciones de los eventos correspondientes que se muestran en la Tabla 2, respecto a las partes alta y media de la microcuenca Pollo.

## Conclusiones

Este estudio enfatiza en el análisis y evaluación de los potenciales factores de riesgo de las aguas, teniendo en consideración que su uso, además del consumo y la salud, está vinculado a los recursos y potencialidades de la región. Debido a la diversidad productiva de la región La Libertad, el uso del agua se ha venido incrementando en los sectores de la agricultura y la agroindustria; vivienda, construcción y saneamiento; energía (funcionamiento de hidroeléctricas) y minería (lavado de minerales para concentrado, plantas de purificación de minerales y relaves mineros); de producción (fabricación de productos químicos, elaboración de cervezas, gaseosas, pan, curtiembres, productos para la construcción y para la agroexportación). En este sentido, la gestión de los recursos hídricos de la región La Libertad es un factor importante para la sostenibilidad de su medio ambiente y para una mejor performance de su desarrollo económico y social.

Los resultados de los estudios de evaluación de la concentración de nitratos en las aguas superficiales fueron en promedio de 0,214 meq/l y 0,662 meq/l en las microcuencas Huangamarca y Pollo, respectivamente, mientras que los sulfatos, 0,435 meq/l en Huangamarca y 1,321 meq/l en Pollo. Estos valores están por debajo de los niveles permisibles, según los estándares de calidad de agua para riego. Por lo tanto, se concluye que las aguas de escorrentía superficial de las microcuencas estudiadas no tienen riesgos en su utilización.

## Literatura citada

- Amat, C.  
2006. El Perú nuestro de cada día. Cap. 1: Somos un país de montañas tropicales. Universidad del Pacífico. Lima, Perú. 206 p.
- Bolaños, J.; Cordero, G.; Segura, G.  
2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4): 15-27.
- Butinof, M.; Fernández, R.; Muñoz, S.; Lerda, S.; Blanco, M.; Lantieri, M.; Filippi, I.; Franchini, G.; Eandi, M.; Montedoro, F.; Díaz, M.  
2017. Valoración de la exposición a plaguicidas en cultivos extensivos de la Argentina y su potencial impacto sobre la salud. *Rev. Argent. Salud Pública*, 8(33): 8-15.
- Casado, J.; D. Calvo; E. Monterde; Alfonso, P.  
2013. Determinación del origen de los sulfatos disueltos en las aguas de la cuenca del Llobregat en el Bages. En: *La Minería y la Geología Ambiental: Herramientas para el Desarrollo Sostenible*. "Libro de Actas del III. Cataluña, España. pp. 287-296.
- Fernández, N.; Viciano, V.; Drovandi, A.  
2018. Valoración del impacto ambiental total por agroquímicos en la cuenca del río Mendoza. INA. Argentina. 15 p.
- FAO.  
2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Santiago, Chile. 270 p.
- FAO.  
2019. Código Internacional de conducta para el uso y manejo de fertilizantes. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 43 p.
- FAO - OMS.  
2014. Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas. Organización Mundial de la Salud y

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 41 p.
- Lawniczak, A.E.; Zbierska, J.; Nowak, B.; Achtenberg, K.; Grzeskowiak, A.; Kanas, K.  
2016. Impact of agriculture and land use on nitrate contamination in groundwater and running waters in central-west Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(3): 1-17. DOI: 10.1007/s10661-016-5167-9
- Torres G., J.  
1999. La gestión de microcuencas. Cuencas, microcuencas y desertificación en las montañas andinas. CENTRO IDEAS. Lima Perú. 224 p.
- Dourojeanni, A; Lenzi, M.  
1986. Estrategia para el desarrollo y manejo de la región andina: Una propuesta de acción a nivel de cuenca hidrográfica: Anales del seminario taller sobre manejo integral de cuencas hidrográficas. CATIE, Turrialba.
- Escobar, J.  
2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. Naciones Unidas. CEPAL. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago, Chile. 18 p.
- Enkerlin, E.; Cano, G.; Garza; R.; Vgel, E.  
1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. 1ª. Ed. Internacional Thomson Editores, S.A. México. 690 p.
- Huerta, A.P.  
2015. Evaluación de factores que afectan los agroecosistemas en las microcuencas Huangamarca y Pollo, cuenca alta del río Moche. 164 p.
- Melvin, S.W.; Baker, J.L.; Hickman, J.S.; Moncrief, J.F.; Wollenhaupt, N.C.  
1992. Water Quality. In: Midwest Plan Service (ed.), Conservation tillage systems and management. Iowa State University, Ames, Iowa, USA. pp. 48-55.
- Olivera, J.  
2001. Manejo agroecológico del predio: guía de planificación. Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología (CEA). 308 p.
- Perdomo C.H.; Casanova O.N.; Ciganda V.S.  
2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencia*, 1: 10-22.

