



## ¿El consumo de agua con alta concentración de arsénico provoca anemia infantil?

Does drinking water with a high concentration of arsenic cause anemia in children?

Oscar Junior Paredes-Vilca<sup>1\*</sup>; Edson Apaza Mamani<sup>2</sup>; Alfredo Calatayud Mendoza<sup>2</sup>; Agripina Vilca-Castro; Erick Antonio Suarez-Peña<sup>3</sup>; Luis Jiménez Díaz<sup>1</sup>

1 Doctorado en Economía de la Recursos Naturales y el Desarrollo Sustentable, Universidad Nacional Agraria La Molina. Ciudad Universitaria, Av. La Molina S/N, La Molina, Lima, Perú.

2 Facultad de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano. Ciudad Universitaria, Av. Universitaria S/N, Tumbes, Perú.

3 Departamento de Biotecnología Agrícola, Universidad Nacional de Tumbes. Ciudad Universitaria, Tumbes, Perú.

\*Autor corresponsal: [11oscarilo@gmail.com](mailto:11oscarilo@gmail.com) (O.J. Paredes-Vilca).

ID ORCID de los autores

O. Paredes-Vilca:  <https://orcid.org/0000-0003-2301-3675>

E. Apaza Mamani:  <https://orcid.org/0000-0001-9169-077X>

A. Calatayud Mendoza:  <https://orcid.org/0000-0002-1213-0035>

A. Vilca-Castro:  <https://orcid.org/0000-0003-3958-0279>

E.A. Suarez-Peña:  <https://orcid.org/0000-0003-0137-8251>

L. Jimenez Diaz:  <https://orcid.org/0000-0002-6082-1893>

---

### RESUMEN

Se cree que la anemia es generada por la carencia de hierro, empero esta también puede ser inducida por factores: nutricionales, socioeconómicos y ambientales (consumo de agua con alta concentración de arsénico). El presente estudio modela el impacto del consumo de agua de pozo sobre la probabilidad de ausencia de anemia en niños de 6 a 36 meses de edad de la ciudad de Juliaca, Perú. La información analizada proviene de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2017, mediante modelos de respuesta ordenada se analizaron 201 observaciones correspondientes a hogares de Juliaca. Los resultados indican que el consumo de agua de pozo disminuye en 9,7% ( $p < 0,05$ ) la probabilidad de ausencia de anemia, 1 miembro adicional en la familia reduce la probabilidad de ausencia de anemia en 8,7% ( $p < 0,01$ ), el incremento en 1 g en la hemoglobina de la madre aumenta la probabilidad de ausencia de anemia en el hijo en 6,7% ( $p < 0,01$ ). En consecuencia, para mitigar la prevalencia de anemia es preciso: asegurar la calidad del agua para consumo humano, implementar actividades que mejoren los indicadores nutricionales de niños y sus respectivas madres.

**Palabras clave:** anemia; arsénico; modelo logit ordenado; variable dependiente ordenada; agua de pozo.

### ABSTRACT

It is believed that anemia is caused by iron deficiency, but it can also be induced by factors: nutritional, socioeconomic, and environmental (like consumption of water with high arsenic concentration). This research models the impact of well water consumption on the probability of absence of anemia in children 6 to 36 months age from Juliaca city, Peru. The data analyzed comes from the Demographic and Family Health Survey 2017, using ordered response models, 201 observations about households in Juliaca were analyzed. The outputs indicate that the consumption of well water reduces the probability of anemia absence in 9.7% ( $p < 0.05$ ), 1 more family member reduce the probability of anemia absence in 8.7% ( $p < 0.01$ ), the 1 g increase in the mother's hemoglobin increases the probability of anemia absence in the child in 6.7% ( $p < 0.01$ ). Consequently, to mitigate the anemia prevalence it is necessary: ensure the quality of water for human consumption, implement activities that improve the nutritional indicators of children and their respective mothers.

**Keywords:** Anemia; arsenic; ordered response models; ordered response variable; well water.

---

Recibido: 26-08-2020.

Aceptado: 22-09-2020.

## INTRODUCCIÓN

La anemia en niños constituye uno de los problemas más álgidos de salud en el Perú, de acuerdo con el INEI en la ciudad de Juliaca cerca del 64% de niños entre los 6 a 36 meses de edad la padecen. Se cree que la causa más común de anemia es la carencia de hierro (OMS, 2011; Tutic *et al.*, 2015), razón por la cual se interviene proporcionando micronutrientes con la finalidad de mitigar el problema (Siekman *et al.*, 2017), empero esta enfermedad puede ser causada por: otras carencias nutricionales como la desnutrición crónica (Righetti *et al.*, 2013), parasitosis o enfermedades que afecten la síntesis de hemoglobina. Por tanto, no todas las anemias son causadas por ferropenia (OMS, 2011). De otra parte, el estado de salud de la madre también es importante para detectar anemia en niños menores de 3 años, las investigaciones de Leal *et al.* (2011) y Velásquez-Hurtado *et al.* (2016) encuentran asociación entre anemia materna y anemia en lactantes, es decir que los lactantes como sus respectivas madres reportaban padecer la enfermedad.

En Camboya existe baja prevalencia de anemia debido a la alta concentración de hierro en el agua potable (Karakochuk *et al.*, 2015), siendo esta una externalidad positiva del medio ambiente sobre la salud de las personas. Sin embargo, existen casos donde la contaminación de los cuerpos de agua puede causar daños a la salud humana (Yao *et al.*, 2016). Por su parte, Kumar *et al.* (2020) sostienen que la contaminación de aguas subterráneas por arsénico es un problema de salud pública mundial, consideran que más de 300 millones de personas en todo el mundo están expuestas a este envenenamiento.

En Juliaca y Caracoto el 96% de muestras de agua subterránea (agua de pozo) presentan concentraciones de arsénico entre 51 a 100 mg/l, cifras que superan ampliamente los límites máximos permitidos por la Organización Mundial de la Salud equivalente a 10 mg/l (George *et al.*, 2014). El Plan de Desarrollo Urbano 2016-2025 de Juliaca señala que el abastecimiento de agua y desagüe es limitado debido a la infraestructura obsoleta, siendo el

servicio limitado en cuanto a cobertura y deficiente en cuanto a calidad, en barrios urbano marginales y zonas peri urbanas los pobladores se abastecen de agua mediante pozos tubulares (agua subterránea) además de usar letrinas.

A través de diferentes técnicas de correlación estadísticas, diversos trabajos de investigación relacionan el consumo de agua potable con distintos niveles de concentración de arsénico con la salud de las personas, obteniendo como resultado asociaciones directas entre prevalencia de anemia en los moradores y agua potable con altas dosis de arsénico (Cotta *et al.*, 2011; Leal *et al.*, 2011; Surdu *et al.*, 2015; Kile *et al.*, 2016; Taheri *et al.*, 2016; Parvez *et al.*, 2017; Stewart *et al.*, 2019).

En relación a las características socioeconómicas, la condición de pobreza y pobreza extrema de las familias repercuten de manera directa en la presencia de anemia en infantes (Velásquez-Hurtado *et al.*, 2016; Cárdenas-Quintana y Roldan-Arbieto, 2017; Magalhães *et al.*, 2018), al respecto Kuehnle (2014) concluye que el ingreso familiar tiene un efecto pequeño sobre la salud del niño, pero ningún efecto sobre las condiciones crónicas de salud aparte de enfermedades respiratorias. El tamaño del hogar es otra característica que explica la existencia de anemia, Feleke *et al.* (2017) sostienen que en familias de menos de 4 integrantes existen menor probabilidad de tener niños anémicos.

El estado del arte revela que existen diversos factores que se asocian con la anemia. Es preciso señalar que los estudios antes citados recurrieron a técnicas de correlación para encontrar sus evidencias.

En el presente trabajo de investigación se formuló un modelo econométrico que simplifique la realidad y de manera conjunta considerando características de salubridad de la madre y del infante, aspectos socioeconómicos del hogar y sus particularidades ambientales (consumo de agua), explique las causas de la alta prevalencia de anemia en niños de 6 a 36 meses de edad de la ciudad de Juliaca, así como determine el impacto del consumo de agua de pozo sobre la anemia en niños.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la consecución del objetivo de investigación, se utilizó información de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar del Instituto Nacional de Estadística e Informática cuyos datos corresponden al periodo 2017. Para el análisis se consideraron los módulos: "características del hogar", "características de la vivienda", "Peso y Talla - Anemia". Mediante el software Stata 14 se lograron vincular las bases de datos a través del comando "merge", el cual utiliza variables y observaciones comunes entre módulos para luego fusionarlos, una vez fusionado las bases de datos se filtró la información tan solo para la ciudad de Juliaca,

obteniendo 201 observaciones que muestran las particularidades de niños entre los 6 a 36 meses y sus respectivos hogares, las variables empleadas en la investigación se describen en la tabla 1.

### Métodos

La variable dependiente o variable explicada es el Nivel de anemia que posee el niño, esta variable tiene como característica ser discreta y ordenada, para el análisis de este tipo de datos existen modelos estándar denominados, modelo logit ordenado y modelo probit ordenado (Cameron y Trivedi, 2009).

**Tabla 1**  
Variables del modelo de anemia

Variable dependiente		
Nivel de anemia NA		Variable cualitativa, toma los valores 1: niño con anemia "severa" 2: niño con anemia "moderada" 3: niño con anemia "leve" 4: niño "sin anemia"
Variable independiente	Signo esperado	Definición
Altura AL	Positivo	Variable continua que expresa la altura del niño (cm), nutricionalmente se cree que mientras más alto el niño, mayor posibilidad de carecer de anemia.
Hemoglobina madre MomHB_aj	Positivo	Nivel de hemoglobina ajustada de la madre, se espera que, a mayor nivel de hemoglobina de la madre, el hijo tendrá mayor probabilidad de no ser anémico
Número miembros del hogar NMH	Negativo	Variable discreta que indica la cantidad de miembros que posee el hogar. Se espera que a > tamaño de hogar < la probabilidad que el hijo no padezca de anemia, debido a que un hogar grande tiene mayores necesidades.
Índice de riqueza del hogar IR	Positivo	Variable politémica ordenada 1: Hogar muy pobre 2: Hogar pobre 3: Hogar clase media 4: Hogar rico 5: Hogar muy rico A > índice de riqueza del hogar > la probabilidad que el niño no tenga anemia.
Agua de pozo	Negativo	Variable dummy: 1: El consumo de agua proviene de un pozo 0: en caso contrario. Sí el niño consume agua de pozo, es menos probable que no tenga anemia.

Una vez estimado el modelo econométrico es necesario obtener los efectos marginales a fin de obtener el impacto imputado al consumo de Agua de pozo sobre el nivel de anemia. La variable índice de riqueza fue desagregada en 5 categorías para estimar el impacto que posee cada una sobre el nivel de anemia.

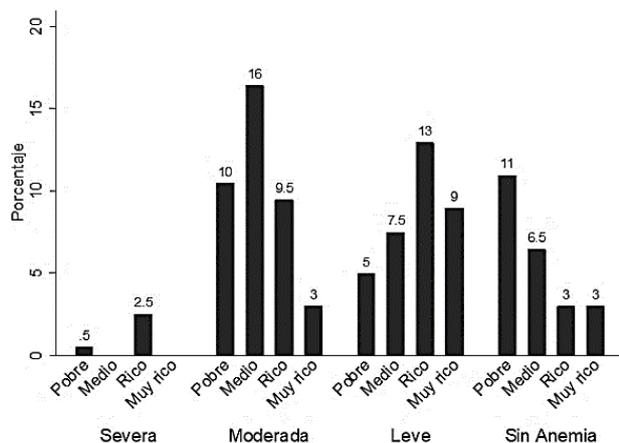
La forma funcional (logit o probit) del modelo ordenado queda establecida por la distribución del término de error, en modelos probit el término de error posee distribución normal (Wooldridge, 2015), el test de Shapiro Wilk indica que para valores superiores a 0,05 de la probabilidad de Z el término de error de las variables continuas posee distribución normal, la tabla 2 muestra que el valor de la probabilidad de Z de las variables: altura del niño AL y nivel de hemoglobina ajustada de la madre MomHB\_aj es inferior a 0,05 por tanto no presentan distribución normal, en consecuencia el modelo adecuado es el logit ordenado.

**Tabla 2**  
Test de normalidad a variables continuas

Variable	Observaciones	Z	Prob > Z
AL	201	4,809	0,00
MomHB_aj	201	6,304	0,00

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las estadísticas descriptivas manifiestan que no existen familias en situación de pobreza extrema en Juliaca, el 26,5% de ellas son pobres, el 30% son de condición económica media y el 28% y 15% de las familias tienen la categoría de ricas y muy ricas respectivamente. El 23,5% de los niños carecen de anemia, los casos de anemia leve ascienden a 34,5% y el 38,5% padecen anemia moderada.



**Figura 1.** Nivel de anemia por condición socioeconómica

La regresión del modelo, indica los efectos esperados de las variables exógenas sobre la variable endógena y el nivel de significancia de

cada variable, salvo la condición económica (Rico) de la familia, el resto de variables presentan los signos esperados. Las variables de salubridad: altura del infante AL y nivel de hemoglobina ajustada de la madre MomHB\_aj son estadísticamente significativas al 5% y 1% respectivamente. Las variables socioeconómicas: número de miembros del hogar NMH y categoría de riqueza de la familia Rico son significativas al 1% y 10% respectivamente, el resto de estratos económicos (muy rico, medio y pobre) fueron excluidos del modelo por no presentar niveles de significancia individual aceptables. La variable de índole ambiental consumo de Agua de pozo presenta un nivel de significancia individual de 10%, tal como muestra la Tabla 3.

En lo concerniente a los efectos marginales, estos fueron estimados para la categoría 4 de la variable dependiente (Niño sin anemia). El efecto marginal de la variable objeto de investigación Agua de pozo, presenta mayor robustez de manera estadística por mostrar un nivel de significancia al 5%, esto nos indica que si una familia consume Agua de pozo la probabilidad de que su hijo carezca de anemia disminuye en 9,7%. Respecto a las variables de salubridad, el efecto marginal de la altura del niño AL es bastante leve pero significativo así en caso el niño aumentase su altura en 1 centímetro la probabilidad que no presente anemia sube 0,7%; de manera similar un incremento en 1 gramo en el

nivel de hemoglobina de la madre genera que la probabilidad de ausencia de anemia en el hijo suba 6,7%. Con relación al tamaño familiar, el incremento de 1 integrante en el hogar disminuye la probabilidad de ausencia de anemia en el niño en 8,7%, tal como señala la Tabla 3.

**Tabla 3**

Coefficientes y efectos marginales del modelo

Variable	Coefficiente	Efecto marginal
AL	0,051**	0,007**
MomHB_aj	0,445***	0,067***
NMH	-0,577***	-0,087***
MRico	-	-
Rico	-0,613*	-0,085**
Agua de pozo	-0,801*	-0,097**

\*\*\* Sig. al 1%; \*\* Sig. al 5% y \*Sig. al 10%

Con relación a las variables de salubridad, el nivel de hemoglobina ajustada que posee la madre MomHB\_aj es altamente significativa al momento de explicar la probabilidad de anemia en sus propios hijos, evidencias similares de existencia de anemia en niños que es determinada por anemia materna la encuentran (Velásquez-Hurtado *et al.*, 2016; Leal *et al.*, 2011). Los indicadores más utilizados en nutrición son el peso y la talla, Righetti *et al.* (2013) asocian desnutrición y anemia, nuestros resultados son afines y muestran que

incrementos en la talla de niños de 6 a 36 meses de edad aumentan la probabilidad de ausencia de anemia en sí mismos, si bien la magnitud del efecto es bastante leve está es estadísticamente significativa.

Respecto a las características socioeconómicas de las familias, el tamaño familiar indica que mientras más integrantes tenga una familia disminuye la probabilidad de tener un niño sin anemia, resultados que concuerdan con los de Feleke *et al.* (2017). Si bien se esperaba que los niños pertenecientes a familias de posición económica "Rico" presenten mayores probabilidades de ausencia de anemia, el efecto contrario de esta variable posiblemente se deba a que cerca del 75% de los niños Juliaqueños padecen de anemia y el 43% de las familias exhiben niveles de riqueza entre Muy rico y Rico, por su parte Falivene y Fattore (2016) no hallan diferencias en la prevalencia de anemia en niños menores de dos años de acuerdo a las necesidades básicas insatisfechas.

En cuanto al consumo de agua subterránea (agua de pozo), nuestros resultados concuerdan con las evidencias de Taheri *et al.* (2016), Surdu *et al.* (2015), Kile *et al.* (2016) y Parvez *et al.* (2017) sobre asociación directa entre agua con concentraciones de arsénico y prevalencia de anemia en los consumidores.

## CONCLUSIONES

La anemia no solamente es inducida por deficiencia de hierro, sino existen otros factores que influyen en su prevalencia. Para el caso de Juliaca, se utilizaron modelos de respuesta ordenada debido a que la variable de estudio presenta dicha característica. Queda así demostrado que la elevada concentración de arsénico en el agua subterránea (pozo) en la ciudad de Juliaca, pone en

riesgo la salud de los pobladores que se abastecen de ella, hecho que incrementa las probabilidades de prevalencia de anemia en sus menores hijos y en las madres de familia puesto que existe relación directa entre anemia materna y anemia infantil. Es preciso realizar estudios con información primaria a fin de obtener evidencias más consistentes, y poder general políticas al respecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cameron, C.; Trivedi, P. 2009. *Microeconometrics Using Stata*. Stata Press, United States of America. 706 pp.
- Cárdenas-Quintana, H.; Roldan-Arbieto, L. 2017. Prevalencia de anemia en adultos mayores no institucionalizados de Lima Metropolitana, en relación al nivel socioeconómico. *Revista Chilena de Nutrición* 44(2): 131-136.
- Cotta, R.; Magalhães, K; Ribeiro, A; *et al.* 2011. Social and biological determinants of iron deficiency anemia. *Cadernos de Saúde Pública* 27(2): s309-s320.
- Falivene, M.; Fattore, G. 2016. Abordaje multidimensional de la anemia por deficiencia de hierro en niños menores de dos años de edad del Noreste Argentino. *Años 2004-2005*. *Archivos Argentinos de Pediatría* 114(1): 14-22.
- Feleke, B.; Derby, A.; Zenebe, Y.; *et al.* 2017. Burden and determinant factors of anemia among elementary school children in northwest Ethiopia: A comparative cross sectional study. *African Journal of Infectious Diseases* 12(1): 1-6.
- George, C.; Sima, L.; Arias, M.; *et al.* 2014. Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization* 92(8): 565-572.
- Karakochuk, C.; Murphy, H.; Whitfield, K.; *et al.* 2015. Elevated levels of iron in groundwater in Prey Veng province in Cambodia: a possible factor contributing to high iron stores in women. *Journal of Water and Health* 13(2): 575-586.
- Kile, M.; Faraj, J.; Ronnenberg, A.; *et al.* 2016. A cross sectional study of anemia and iron deficiency as risk factors for arsenic-induced skin lesions in Bangladeshi women. *BMC Public Health* 16(1): 158.
- Kuehnle, D. 2014. The causal effect of family income on child health in the UK. *Journal of Health Economics* 36: 137-150.
- Kumar, A.; Ali, M.; Kumar, R.; *et al.* 2020. High Arsenic Concentration in Blood Samples of People of Village Gaspur Mahaji, Patna, Bihar Drinking Arsenic-Contaminated Water. *Exposure and Health* 12: 131-140.
- Leal, L.; Batista, M.; Lira, P.; *et al.* 2011. Prevalência da anemia e fatores associados em crianças de seis a 59 meses de Pernambuco. *Revista de Saúde Pública* 45(3): 457-466.
- Magalhães, E.; Maia, D.; Pereira, M.; *et al.* 2018. Análise hierarquizada dos fatores associados à anemia em lactentes. *Revista Paulista de Pediatría* 36(3): 275-285.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. 2011. Concentraciones de hemoglobina para diagnosticar la anemia y evaluar su gravedad. Disponible en: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/85842/WHO\\_NMH\\_NHD\\_MNM\\_11.1\\_spa.pdf?ua=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/85842/WHO_NMH_NHD_MNM_11.1_spa.pdf?ua=1)
- Parvez, F.; Medina, S.; Santella, R.; *et al.* 2017. Arsenic exposures alter clinical indicators of anemia in a male population of smokers and non-smokers in Bangladesh. *Toxicology and Applied Pharmacology* 331: 62-68.
- PDU-Juliaca. 2017. Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Juliaca 2016-2025. Disponible en: <http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/documentos/s/PDU/Juliaca/2 Volumen 2 - PDU Juliaca 2016-2025.pdf>

- Righetti, A.; Adiossan, L.; Ouattara, M.; *et al.* 2013. Dynamics of Anemia in Relation to Parasitic Infections, Micronutrient Status, and Increasing Age in South-Central Côte d'Ivoire. *The Journal of Infectious Diseases* 207(10): 1604–1615.
- Siekman, K.; Bégin, F.; Situma, R.; *et al.* 2017. The potential role of micronutrient powders to improve complementary feeding practices. *Maternal & Child Nutrition* 13: e12464.
- Stewart, C.; Dewey, K.; Lin, A.; *et al.* 2019. Effects of lipid-based nutrient supplements and infant and young child feeding counseling with or without improved water, sanitation, and hygiene (WASH) on anemia and micronutrient status: results from 2 cluster-randomized trials in Kenya and Bangladesh. *The American Journal of Clinical Nutrition* 109(1): 148–164.
- Surdu, S.; Bloom, M.; Neamtii, I.; *et al.* 2015. Consumption of arsenic-contaminated drinking water and anemia among pregnant and non-pregnant women in northwestern Romania. *Environmental Research* 140: 657–660.
- Taheri, M.; Mehrzad, J.; Mahmudy, M.; *et al.* 2016. High soil and groundwater arsenic levels induce high body arsenic loads, health risk and potential anemia for inhabitants of northeastern Iran. *Environmental Geochemistry and Health* 38(2): 469–482.
- Tutic, A.; Novakovic, S.; Lutovac, M.; *et al.* 2015. The Heavy Metals in Agrosystems and Impact on Health and Quality of Life. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences* 3(2): 345–355.
- Velásquez-Hurtado, J.; Rodríguez, Y.; Gonzáles, M.; *et al.* 2016. Factores asociados con la anemia en niños menores de tres años en Perú: análisis de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar, 2007-2013. *Biomédica* 36(2): 220-229.
- Wooldridge, J. M. 2015. *Introducción a la Econometría* 5th edición. Cengage Learning, México DF. 878 pp.
- Yao, H.; You, Z.; Liu, B. 2016. Economic Estimation of the Losses Caused by Surface Water Pollution Accidents in China From the Perspective of Water Bodies' Functions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13(2): 154-166.