**Análisis de la funcionalidad de bombas de agua en Tanzania a través de un modelo mixto con una regresión logística**

**Miguel Coto-Pereira1, Natalia Díaz-Ramírez1, Andrés Flores-Cruz1-2**

1Estudiante de Estadística, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica

2Estudiante de Microbiología y Química Clínica, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica

**RESUMEN**

Uno de los principales desafíos presentes en Tanzania es el recurso hídrico debido a problemas de abastecimiento de agua por el difícil acceso y falta de potabilidad, ya que la principal fuente de agua es la extraída mediante pozos ubicados en ocasiones en zonas de alta contaminación.

El objetivo de la investigación es predecir la funcionalidad de las bombas de agua ubicadas los pozos en Tazania a partir de variables acerca del tipo, instalación y administración de la bomba en funcionamiento. Para esto se realizó un modelo mixto con una de regresión logística.

Principales resultados

conclusión

**Palabras clave**

Tanzania, bombas de agua, regresión logística, modelo mixto

**INTRODUCCIÓN**

Los problemas con el recurso hídrico a nivel mundial se pueden clasificar en escases y mala distribución, además de la falta de potabilidad que se puede presentar en cualquiera de estos dos escenarios. Algunos de los criterios para considerar el agua como potable y adecuada para el consumo humano son: ausencia de bacterias productoras de enfermedad como algunas cepas de *E.coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella* o *Shigella* y trazas (mg/L) de elementos como Plomo, Cobre y Arsénico.1

Para el 2015 a nivel mundial, se reportó que un 91% de la población mundial tenía acceso a fuentes de agua para consumo mejoradas (FACM), esto se define como una fuente que por la naturaleza de su construcción y cuando se usa de manera adecuada, previene de la contaminación del agua, especialmente con material fecal.2

El continente que presenta más problemas en relación a este tema es África, especialmente en los países de la región subsahariana, a la cual pertenece Tanzania. Para los 38 países de los que se tiene datos en esta región, se estima que 338 millones de personas no tienen acceso a FACM, el lavado de manos es a lo sumo del 50% entre la población, 1 de cada 5 muertes en personas menores de 5 años se asocia a problemas por el acceso a agua y se calculó que el total del tiempo que las personas de estos países invierte en recolección de agua se aproxima a 40 billones de horas por año.3-4

Tanzania está en la posición 151 según los indicadores de desarrollo humano, en comparación a Estados Unidos que está en la posición 8, Costa Rica en la posición 69, México en la 74 y Sudáfrica en la 169.5 Los problemas con el recurso hídrico en Tanzania son de distribución, acceso y saneamiento. A pesar de que el país está rodeado por tres grandes lagos, el acceso a estas fuentes es muy complejo para la mayoría de la población, dado que habita zonas centrales del país. Esto implica que la mayor fuente de agua es la que proviene de los suelos, que por lo general está contaminada y comúnmente se puede llegar a contener en pozos.6

Se estima que en este país africano un 46% de la población (equivalente a 24 217 400 personas) no tiene acceso a FACM y solo un 20% de la población se puede lavar las manos antes de ingerir alimentos.7 Este problema se da en gran medida por la distancia que existe de los poblados a un pozo de agua o a un pozo funcional. El gobierno del país, específicamente el Ministerio de Agua e Irrigación, a través de varias de sus dependencias como lo son la Compañía de Construcción de Represas y Perforaciones, ha propuesto varios proyectos para mejorar, en general, la calidad de agua en zonas urbanas y aumentar el acceso al recurso en zonas rurales.8

El presente trabajo pretende predecir la funcionalidad de las bombas de agua ubicadas en Tazania a partir de variables acerca del tipo, instalación y administración de la bomba en funcionamiento.

Conociendo el estado de las bombas de agua de manera anticipada permitiría optimizar las labores de reparación, para así brindar acceso a agua de calidad, lo cual disminuiría la incidencia de cierto tipo de enfermedades e incrementaría de manera general la calidad de vida de la población de Tanzania.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

Los datos utilizados para el análisis se tomaron de .. Se tomó una muestra de 1000 pozos de agua.

El diseño experimental es un modelo mixto con una regresión logística. Se consideró como unidad de análisis la bomba de agua. La variable respuesta es el estado de la bomba de agua, cuyas categorías son funcional y no funcional.

Las variables independientes son:

**Variables continuas**

* population: población alrededor del pozo
* amount\_tsh: cantidad de agua disponible (Total Static Head)
* gps\_height: altitud del pozo
* age: edad del pozo

**Variables categóricas**

* Región: ubicación geográfica
* waterpoint\_type\_group: tipo del punto de agua
* quantity: cantidad de agua
* source: fuente del agua
* extraction\_type\_class: tipo de extracción que el punto de agua utiliza
* management: cómo se gestiona el punto de agua
* payment\_type: tipo de pago del agua
* funder: quien financia el pozo de agua

Sea Y: número de bobas de agua funcionales, donde

El modelo que se utilizó es el siguiente:

Donde los factores aleatorios son waterpoint\_type y funder.

Para las pruebas realizadas se utilizó un nivel de significancia de 0,05.

**RESULTADOS**

Para el análisis se asumió que no hay interacción entre las variables, debido a dificultades en el proceso computacional.

Al analizar el efecto de las variables aleatorias con una prueba de razón de verosimilitud (LRT) se obtuvo que para la variable financiamiento del pozo de agua el estadístico correspondiente a una ji-cuadrado es de 5.09 y la probabilidad asociada fue de 0.024, por lo que se rechaza la hipótesis nula de que la variancia de financiamiento del pozo es igual a cero, con un nivel de significancia de 0,05. Se puede asumir que hay un efecto de quien financia el pozo en el estado de las bombas de agua. Así mismo, para la variable tipo del punto de agua se obtuvo un estadístico de 7.78 y una probabilidad asociada de 0.005, por lo que se rechaza la hipótesis nula de que la variancia del tipo del punto de agua es igual a cero, con un nivel de significancia de 0,05. Entonces se puede asumir que si hay un efecto del tipo del punto de agua en el estado de las bombas de agua.

Además, del Cuadro 1 se puede observar que no hay un efecto en el estado de las bombas de agua de las siguientes variables: población alrededor del pozo, altura del pozo, gestión del punto de agua. En cuanto a las variables que si tienen un efecto en el estado de las bombas de agua corresponden a las siguientes: cantidad de agua disponible (TSH), edad del pozo, región, tipo de extracción, fuente del agua, tipo de pago del agua, cantidad de agua.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Cuadro 1. Resultados de prueba de razón de verosimilitud para analizar el efecto de las variables en el estado de las bombas de agua** | | |
| **Variable** | **Estadístico** | **Probabilidad asociada** |
| Población alrededor del pozo | 0.00 | 1.00 |
| Altura del pozo | 0.39 | 0.53 |
| Gestión del punto de agua | 8.49 | 0.21 |
| Cantidad de agua disponible(TSH) | 3.99 | 0.05 |
| Edad del pozo | 20.03 | 0.00 |
| Región | 26.30 | 0.05 |
| Tipo de extracción | 13.87 | 0.02 |
| Fuente del agua | 21.32 | 0.01 |
| Tipo de pago del agua | 22.48 | 0.0004 |
| Cantidad de agua | 151.02 | 2.2x10-16 |

A continuación, se interpretan los intervalos de la razón de odds de las variables correspondientes:

**Cantidad de agua disponible(TSH)**

Se obtuvo un OR de 1.024 y al aumentar la cantidad de agua en 100 unidades, la propensión de que la bomba sea funcional aumenta entre 1.2% y 3.6%, mantiendo las demás variables constantes

**Edad del pozo**

Se obtuvo un OR de 1.21 y al aumentar la edad del pozo en 5 años la propensión de que la bomba sea funcional aumenta entre 16.41% y 24.98%, manteniendo constantes las demás variables.

**Tipo de extracción**

Del Cuadro 2 se puede decir que, si se mantiene constante las otras variables, la propensión de que la bomba sea funcional en el tipo de extracción por bomba de mano es entre 65% y 94% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en el tipo de extracción bomba de motor. Además, la propensión de que la bomba sea funcional en el tipo de extracción por bomba de mano es entre 62% y 92% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en otro tipo de extracción. Así mismo, la propensión de que la bomba sea funcional en el tipo de extracción por bomba de mano es entre 19% y 91% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en el tipo de extracción por bomba de cuerda.

Para el tipo de extracción por gravedad la propensión de que la bomba sea funcional es entre 1.6 y 7.9 veces la propensión de que la bomba sea funcional en el tipo de extracción por bomba de mano.

Los otros intervalos contienen al 1 por lo que las propensiones respectivas de que la bomba sea funcional son iguales (ver Cuadro 2).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cuadro 2. Razón de odds e intervalos de confianza para la variable tipo de extracción** | | | |
| **Comparación** | **OR** | **Límite inferior** | **Límite superior** |
| Gravedad-bomba de mano | 3,56 | 1,61 | 7,92 |
| Gravedad-bomba de motor | 0,52 | 0,22 | 1,24 |
| Gravedad-Otro | 0,61 | 0,28 | 1,33 |
| Gravedad-bomba de cuerda | 0,98 | 0,34 | 2,85 |
| Bomba de mano-bomba de motor | 0,15 | 0,06 | 0,35 |
| Bomba de mano -otro | 0,17 | 0,08 | 0,38 |
| Bomba de mano -bomba de cuerda | 0,27 | 0,09 | 0,81 |
| Bomba de motor-otro | 1,18 | 0,5 | 2,75 |
| Bomba de motor-bomba de cuerda | 1,89 | 0,6 | 5,91 |
| Otro-bomba de cuerda | 1,6 | 0,56 | 4,57 |

**Fuente del agua**

Se obtienen las siguientes interpretaciones de los intervalos de confianza de la razón de odds (ver Cuadro 3 en anexos).

La propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua de una presa es entre 96% y 98% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un lago. Además, la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua de una presa es entre 2.3 y 22.3 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente por agua de lluvia. Así mismo, la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua de una presa es entre 1.5 y 6.9 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua de un río.

Para la fuente de agua hand dtw se obtuvo que la propensión de que la bomba sea funcional en dicha fuente de agua es entre 26% y 97% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un lago. La propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua hand dtw es entre 3.2 y 40.9 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente por agua de lluvia. Así mismo, la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua hand dtw es entre 2.05 y 12.63 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un río.

Para fuente de agua por un lago la propensión de que la bomba sea funcional entre 3.4 y 44.5 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por máquina. Además, la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un lago es entre 1.53 y 88.32 veces la propensión de que la bomba sea funcional en otra fuente de agua. Así mismo, la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua de un lago es entre 14.32 y 391.51 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente por agua de lluvia.

La propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un lago es entre 9.2 y 120.8 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un río. La propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un lago es entre 1.9 y 28.1 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por pozo superficial.

Para fuente de agua por máquina la propensión de que la bomba sea funcional es entre 2.28 y 16.04 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente por agua de lluvia. Además, la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por máquina es entre 1.47 y 4.95 veces la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un río.

La propensión de que la bomba sea funcional en fuente por agua de lluvia es entre 73% y 96% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por pozo superficial.

La propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por un río es entre 73% y 89% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en fuente de agua por pozo superficial.

**Tipo de pago del agua**

La propensión de que la bomba sea funcional en tipo de pago del agua anualmente es entre 7% y 69% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en el que nunca paga. Así mismo, la propensión de que la bomba sea funcional en tipo de pago anualmente es entre 41% y 91% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en algún otro tipo de pago.

En tipo de pago mensual la propensión de que la bomba sea funcional es entre 38% y 74% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en el que nunca paga. La propensión de que la bomba sea funcional en tipo de pago mensual es entre 38% y 93% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en algún otro tipo de pago.

La propensión de que la bomba sea funcional en los que nunca pagan es entre 1.1 y 3.2 veces la propensión de que la bomba sea funcional en tipo de pago del agua en caso de fallo. Además, la propensión de que la bomba sea funcional en los que nunca pagan es entre 3% y 82% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en algún otro tipo de pago. La propensión de que la bomba sea funcional en pago en caso de falla es entre 43% y 91% menor que la propensión de que la bomba sea funcional en algún otro tipo de pago.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cuadro 4. Razón de odds e intervalos de confianza para la variable tipo de pago del agua** | | | |
| **Comparación** | **OR** | **Límite inferior** | **Límite superior** |
| anualmente-mensualmente | 1,34 | 0,76 | 2,35 |
| anualmente -nunca paga | 0,54 | 0,31 | 0,93 |
| anualmente -en caso de fallo | 1,01 | 0,53 | 1,93 |
| anualmente-Otro | 0,23 | 0,09 | 0,59 |
| mensualmente -nunca paga | 0,4 | 0,26 | 0,62 |
| mensualmente -en caso de fallo | 0,76 | 0,44 | 1,29 |
| mensualmente-Otro | 0,17 | 0,07 | 0,4 |
| Nunca paga-en caso de fallo | 1,88 | 1,11 | 3,16 |
| Nunca paga-otro | 0,42 | 0,18 | 0,97 |
| En caso de fallo-Otro | 0,22 | 0,09 | 0,57 |

**Cantidad de agua y Región**

Respecto a los intervalos de confianza de la razón de odds para estas variables no se puede dar ninguna conclusión ya que dichos intervalos son muy grandes.

En cuanto al modelo utilizado se obtuvo un coeficiente de determinación marginal de 0.9060, por lo que hay un buen ajuste del modelo. Además, se obtuvo que el modelo clasifica bien el 81% de los casos.

**DISCUSIÓN**

Varios estudios han determinado que el acceso al agua en Tanzania está es gran medida limitado por la condición de los pozos de los cuales se obtiene el recurso, siendo este medio el más común para obtener agua en el país, ya que la mayor parte de la población habita en zonas rurales.7-9

A pesar de la cantidad de personas que viven alrededor de los pozos, lo cual es una variable que está estrechamente relacionada con el uso de estos, no es un componente que influya de manera significativa sobre el estado de los mismos, así como la altura a la que se encuentre el pozo y gestión del punto agua. Sin embargo, si existe un efecto del tipo de pozo y quien lo financia en el estado de las bombas de agua.

Al aumentar el TSH (Total Static Head), referente a la cantidad de agua disponible en los pozos, en 100 unidades hace que la propensión de que sea funcional incremente, pero no mucho. Es decir, pozos con una mayor disponibilidad de agua, en general, se pueden considerar como mejores. Así mismo, se determinó que un pozo de reciente construcción, posee una mayor propensión a fallar.

En general, cuando la extracción se realiza a mano la propensión de que la bomba sea funcional es menor que la realizada por cuerda, motor, gravedad y otro tipo de extracción.

En cuanto a la fuente de agua, si esta es un lago la propensión de que la bomba sea funcional es mayor en comparación a las otras fuentes como por ejemplo por pozo superficial, máquina, lluvia o por río. Esto debido a que el país se encuentra rodeado por lagos como Victoria, Tanganica y Malawi, sin embargo, la disponibilidad de agua no es la misma para las diferentes zonas del país.10 Además fuentes de agua por lluvia o por río son las que tienen una menor propensión de que la bomba sea funcional, debido a que estas dependen de la frecuencia de precipitación. De mayo a noviembre, generalmente, llueve en promedio 57 mm, lo cual no es beneficioso para las regiones.11

Se determinó que existe un efecto en el tipo de pago del agua en el estado de la bomba. Donde el pago anual, mensual y los que pagan en caso de fallo presentan menor posibilidad que los que nunca pagan, de que la bomba de agua sea funcional. Sin embargo, la propensión de que la bomba sea funcional para los que nunca pagan es menor que otro tipo de pago.

**CONCLUSIONES**

Aportes del modelo, estado general del país con base en el modelo y sugerencias para generar un mejor modelo.

**REFERENCIAS**

1. New Hampshire Department of Environmental Services (2016). *“Guidance to Refine the Potable Water Definition in New Hampshire Municipal Building Codes”*. Recuperado de <http://des.nh.gov/organization/commissioner/pip/publications/wd/documents/wd-15-1.pdf>
2. OMS y UNICEF (2015). *“Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment.”*. Recuperado de

<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/177752/1/9789241509145_eng.pdf?ua=1>

1. OMS y UNICEF (2009). *"Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done”*. Recuperado de <http://www.unicef.org/health/index_51412.html>.
2. OMS (2015).*"Key Facts from 2015 JMP Report.".* Recuperado de <http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/JMP-2015-keyfacts-en-rev.pdf?ua=1>
3. ONU (2015). *“International Human Development Indicators*”. Recuperado de

<http://hdr.undp.org/en/countries>

1. The Water Project (2016). *“Water in Crisis-Tanzania”.* Recuperado de

https://thewaterproject.org/water-crisis/water-in-crisis-tanzania

1. UNICEF (2015). *“Water, Sanitation and Hygiene”.* Recuperado de

<https://www.unicef.org/tanzania/WASH_factsheet.pdf>

1. Ministerio de Agua e Irrigación de Tanzania (2016). “Drilling and Dam Construction Agency”. Recuperado de <http://maji.go.tz/?q=en/drilling-and-dam-construction-agency>
2. Geohive (2016). “Urban /rural division of countries for the years 2015 and 2025”. Recuperado de: <http://www.geohive.com/earth/pop_urban.aspx>
3. UDARE(2014). “Problemas en Tanzania con el agua”. Recuperado de

http://udare.es/2014/07/03/necesidad-de-agua-en-tanzania/

1. Banco Mundial (2016). “[Climate Change Knowledge Portal](http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm)”. Recuperado de:

<http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisCCode=TZA>

**ANEXOS**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cuadro3. Razón de odds e intervalos de confianza para la variable fuente del agua** | | | |
| **Comparación** | **OR** | **Límite inferior** | **Límite superior** |
| Presa-hand dtw | 0,62 | 0,21 | 1,81 |
| Presa-Lago | 0,09 | 0,02 | 0,4 |
| Presa-máquina | 1,17 | 0,54 | 2,53 |
| Presa-otro | 1,1 | 0,24 | 5,03 |
| Presa-agua de lluvia | 7,1 | 2,26 | 22,26 |
| Presa-río | 3,17 | 1,46 | 6,88 |
| Presa-pozo superficial | 0,7 | 0,31 | 1,6 |
| hand dtw-lago | 0,15 | 0,03 | 0,74 |
| hand dtw-máquina | 1,89 | 0,77 | 4,65 |
| hand dtw-otro | 1,77 | 0,34 | 9,23 |
| hand dtw-agua de lluvia | 11,42 | 3,19 | 40,89 |
| hand dtw-río | 5,09 | 2,05 | 12,63 |
| hand dtw-pozo superficial | 1,12 | 0,43 | 2,94 |
| Lago-máquina | 12,39 | 3,45 | 44,52 |
| Lago-otro | 11,62 | 1,53 | 88,32 |
| Lago-agua de lluvia | 74,88 | 14,32 | 391,51 |
| Lago-río | 33,41 | 9,24 | 120,78 |
| Lago-pozo superficial | 7,36 | 1,93 | 28,08 |
| Máquina-otro | 0,94 | 0,24 | 3,62 |
| Máquina-agua de lluvia | 6,04 | 2,28 | 16,04 |
| Máquina-río | 2,7 | 1,47 | 4,95 |
| máquina-pozo superficial | 0,59 | 0,31 | 1,15 |
| Otro-agua de lluvia | 6,44 | 1,15 | 36,16 |
| Otro-río | 2,88 | 0,74 | 11,17 |
| Otro-pozo superficial | 0,63 | 0,15 | 2,6 |
| Agua de lluvia-río | 0,45 | 0,17 | 1,19 |
| Agua de lluvia-pozo superficial | 0,1 | 0,04 | 0,28 |
| Río-pozo superficial | 0,22 | 0,11 | 0,43 |