

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Dirección General de Investigación  
Programa Universitario de Investigación  
en Ciencias Básicas

INFORME FINAL

**Estimación del índice de escasez del agua y valoración económica de la oferta hídrica superficial del Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal (Bucq), Purulhá, Baja Verapaz, Guatemala.**

Equipo de investigación  
**Carlos Maldonado Aguilera, Coordinador**  
**Eunice Enríquez Cottón, Investigadora**  
**Xochitl Castro Ramos, Investigadora**  
**Nora Machuca Mejía, Auxiliar de Investigación II**

**18 de junio de 2018**  
**Centro de Estudios Conservacionistas, Cecon,**  
**Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.**

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán  
**Director General de Investigación**

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
**Coordinador General de Programas**

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar  
**Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Ciencias Básicas**

Carlos Maldonado Aguilera  
**Coordinador del proyecto.**

Eunice Enríquez Cottón  
**Investigadora**

Xochitl Castro Ramos  
**Investigadora**

Nora Machuca Mejía  
**Nombre del Auxiliar de Investigación II**

Partida Presupuestaria  
**4.8.63.4.10**

Año de ejecución: **2017.**

## Contenido

1. Resumen	5
2. Introducción	7
3. Objetivos	10
4. Marco teórico y estado del arte	11
4.1 Los bosques y los servicios ecosistémicos	11
4.2 Valoración económica de los recursos naturales	12
4.3 Índice de escasez del agua	13
4.4 Experiencias locales en el tema	14
5. Materiales y métodos	16
5.1 Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal (Bucq)	16
5.2 Tipo de investigación	16
5.3 Técnicas e instrumentos	16
5.4 Método	17
5.4.1 Cálculo de la oferta hídrica	17
5.4.2 Cálculo de la demanda hídrica	18
5.4.3 Cálculo del índice de escasez	18
5.4.4 Valoración económica de la oferta hídrica superficial	19
5.5 Técnica	19
5.5.1 Toma de datos para la estimación de la oferta hídrica	19
5.5.2 Recopilación de información sobre la demanda hídrica	20
5.5.3 Recopilación de información para la valoración económica de la oferta hídrica superficial	20
5.6 Instrumento	20
5.6.1 Toma de datos para la estimación de la oferta hídrica	20
5.6.2 Recopilación de información sobre la demanda hídrica	20
5.6.3 Recopilación de información para la valoración económica de la oferta hídrica superficial	21
5.7 Muestreo y diseño de muestra	21
5.7.1 Cálculo de la oferta hídrica	21
5.7.2 Cálculo de la demanda hídrica	22
5.8 Operacionalización de las variables	22
6. Procesamiento de datos y plan de análisis	23
6.1 Cálculo de la oferta hídrica	23
6.2 Cálculo de la demanda hídrica	23
6.3 Cálculo del índice de escasez	23
6.4 Valoración económica de la oferta hídrica superficial	24
7. Resultados	25
7.1 Matriz de resultados	25
7.2 Oferta hídrica	26
7.3 Demanda hídrica e índice de escasez	29
7.4 Valoración económica	29
8. Análisis y discusión de resultados	33
9. Conclusiones	40
10. Recomendaciones	42

11. Referencias	43
12. Apéndice	47
12.1 Análisis de contingencia	47
12.2 Distribuciones de respuestas de las entrevistas	54
12.3 Caudales calculados entre los meses de junio 2017 y febrero 2018.	68
13. Actividades de gestión, vinculación y divulgación	70

## Índice de tablas y figuras

### *Figura 1*

Mapa de cuencas: subsistema de microcuencas que constituyen el terreno ocupado por el Bucq. 27

### *Tabla 1*

Descripción del mosaico de microcuencas 28

### *Tabla 2*

Subsistemas de microcuencas analizados. 28

### *Tabla 3*

Índice de escasez estimado para las microcuencas del Bucq que escurren hacia el Polochic 29

### *Figura 2*

Análisis de correspondencia en el que se mapea la disponibilidad a pagar por la protección de las fuentes de agua, los ingresos reportados, sector al que pertenece, y disponibilidad a pagar por el agua de consumo, entre los entrevistados del municipio de Purulhá. 30

### *Tabla 4*

Cuadro de resumen de algunas de los análisis de contingencia realizados y las variables contrastadas 31

### *Tabla 5*

Valoración económica del recurso hídrico aportado por el Bucq. 32

## 1. Resumen

A nivel internacional se utiliza el índice de escasez del agua como herramienta de gestión porque identifica la relación entre la demanda y la oferta hídrica en las fuentes de abastecimiento. Se desconocen los datos de oferta y demanda del recurso hídrico del Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal (Bucq), así como del valor de este en términos pecuniarios. El Bucq es un bosque nuboso del altiplano guatemalteco, cuya ubicación geográfica lo convierte en un área potencial de fuente de manantiales. De este, se consideraron cuatro subsistemas de microcuencas como área física de estudio. El objetivo principal fue establecer el índice de escasez del agua superficial, como indicador de la presión antrópica sobre el recurso y como instrumento de gestión. La oferta hídrica se determinó por mediciones directas de caudales en ríos efluentes y cálculos remotos. La demanda se determinó por proyecciones poblacionales y dos regímenes de consumo (50 y 150 L al día por persona). Se calculó un índice de escasez de 241.28% a 723.86% , según el régimen de consumo. Se consideró únicamente la oferta hídrica del área de estudio. También se establece que el agua producida en el área acotada para el estudio puede satisfacer del 13% al 41% de la demanda total del municipio. La valoración económica del agua superficial se calculó utilizando cuatro criterios de valoración: dos de uso directo y dos de uso indirecto. El valor económico del recurso disponible se establece entre Q12,948,980.00 y Q255,995,357.10.

Palabras clave: ecología de ecosistemas, bosque nuboso, hidrología, microcuenca.

## Abstract

Internationally, the water scarcity index is used as a management tool, as it can identify the relationship between water demand and offer in supply sources. Data regarding water offer and demand, as well as its economic value, are unknown for the University Biotope for Quetzal Conservation (Bucq). The Bucq is a cloud forest in the Guatemalan highlands, whose geographical location turns it into a potential water spring. From this area, four microbasin subsystems were considered as the physical study site. The main objective was

to establish the superficial water scarcity index as an indicator of an antropic pressure measurement and as a management instrument. Hydric offer was determined through direct water flow measurements in effluents and remote calculations as well. The demand was determined through population projections and two consumption regimes (50 and 150 L a day per person). Only the water produced by the study area was taken into consideration. The index was found to range from 241.28 to 723.86, accordingly to the consumption regime. It was also estimated that the water produced by the area bounded for this study might cover 13.81 to 41.44% of the total municipality demand. Superficial water was valuated considering four valuation criteria: two direct-value and two indirect-value criteria. The economic value of the resource was established between GTQ12,948,980.00 and GTQ255,995,357.10.

Key words: ecosystem ecology, cloud forest, hydrology, microbasin.

## 2. Introducción

El estudio de las cuencas y sus componentes es considerado, desde la óptica científica, de gran utilidad, ya que cualquier alteración que sufra el sistema (cambios del uso del suelo) tiene repercusiones a lo largo de todo el cauce (Sabas & Paredes, 2009). En las últimas décadas se ha observado un aumento en la presión humana sobre el agua, principalmente debido al aumento de la población y la variedad de usos que se le da al recurso (Xu & Singh, 2004). También se ha observado que la demanda de este recurso crece de forma proporcional al aumento de las poblaciones humanas (Muñoz, Arumi, & Rivera, 2013).

Para gestionar de forma correcta los recursos hídricos y que garanticen un desarrollo sostenible, se debe implementar un marco de gestión integrada del recurso hídrico (Girh) capaz de incidir en la vida política, social y económica de los usuarios del agua (Sabas & Paredes, 2009). El monitoreo de la sostenibilidad y del uso del agua son base para orientar la gestión de este recurso (Costa, Domínguez, Rivera, & Venegas 2005). Entre los factores que influyen en la inadecuada gestión del recurso agua se encuentra el insuficiente conocimiento de la hidrología local y su relación tanto con las actividades humanas como con factores naturales (Domínguez, Rivera, Venegas & Moreno, 2008; Stehr, Debels, Arumí, Alcayaga, & Romero, 2010). La escasez del recurso hídrico y los costos cada vez más altos para su aprovechamiento generan limitantes para el desarrollo de las actividades humanas, aparte de las consecuencias directas para la salud (Jaramillo-Rojas, Molina, & Betancourt, 2011). Esta tendencia se viene observando desde finales de la década de 1970 y se ha vinculado a otros fenómenos de origen antrópico tales como los efectos de los gases de invernadero, modificaciones a los cauces de los ríos, extracciones, modificaciones a la vegetación o cambios en el uso del suelo (Muñoz et al., 2013).

Para tener elementos objetivos de juicio en cuanto a lo anterior, se ha evaluado el índice de escasez ya que se ha identificado como una muestra de la relación entre la demanda y la oferta hídrica en las fuentes de abastecimiento (Rentería-Flores & Pérez-Arredondo, 2010). Existe una creciente preocupación por el manejo adecuado de los

recursos hídricos, y esta se ha visto reflejada en la necesidad de establecer parámetros que ayuden a evaluar el comportamiento de la oferta del agua en diferentes escalas territoriales y la manera como esta puede ser una limitación para el desarrollo sostenible de la población (Infante & Ortiz, 2008). Las variaciones en los regímenes hidrológicos se han convertido en prioritarias para investigadores y para las autoridades o tomadores de decisiones (Xu, Widen & Halldin, 2005).

A nivel mundial se ha venido promoviendo la necesidad de gestionar el recurso hídrico desde una visión holística (Global Water Partnership [GWP], 2000). En este marco de referencia internacional se define al agua como un bien económico, y a nivel de los profesionales del sector hídrico queda reconocida la amplitud del concepto (Arrojo, 2001). Daily (1997) propone a los ecosistemas del mundo como capital, prestadores de servicios vitales, y base física para la vida. Y es en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio donde se reconoce la importancia de un acercamiento económico de los bienes ambientales como una forma de expresar su valor, más allá del valor intrínseco que estos posean (Millenium Ecosystem Assessment [MEA], 2005). El reto es construir un modelo analítico que integre la oferta y la demanda para la valoración económica y social del agua, así como el diseño de incentivos para la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas en el marco de una visión de Girh (Rogers, 2001).

Se ha estimado que el cambio climático afectará negativamente no solo a nivel de precipitación pluvial y aporte hídrico, sino también en lo que a la producción de agua (cantidad y calidad) se refiere; mientras que el consumo de agua (sea doméstico, industrial o para cultivos) va en aumento (Ayala-Carcedo, 2000). La protección del recurso hídrico es una de las maneras sugeridas para promover la resiliencia de los ecosistemas, ya que se aplica de forma amplia sobre las áreas afectadas y le apunta a poder lidiar con las perturbaciones causadas por el cambio climático (Millar, Stephenson & Stephens, 2007). Se ha demostrado que el estrés hídrico provoca modificaciones negativas en el metabolismo de las plantas cultivares y causa la mortalidad de los árboles en los bosques ya que se producen interrupciones en la columna de agua en el interior de los troncos y las hojas (Allen, 2009).

El área de estudio, el Biotopo del Quetzal, es un área protegida administrada por la Universidad de San Carlos de Guatemala, se define como un bosque nuboso y posee una extensión de más de 1,000 ha; se ubica en el altiplano guatemalteco y es parte de lo que se conoce como el corredor nuboso de Guatemala (Centro de Estudios Conservacionistas [Cecon], 2000; García, 1998). Este tipo de ecosistemas se caracterizan porque la precipitación total se ve aumentada por el aporte de la neblina interceptada por la vegetación (precipitación horizontal) y una precipitación entre 1000 y 3000mm anuales (Brown & Kappelle, 2001). La presencia de esta neblina contribuye a mantener condiciones eco-hidrológicas únicas para estos bosques (Holder, 2006) y, adicionalmente a la complejidad natural de estos ecosistemas, la presencia de gran cantidad de plantas de hábito epífita incrementa la superficie del dosel y su capacidad de captación de la precipitación proveniente de la neblina (Holder, 2004). Así mismo, la captación de agua por este tipo de bosque, puede reducir el escurrimiento pluvial y aumentar la recarga de los mantos acuíferos (Williams-linera et al., 2002).

Cabe decir que los bosques tropicales nubosos (como el Biotopo) son particularmente sensibles y vulnerables, desde la perspectiva del cambio climático, debido a que los cambios en la temperatura o las precipitaciones, aun a pequeña escala, pueden impactar fuertemente estos bosques ubicados en zonas con condiciones especiales y gradientes microclimáticos muy marcados (Andrade & Vides, 2010; Foster, 2002). Puesto que se desconoce la dinámica del ecosistema, se carece de elementos que permitan tomar medidas y enfocar esfuerzos sociales y académicos para aumentar la resiliencia del ecosistema. Por ello, se plantean los objetivos de conocer la oferta hídrica que el Biotopo es capaz de proporcionar, conocer la demanda de este recurso y su relación con la oferta, y un acercamiento económico para el valor del recurso.

Con la realización de esta investigación se pretendió indagar sobre cuánta agua aporta el Bucq y cómo se relaciona con la demanda hídrica en el municipio de Purulhá, así como un acercamiento a la valoración económica del servicio ecosistémico de oferta hídrica superficial, utilizando distintos criterios.

### 3. Objetivos

#### **Objetivos generales**

1. Calcular el índice de escasez del agua superficial en las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.
2. Determinar el valor económico del agua superficial en las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.

#### **Objetivos específicos**

1. Determinar la oferta de hídrica superficial en las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.
2. Determinar la demanda de las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.
3. Calcular el índice de escasez del agua para las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.
4. Determinar el valor económico del agua según la actividad económica (uso del suelo) en las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.

#### 4. Marco teórico y estado del arte

Pérez et al. (2002) definen los servicios ecosistémicos como las funciones de los ecosistemas y agroecosistemas que generan beneficios y bienestar para las personas y las comunidades. Algunos servicios ecosistémicos son: regulación del clima, regulación hídrica, prevención de desastres, oferta de agua, control de la erosión, formación de suelos, entre otros (Huetting, 1998).

Una definición más corta es presentada por Engel, Pagiola y Wunder (2008) basándose en la MEA, y explican que los servicios ecosistémicos son “los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas”. Estos servicios, como lo expresan López-Hoffman, Varady, Flessa y Balvanera (2010), trascienden las fronteras.

Balvanera y Cotler (2007a) indican que en la actualidad se pueden distinguir cuatro enfoques al estudio de los servicios ecosistémicos: 1) la búsqueda de marcos conceptuales y metodológicos inter o transdisciplinarios; 2) la evaluación de los distintos servicios que provee un ecosistema o un componente particular del ecosistema; 3) la valoración económica y, 4) el análisis de experiencias concretas conducentes a modificar los patrones de toma de decisiones en la búsqueda de opciones que permitan maximizar el mantenimiento de estos servicios.

#### **4.1 Los bosques y los servicios ecosistémicos**

Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, ocupando el 30% de la superficie emergida del planeta. A esta importancia espacial se añade su valor en términos de biodiversidad, asociada especialmente a los bosques tropicales. Los ecosistemas forestales albergan al menos el 75% de las especies continentales y una parte importante de la biomasa terrestre. La evaluación económica de los servicios que brindan deben ir en cuatro grandes temas prioritarios: ciclo del carbono, ciclo hidrológico, diversidad biológica y educación/ocio (Ruíz-Pérez, García, & Sayer; 2007).

El Manual de capacitación para pagos de servicios ambientales en Latinoamérica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/ Organismo Autónomo Parques Nacionales de España [FAO/OANP], 2009) identifica siete etapas para la inclusión de las áreas protegidas dentro de esquemas de pagos por servicios ambientales. La primera etapa es la identificación de áreas con servicios con potencial demanda, y la segunda es la identificación de compradores de los servicios (establecer oferta y demanda de cada servicio).

Los bosques se verán afectados debido a los cambios observados en el clima (Dale et al., 2001; Locatelli & Kanninen, 2010), y pueden enfatizarse debido a perturbaciones asociadas o factores como cambios en el uso del suelo, contaminación del agua o de la atmósfera (Locatelli & Kanninen, 2010). En ciertos ecosistemas se ha obtenido evidencia fisiológica sobre el aumento del estrés por sequía debido a la reducción de neblina y rocío, así como a una tasa evaporativa más alta a la esperada (Potter, 2012).

#### **4.2 Valoración económica de los recursos naturales**

Al estimar el valor económico de los bienes o servicios ecosistémicos (en este caso la oferta hídrica) se tiene idea de la percepción social sobre la escasez relativa del recurso, de ahí que en un esquema de Girh sea necesaria la estimación de los valores en la disponibilidad del agua (Martínez & Dimas, 2007). La valoración económica toma protagonismo principalmente al momento de observarse externalidades en el abastecimiento de los bienes o servicios o durante el consumo-uso y la descarga de desechos afectando el bienestar de otros (Azqueta, 2002).

El fundamento teórico de la valoración económica se encuentra en la teoría del bienestar, en la que según Mendieta (1999) se asume que las personas conocen sus preferencias y que tienen la propiedad de sustituir bienes mercantiles por no mercantiles. La medición del valor basada en la posibilidad de sustituir puede ser representada por medio de la disponibilidad de pagar (DAP) definida en términos de cualquier otro bien o servicio que el individuo esté dispuesto a sustituir por el que está siendo valorado y, para la

estimación del valor económico del ambiente, la disponibilidad a pagar marginal es la disponibilidad adicional de pago de una persona por una unidad más de calidad ambiental (Martínez & Dimas, 2007).

### **4.3 Índice de escasez del agua**

El índice de escasez es un indicador que ha tomado gran renombre a nivel internacional, debido a que este muestra claramente la relación que existe entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes de abastecimiento. Se presenta escasez de agua cuando la cantidad de agua captada de los ríos, acuíferos o lagos es mayor a la capacidad de dichas fuentes. Este índice puede ser evaluado haciendo referencia a dinámicas de forma multianual, anual, estacional, semestral e incluso mensual (Rentería-Flores & Pérez-Arredondo, 2010). Guatemala es un país con gran riqueza hídrica, con una orografía diversa y con una gran cantidad de microclimas, por lo que necesita indicadores que reflejen el estado del agua de manera práctica.

Al expresar el estado del recurso hídrico en términos de escasez, se manifiesta la relación de la oferta con la demanda de forma explícita y fácil de entender, más allá de un balance hídrico. Se utiliza este índice para establecer si la distribución actual de caudales en la cuenca presenta armonía entre la oferta, demanda y el ecosistema acuático; o si por el contrario, se debe redefinir dicha distribución en aras de encontrar el equilibrio requerido (Sabas & Paredes, 2009).

Internacionalmente se reconocen cuatro categorías para la interpretación del índice de escasez: 1) bajo: la demanda no sobre pasa del 10% del volumen total de la oferta; 2) moderado: la demanda no supera el 20% de la oferta total; 3) Medio: la demanda no sobrepasa el 30% de la oferta; y 4) alto: cuando la demanda es igual o superior al 40% del volumen de la oferta total (Costa, Domínguez, Rivera & Venegas, 2005). También es considerado uno de los índices Basados en requerimientos humanos (un enfoque puramente antropocéntrico), que si se le relaciona con variables económicas y de capacidades

institucionales, pueden obtenerse índices de vulnerabilidad de los sitios de estudio (Brown & Matlock, 2011)

#### **4.4 Experiencias locales en el tema**

En Guatemala, se han realizado varios proyectos con el fin de valorar económicamente los recursos naturales con los que cuenta el país. Entre estos se pueden mencionar: la valoración económica del Lago de Amatitlán, (Pape & Ixcot, 1998), la aproximación al valor económico de los bienes y servicios de unas áreas protegidas contenidas en el SIGAP (Ortiz, 2000), la valoración económica de la unidad de conservación Laguna del Tigre (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [Conap], 2004), la valoración económica de los servicios hidrológicos de la subcuenca del río Teculután (Martínez & Dimas, 2007), entre varios. Los mismos autores indican que las valoraciones son parciales, ya que se han basado en estimaciones indirectas, o valores reportados tiempo atrás.

Desde el año 2005 se han monitoreado parches verdes (remanentes de bosques primarios o secundarios) de la Ciudad de Guatemala, escogiendo para ello al  $\text{NO}_2$  no solamente por ser considerado un contaminante criterio, sino también por ser un compuesto nitrogenado dañino para la salud. Estos parches verdes urbanos cumplen una función muy importante en la mitigación de las emisiones vehiculares, sirviendo de filtros biológicos para los gases provenientes de emisiones vehiculares (Maldonado-Aguilera, 2005; Oliva & Maldonado-Aguilera, 2007).

Maldonado-Aguilera ha trabajado en investigaciones que pretenden obtener valores económicos de los diversos servicios ecosistémicos del Bucq, por ejemplo realizó una investigación financiada por la Senacyt en la cual se determinó el valor económico del carbono en stock y de las emisiones evitadas (Maldonado-Aguilera & Oliva, 2010). Actualmente está desarrollando dos investigaciones: una para determinar el valor económico del servicio ecosistémico de almacenamiento aéreo de carbono por parte del bosque del Bucq y el valor económico del servicio ecosistémico de polinización de *Cucurbita pepo* (calabaza) en las poblaciones aledañas al Bucq. Maldonado-Aguilera está

realizando en estos momentos el trabajo de campo en esta área y ha realizado mapeos preliminares para la realización del trabajo que se presenta en esta propuesta.

## 5. Materiales y métodos

### **5.1 Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal (Bucq)**

El Biotopo adquiere carácter oficial de área protegida con la declaratoria de la Ley de Áreas Protegidas por el congreso de la República, según artículo 89 del Decreto 4-89, Ley de áreas Protegidas y sus Reformas (Ley No. 18-89, 1989 y Ley No. 110-96, 1996).

Este bosque nuboso está ubicado en la parte central del país, al noreste del departamento de Baja Verapaz, en las coordenadas Latitud 90 13 15 y Longitud 15 13 0. La entrada al Biotopo se ubica en el kilómetro 160.5 de la carretera CA-14, que conduce de la ciudad de Guatemala a la cabecera departamental de Cobán, a 4.5 kilómetros al sur de la cabecera municipal de Purulhá. Se caracteriza, en términos hidrológicos, en que está compartido por tres cuencas hidrográficas de importancia: el río Salinas, el río Polochic y el río Motagua (García, 1998; Cecon, 2000). Presenta una gran riqueza hidrológica, ya que dentro de él se encuentran 17 nacimientos de ríos (mapeados); de estos, 10 escurren hacia la cuenca del río Polochic formando un cuatro subsistemas de microcuencas.

### **5.2 Tipo de investigación:**

La investigación es no experimental, longitudinal y descriptiva.

### **5.3 Técnicas e instrumentos:**

Para el cálculo de la oferta y demanda hídrica, así como del índice de escasez de agua superficial, se utilizó la metodología descrita por Rivera, Domínguez, Marín y Venegas (2004), Costa y colaboradores, (2005), Domínguez y colaboradores, (2008), Sabas y Paredes (2009), Ordoñez (2011), Jaramillo-Rojas y colaboradores (2011) e incluye los ajustes metodológicos sugeridos por Infante y Ortiz (2008).

## 5.4 Método:

### 5.4.1 Cálculo de la oferta hídrica

La metodología adoptada para el desarrollo de este estudio, es la de transposición de caudales, que requirió la generación de los polígonos e información cartográfica (límites municipales, cuencas, microcuencas, red hídrica, curvas a nivel, etc.) para establecer las áreas de escurrimiento o captación mediante el uso de sistemas de información geográfica, también para la determinación de las áreas. Para trasladar los caudales confiables del punto definido a los diferentes puntos de la microcuenca, se utilizaron los datos de área y precipitación en el contexto de la siguiente expresión:

$$Q_i = \frac{A_i}{A_T} * \frac{P_i}{P_T} * Q_T \quad \text{ecuación 1}$$

Donde

Q se refiere a los caudales, estimado y punto definido respectivamente.

A se refiere a las áreas de las cuencas, con definición de caudales y área de la cuenca de punto definido

P se refiere a las precipitaciones medias.

Los caudales de punto definido se establecieron por medio de mediciones in situ, utilizando un flujómetro. También se utilizaron estaciones de aforo para la observación de la altura del cauce. Las mediciones se realizaron durante una misma semana en los diferentes sitios, una semana al mes por nueve meses. Con esta información se pudo determinar la oferta hídrica bruta. También se estimaron datos de precipitación de forma indirecta, por medio de información de estaciones meteorológicas en los departamentos de Alta Verapaz y Salamá, así como por medio de mapas de lluvias. Todos los mapas de lluvias utilizados están disponibles en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh). Cuando no hubo oportunidad para realizar mediciones in situ, se determinaron los caudales según la metodología remota de Little, Lara, McPhee y Urrutia (2009), y Little y Lara (2010).

Para valores de referencia del factor de reducción por estiaje y el factor de reducción por irregularidad temporal, se aplicaron las propuestas por Costa y colaboradores (2005).

#### **5.4.2 Cálculo de la demanda hídrica**

Al momento de entrevistar a las personas, se observó que la mayoría de ellas no podían establecer con exactitud la cantidad de agua que consumían diariamente. La demanda de agua en cada una de las actividades comerciales se estableció por medio de información demográfica obtenida en la Municipalidad de Purulhá. También se consideró el valor utilizado por la Municipalidad del volumen de agua que se consume en la zona urbana y en la zona rural.

Al solicitar información demográfica en la Municipalidad, se informó que no contaban con censos de personas, casas o negocios. Solamente contaban con la información del censo poblacional de 2002. Se obtuvo un documento sobre la red de distribución de agua al casco urbano. La información de este documento se comparó con la disponible del censo de 2002, y con la información encontrada en el Plan de Desarrollo Municipal del municipio. Se tomó la cantidad de personas reportada en el censo y la tasa de crecimiento vegetativo reportada en el mismo.

Se entrevistaron a 27 personas, que variaban en cuanto a su actividad comercial. Se lograron identificar 7 sectores (categorías): agricultura, ganadería, servicios públicos, negocio propio, trabajador empleado, desempleado y ama de casa.

#### **5.4.3 Cálculo del índice de escasez**

La metodología del índice de escasez se basa en la relación entre la demanda y la oferta hídrica superficial:

$$I_e = (D/O_n) * 100$$

ecuación 3

Donde:

Ie es el índice de escasez,

D es la demanda total,

On es la oferta hídrica superficial neta.

#### **5.4.4 Valoración económica de la oferta hídrica superficial**

Se trabajó partiendo de la base conceptual de la creación de mercados hipotéticos, y se propone la aplicación de del método de valoración contingente. Se diseñaron guías para las entrevista. Estas consideraban la recopilación de información sobre la composición y características familiares (individuos por sexo y rangos de edad, etc.), sobre las variables relacionadas con el uso del agua (cantidad de agua por día, pago por el servicio, etc.), y variables relacionadas con la disponibilidad a pagar (Martínez & Dimas, 2007).

#### **5.5. Técnica:**

##### **5.5.1. Toma de datos para el cálculo de la oferta hídrica**

Para los cálculos directos se generaron los polígonos correspondientes a los subsistemas de microcuencas que conforman o se encuentran traslapados con el terreno ocupado por el Bucq, y se establecieron los puntos definidos para la medición de los caudales, en cuenca media (justo en el límite del terreno ocupado por el Bucq) y cuenca baja (donde los efluentes se conectan al río principal). Las mediciones de la velocidad de los caudales se llevaron a cabo con la ayuda de flujómetros. El volumen de agua en un punto fijo se determinó por medio de estaciones de aforo, y por mediciones de ancho y profundidad del río con cintas métricas plásticas. Para los cálculos indirectos se tomaron en cuenta las áreas de los polígonos de los subsistemas de microcuencas, datos de lluvias disponibles en mapas del Insivumeh y la información de datos pluviales de dos estaciones meteorológicas: una en el departamento de Alta Verapaz y otra en el municipio de Salamá.

### **5.5.2 Recopilación de información sobre la demanda hídrica**

Se llevaron a cabo 27 entrevistas semiestructuradas, utilizando como guía las boletas redactadas por el equipo de investigación. En estas se incluyeron preguntas referentes a los usos, cantidad de agua utilizada al día, actividad comercial, etc., y clasificado según la actividad comercial a la que se dediquen los entrevistados. La información demográfica necesaria, así como el dato sobre los regímenes de consumo establecidos se obtuvieron en la Municipalidad de Purulhá.

### **5.5.3 Recopilación de información para la valoración económica de la oferta hídrica superficial**

Se entrevistó a las mismas personas a las que se les consultó en el numeral anterior sobre las características de los entrevistados: ingresos familiares, número de integrantes de la familia, los usos que le dan al agua, cantidad de agua utilizada al día, días de uso del agua, actividad comercial, etc., y variables relacionadas con la disponibilidad a pagar por el agua por parte de las familias.

## **5.6 Instrumento:**

### **5.6.1 Toma de datos para el cálculo de la oferta hídrica**

En esta etapa de la investigación se utilizaron los siguientes instrumentos: computadora, programa de sistema de información geográfica, hojas cartográficas para sistemas de información geográfica, sistemas de posicionamiento satelital (GPS), flujómetros, estaciones de aforo, cintas métricas plásticas de 8 metros de longitud.

### **5.6.2 Recopilación de información sobre la demanda hídrica**

Para desarrollar este componente de la propuesta de investigación se utilizaron: computadora para confeccionar las boletas de entrevista, impresión y reproducción de las

de las boletas. También se necesitó información demográfica de Purulhá. Se necesitaron mapas de la región para indicar el sitio de muestreo pro medio de un GPS y mapa para ubicar tanto el sitio como la extensión dependiendo del uso del suelo. La información demográfica se obtuvo por medio de la oficina de acceso a la información de la Municipalidad de Purulhá, la cual facilitó un documento técnico realizado por el Instituto de Fomento Municipal (Infom, 2016), así como el Plan de Desarrollo Municipal (PDM) elaborado por la Secretaría Nacional de Planificación (Segeplan, 2011).

### **5.6.3 Recopilación de información para la valoración económica de la oferta hídrica superficial**

Para desarrollar este componente de la propuesta de investigación se utilizaron: computadora para confeccionar las boletas de entrevista, impresión y reproducción de las boletas.

## **5.7 Muestreo y diseño de muestreo**

### **5.7.1 Cálculo de la oferta hídrica**

Universo: ríos que nacen y salen desde el Bucq en los subsistemas de microcuencas que lo constituyen.

Muestra: ríos que escurren superficialmente hacia la cuenca del Río Polichic.

Muestreo: medidas repetidas.

Unidades muestrales: ubicaciones de punto fijo (salida del Bucq y cuenca media).

Variables independientes: ubicaciones de punto fijo (salida del Bucq y cuenca media), extensión de las cuencas, precipitación media.

Variables dependientes: caudal de punto fijo, caudal estimado.

Variables de respuesta: litros/9 meses de medición, litros.

### 5.7.2 Cálculo de la demanda hídrica

Universo: pobladores económicamente activos del municipio de Purulhá

Muestra: población que desarrolla sus actividades comerciales en el casco urbano o en el área rural del municipio.

Muestreo: por conveniencia.

Unidades muestrales: casas, oficinas o locales comerciales.

VARIABLES INDEPENDIENTES: actividad comercial.

VARIABLES DEPENDIENTES: volumen de demanda hídrica.

VARIABLES DE RESPUESTA: litros/9 meses de tiempo de medición, litros.

Para la recopilación de información se entrevistó a 27 pobladores del municipio, seleccionados por conveniencia. Las actividades comerciales que se lograron cubrir fueron 5: agricultura (pequeños agricultores), servicios públicos (policías, trabajadores de la municipalidad, etc.), propietarios de negocio, empleados de negocios y amas de casa. La encuesta constaba de 45 preguntas que se dividieron en tres categorías: 1) información personal y caracterización socioeconómica del entrevistado, 2) hábitos de consumo del agua, y 3) percepción de los factores económicos o de repercusión económica relacionados con el uso del agua. En algunos casos, para contar con la siguiente persona entrevistada, se le consultó al entrevistado sobre la posibilidad de referir a una persona.

### 5.8 Operacionalización de las variables o unidades de análisis

**Tabla 1**

**Operacionalización de variables o unidades de análisis**

Objetivo específicos	VARIABLES	TÉCNICAS	Instrumentos	Medición o cualificación
11.1.	Caudal de punto fijo	Medición directa in situ	Flujómetro, estación de aforo, cinta métrica plástica, GPS.	Caudal, expresado en litros/seg
11.1.	Caudales totales	Cálculo por medio de modelos: áreas por SIG.	Computadora.	Caudal total, expresado en litros/año, litros/9 meses.
11.2.	Volumen de agua	Cálculo por	Encuesta, GPS,	Demanda de agua total,

	demandado	medio de modelos: áreas por SIG.	computadora	expresada en litros* $\text{año}^{-1}$ , litros /9 meses.
11.3	Volumen total de oferta y volumen total de demanda	Medición directa in situ y estimación con uso de modelos.	Flujómetro, estación de aforo, cinta métrica plástica, GPS, computadora.	Índice de escasez del agua, expresado como porcentaje.
11.4.	Oferta hídrica superficial y la cantidad de dinero dispuesto a pagar por el mismo.	Cálculo por medio de modelos: áreas por SIG.	Encuesta, GPS, computadora	Valor económico de la oferta hídrica superficial, expresado en Quetzales* $\text{año}^{-1}$ .

## 6. Procesamiento de datos y plan de análisis.

### 6.1 Cálculo de la oferta hídrica

Se utilizó estadística descriptiva (porcentajes), y se calcularon caudales mensuales de volumen de agua por subsistema de microcuencas. Los volúmenes de agua de la oferta hídrica del área de estudio se expresan como oferta total en el tiempo de estudio (9 meses).

### 6.2 Cálculo de la demanda hídrica

Por la naturaleza descriptiva de este componente de la propuesta, se utilizó estadística descriptiva para expresar en porcentajes y comparar datos de escenarios. Se muestra la relación entre el total de la demanda hídrica total y la demanda de cada una de las actividades económicas. Los volúmenes de agua consumidos por la demanda hídrica se expresan como demanda total en el tiempo de estudio (9 meses).

### 6.3 Cálculo del índice de escasez

Se presenta como una relación entre la oferta y la demanda del agua superficial. Para analizar la asociación de los resultados de la encuesta, se realizaron cuadros de contingencia y pruebas de Ji cuadrado de asociación a un nivel de significancia de .05.

#### **6.4 Valoración económica de la oferta hídrica superficial**

En este componente de la propuesta, se obtuvieron datos numéricos provenientes de la ponderación o disponibilidad a pagar por el agua, por sector, ingresos y nivel de escolaridad. Esto permite expresarlo de forma descriptiva, mostrando el valor por tipo de actividad. Para identificar tendencias en el comportamiento de las variables recopiladas, se realizaron análisis de correspondencia, y para establecer relaciones entre variables se realizaron análisis de contingencia.

## 7. Resultados

### 7.1 Matriz de resultados

Objetivo específico	Resultado esperado	Resultado obtenido
Determinar la oferta de hídrica superficial en las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.	Volumen calculado de agua superficial que escurre hacia la cuenca del Polochic	332,974,310.8 L en 9 meses.
Determinar la en las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.	Volumen calculado de agua consumida en el municipio de Purulhá.	De 803,425,350 L en 9 meses, asumiendo un consumo per cápita de 50 L diarios, a 2,410,276,050 L en 9 meses, asumiendo un consumo per cápita de 150 L diarios.
Estimar el índice de escasez del agua para las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.	Valor del índice de escasez del agua.	De 241.28% asumiendo un consumo per cápita de 50 L diarios, a 723.86% asumiendo un consumo per cápita de 150 L diarios.
Determinar el valor económico del agua según la actividad económica (uso del suelo) en las cuatro microcuencas del Biotopo del Quetzal que escurren hacia la cuenca del río Polochic.	Valor en términos pecuniarios del agua superficial.	Se calcularon Q75,675,979.73 como valor de sustitución de la oferta de agua, y Q255,995,357.10 como valor de la captación (producción de agua). También se identificó una disponibilidad a pagar de Q470,872.00/mes, y un costo social de Q12,948,980.00 al año por concepto de gastos por tratamientos de enfermedades relacionadas al consumo del agua.

## 7.2 Oferta hídrica

En la *Figura 1* se observa el sistema de microcuencas en que se dividió el terreno ocupado por el Bucq. Para su mejor entendimiento, se realizó este mosaico en el que se pueden observar 17 subsistemas de microcuencas. Como el estudio se centró en los sistemas de microcuencas que escurren desde el Bucq hacia la gran cuenca del río Polochic, se definieron cuatro sistemas de subcuencas. Estos se denominaron, debido a su ubicación con respecto al punto de referencia del Bucq (su entrada principal) como: norte, centro-norte, centro-sur y sur. Fue dentro de estos sistemas de subcuencas en los que se llevaron a cabo las mediciones de caudales con la ayuda de flujómetros. En donde no hubo oportunidad para realizar mediciones in situ, se estimaron los caudales según lo proponen Little, Lara, McPhee & Urrutia (2009), y Little & Lara (2010).

En la *Tabla 1* se hace una breve caracterización de todos los elementos del mosaico de microcuencas en las que se divide el terreno del Bucq. En la *Tabla 2*, se indican cuáles de las microcuencas se incluyen en los sistemas de subcuencas de estudio, indicando el numeral que le corresponde en la *Tabla 1*. El total de superficie representado por los cuatro subsistemas es de 2,389.29 ha (aproximadamente 23.9 Km<sup>2</sup>). Esto representa el 9.64% del territorio total del Municipio de Purulhá (Segeplan, 2011).

Figura 1. Mapa de cuencas: subsistema de microcuencas que constituyen el terreno ocupado por el Bucq.



*Tabla 1.* Descripción del mosaico de microcuencas

<b>No.</b>	<b>Pendiente Media</b>	<b>Distancia 1 (m)</b>	<b>Distancia 2 (m)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Perímetro (km)</b>
<b>1</b>	35.0	3893	499	256.25	11.99
<b>2</b>	32.1	1794	386	92.68	6.04
<b>3</b>	39.8	4253	801	415.62	13.36
<b>4</b>	40.1	4380	1167	509.00	14.73
<b>6</b>	38.5	3674	1155	304.13	10.25
<b>7</b>	61.9	3089	1558	353.05	9.51
<b>8</b>	54.0	1452	1027	114.57	5.07
<b>9</b>	65.1	1600	979	122.55	5.83
<b>10</b>	66.8	1285	1778	145.77	5.95
<b>11</b>	44.1	2371	969	206.75	7.15
<b>12</b>	40.8	3834	1813	514.12	12.07
<b>13</b>	48.5	2339	952	199.99	6.85
<b>14</b>	51.3	1872	496	107.18	5.95
<b>15</b>	41.4	2415	534	74.46	6.43
<b>16</b>	44.2	2432	1563	281.15	8.57
<b>17</b>	46.9	3148	1048	297.49	10.81

*Tabla 2.* Subsistemas de microcuencas analizados.

<b>Subsistema</b>	<b>Microcuencas incluidas</b>	<b>Área (ha)</b>
<b>1 (norte)</b>	12 y 17	811.61
<b>2 (centro-norte)</b>	4	509.00
<b>3 (centro-sur)</b>	2 y 3	508.30
<b>4 (sur)</b>	1 y 6	560.38

### 7.3 Demanda hídrica e índice de escasez

En la *Tabla 3* se muestran los datos correspondientes a la demanda hídrica determinada, la oferta calculada, el índice de escasez, el área que abarcan los subsistemas de microcuencas (donde se realizaron las mediciones), y el aporte porcentual del área respecto a la demanda estimada del municipio. Se trabajaron dos valores de consumo por persona al día, el primero es de 50 L por persona al día. Este valor corresponde al reportado por la mayoría (50%) de los entrevistados que indicaron saber la cantidad de agua que consumían diariamente por persona en sus respectivas casas. El segundo valor (150 L por persona al día) corresponde al límite máximo de capacidad de oferta del servicio de agua provisto por la Municipalidad por medio del sistema de captación y distribución de agua a la zona urbana del municipio (Infom, 2016).

*Tabla 3.* Índice de escasez estimado para las microcuencas del Buqc que escurren hacia el Polochic.

Consumo per cápita (l)	Demanda total en t* (L)	Oferta total en t* (L)	Índice de escasez (%)	Área de aporte (ha)	Capacidad de aporte a la demanda
50	803,425,350	332,974,310.8	241.28	2,389.29	41.44%
150	241,0276,050	332,974,310.8	723.86	2,389.29	13.81%

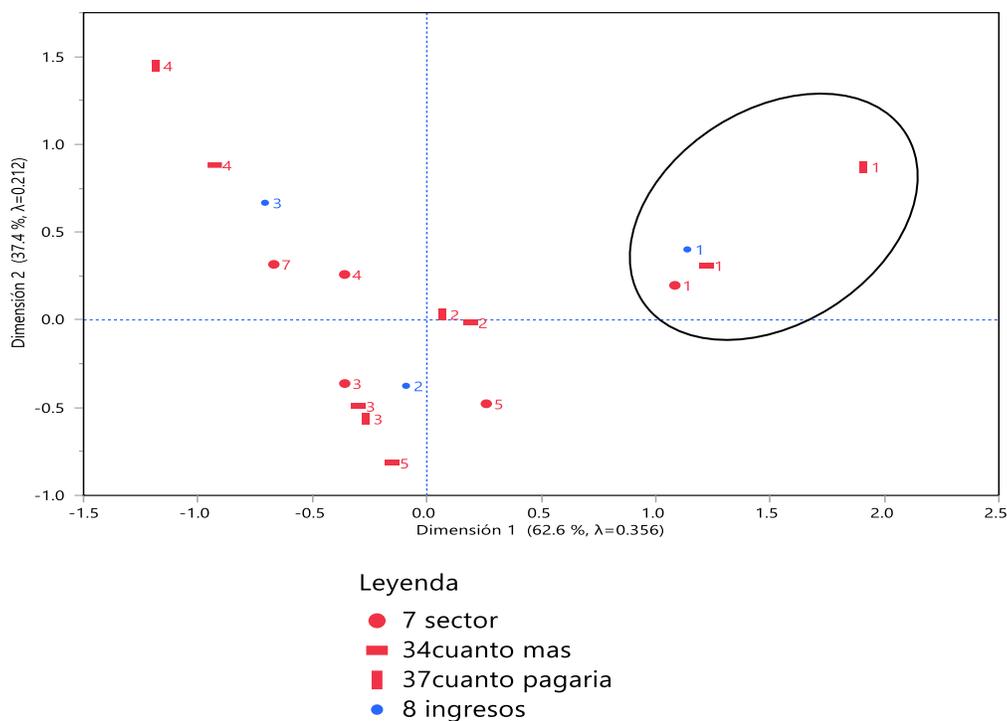
*Nota:* generado a partir de los cálculos de oferta hídrica superficial, datos demográficos en Infom (2016) y en el PDM de Purulhá, Segeplan (2011). \*t se refiere al hecho de que no se cuentan con mediciones de un año (365 días), sino proporcional a los 9 meses (273 días) que abarcó la etapa de campo.

### 7.4 Valoración económica

Se realizaron algunas pruebas exploratorias a los resultados de la encuesta referente a ciertas variables sociales, demográficas y económicas relacionadas al agua. En la *Figura 2* se hace un análisis de correspondencia en el que se mapea la disponibilidad a pagar por la protección de las fuentes de agua, los ingresos reportados, sector al que pertenece, y disponibilidad a pagar por el agua de consumo, entre los entrevistados del municipio de Purulhá. En este análisis exploratorio se observa que el componente 1 es capaz de explicar el 62.6% del comportamiento de las variables contrastadas. En este escenario, se puede pensar que el comportamiento de las variables encerradas en el óvalo (sector,

disponibilidad a pagar, disponibilidad a pagar por conservación de las fuentes de agua e ingresos) no es completamente aleatorio.

*Figura 2.* Análisis de correspondencia en el que se mapea la disponibilidad a pagar por la protección de las fuentes de agua, los ingresos reportados, sector al que pertenece, y disponibilidad a pagar por el agua de consumo, entre los entrevistados del municipio de Purulhá.



Para lograr una mejor visualización del comportamiento de las variables y para encontrar relaciones entre ellas, se realizaron análisis de contingencia entre las mismas. En la *Tabla 4* se muestran 15 de los contrastes realizados. Se incluyen aquellos contrastes en los que se observaron relaciones significativas, y otros que se consideraron relevantes para la mejor comprensión del escenario de la oferta y la demanda hídrica en el municipio.

Tabla 4. Cuadro de resumen de algunas de los análisis de contingencia realizados y las variables contrastadas

<b>VARIABLES CONTRASTADAS</b>	<b>gl</b>	<b>Ji<sup>2</sup></b>	<b>p &gt; Ji<sup>2</sup></b>	<b>Verosimilitud</b>
Sector y escolaridad	20	29.993	.070	0.032*
Vivienda y escolaridad	5	12.773	.026*	0.008*
Agua entubada y escolaridad	5	14.657	.012*	0.007*
Drenaje y escolaridad	5	16.175	.006*	0.009*
Uso del agua por terceros y escolaridad	10	28.023	.002*	0.007*
Cuidado del agua por terceros y escolaridad	15	20.159	.166	0.041*
Disponibilidad a pagar e ingresos	6	19.379	.004*	0.006*
Precio de tratamiento e ingresos	8	5.641	.687	0.455
Cuánto más pagaría por el agua y sector	16	12.600	.702	0.606
Pago por protección de fuente y sector	12	14.186	.289	0.355
Percepción de tarifa de agua y sector	8	19.702	.012*	0.010*
Conocimiento del origen del agua y sector	12	8.118	.776	0.829
Enfermedad atribuible al agua y sector	8	10.800	.213	0.078
Tiempo enfermo y sector	16	15.655	.477	0.421
Costo de tratamiento y sector	16	26.460	.048*	0.033*

Para todas las pruebas n=27. \* indica que existe asociación significativa ( $p < .05$ ). Para todos los contrastes en la tabla, la segunda variable indicada es la independiente.

Para determinar el valor económico del agua proveniente del Bucq se consideró el valor de uso, tanto directo (sustitución y captación), como indirecto (disponibilidad a pagar (DAP) y costo social). Para establecer el precio de sustitución, se utilizó como elemento sustituto el tonel de agua. Según los entrevistados, todos compran (o han comprado) agua embotellada. Al considerar el precio de la captación (producción hídrica) de la extensión de terreno estudiado, se comparó con precios para otros giros de productividad: el precio de la tierra para fines de cultivo. Para determinar lo que las personas están dispuestas a pagar (DAP), se utilizó lo que ellas mismas pagan de base: la cuota por agua municipal en el área urbana (Q30.00 al mes). Dado que no se cuenta con un censo de familias ni de casas en el municipio, como parte de la entrevista se consultó sobre el número de personas en cada familia. Tampoco se contó con un registro del consumo que se realiza en cada casa o local en donde se realizó la entrevista, ya que no hay contadores de agua en la zona urbana ni en la zona rural del municipio. Para la determinación de un costo social debido a enfermedades relacionadas con el consumo de agua, se consideró el total de gastos en que las personas incurren al padecer estas.

*Tabla 5. Valoración económica del recurso hídrico aportado por el Bucq*

<b>Valor económico de uso del recurso</b>			
<b>(Q*año<sup>-1</sup>)</b>			
Uso directo		Uso indirecto	
Valor de sustitución	Valor de captación	DAP	Costo social
Q75,675,979.73	Q255,995,357.10	Q470,872.00/mes	Q12,948,980.00

*Nota:* generado con base en los cálculos de oferta hídrica superficial, datos demográficos en Infom (2016) y en el PDM de Purulhá, Segeplan (2011), e información obtenida durante las entrevistas.

## 8. Análisis y discusión de resultados

Basado en el Plan de Desarrollo Municipal (PDM) del municipio (Segeplan, 2011), donde indica que el municipio cuenta con una población de 33,366 habitantes (según el censo poblacional del año 2002), y una tasa de crecimiento vegetativo establecida en 3.2% para los años 2002-2010, y de 4.3% en el año 2016 (Infom, 2016), se calculó una población de 58,859 habitantes para el año 2017. Este número de habitantes fue el que se utilizó para realizar todos los cálculos referentes a la demanda de agua. Fue necesario realizar esta aproximación ya que para el momento en el que se requirió la información demográfica actualizada a la Municipalidad de Purulhá, esta no contaba con datos de levantado reciente en cuanto al número de habitantes, número de familias, o número de casas en el municipio.

Tanto la demanda como la oferta hídrica, como se expresan en la *Tabla 3*, son proporcionales a 9 meses (273 días), que es lo que duró la fase de campo de esta investigación. El período para el que se reportan las mediciones de caudales corresponde a junio de 2017 hasta febrero de 2018. Al efectuar el cálculo del índice de escasez, los números muestran que es muy superior al 40%, lo que se considera como un recurso sumamente escaso. Costa y colaboradores (2005) establecen las siguientes categorías para evaluar los índices de escasez del agua: 1) bajo: la demanda no sobre pasa del 10% del volumen total de la oferta; 2) moderado: la demanda no supera el 20% de la oferta total; 3) Medio: la demanda no sobrepasa el 30% de la oferta; y 4) alto: cuando la demanda es igual o superior al 40% del volumen de la oferta total. Este número lo que nos indica, en ambos escenarios de demanda del recurso hídrico superficial, es que el aporte único proveniente de las montañas del Bucq es insuficiente para satisfacer la demanda total de agua del municipio. Esto porque, en ambos escenarios de consumo, el valor del índice de escasez supera el 100%. El municipio cuenta no solo con el aporte hídrico proveniente de los nacimientos que se encuentran en el Bucq, sino que también recibe agua de otros nacimientos, así como por medio de tanques de captación y sistemas de distribución (Infom, 2016).

El área física de estudio (los 4 subsistemas de microcuencas) equivale al 9.64% de la extensión total del municipio. Aun así, es capaz de proveer o satisfacer por sí solo desde el 13.81% hasta un 41.44% de la demanda total estimable de agua en el municipio, según el escenario que se elija (consumo de 150 o 50 L al día por persona, respectivamente). Los bosques nubosos se caracterizan por presentar un aporte hídrico (input) mayor al 100% (que sería el proveniente de la lluvia), debido al aporte proveniente de la niebla (Bruijnzeel, 2002; Bruijnzeel, 2004; Bruijnzeel, Kappelle, Mulligan, & Scatena, 2010). Los bosques nubosos son ecosistemas fuertemente influenciado por fenómenos climáticos y meteorológicos, especialmente por la capacidad de condensar humedad en forma de nubes de niebla a niveles superficiales (Morales & Armenteras, 2013).

Las características antes descritas, provocan que estos ecosistemas sean especialmente frágiles y prioritarios en cuanto a su conservación, si se quiere conservar su capacidad de aprovisionamiento de agua. Se ha observado que los cambios en el uso del suelo en los bosques nubosos acarrear consecuencias negativas en cuanto a su aporte hídrico. Muñoz-Villers y colaboradores (2015) indican que entre los efectos se pueden observar aumentos aparentes en los rendimientos hídricos a corto plazo, debido al aumento en los flujos de las escorrentías. Pero que al mediano plazo, se pueden observar cambios en los patrones microclimáticos y en los patrones hidrológicos; incluso una reducción del 50% en escorrentías de la época seca.

Puesto que el bosque del Bucq por sí solo no podría satisfacer las necesidades de agua de la población de Purulhá, es necesario que se establezcan políticas municipales para conservar los bosques de sus alrededores. Además de la diversidad biológica que se puede observar en estos ecosistemas, conservar la integridad de los bosques. Esta integridad se relaciona directamente con la capacidad de los bosques para interceptar la niebla que ingresa al sistema y convertirla en agua disponible. Tobon & Gil (2007) observaron que distintas coberturas boscosas muestran un comportamiento diferencial en cuanto a su capacidad de captación de la niebla. Además, la cobertura y la composición de la vegetación, se relacionan de forma directa con la duración, la frecuencia y con la densidad de la niebla presente en los bosques.

Es de hacer notar que el índice de escasez realizado, a pesar de que da una idea bastante buena de cuál es la situación de la presión sobre el recurso hídrico, no cuenta con el poder adecuado. Esto sucede ya que se carece, por una parte, de series de tiempo de por lo menos 5 años de mediciones o cálculos para poder establecer caudales básicos, caudales ecológicos, y caudales medios mensuales (World Wildlife Foundation [WWF], 2011). Con los únicos datos con los que cuenta referente al área de estudio son los caudales determinados en este trabajo. Por aparte, no se cuenta con información meteorológica (precipitación, evapotranspiración, etc.) directa del área de estudio.

De las variables analizadas en la *Figura 2*, son los valores o rangos menores los que parecen tener mayor coherencia entre sí. Es decir, que entre los sectores, el de los agricultores de subsistencia (60% de ellos se encuentra en la escala más baja de ingresos: hasta el salario mínimo) presentan una disponibilidad a pagar relativamente mayor que los otros sectores. Aunque la cantidad que están dispuestos a pagar los agricultores se encuentre en los rangos más bajos (entre Q5.00 y Q15.00), les representa un porcentaje relativo mayor dentro de su presupuesto. Podría presumirse que esta situación es debida al contacto directo que este sector mantiene con los recursos naturales.

Al contrastar el sector de actividad económica contra el nivel de escolaridad (*Tabla 4*), se observa que existe una asociación significativa en el grado de verosimilitud ( $p < .032$ ) y que las personas con un grado de escolaridad nula se encuentran principalmente en el sector de agricultura. Así mismo, al contrastar el tipo de vivienda con el grado de escolaridad, se observa que existe asociación significativa ( $p < .026$ ), siendo que a mayor escolaridad, mejor tipo de vivienda. Este contraste muestra un comportamiento similar en cuanto a la tendencia al comparar la escolaridad con la tenencia de agua entubada en la casa ( $p < .012$ ) (estrictamente en el interior de la vivienda) y con el hecho de tener sistema de drenaje domiciliar ( $p < .007$ ) (estrictamente en el interior de la vivienda).

El comportamiento de las variables fue que a mayor escolaridad incrementa la tenencia de agua entubada y de sistema de drenaje en el interior de la vivienda. Otro contraste

realizado con el grado de escolaridad fue el de la percepción del uso del agua por parte de sus vecinos o conocidos. En este análisis se observa que hay una asociación significativa ( $p < .002$ ) en cuanto a que los entrevistados pertenecientes al sector agricultura, no consideran que sus vecinos utilicen de forma exagerada (desperdicien el agua). Durante las entrevistas, al preguntar sobre como usa el entrevistado el agua, todos (excepto uno) indicaron utilizar el agua de forma racionada. La discrepancia inicia al elevarse el grado de escolaridad del entrevistado, ya que se percibe que sus vecinos o conocidos utilizan de forma intermedia (ni racionada ni exagerada) el agua; y que no todos cuidan el agua (62.96% de los entrevistados consideran que no todos de sus vecinos o conocidos cuidan el agua).

Al contrastar los ingresos con la disponibilidad a pagar adicional al precio del servicio de agua, se observa que la cantidad absoluta aumenta al aumentar los ingresos reportados (44.44% indicaron que pagarían hasta Q10.00 adicionales a lo que pagan actualmente). Cuando se realizaba la pregunta de hasta cuánto más estarían dispuestos a pagar, también se les preguntó sobre a cambio de qué. A esto 37.03% respondieron que esperaban que se pudiera tomar (que fuera potable); otras repuestas fueron: que se dé el mantenimiento apropiado a los tanques de captación, que se observe transparencia en el uso de la cuota, que el servicio sea constante y que llegue agua entubada a la vivienda. Al contrastar sobre la percepción de los precios a pagar por los tratamientos a enfermedades relacionadas con la ingesta de agua, se observa que no hay asociación significativa ( $p > .687$ ) (77.73% de los entrevistados opinaron que el precio del servicio de agua oscila entre bajo y justo).

Al utilizar el sector como elemento de contraste encontramos que en lo que a la disponibilidad a pagar se refiere, no se observa una asociación significativa entre las diferentes actividades económicas ( $p > .702$ ). Lo mismo se observa al comparar la actividad económica con cuánto pagaría adicional a la cuota de agua.

Entre lo interesante al separar por sector, es que no hay asociaciones significativas entre actividades económicas al responder sobre el conocimiento del origen del (en general) del agua ( $p > .776$ ). Al redactar esta pregunta en particular, se hizo una ponderación descendente entre las respuestas: mayor conocimiento si responde que el agua proviene de

la montaña o del bosque, seguido de si el agua proviene del río, luego si el agua viene del pozo y por último la opción de otros. El 51.85% de los entrevistados respondieron que el agua provenía de la montaña o el bosque, y el 40.74% respondieron que provenía de los ríos.

Al realizar un análisis de la salud relacionada con el sector, se contrastó el hecho de atribuirle algún padecimiento al consumo de agua. No se observó asociación significativa ( $p > .213$ ). El 51.85% de los entrevistados indicó haberse enfermado de causa atribuible al consumo de agua una vez al año, mientras que el 37.03% indicó haberse enfermado al menos 2 veces durante el año. Al consultar sobre el tiempo que pasaba enfermo, tampoco hubo asociación significativa ( $p > .477$ ). Pero, al ser consultados sobre los gastos que realizan al enfermarse sí existe asociación significativa ( $p < .048$ ), y esta se observa al relacionar el sector con los ingresos. Se puede decir que los entrevistados se enferman de igual manera, con la misma frecuencia y con la misma duración, pero no pueden darse el lujo de gastar lo mismo en tratamientos.

Los entrevistados reportaron que ocasionalmente han tenido que comprar agua en volúmenes mayores al garrafón de agua purificada (20 L, aproximadamente), que cuesta Q16.00. Según reportan, el precio del tonel de agua (220 L, aproximadamente) es de Q50.00. Para determinar el valor de sustitución se considera como sustituto al tonel de agua y su respectivo precio de mercado. Considerando estos datos y la oferta total en el tiempo de estimación de caudales, se calculó que el valor de esa oferta de agua superficial ascendería a Q75,675,979.73. Este cálculo se hizo considerando un mercado hipotético en el que el agua que se produce en el Bucq se captara en toneles y se vendiera (a precio de mercado) toda la producción correspondiente a 9 meses.

Para indagar sobre los precios del mercado local en cuanto a tierras para cultivo, se consultó a los entrevistados sobre su conocimiento de tierras en venta. Al consultar a los vendedores individuales, se obtuvieron diferentes valores y se compararon con los valores obtenidos por consulta a vendedores de bienes raíces. Se consideró como un buen precio para la tierra de cultivo (sin infraestructura para construcción) alrededor de los Q75,000.00

por manzana. Al extrapolar este precio por la unidad de terreno al área que representan las cuencas estudiadas, se obtiene un valor de Q255,995,357.10 por la sustitución de la captación (producción) de agua por otro giro de producción. Para verlo de otro punto de vista, ese valor es lo que se debería invertir para captar o tener la misma producción de agua por otros medios.

Entender las implicaciones de estos valores es de gran importancia, por ejemplo al intentar hablar con las personas o autoridades del precio de la conservación de los recursos naturales. Uno de los esquemas de financiamiento para la conservación de los recursos es el de pago por servicios ambientales (PSA). Se considera que estos mecanismos de PSA, que se basan en la teoría de externalidades económicas, podrían propiciar el aumento del valor de los recursos ecosistémicos escasos, y permitiría la mejora de su protección (Cooperación Técnica Alemana [GTZ], 2005).

Según lo recabado por medio de las entrevistas (ver numeral 3 de la tabulación de respuestas a la entrevista en la sección Apéndice), el 73% de la población está estructurada en familias de 4 a 5 miembros. De hecho, el 48% de los entrevistados reportaron núcleos familiares de 5 miembros. Por ello, se asumió para el cálculo de este valor un número de 5 personas por familia. El 44.44% de los entrevistados indicó que estaría dispuesto a pagar Q10.00 más del valor del agua. De esta forma se estima que el valor DAP ascendería a Q470,872.00 al mes.

El 55% de los entrevistados indicó que sus gastos debido a enfermedades asociadas con la ingesta de agua ascienden entre Q100.00 y Q250.00 al año. El 77% indicó que al enfermarse debe permanecer en reposo entre 2 y 3 días. El 88% de los entrevistados indica que se enferman de 1 a 2 veces al año de causas asociadas con la ingesta de agua. Con estos costos por la enfermedad, la proporción de la población que incurre en ellos y el dato poblacional estimado, se obtiene un valor de Q12,948,980.00 por concepto de gastos médicos o en medicinas debido a enfermedades asociadas con la ingesta de agua.

Se observa que de los criterios de valoración, los primeros dos (de uso directo) estarían dados por circunstancias hipotéticas que, de ocurrir, dichos valores representarían (o deberían ser cubiertos por medio de) gasto público (vía inversión municipal o aporte del Estado). Los otros dos (de uso indirecto), si se dieran las situaciones hipotéticas (o si de hecho se observan en la práctica), son montos que deberían ser (o son) sufragados por medio de gasto privado; esto quiere decir que son costos que corren por parte de las personas. Martínez y Dimas (2007) indican que los valores obtenidos en los ejercicios de valoración económica, por ejemplo la DAP, no se deben utilizar como criterios para establecimiento de tarifas o cuotas y que estos tampoco representan el valor total de los servicios que los ecosistemas pueden proveer.

El papel que desempeñan los bosques (principalmente los bosques nubosos) sobre el ciclo del agua y sobre la disponibilidad de agua superficial, adquiere cada día un mejor entendimiento (Oyarzún, Nahuelhaul, & Nuñez, 2005). Es claro que los bosques son abastecimientos naturales de agua, por medio de la infiltración y retención de agua en varios almacenes y su intercepción, para uso de las personas (De Groot, Wilson & Boumans, 2002). Lo anterior se ha relacionado con la integridad, el tipo y la cantidad de cobertura vegetal (Oyarzún, Nahuelhaul, & Nuñez, 2005).

Las buenas condiciones de conservación a lo interno del terreno del Biotopo, la remanencia de bosque primario y su cobertura vegetal lo convierten en un almacén potencialmente importante de agua, bajo la óptica de los servicios ecosistémicos (García, 1998; García-Franco et al., 2008; Oyarzún, Nahuelhaul, & Nuñez, 2005; Tognetti, Mendoza, Southgate, Aylward & García, 2003).

## 9. Conclusiones

- Se calculó una oferta hídrica superficial total de 332,974,310.8 litros producida en los cuatro subsistemas estudiados. A pesar de que el área de estos sistemas juntos equivale al 9.64% de la extensión total del municipio, capta (produce) una cantidad de líquido capaz de satisfacer entre el 13.81 y el 41.44% de la demanda total de agua.
- La demanda total del recurso hídrico superficial por parte de los pobladores del municipio de Purulhá se calculó considerando dos escenarios: 1) consumo per cápita de 50 litros diarios, y 2) consumo per cápita de 150 litros diarios. Para estos escenarios, los valores respectivos son de 803,425,350 L, y de 2,410,276,050 L en 9 meses de duración del estudio.
- Al relacionar la demanda y la oferta hídrica, se establecen valores para el índice de escasez de 241.28% bajo un régimen de consumo de 50 litros al día por persona, y de 723.86%, bajo un consumo per cápita de 150 L diarios. Estos valores indican que el agua producida en el Biotopo, por sí solo, no podría satisfacer la demanda hídrica total del municipio.
- Los bosques del municipio (donde se encuentran otros nacimientos de agua y los tanques de captación para abastecimiento de agua) se encuentran amenazados por el avance de la frontera agrícola y la pérdida de masa boscosa. Los bosques nubosos son especialmente sensibles a la pérdida de extensión y a la modificación de su constitución vegetal, y esto podría provocar un desabastecimiento peligroso de agua en el futuro.
- El valor de uso directo por sustitución se estableció en Q75,675,979.73 para poder abastecer con un volumen igual al de la oferta de agua del Biotopo, proveniente de una fuente sustituta por un tiempo equivalente a los 9 meses del estudio. Su valor uso directo por captación sería de Q255,995,357.10, que corresponde al dinero que representaría comprar un terreno, en la región, con un área equivalente a la del sistema de cuencas estudiado, para la producción (captación) de un volumen de agua equivalente al de la oferta hídrica total del Biotopo. En ambos casos, los

fondos para realizar las transacciones correspondientes tendrían que provenir del gasto público.

- En el esquema de uso indirecto se obtuvo un valor de DAP de Q470,872.00/mes. Esto representa que los pobladores del municipio muestran un interés en la conservación de las fuentes de abastecimiento de agua. Por su parte, el valor de costo social sería de Q12,948,980.00 al año. Este valor representa lo que las personas deben gastar en concepto de consulta y tratamiento médico como consecuencia de enfermedades relacionadas al consumo de agua. Los costos establecidos como uso indirecto del agua, deben ser cubiertos con fondos provenientes de particulares.
- Los valores económicos determinados para el uso directo o el uso indirecto del agua no deben utilizarse como un criterio para establecer cuotas, importes o arbitrios por concepto de servicio de agua, y no representan el valor total del servicio ecosistémico de oferta hídrica superficial o del ecosistema del bosque nuboso del Biotopo del Quetzal.
- En general, las personas tienen una buena noción sobre el origen del recurso hídrico, así como buenas intenciones sobre el uso racional y la conservación del mismo. Esto se ve reflejado en la disponibilidad a pagar por la conservación del entorno de la fuente del agua. En este sentido, aunque las cantidades dispuestas a pagar son muy similares, representan proporciones muy distintas al compararse con los ingresos reportados. En cuanto al padecimiento de enfermedades, también se observa que el tiempo de convalecencia reportado es muy similar entre los entrevistados, la diferencia se observa en la capacidad para pagar por los tratamientos durante el padecimiento.

## 10. Recomendaciones

- Se recomienda establecer un programa de monitoreo de caudales en el Biotopo, ya que es de suma importancia comprender sus dinámicas estacionales e interanuales del recurso hídrico, para poder establecer planes de manejo o planes de contingencia sobre bases sólidas y capaces de reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y los poblados de la región.
- Contar con información meteorológica crónica correspondiente al sitio de estudio, con la finalidad de poder realizar análisis más certeros de los factores meteorológicos y microclimáticos del sitio de estudio.
- Permitir que los estudios que requieran de datos anuales, puedan completar al menos un año entero de mediciones u observaciones.
- Contar con personal suficiente de manera que las mediciones de caudales puedan realizarse con un mínimo de diferencia de tiempo.

## 11. Referencias

- Allen, C.D. (2009). Muerte regresiva inducida por el clima: ¿un fenómeno mundial en aumento? *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 60(2), 231-232
- Andrade A., y Vides, R. (2010). *Enfoque ecosistémico y políticas públicas: aportes para la conservación de la biodiversidad y la adaptación al cambio climático en Latinoamérica*. México: Editorial MacArthur Foundation.
- Arrojo, P. (2001). Hacia una nueva racionalidad económica en la gestión de aguas. Conferencia llevada a cabo en el congreso II Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas. Congreso llevado a cabo en el Instituto Geológico y Minero, España.
- Ayala-Carcedo, F. (2000). Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en España y viabilidad del plan hidrológico nacional 2000. Congreso llevado a cabo en el Instituto Geológico y Minero, España.
- Azqueta, D. (2002). *Introducción a la economía ambiental*. Madrid, España: McGraw-Hill
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(2), 136-147.
- Balvanera, P y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, (85), 8-15.
- Brown, A. y M. Kappelle. (2001). Introducción a los bosques nublados del geotrópico: una síntesis regional. En: M. Kappelle y A.D. Brown (Eds.), *Bosques Nublados del Neotrópico*, (pp. 25-38). Heredia, Costa Rica: Editorial INBio Scatena Editors.
- Brown, A., & Matlock, M. (2011) A review of water scarcity indices and methodologies. *The Sustainability Consortium*. (106).
- Bruijnzeel, L. (2002). Hydrology of Tropical Montane Cloud Forests: a Reassessment. *Hydrology and water management in the humid tropics. Proceedings of the Second International Colloquium*, 3(10), 353-474.
- Bruijnzeel L. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(1), 185-228.
- Bruijnzeel, L., Kappelle, M., Mulligan, M., & Scatena, F. (2010). Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world. Bruijnzeel, L., Scatena, F., Hamilton, L. (Ed), *Tropical montane cloud forests. Science for Conservation and Management*, 3(2), 691-740.
- Castañeda, M., y Castañón A, O. (2000). *Lineamientos de política hídrica nacional y propuesta para el fortalecimiento del marco institucional y legal del sector recursos hídricos*. Guatemala, Guatemala: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Cavelier, J., Jaramillo, M., Solis, D., & de Leon, D. (1997). Water Balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panama. *Journal of Hydrology*, 193(1), 83-96.
- Centro de Estudios Conservacionistas. (2000). *Plan Maestro, Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal "Mario Dary Rivera"*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas (2004). *Valoración económica de la Unidad de Conservación Laguna del Tigre*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cooperación Técnica Alemana. (2005) *Valoración del agua como servicio ambiental para el abastecimiento de agua potable en el casco municipal de San Jerónimo, Baja Verapaz*. Programa para la descentralización y desarrollo municipal. Guatemala, Guatemala: (GTZ)
- Costa, C., Domínguez, E., Rivera, H., y Venegas, R. (2005). *El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?* Medellín, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- Daily, G. (Ed.). (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC., USA: Island Press
- Dale, V. H., Joyce, L.A McNulty, S. Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D & B.M. Wotton. (2001). Climate change and forest disturbances. *Bioscience*, (51), 723-734.
- De Groot, R., Wilson M., & Boumans R. (2002) A typology for the classification, descriptions and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, (41), 393-408.

- Domínguez, E., Rivera, G., Venegas, R., Moreno, P. (2008). Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Ecología*, 32 (123), 25-36
- Engel S., Pagiola, S., & Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics*, 65(2) 663-674.
- Foster, P. (2002). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(2), 73-106.
- García, B. (1998). *Estudio del dosel de la selva nublada del Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal "Marío Dary Rivera"*. Tesis Lic. Guatemala, Usac, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 143 p.
- García-Franco, j., et al. (2008) Estructura y composición de un bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, (83), 19-27
- Global Water Partnership (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos*. Estocolmo, Suecia: TAC Background Paper.
- Holder. C. (2004). Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest of Guatemala. *Forest Ecology and Management*, 190 (2) 373-384.
- Holder, C. (2006). Leaf water repellency of species in Guatemala and Colorado (USA) and its significance to forest hydrology studies. *Journal of Hydrlogy*, 336, 147-154.
- Infante, H., y Ortíz, F. (2008). Ajuste metodológico al índice de escasez de agua propuesto por el Ideam en el plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Pamplonita, Norte de Santander, Colombia. *Colombia forestal*, 11(3), 165-173.
- Instituto de Fomento Municipal (2016) *Evaluación del sistema de abastecimiento de agua del área urbana del municipio de Purulhá, Baja Verapaz*. ORD/ING/ASE 005-16/AOCI/aoci
- Jaramillo-Rojas, C., Molina, P., & Betancourt, T. (2011). Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia. *Revista Ingenierías*, 10(19). 33-45. Recuperado en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75022317003>
- Jaramillo, V. (2004). El ciclo global del carbono. En: Martínez, J. y Bermauntz, A. (Eds.), *Cambio climático: una visión desde México*. México: SEMARNAT/INE
- Ley No. 18-89. Congreso de la República de Guatemala. 10 de enero de 1989.
- Ley No. 110-96. Congreso de la República de Guatemala.
- Little, C., Lara, A., McPhee, J. & Urrutia, R. (2009). Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of Hydrology*. (374),162–170.
- Little C, & Lara, A. (2010). Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque* 31(3), 175-178.
- Locatelli, B. y Kanninen, M. (2010). Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático. Martínez-Alonzo, C., Locatelli, B., Vignola, R., y Imbach, P., (Ed), *Libro de actas del Seminario internacional sobre adaptación al cambio climático (SIAASE 2008)*, (pp12-20). Cartago, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- López-Hoffman L., Varady, R.G., Flessa K.W., & Balvanera P. (2010). Ecosystem services across borders: A framework for transboundary conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(2), 84–91.
- Maldonado-Aguilera, C. (2005). *Cuantificación de dióxido de nitrógeno en el Parque Ecológico Cayalá, en época seca y época lluviosa*. Informe final de investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala.
- Maldonado-Aguilera, C. y Oliva, P. (2010). *Cuantificación de carbono y nitrógeno capturados por parte del Biotopo Universitario para la conservación del Quetzal (BUCQ) "Mario Dary Rivera"*. Informe final de investigación CONCYT 05-2009, Guatemala.
- Martínez, M., Dimas, L. (2007). *Valoración económica de los servicios hidrológicos: subcuenca del río Teculutlán, Guatemala*. Guatemala, Programa de Comunicaciones WWF Centroamérica.
- Mendieta, J.C. (1999). *Manual de valoración económica de bienes no mercadeables. Aplicación de las técnicas de valoración no mercadeables, y el análisis costo beneficio y medio ambiente*. Documento de trabajo. Medellín, Colombia: Universidad de los Andes
- Millar C, Stephenson, N., & Stephens, S. (2007). Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *The Ecological Society of America*, 17(8), 81-96.

- Millenium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and human well-being. Synthesis*. Washington DC: Island Press,
- Morales, M. y Armenteras, D. (2013). Estado de conservación de los bosques de niebla de los andes colombianos, un análisis multiescalar. *Boletín Científico, Museo de Historia Natural* 17, (1), 64 – 72.
- Muñoz, E., Arumi, J., & Rivera, D. (2013). Watersheds are not static: implications of climate variability and hydrologic dynamics in modeling. *Bosque*, 34(1), 7-11
- Muñoz-Villers, L., Holwerda, F., Alvarado-Barrientos, M., Geissert, D., Beatriz Marín-Castro, Gómez-Tagle A., McDonnell, J., Asbjornsen, H., Dawson, T., & Bruijnzeel, L. A.. (2015). Hydrological effects of cloud forest conversion in central Veracruz, Mexico. *Bosque*, 36(3), 395-407, 2015 DOI: 10.4067/S0717-92002015000300007.
- Navarrete, F., Blanco, J., Domínguez, E., Sanclemente, G., Hernández, D., Moreno, J., y Vargas, J. (2010). *Indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el cambio climático*. Medellín, Colombia: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales
- Oliva, P y Maldonado-Aguilera, C. (2007). *Cuantificación de NO<sub>2</sub> en época seca y época lluviosa y determinación de distancia mínima de cuantificación de NO<sub>2</sub> en el Parque Ecológico Cayalá*. Informa final de investigación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia: Usac
- Ordoñez, J. (2011). *Balance hídrico superficial*. Lima, Perú: GWP Foro peruano para el agua, Sociedad geográfica de Lima.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organismo Autónomo Parques Nacionales (2009). *Manual de Capacitación: Pago por Servicios Ambientales en Áreas Protegidas en América Latina*. Figueroa, E. España. 46 p.
- Ortiz, A. (2000). *Informe de valoración económica del Sistema Nacional de Áreas Protegidas: Una aproximación al valor económico de los bienes y servicios ambientales*. Informe Técnico. Guatemala, Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas/ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Oyarzún, C. Nahuelhaul, L., y Nuñez, D. (2005) Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 20(3), 88-95,
- Pape, E., & Ixcot, L. (1998) *Economía ambiental y desarrollo sostenible: valoración económica del lago de Amatitlán*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Programa Guatemala.
- Pérez, C., Barzev, R, Herlant, P., Aburto, E., Rojas, L., y Rodríguez, R. (2002). *Pago por servicios ambientales: Conceptos, principios y su realización a nivel municipal*. Managua, Nicaragua: Pasolac.
- Potter, C. (2012). Net primary production and carbon cycling in coast redwood forests of central California. *Open Journal of Ecology*, 2(3), 147-153 doi:10.4236/oje.2012.23018
- Rentería-Flores, G., y Pérez-Arredondo, F. J. (2010). *Cálculo de un índice de pobreza de agua a nivel de estados*. México, México: Verano de la Ciencia
- Rivera, H., Domínguez, E., Marín, R., y Venegas, R. (2004). *Metodología para el cálculo del índice de escasez del agua superficial*. Bogotá, Colombia: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales
- Rogers, P. (2001). *El agua como un bien económico y social: Como poner los principios en práctica*. TAC Background Paper No. 2. Santiago, Chile: Global Water Partnership
- Ruíz-Pérez, M.; García, C., y Sayer, J. A. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas* 16, 2(3): 81-90
- Sabas, C. A., y Paredes, D. (2009). Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del Río Barbas. *Scientia et Technica*, 15( 42), 53-64
- Secretaría Nacional de Planificación (2011) *Plan de desarrollo Municipal del Municipio de Purulhá, Baja Verapaz*. Guatemala, Guatemala: Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
- Simberloff, D., Martin, J., Genovesi, P., Maris, D., Wardale, D., Aronson, J., & Vilá, M. 2013. Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends Ecol Evol*. 28(1):58-66. doi:10.1016/j.tree.2012.07.013.
- Stehr A, Debels, P., Arumí, J.L., Alcayaga H., y Romero, F. (2010). Modelación de la respuesta hidrológica al cambio climático: experiencias de dos cuencas de la zona centro-sur de Chile. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(1), 37-58.
- Tobón, C., & Gil,(2007).Capacidad de interceptación de la niebla por la vegetación de los páramos andinos. *Avances en recursos hidráulicos*, 2 (15),

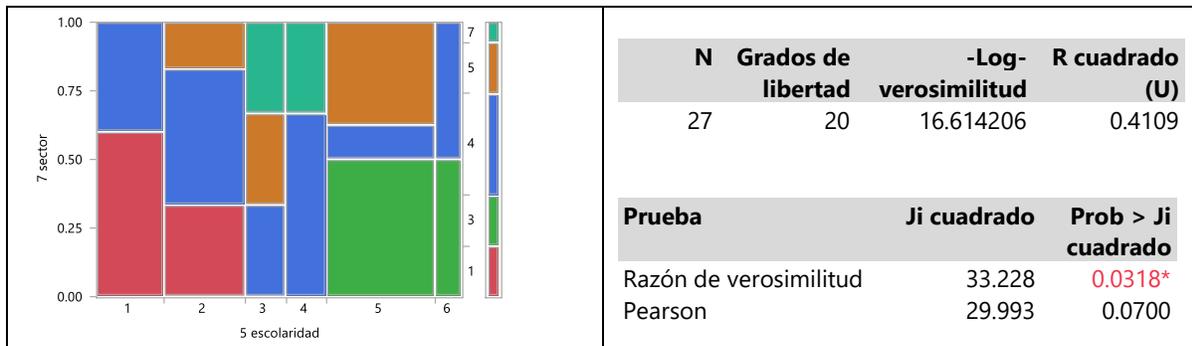
- Tognetti, S., Mendoza, G., Southgate, D., Aylward B. y García, L. (2003). Evaluación de la efectividad de pagos para servicios ambientales en las cuencas hidrológicas. Memorias Tercer Congreso Latinoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales llevado a cabo en Arequipa, Perú,
- Williams-Linera, G. Manson, R., y Isunza, E. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 8(1), 73-89.
- World Wildlife Foundation (2011) *Guía rápida para la determinación de caudales ecológicos. Aproximaciones Hidrológicas*. Alianza WWF- Fundación Gonzalo Ríos Arronte, I.A.P.
- Xu, C.Y., & Singh, V. P. (2004): Review on regional water resources assessment under stationary and changing climate. *Water Resources Management*, 18(6), 591– 612.
- Xu, C.Y., Widen, E., & Halldin, S. (2005). Modelling hydrological consequences of climate change-Progress and challenges. *Advances in atmospheric sciences*, 22(6), 789-797.

## 12. Apéndice

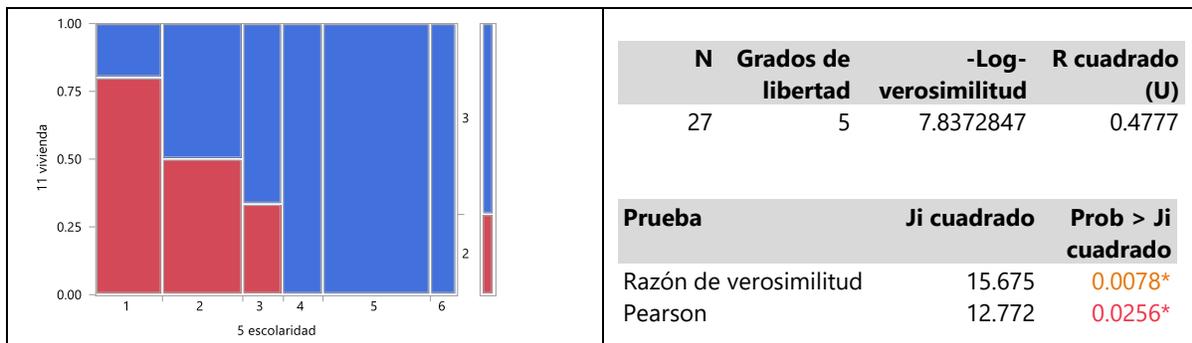
### 12.1 Análisis de contingencia realizados

#### Escolaridad contra varias

#### Análisis de contingencia de 7 sector por 5 escolaridad Gráfico en mosaico

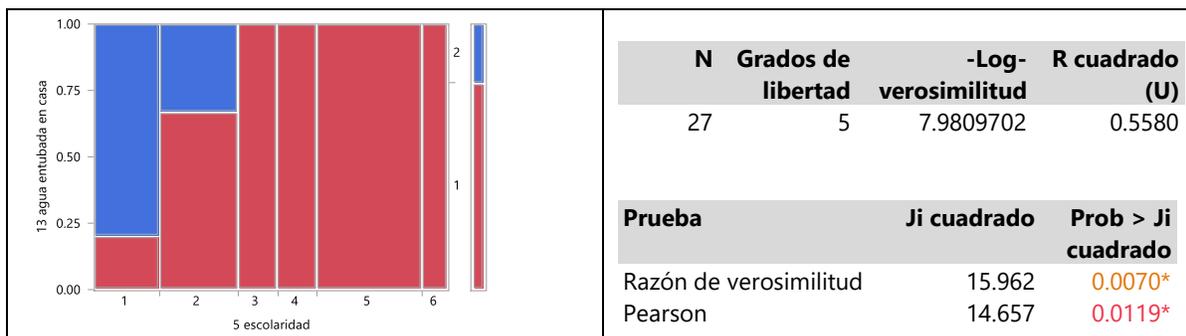


#### Análisis de contingencia de 11 vivienda por 5 escolaridad Gráfico en mosaico



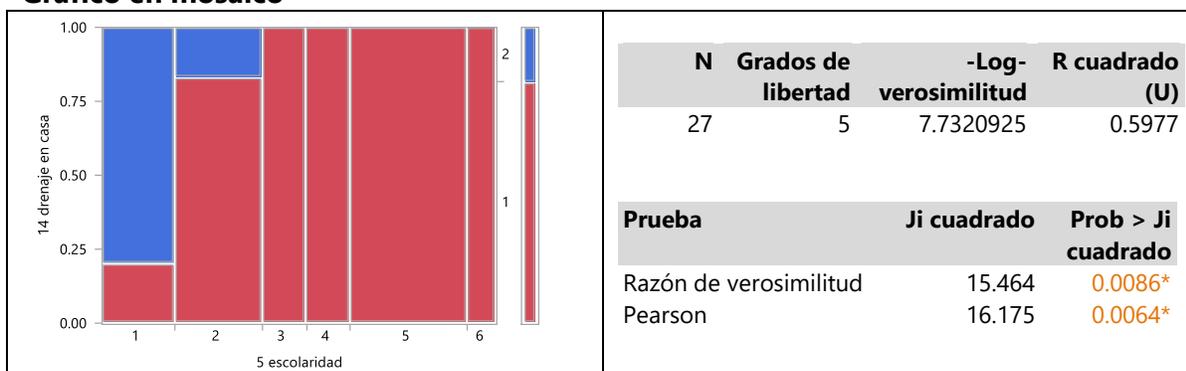
### Análisis de contingencia de 13 agua entubada en casa por 5 escolaridad

#### Gráfico en mosaico



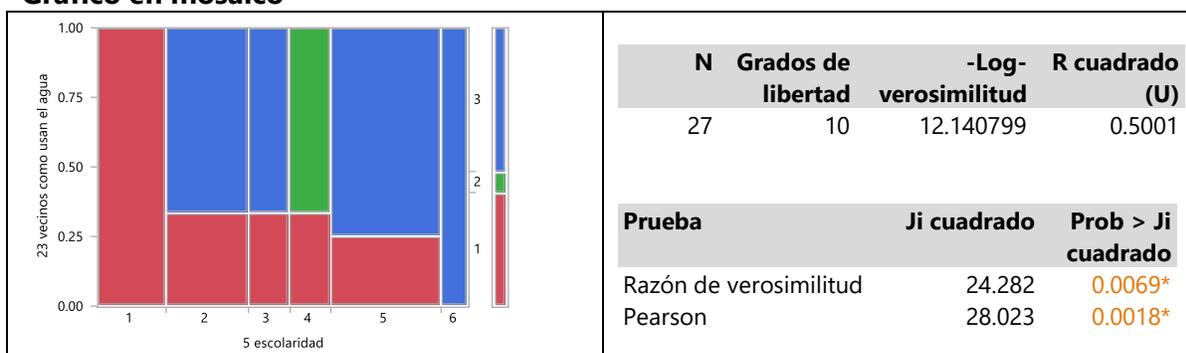
### Análisis de contingencia de 14 drenaje en casa por 5 escolaridad

#### Gráfico en mosaico



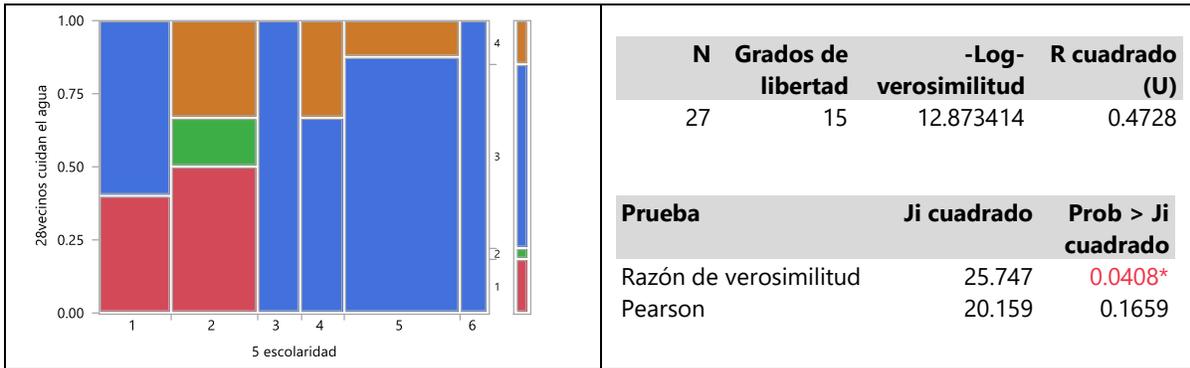
### Análisis de contingencia de 23 vecinos como usan el agua por 5 escolaridad

#### Gráfico en mosaico



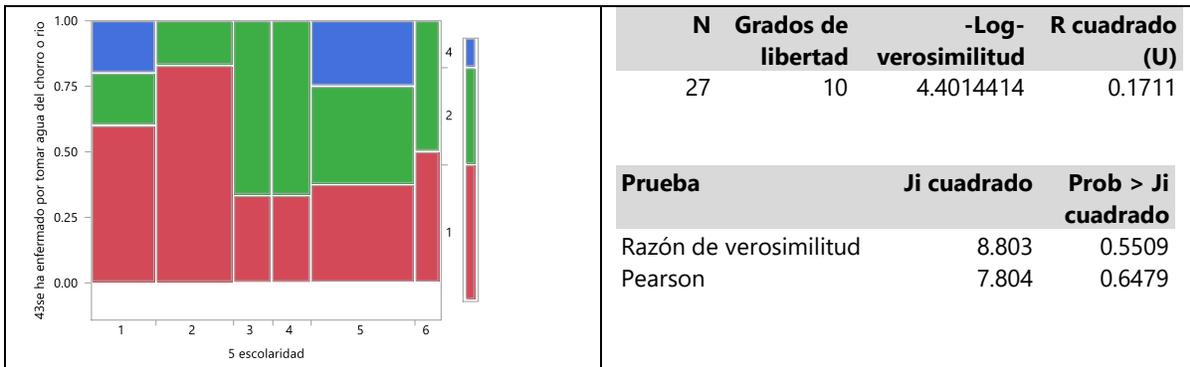
### Análisis de contingencia de 28vecinos cuidan el agua por 5 escolaridad

#### Gráfico en mosaico



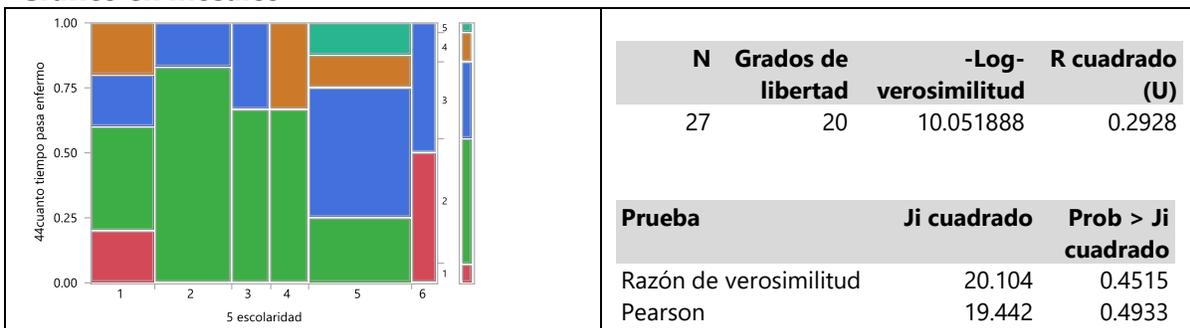
### Análisis de contingencia de 43se ha enfermado por tomar agua del chorro o rio por 5 escolaridad

#### Gráfico en mosaico

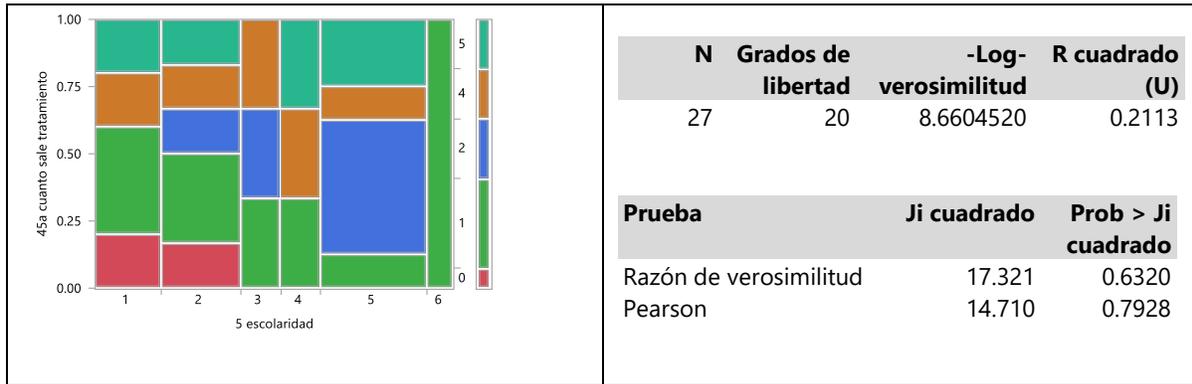


### Análisis de contingencia de 44cuanto tiempo pasa enfermo por 5 escolaridad

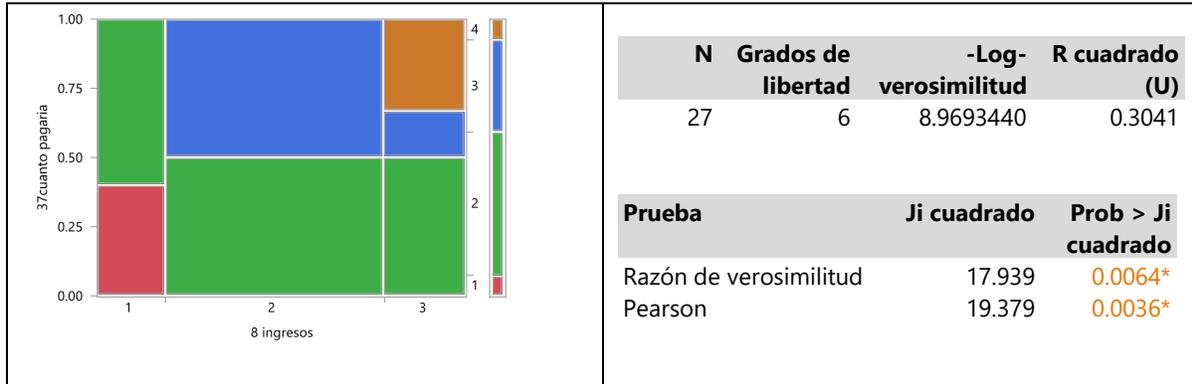
#### Gráfico en mosaico



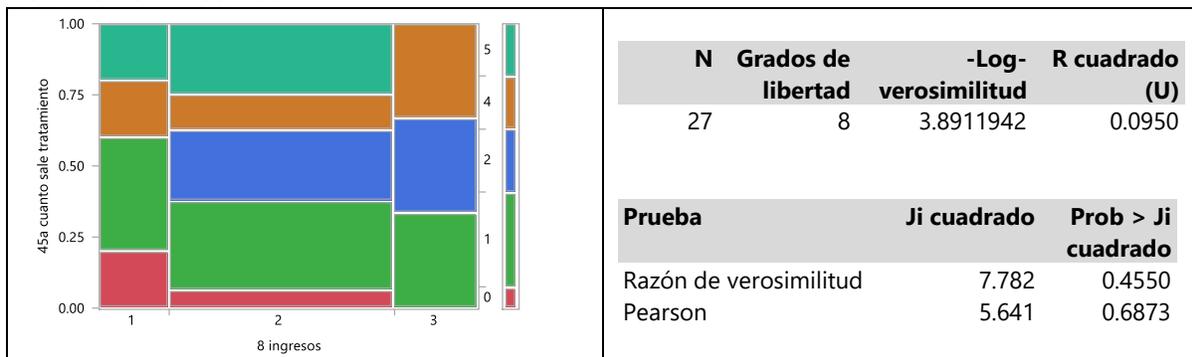
**Análisis de contingencia de 45a cuanto sale tratamiento por 5 escolaridad**  
**Gráfico en mosaico**



**Análisis de contingencia de 37cuanto pagaría por 8 ingresos**  
**Gráfico en mosaico**

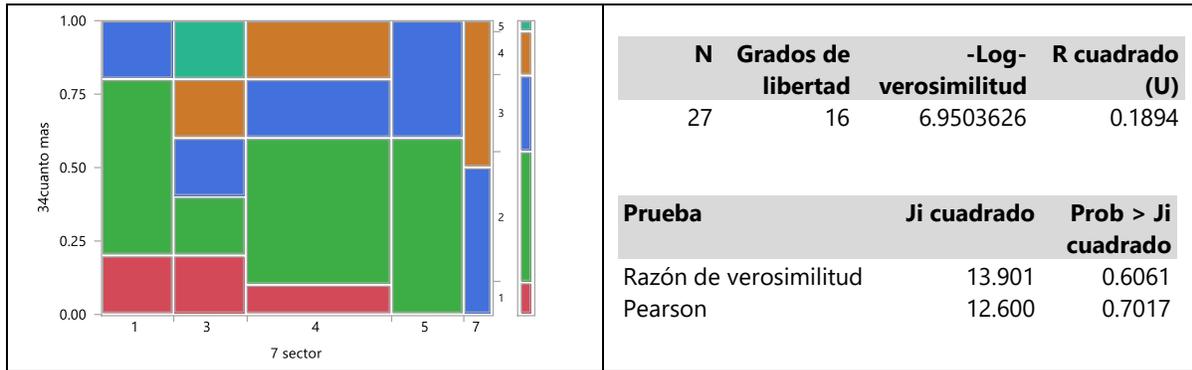


**Análisis de contingencia de 45a cuanto sale tratamiento por 8 ingresos**  
**Gráfico en mosaico**



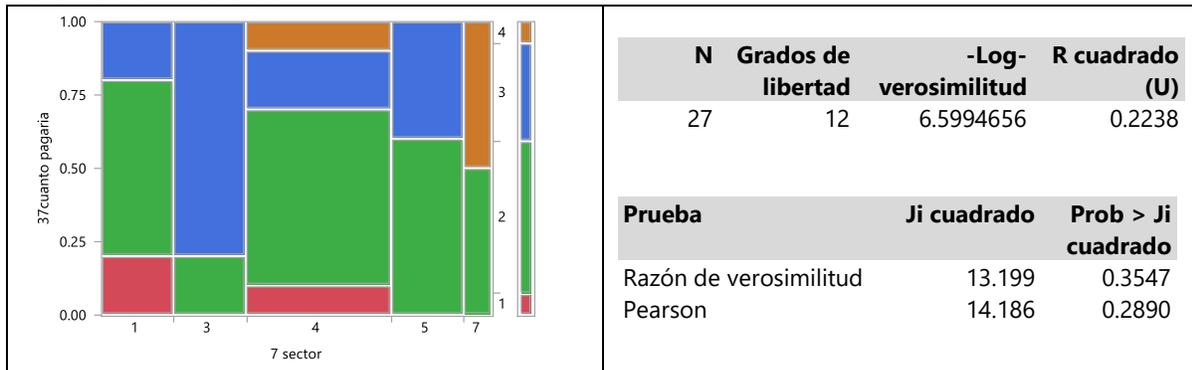
### Análisis de contingencia de 34cuanto mas por 7 sector

#### Gráfico en mosaico



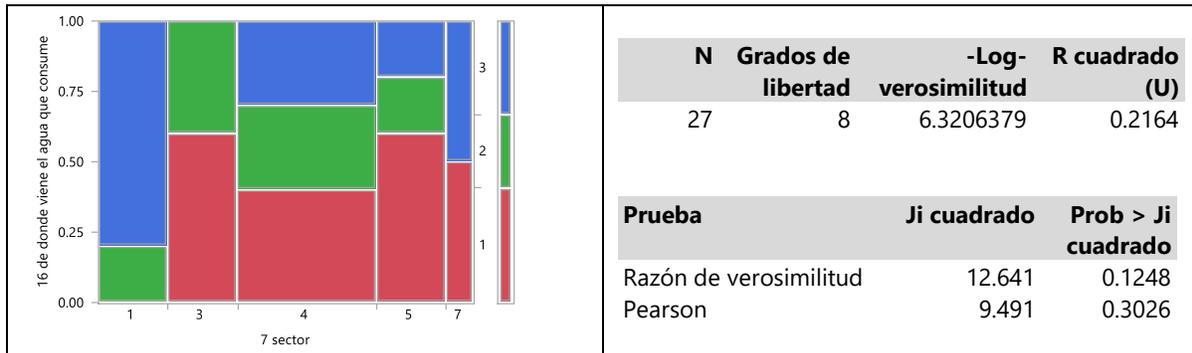
### Análisis de contingencia de 37cuanto pagaria por 7 sector

#### Gráfico en mosaico

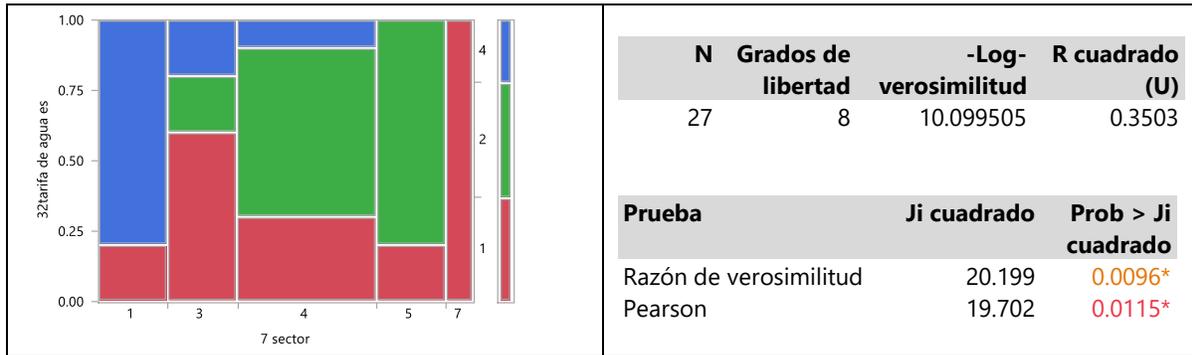


### Análisis de contingencia de 16 de donde viene el agua que consume por 7 sector

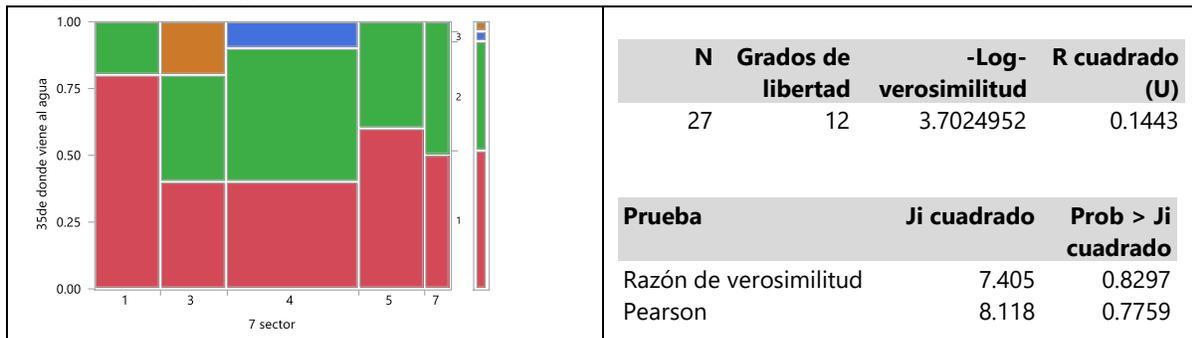
#### Gráfico en mosaico



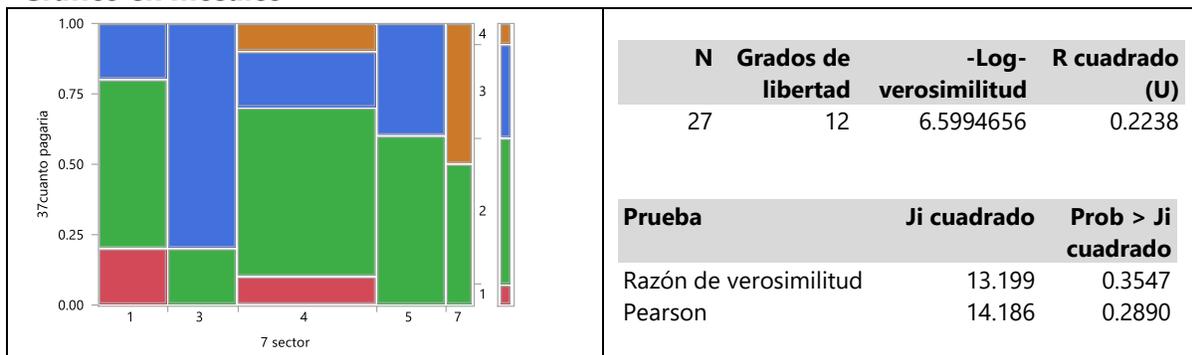
**Análisis de contingencia de 32tarifa de agua es por 7 sector**  
**Gráfico en mosaico**



**Análisis de contingencia de 35de donde viene al agua por 7 sector**  
**Gráfico en mosaico**

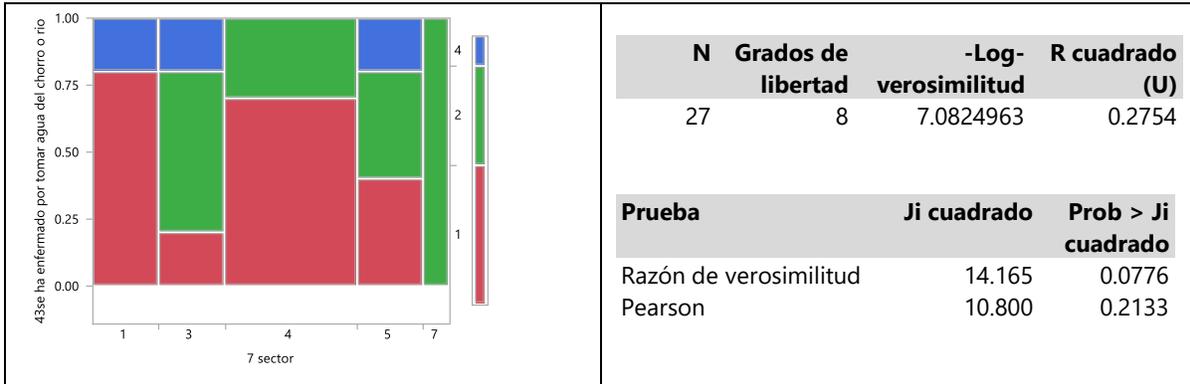


**Análisis de contingencia de 37cuanto pagaría por 7 sector**  
**Gráfico en mosaico**



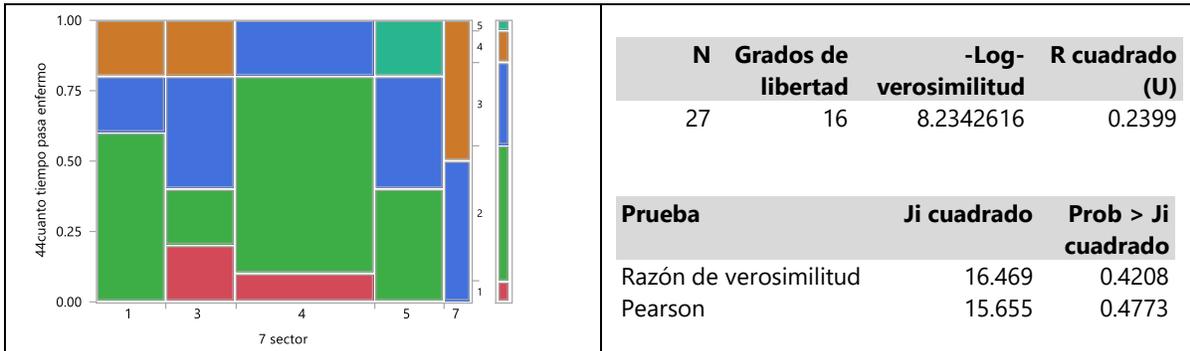
## Análisis de contingencia de 43se ha enfermado por tomar agua del chorro o rio por 7 sector

### Gráfico en mosaico



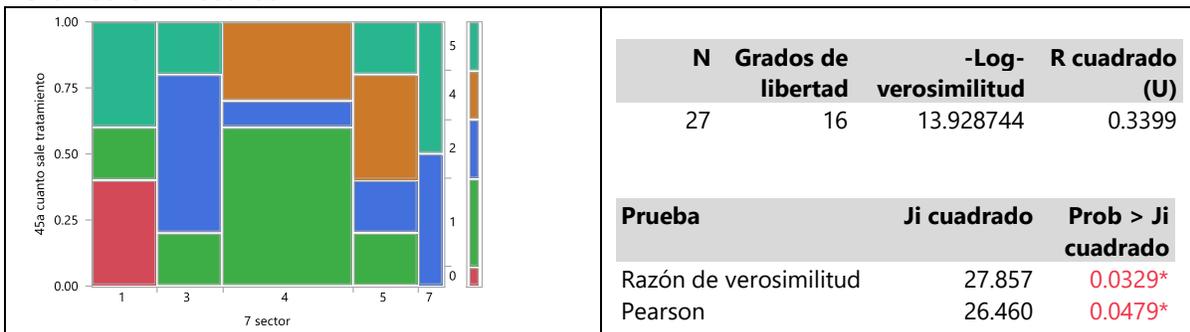
## Análisis de contingencia de 44cuanto tiempo pasa enfermo por 7 sector

### Gráfico en mosaico



## Análisis de contingencia de 45a cuanto sale tratamiento por 7 sector

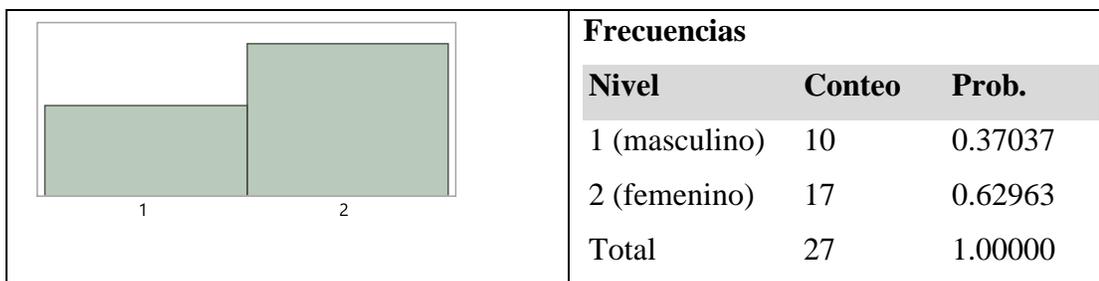
### Gráfico en mosaico



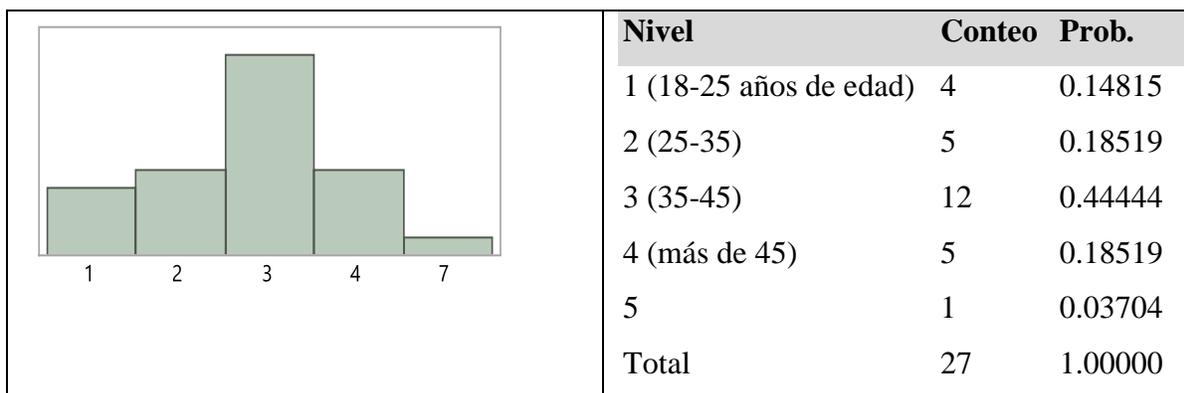
## 12.2 Distribuciones de respuestas de las entrevistas

**Primera sección: información personal y caracterización socioeconómica del entrevistado.**

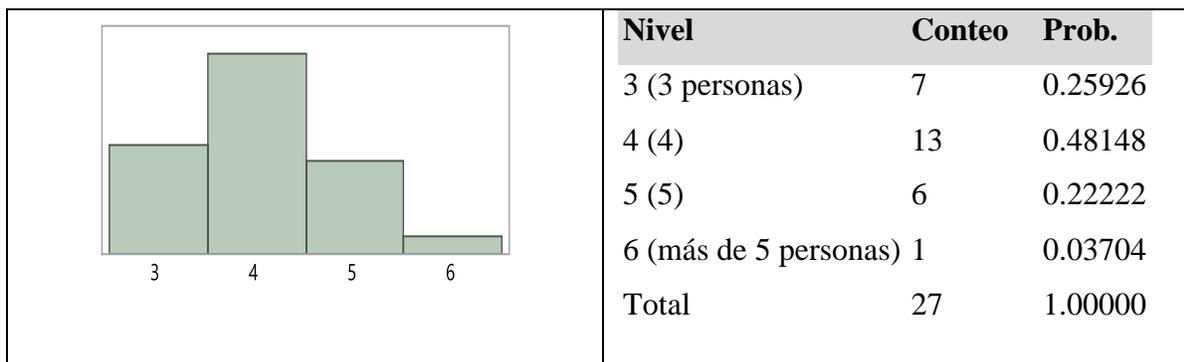
### 1. Sexo del entrevistado



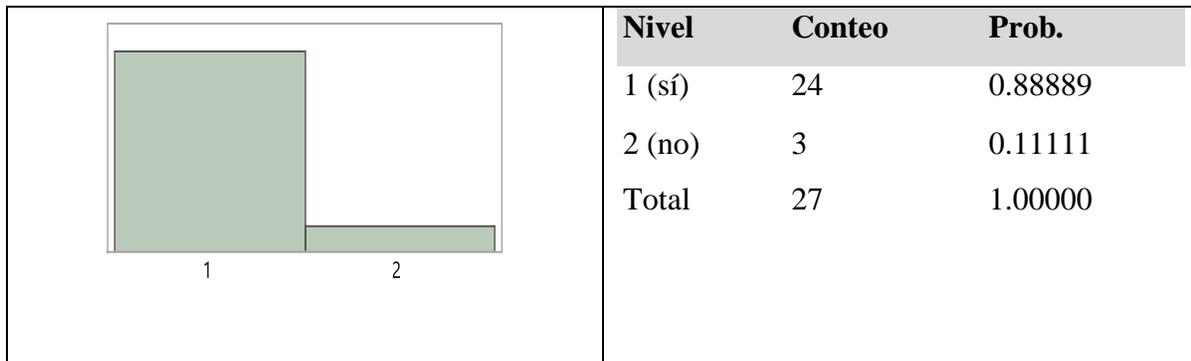
### 2 Edad del entrevistado



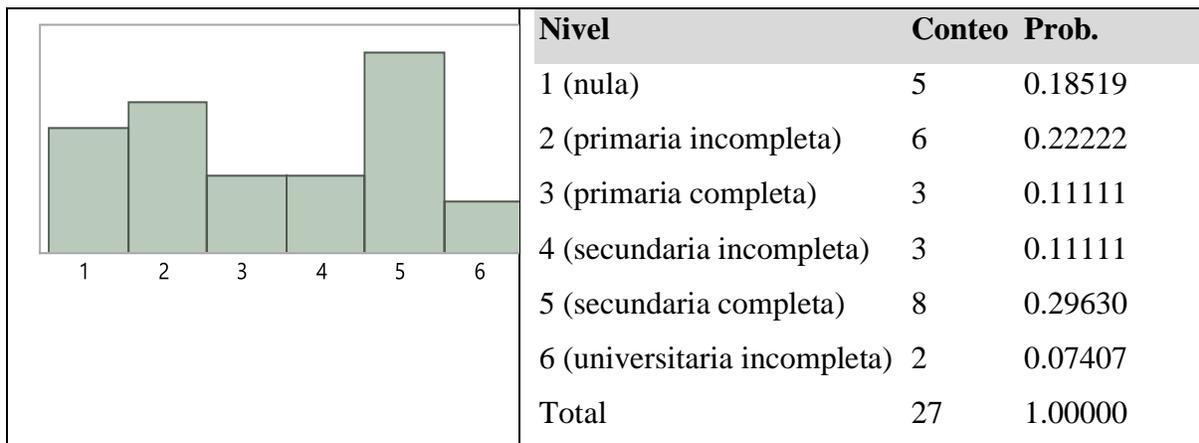
### 3 Número de personas en su casa, aparte de usted



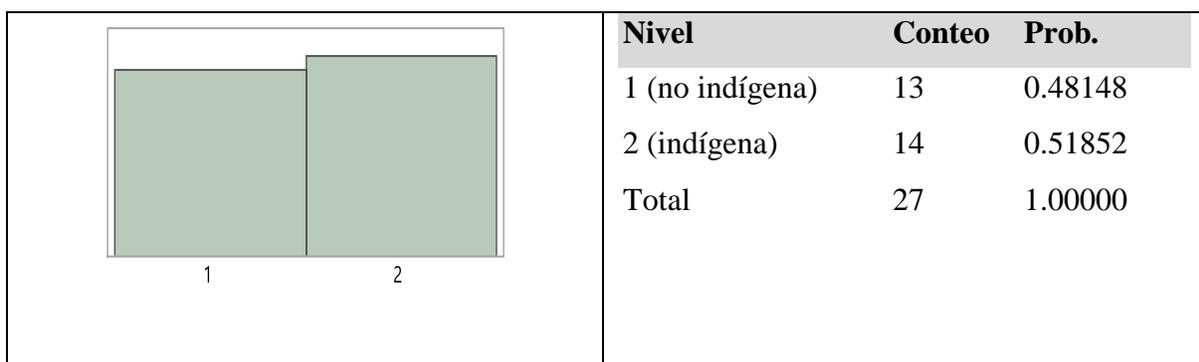
#### 4 Es usted originario de Purulhá



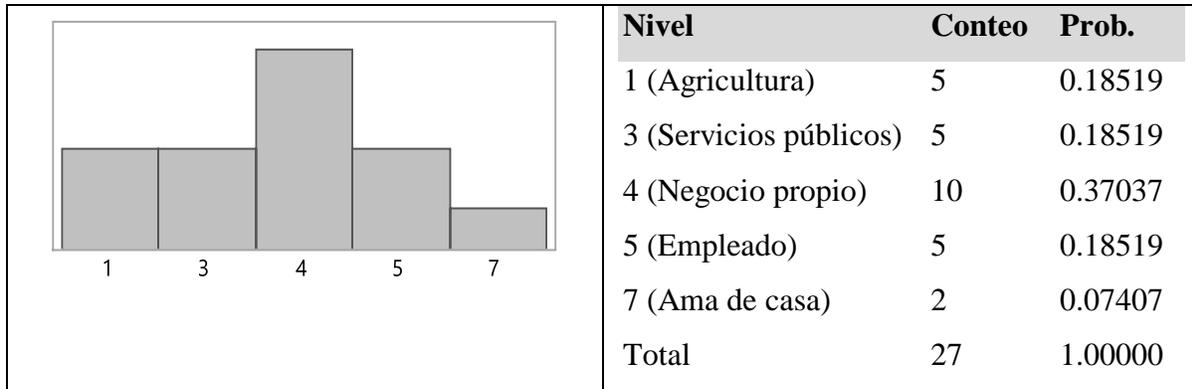
#### 5 Nivel de escolaridad



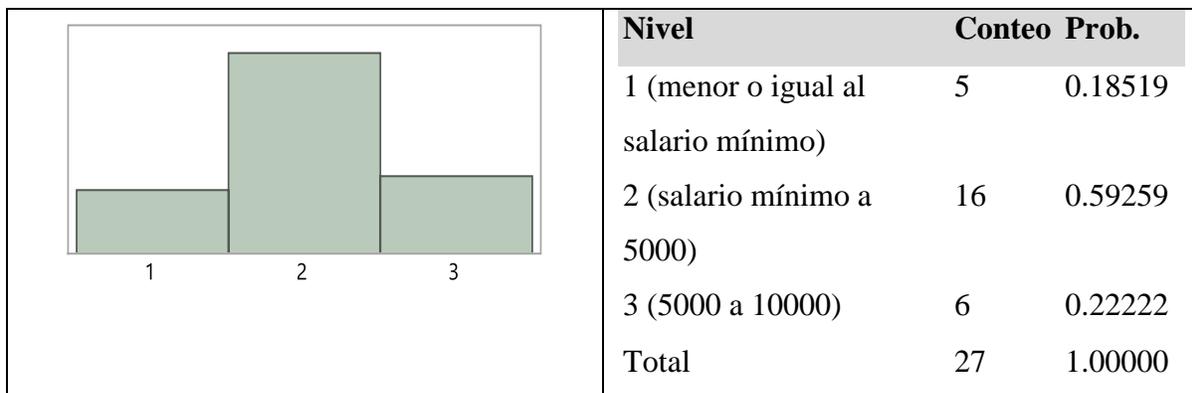
#### 6 etnia



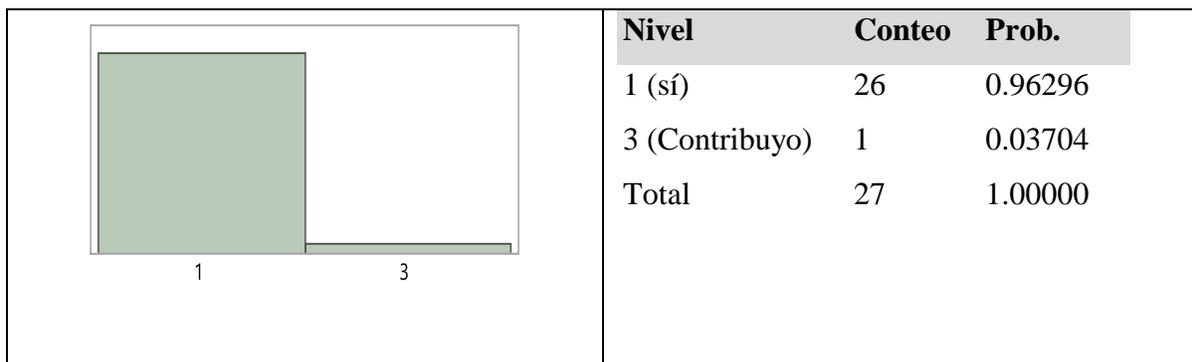
### 7 Sector económico al que pertenece



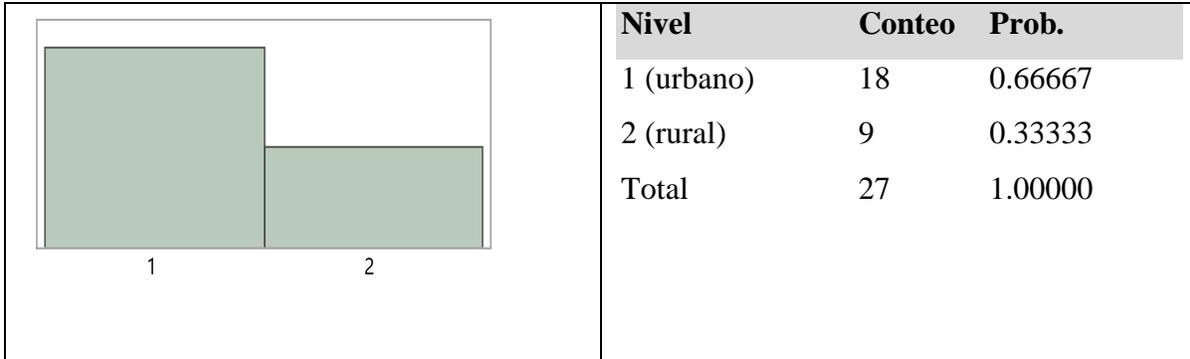
### 8 Ingresos monetarios a partir de su actividad económica



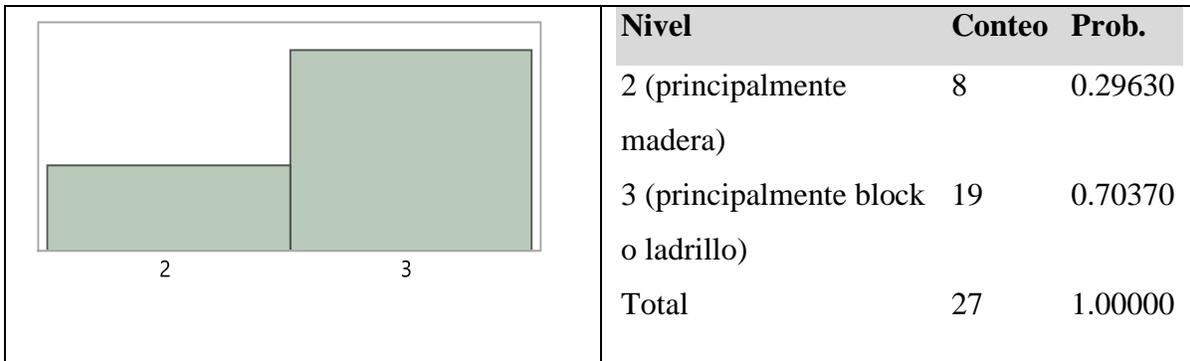
### 9 Mantiene a su familia



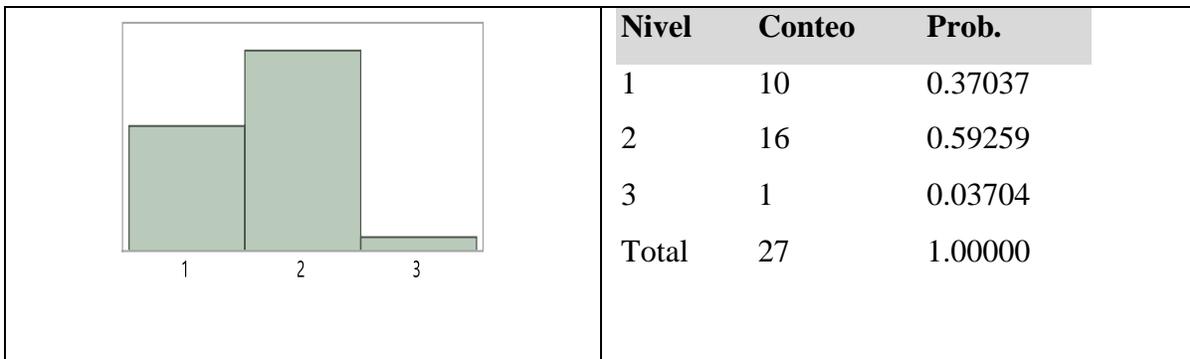
**10 En qué área vive: urbano/rural**



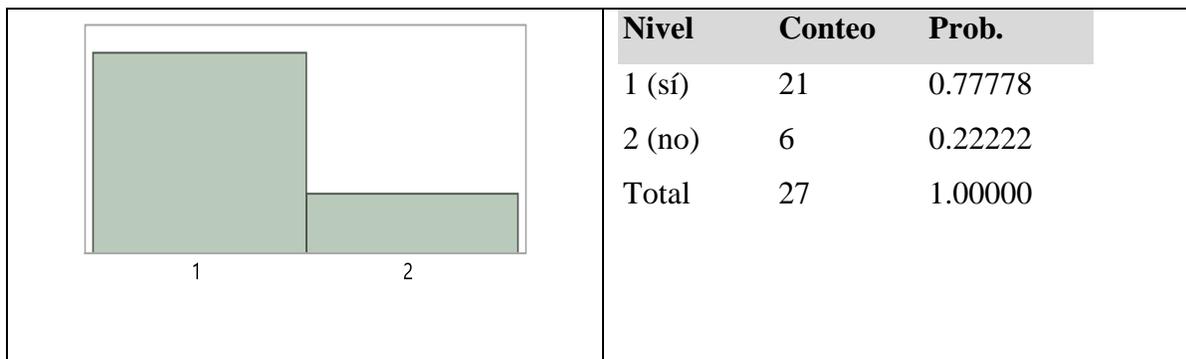
**11 Tipo de vivienda en el que vive**



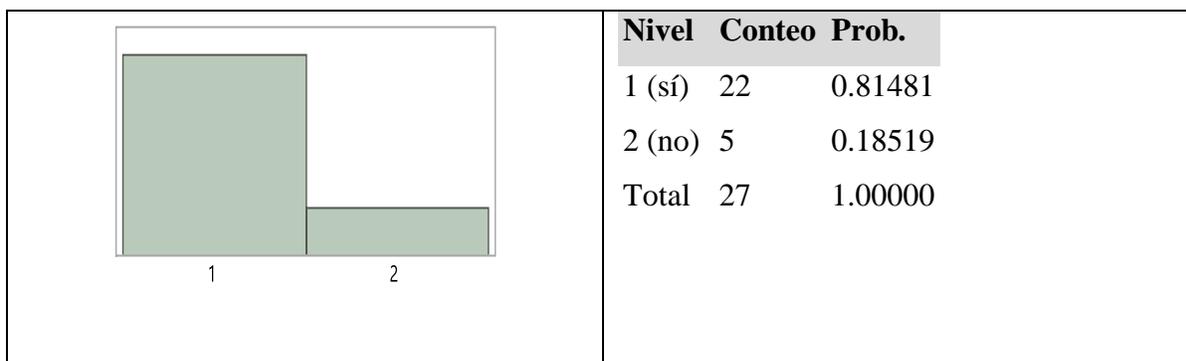
**12 Cuantos teléfonos celulares tiene**



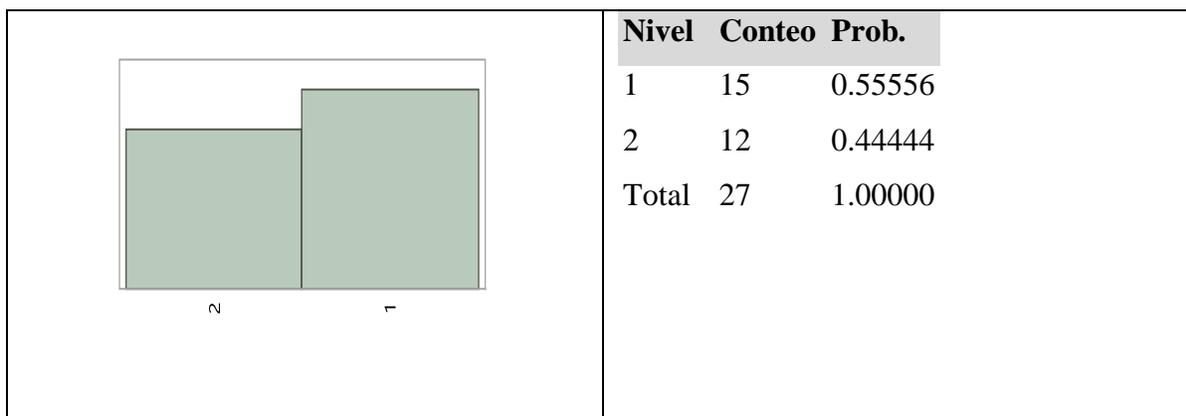
### 13 agua entubada en casa



### 14 drenaje en casa

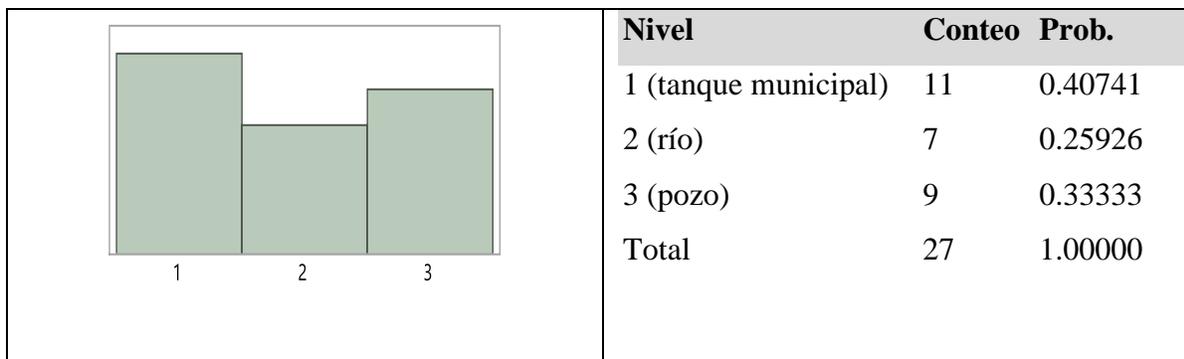


### 15 agua constante

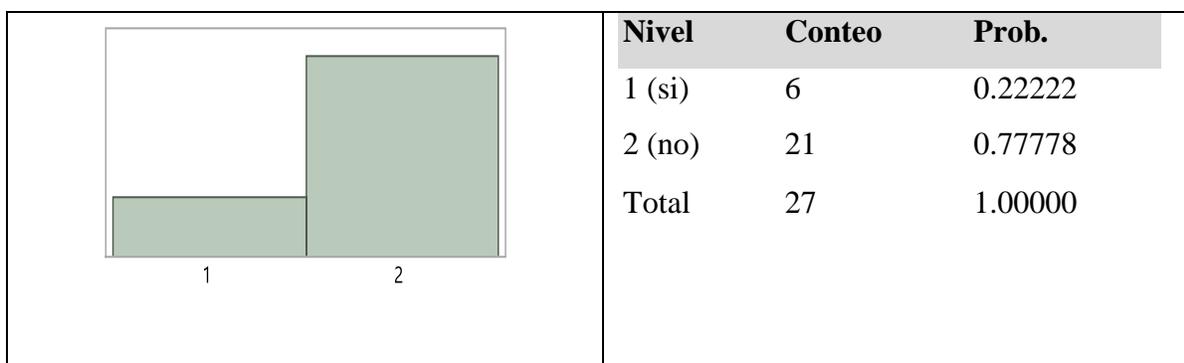


## Segunda sección: hábitos de consumo del agua

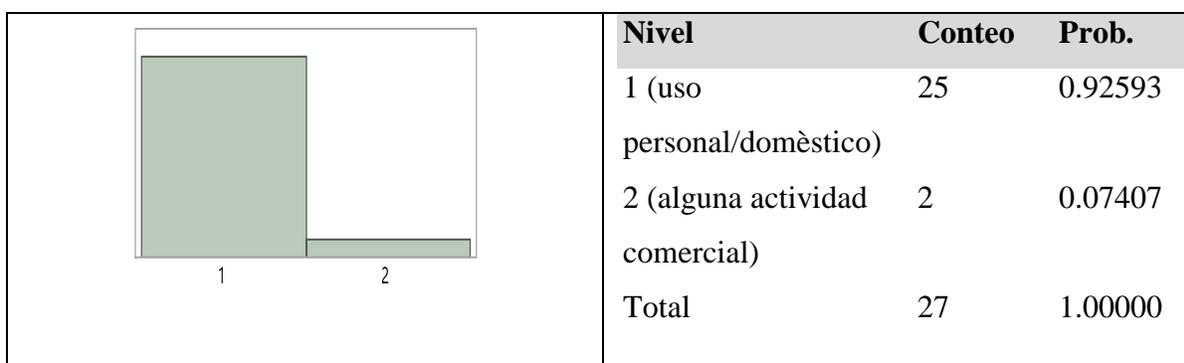
### 16 Sabe de dónde viene el agua que consume



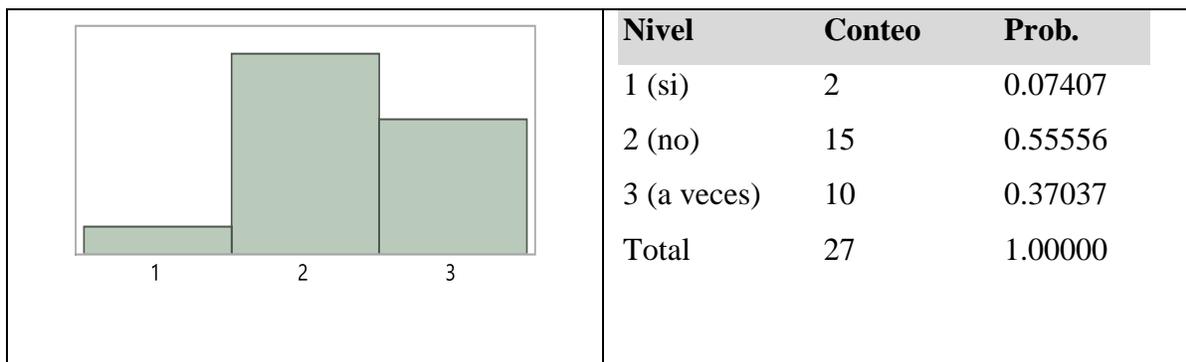
### 17 sabe cuánta agua consume al día



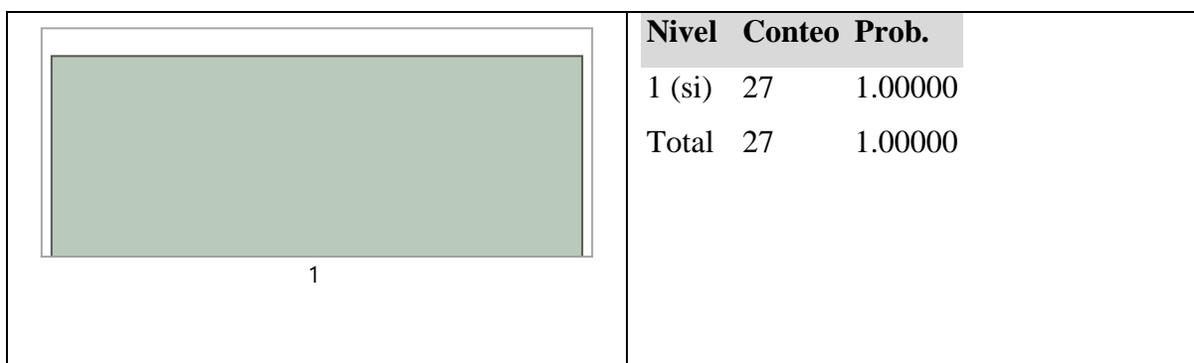
### 18Cuál es el principal uso del agua que recibe



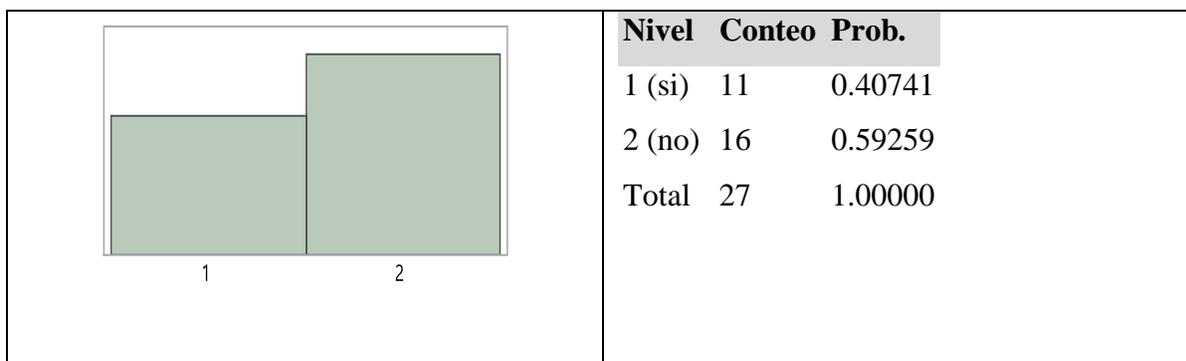
**19 toma a gua del chorro**



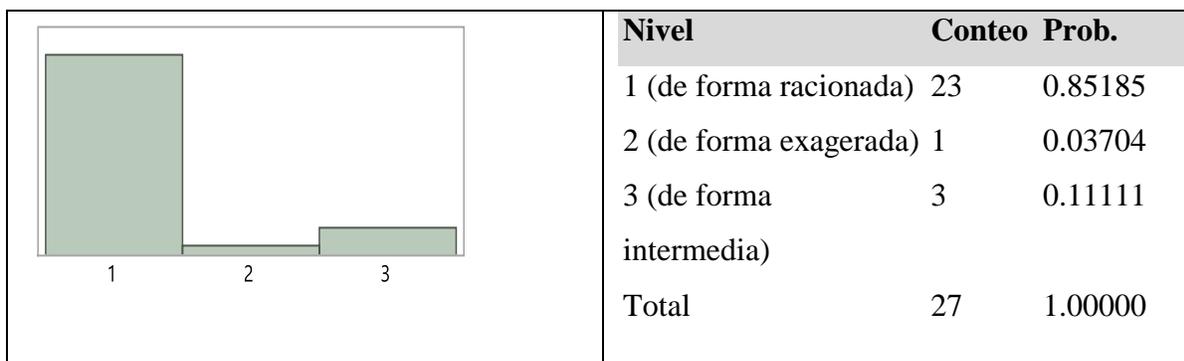
**20 toma agua envasada**



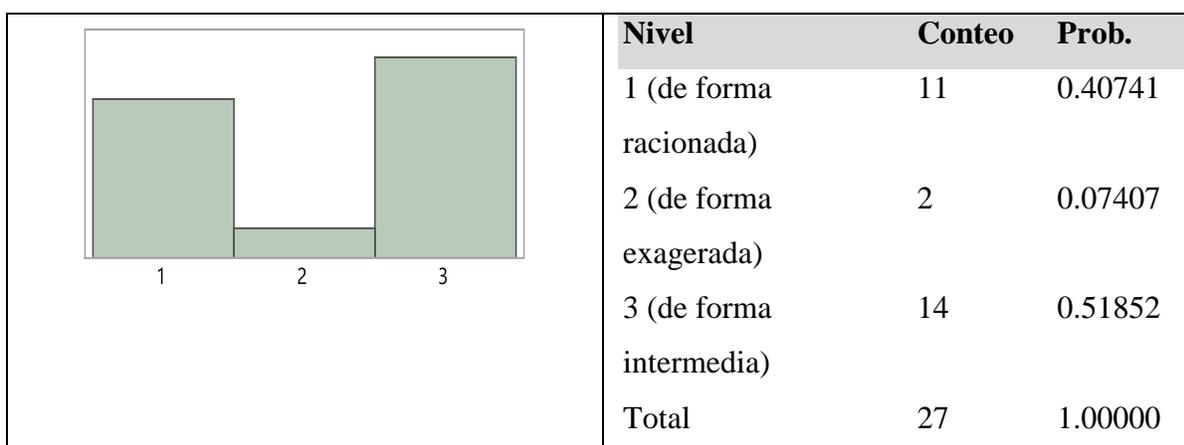
**21 usa agua en actividades comerciales**



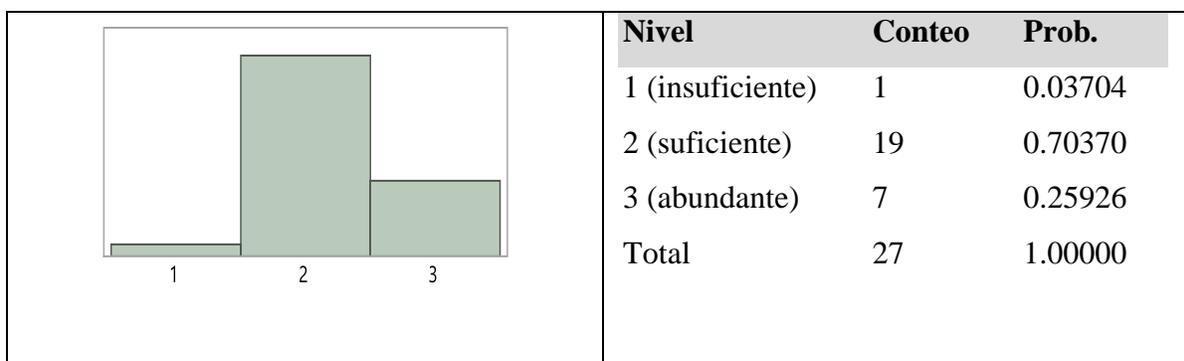
## 22 Cómo considera que usted usa el agua



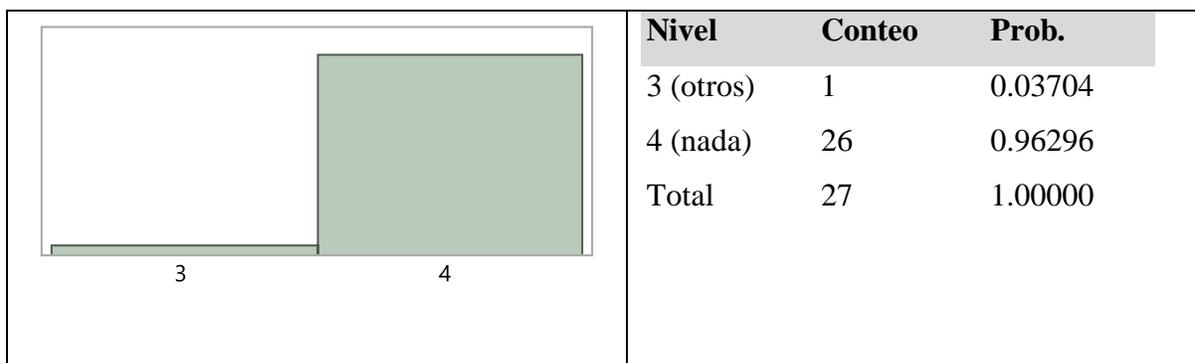
## 23 Cómo considera que sus vecinos usan el agua



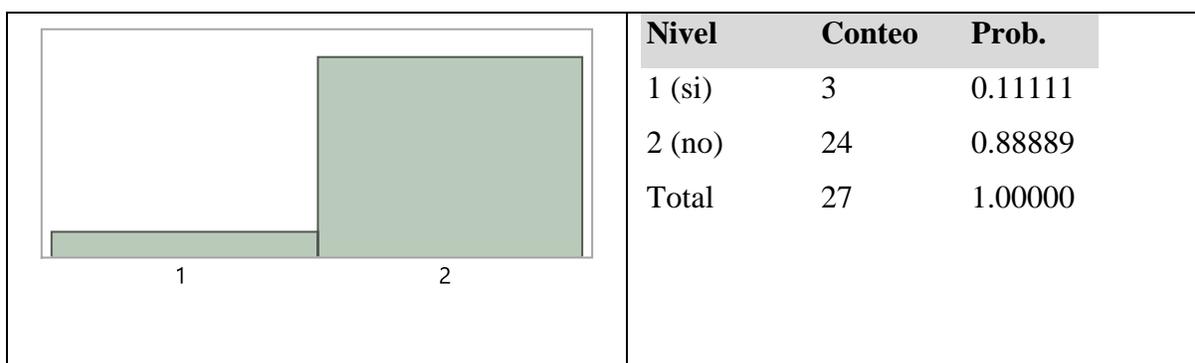
## 24 cómo calificaría la cantidad de agua que recibe



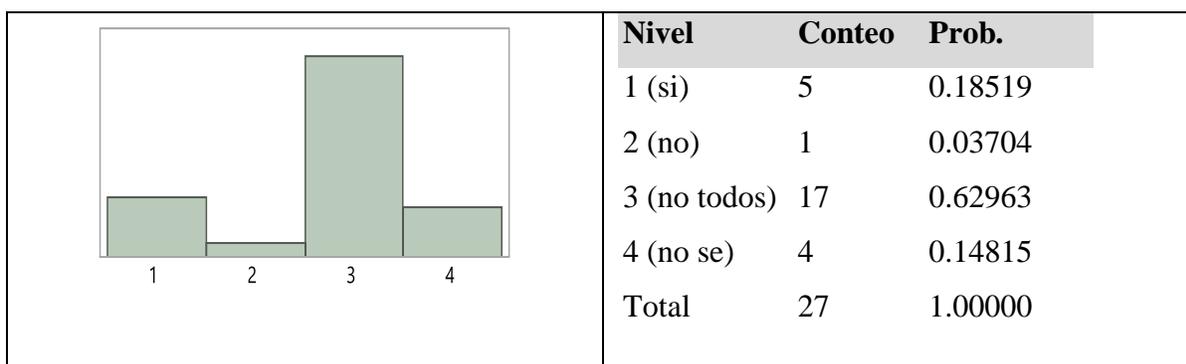
**25 A parte de los desechos domésticos, echa al agua algo más**



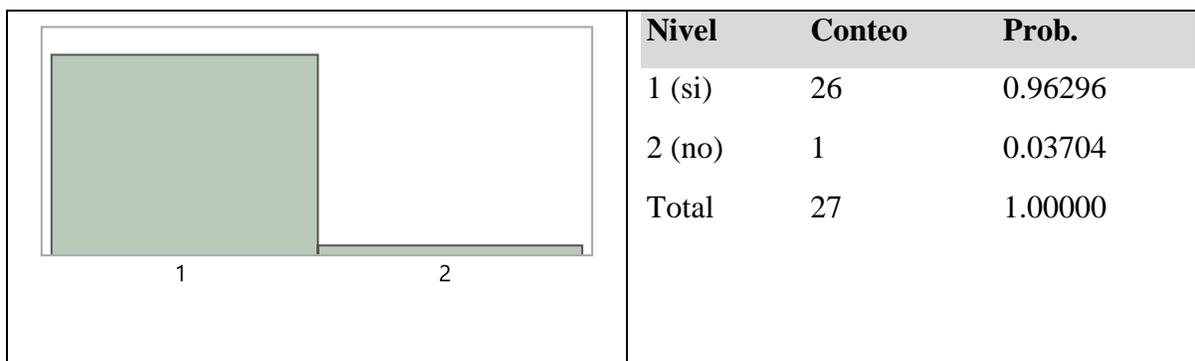
**27 limpia bombas de insecticida**



**28 Considera que sus vecinos cuidan el agua**

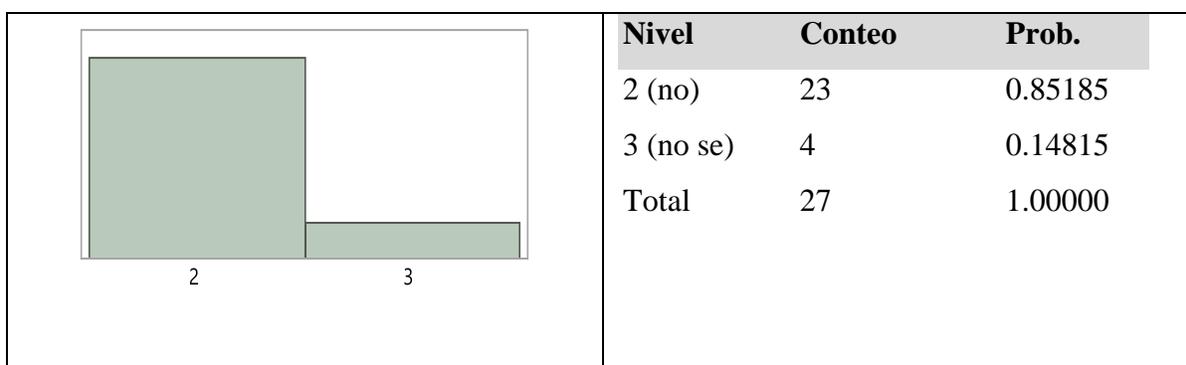


**29 Considera que usted cuida el agua**

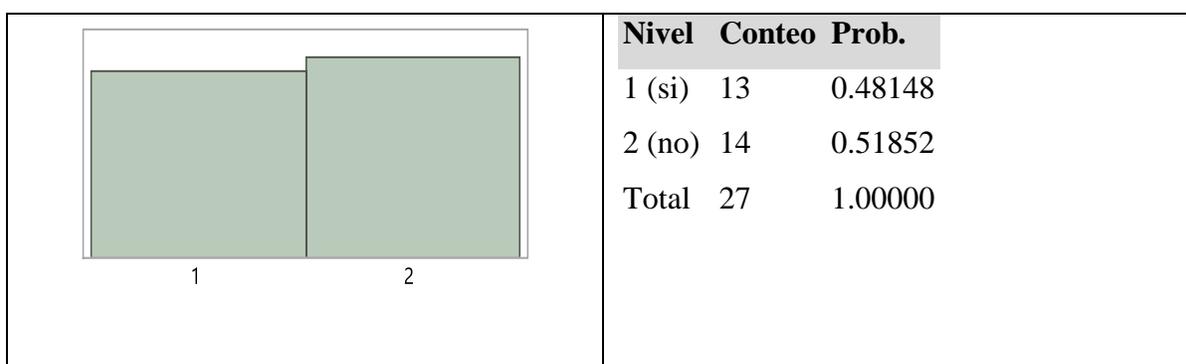


**Tercera sección: factores económicos**

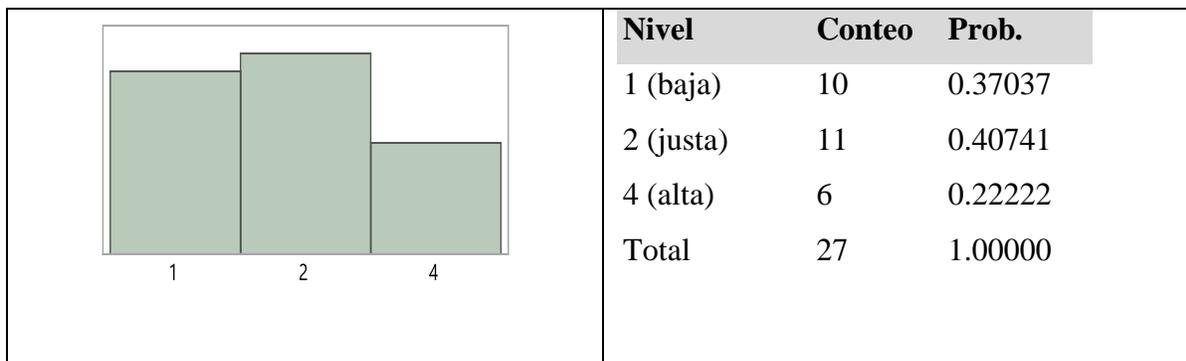
**30 tomaría agua del rio más cercano**



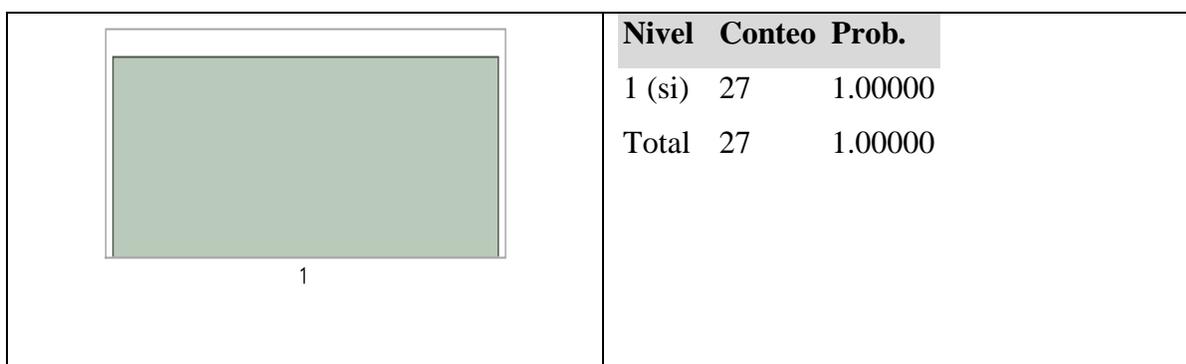
**31 Tiene algún tipo de depósito en su casa**



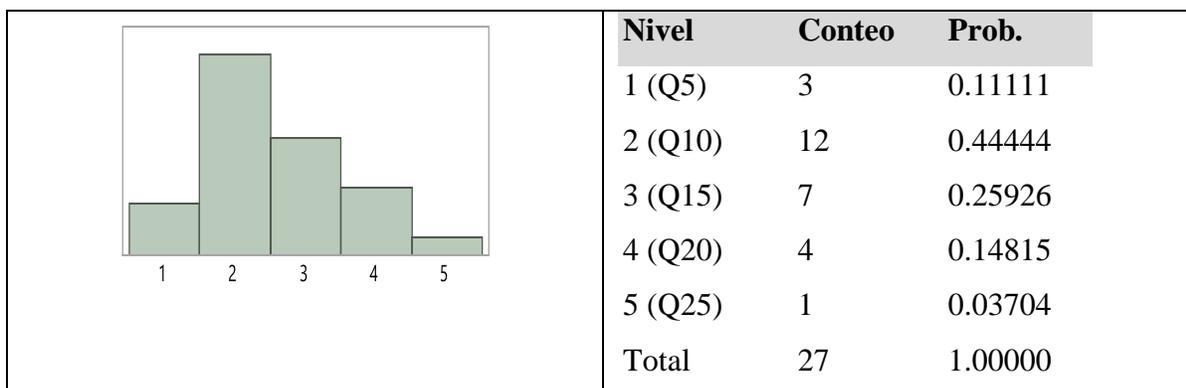
### 32 tarifa de agua es



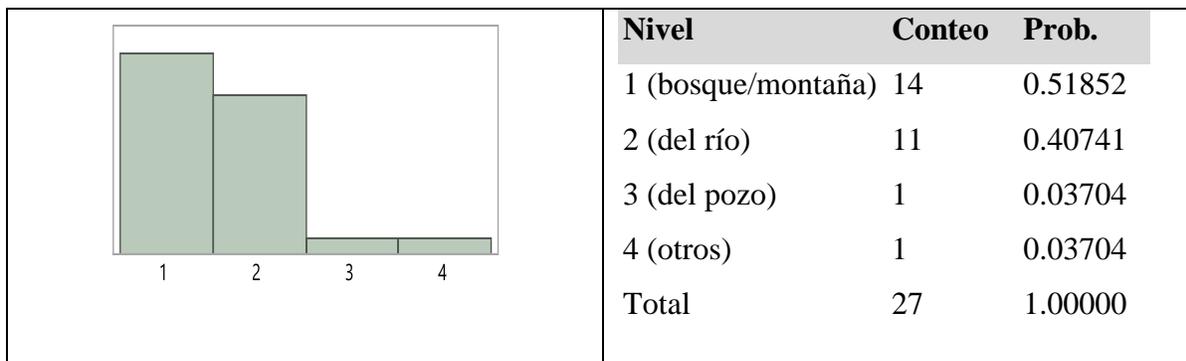
### 33 Usted estaría dispuesto a pagar más de lo que paga actualmente de agua



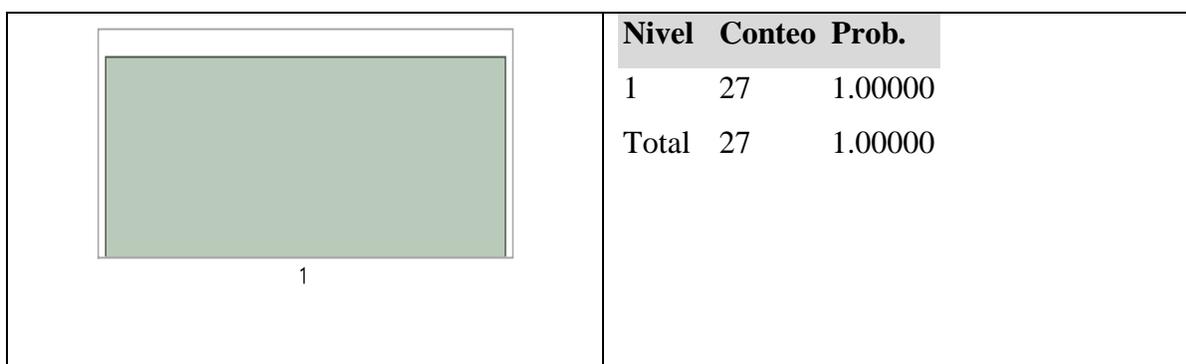
### 34 Cuánto más estaría dispuesto a pagar



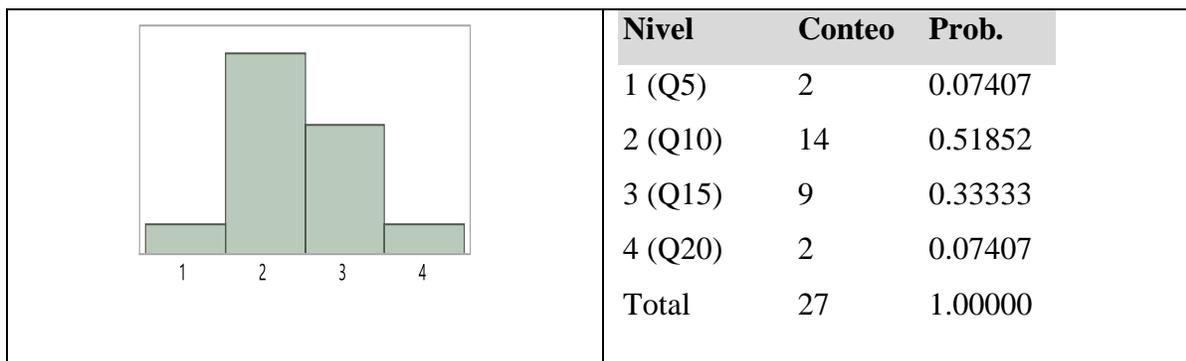
**35 En términos generales, de dónde viene al agua**



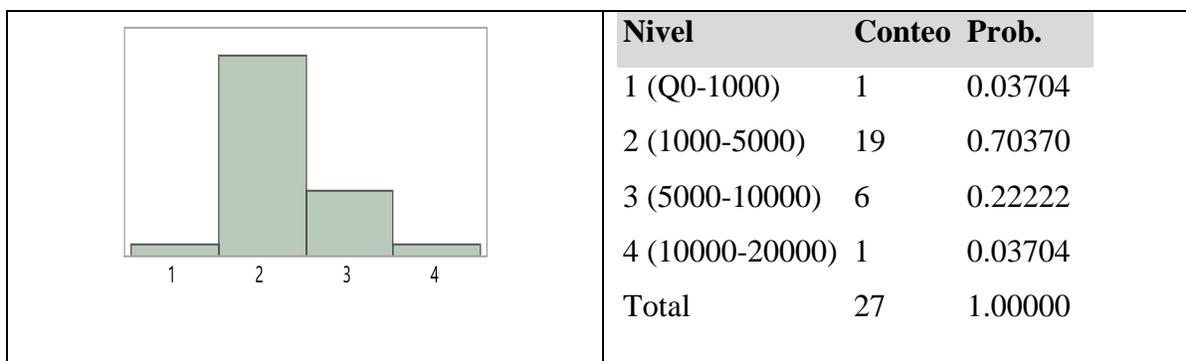
**36 proteger de donde viene**



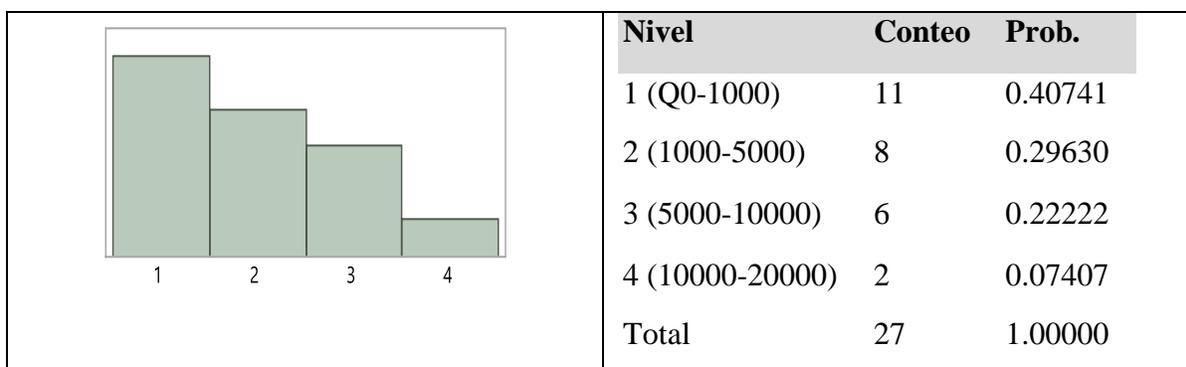
**37 Cuanto pagaría para que se protegiera la fuente del agua**



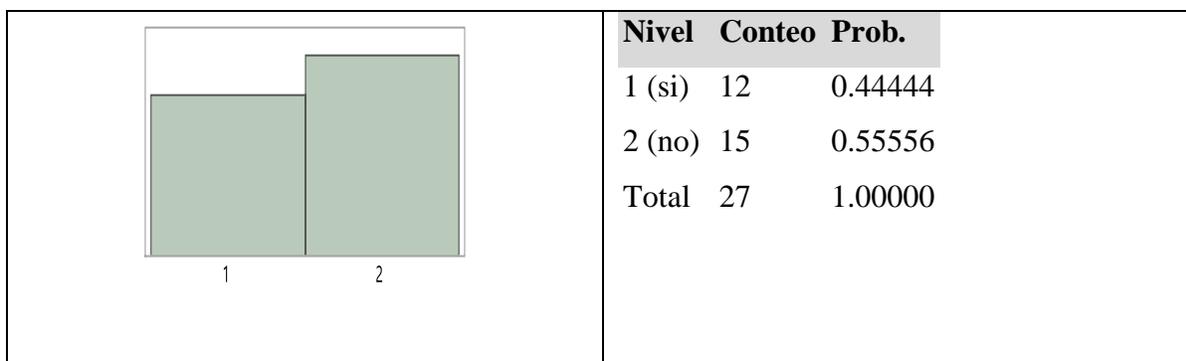
**38 Si el servicio de agua se suspende, cuánto le costaría comprar agua para sus actividades**



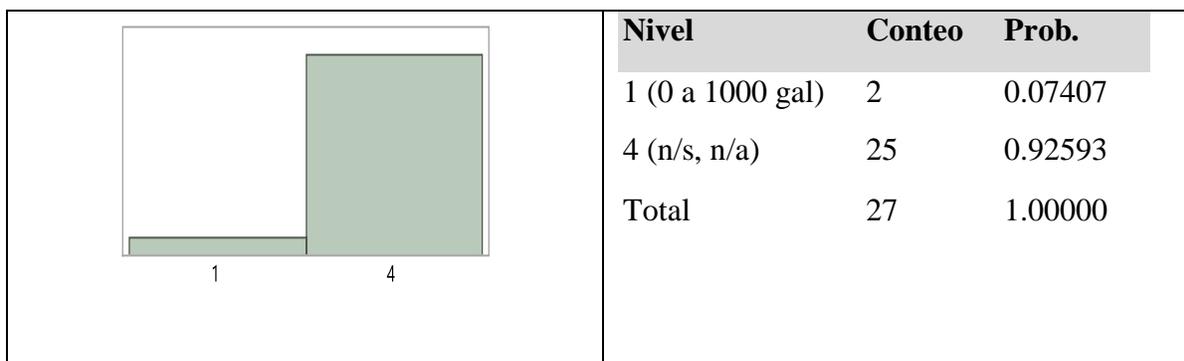
**39 Si suspende el servicio de agua, cuanto perdería en sus actividades económicas**



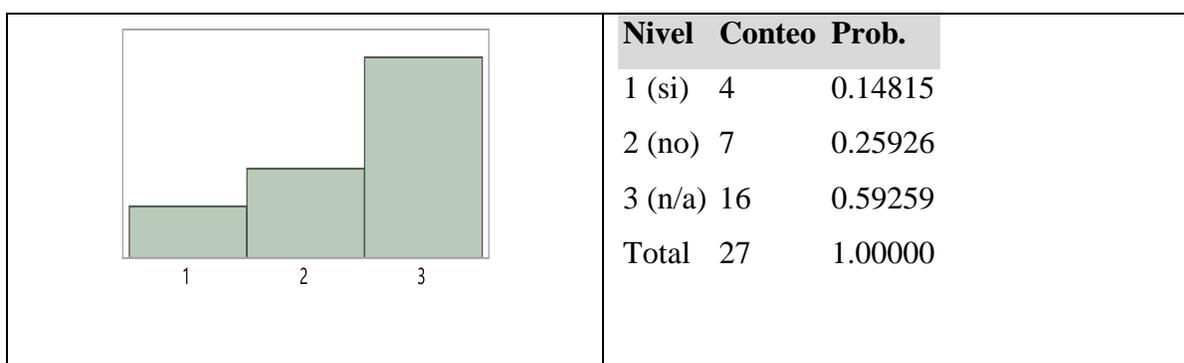
**40 Aparte de su casa, posee algún terreno**



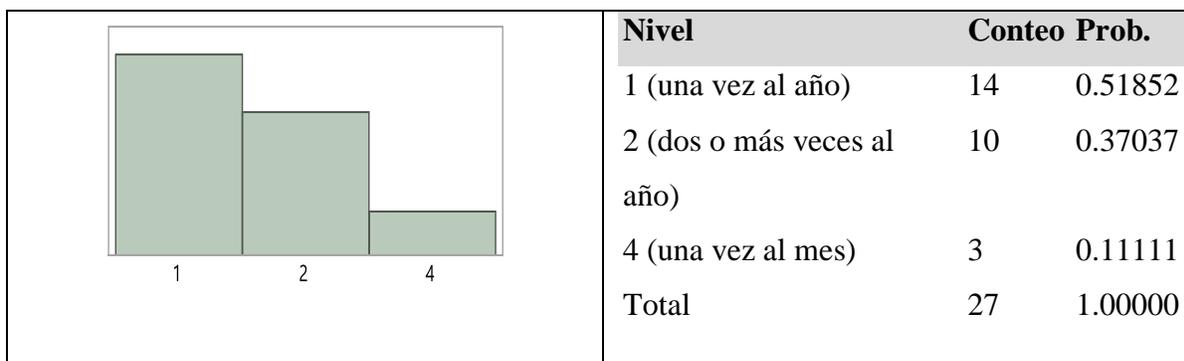
#### 41cuanta agua usa en terreno



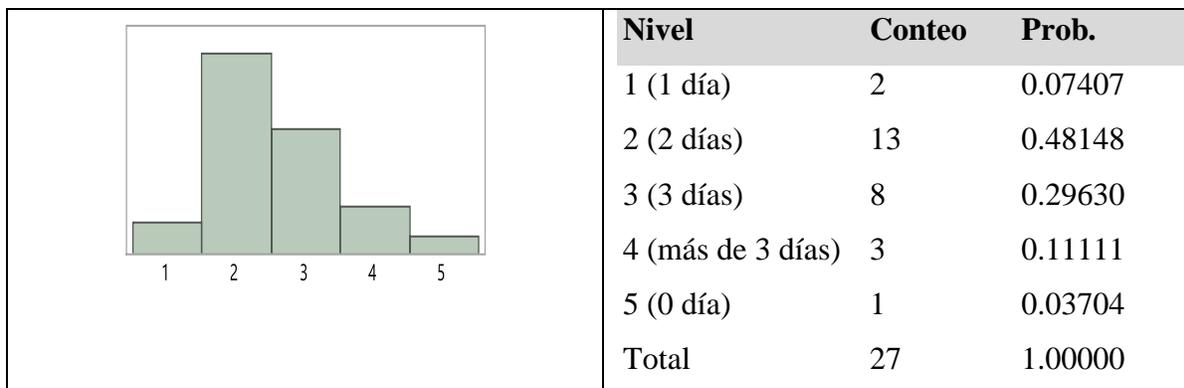
#### 42 usa pesticidas en su terreno



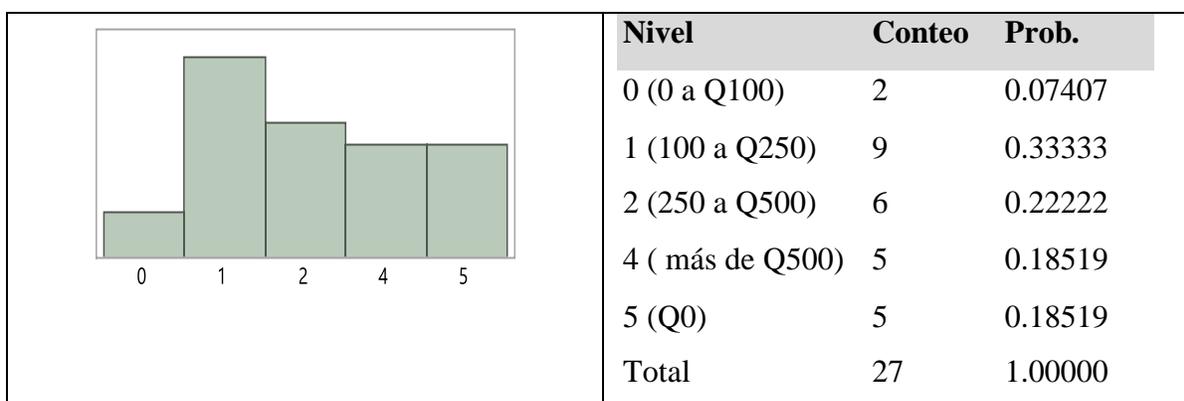
#### 43 Se ha enfermado por tomar agua del chorro o rio (o atribuible a ello)



#### 44 cuanto tiempo pasa enfermo



#### 45a cuanto sale tratamiento



#### 12.3 Caudales estimados entre los meses de junio 2017 y febrero 2018.

Punto	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero
1	0.055	0.059	0.051	0.082	0.100	0.077	0.073	0.059	0.059
2	0.082	0.117	0.088	0.117	0.175	0.140	0.117	0.088	0.072
3	0.002	0.008	0.005	0.006	0.063	0.063	0.030	0.030	0.015
4	0.016	0.020	0.018	0.027	0.043	0.041	0.036	0.026	0.023
5	0.072	0.100	0.098	0.158	0.210	0.171	0.126	0.113	0.105
6	0.003	0.006	0.020	0.042	0.056	0.039	0.024	0.025	0.014
7	0.017	0.021	0.037	0.068	0.049	0.061	0.041	0.036	0.032
8	0.026	0.046	0.047	0.047	0.061	0.063	0.056	0.042	0.042
9	0.226	0.245	0.293	0.350	0.410	0.410	0.288	0.264	0.240

---

<b>10</b>	0.262	0.338	3.640	0.364	0.520	0.468	0.357	0.336	0.315
<b>11</b>	0.374	0.493	0.600	0.600	0.713	0.855	0.689	0.727	0.527
<b>12</b>	0.638	0.745	1.560	1.200	0.980	1.400	1.024	0.832	0.704
<b>total</b>	1.773	2.195	6.456	3.060	3.379	3.787	2.860	2.577	2.146

---

