

**ANÁLISIS TEÓRICO DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA EMBOTELLADA  
E  
IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES GENERADOS POR EL  
CONSUMO MASIVO DE ESTE PRODUCTO EN EL MUNICIPIO DE MANIZALES**

**CAMILO ANDRÉS RAMÍREZ VALLADARES**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
MANIZALES, CALDAS  
2016**

**ANÁLISIS TEÓRICO DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA EMBOTELLADA  
E  
IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES GENERADOS POR EL  
CONSUMO MASIVO DE ESTE PRODUCTO EN EL MUNICIPIO DE MANIZALES**

**CAMILO ANDRÉS RAMÍREZ VALLADARES**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN ARTICULADO A LOS SEMILLEROS:**

**Producción y Consumo Sostenible  
Tecnologías Avanzadas de Saneamiento Ambiental**

**Como requisito parcial para optar al  
título de Ingeniero Ambiental**

**Tutores:**

**PAOLA ANDREA CALDERÓN CUARTAS  
Administradora Ambiental, MSc.**

**WILMAR OSORIO VIANA  
Ingeniero Químico, Msc, PhD.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLOS TECNOLÓGICOS Y  
AMBIENTALES  
LÍNEA SANEAMIENTO, DESARROLLO Y GESTIÓN AMBIENTAL  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
MANIZALES, CALDAS 2016**

## 1. RESUMEN

En este proyecto, se identificaron teóricamente los impactos socioambientales generados en el ciclo de vida del agua embotellada y se analizó la calidad de este producto a partir de pruebas de laboratorio a tres de sus marcas más importantes comercializadas en la avenida principal de la ciudad de Manizales, comparándola con la calidad del agua del sistema de abastecimiento de la ciudad, conocida comúnmente como agua de grifo. El análisis se realizó midiendo parámetros de calidad de agua como *Escherichia coli*, coliformes totales, pH, cloro residual, entre otros, y calculando el índice de calidad IRCA, para determinar cuál fuente de agua potable es de mejor calidad para la salud de los consumidores. Los resultados demuestran los múltiples impactos generados por el consumo masivo de este producto, entre los cuales se resaltan la contaminación de ecosistemas y altas emisiones de gases de efecto invernadero. Así mismo, las pruebas de laboratorio determinaron que el agua embotellada no es de mejor calidad que el agua de grifo y en algunos casos, esta última la supera en calidad. Se espera que este estudio brinde herramientas a los consumidores, para reflexionar acerca de las problemáticas sociales, ecológicas y económicas generadas por la compra masiva de agua embotellada, y permita cambiar los hábitos que se tienen respecto al consumo de este producto, tomando como ejemplo los casos de algunas ciudades del mundo que han decidido prohibir su venta, por los daños que causa la producción y consumo de este producto.

## 2. ABSTRACT

In this project, the socio-environmental impacts generated in bottled water lifecycle were theoretically identified. The quality of this product was analyzed across laboratory testing of the three biggest brands marketed in the main avenue of the city of Manizales. The results allowed the comparison with the quality of water supply system of the city, commonly known as tap water. The analysis was performed by measuring water quality parameters such as *Escherichia coli*, total coliforms, pH, residual chlorine, among others, and calculating the quality index IRCA, to determine which source of drinking water has better quality for consumer health. The results demonstrated the multiple impacts generated by the massive consumption of this product, including pollution of ecosystems and high emissions of greenhouse gases. Also, laboratory tests determined that the bottled water is not better quality than tap water and in some cases, tap water was superior in quality parameters. It is hoped that this study will provide tools to consumers to reflect on social, ecological and economic problems generated by massive buying bottled water, and allow to change habits that have about the consumption of this product, as exemplified by the cases of some municipalities in the world who have decided to prohibit the sale, for the damage that causes the production and consumption of this product.

## CONTENIDO

1. Resumen .....	1
2. Abstract .....	2
Lista de Tablas y Figuras .....	4
Agradecimientos .....	5
3. Introducción .....	6
4. Planteamiento del problema .....	9
5. Justificación .....	14
6. Objetivos .....	19
6.1 Objetivo general .....	19
6.1 Objetivos específicos .....	19
7. Marco teórico .....	20
8. Metodología .....	31
9. Resultados y Discusión .....	36
9.1 Análisis Teórico del Ciclo de Vida .....	36
9.1.1 Extracción de la materia prima .....	37
9.1.2 Fabricación de botellas y Embotellamiento (Producción) .....	38
9.1.3 Transporte y Distribución .....	41
9.1.4 Consumo .....	43
9.1.5 Posconsumo .....	47
9.2 Matriz de identificación de Aspectos e Impactos Socioambientales ....	49
9.3 Sondeos de percepción .....	55
9.3.1 Consumidores .....	52
9.3.2 Vendedores .....	57
9.4 Pruebas de laboratorio de calidad de agua .....	60
9.4.1 IRCA .....	68
9.4.2 Comparación de validez de datos para agua de grifo .....	68
10. Conclusiones .....	70
11. Recomendaciones .....	73
12. Bibliografía .....	74
13. Bibliografía Adicional .....	79
Anexo 1: Sondeos .....	80

Anexo 2: Guía con procedimientos de laboratorio ..... 82

**LISTA DE TABLAS Y FIGURAS**

Tabla 1. Nombres, áreas, densidad y peso del Garbage Patch State ..... 11

Tabla 2. Tipos de plásticos y sus aplicaciones .. 21

Tabla 3. Consumo de agua embotellada por país 1998 – 2004 ..... 26

Tabla 4. Puntajes de riesgo IRCA ..... 34

Tabla 5. Principales países consumidores de agua embotellada per cápita 1999-2010 ..... 44

Tabla 6. Matriz de identificación de los aspectos e impactos socioambientales ..... 49

Tabla 7. Comparación para agua de grifo entre datos del proyecto y datos reportados por Aguas de Manizales para el mes de septiembre ..... 68

Figura 1. Distribución y concentración del Garbage Patch State en el mundo ..... 11

Figura 2. Principales mercados de agua embotellada a nivel mundial ..... 15

Figura 3. Mercados con más rápido crecimiento a nivel mundial ..... 16

Figura 4. Ventas de agua embotellada en Estados Unidos ..... 17

Figura 5. Etiqueta de agua embotellada marca e-pura ..... 20

Figura 6. Bebedero público en Santa Mónica, California ..... 29

Figura 7. Esquema básico de las etapas del ciclo de vida del agua embotellada ..... 36

Figura 8. Esquema de producción de una botella PET ..... 39

Figura 9. Esquema del proceso de embotellamiento del agua ..... 40

Figura 10. Pregunta 1-Sondeo consumidores ... 52

Figura 11. Pregunta 2-Sondeo consumidores ... 53

Figura 12. Pregunta 3-Sondeo consumidores ... 53

Figura 13. Pregunta 4-Sondeo consumidores ... 54	Figura 27. Resultados color ..... 62
Figura 14. Pregunta 5-Sondeo consumidores ... 55	Figura 28. Resultados alcalinidad ..... 62
Figura 15. Pregunta 6-Sondeo consumidores ... 55	Figura 29. Resultados cloruros ..... 63
Figura 16. Pregunta 7-Sondeo consumidores ... 56	Figura 30. Resultados dureza total ..... 63
Figura 17. Pregunta 8-Sondeo consumidores ... 56	Figura 31. Resultados magnesio ..... 64
Figura 18. Pregunta 1-Sondeo vendedores ..... 57	Figura 32. Resultados calcio ..... 64
Figura 19. Pregunta 2-Sondeo vendedores ..... 58	Figura 33. Resultados aluminio ..... 65
Figura 20. Pregunta 3-Sondeo vendedores ..... 58	Figura 34. Resultados hierro ..... 65
Figura 21. Pregunta 4a-Sondeo vendedores .... 59	Figura 35. Resultados Escherichia coli y Coliformes totales ..... 66
Figura 22. Pregunta 4b-Sondeo Vendedores .... 59	Figura 36. Fotografías Muestras B1 y B2 en conteo de cultivo de microorganismos ..... 66
Figura 23. Resultados pH ..... 60	Figura 37. IRCA ..... 68
Figura 24. Resultados conductividad ..... 60	
Figura 25. Resultados turbiedad ..... 61	
Figura 26. Resultados cloro residual ..... 61	

## AGRADECIMIENTOS

*Este proyecto de investigación hubiese sido imposible de realizar sin la ayuda de todas aquellas personas que día a día me brindaron sus conocimientos y cariño para cumplir mis objetivos como estudiante y como persona.*

*Este agradecimiento va a mis profesores y tutores:  
Paola Andrea Calderón Cuartas y Wilmar Osorio Viana.*

*A mi asesor: Javier Andrés Quintero.*

*A mis padres, hermanos y a mis amigos.*

Gracias.

### **3. INTRODUCCIÓN**



El agua es el componente esencial y básico para la vida, se encuentra en todos los ecosistemas del planeta y compone la mayor parte de los seres vivos; se puede considerar el recurso o patrimonio más importante para cada uno de los organismos en el planeta. A pesar de que el agua es una de las sustancias más abundantes en el planeta, —sólo el 2.5% del total es agua dulce o apta para consumo humano (PNUMA, 2012), es por esto que muchas veces, según la ubicación geográfica de una población o la disponibilidad del recurso, el agua puede ser una necesidad insatisfecha o un recurso abundante, dependiendo también de factores como el desarrollo económico de la región.

Hace un par de décadas atrás, inició un fenómeno en el mercado de productos líquidos llamado *agua embotellada*, el cual ha crecido de forma tal que es, hoy en día, uno de los negocios más rentables. Su crecimiento en el mercado y su influencia en la economía ha sido enorme (Gleick, 2014; Macintosh, 2011), llegando a impactar, inclusive, a los mercados de países subdesarrollados y en vía de desarrollo como Colombia (Gómez, 2007).

Gracias a su ubicación geográfica y sus ecosistemas, Colombia posee gran disponibilidad de agua dulce para sus sistemas urbanos de abastecimiento del recurso hídrico; a pesar de esto, el país ha sido uno de los mercados donde el agua embotellada ha tenido mayor crecimiento (Cantillo, 2012), este fenómeno ha generado impactos socioambientales relevantes como la explotación masiva del agua por empresas y corporaciones extranjeras, aumento del riesgo de afectaciones a la salud de los consumidores del producto por patógenos como bacterias y hongos, y tóxicos como antimonio y bisfenol A (BPA), como se ha evidenciado en otros lugares del mundo <sup>1</sup>, contaminación ambiental por su producción, transporte y disposición final, siendo unos de los aspectos ambientales más importantes la

---

<sup>1</sup> Shotyk 2007; Westerhoffa, P., Prapaipongb, P., Shock, E., Hillaireaud, A. 2008; Soechtig 2009; Wang, J. y Schnute, W. 2010; Xu, L., Guang-Guo, Y., Hao-Chang, S., Xiao-Bing, Y., Li, W. 2010; Varga 2011; Benítez, B., Ferrer, K., Rangel, L., Ávila, A., Barboza, Y. y Levy, A 2013; Vantarakis, A., Smaili, M., Detorakis, I., Vantarakis, G. y Papapetropoulou, M. 2013, W. Ahmed, R. Yusuf, I. Hasan, W. Ashraf, A. Goonetilleke, S. Toze, T.

utilización de energía y combustibles fósiles en su ciclo de vida y la disposición de las botellas de polietileno tereftalato (PET por sus siglas en inglés).

Sumado a dichos impactos socioambientales, un gran tema de debate que gira alrededor del agua embotellada es el derecho humano al agua, ya que las comunidades se pueden ver vulneradas cuando grandes empresas extraen el agua, que es un patrimonio o recurso público, de sus afluentes. Influenciadas por esta razón, algunas ciudades y comunidades en el mundo han decidido vetar o prohibir la venta de agua embotellada, teniendo en cuenta los impactos anteriormente mencionados.

La falta de acueductos y plantas de tratamiento de agua potable en muchas regiones de Colombia, podría ser una de las principales explicaciones para el crecimiento del mercado del agua embotellada en el país, teniendo en cuenta también la cultura consumista que actualmente aqueja al planeta. Sin embargo, en ciudades como Manizales, donde se destaca la calidad de su agua potable de grifo, se pueden observar gran variedad de marcas de agua embotellada en todas sus tiendas y supermercados, lo cual permite notar que es un mercado en crecimiento al igual que el resto del país, aunque cabe destacar que no es la principal ciudad en aumento de ventas, como lo enuncia Cantillo (2012) ciudades de la región Caribe y Oriental del país son las que más aportan a este mercado; esto se puede deber principalmente al clima y a la confianza de las personas en el sistema municipal de abastecimiento de agua potable de ciudades de esta región, como Barranquilla y Villavicencio.

Actualmente, una de las principales herramientas usadas para determinar los impactos que se generan por un producto es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), entendiéndose como una metodología para la definición de estrategias empresariales y gubernamentales en el contexto de la prevención de la

Gardner. 2013; Arévalo-Pérez, Elisa C., Martínez-León, M.C. Aida J., Lemus-Pérez, Mildred F., RodríguezSusa, Manuel, S. 2014; Rodrigues, L., Dias, P. y Ferraz, R. 2014, contaminación (Van Hoof, Monroy y Saer, 2008), en donde se estudian cada uno de estos impactos en todas las etapas del producto, desde la extracción de su materia

prima hasta su disposición final. En este proyecto se aplicó una adaptación del ACV, realizando un análisis teórico del mismo a partir de una consulta bibliográfica especialmente de estudios internacionales, ya que en Colombia, únicamente se han realizado dos estudios sobre el tema (ArévaloPerez, et al. 2014 y Vidal, J., Consuegra, A., Gomescasares, L. y Marrugo, J. 2009). Se resalta que para Manizales, este se constituye como el primer estudio que identificó los principales impactos socioambientales que se generan en cada una de las etapas del ciclo de vida del agua embotellada y, además, comparó la calidad de las principales marcas de agua embotellada vendidas en la ciudad y la calidad del agua de grifo de la fuente local, teniendo en cuenta la normativa colombiana, en donde se hallaron resultados importantes sobre la calidad del agua embotellada para los consumidores y para las organizaciones que promueven el consumo sostenible.

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El agua es un líquido vital y el mayor componente de todos los seres vivos en el planeta, base para el desarrollo de la vida. Este recurso ha sido crucial en el desarrollo de la humanidad, por esto las grandes civilizaciones fueron fundadas junto a cuerpos de agua, ya sean ríos, lagos o mares. El ser humano necesita de su consumo diario para subsistir, aproximadamente 2 litros diarios en condiciones promedio. Pero, obtener agua en óptimas condiciones, es cada vez más difícil para las personas y demás seres vivos de la Tierra.

Desde la revolución industrial el planeta ha sufrido grandes cambios debido a las actividades humanas, generando un desequilibrio en el frágil balance climático del planeta; la afectación al ciclo hidrológico ha sido devastadora, generando grandes sequías y fuertes inviernos que afectan cada vez más el sano desarrollo de los seres que habitan el medio ambiente (PNUMA, 2012). La contaminación de los cuerpos de agua ha dificultado cada vez más la obtención del preciado líquido, creando la necesidad de nuevas tecnologías y formas para abastecer la demanda de éste por parte de la población humana. —Por ello, la industria del agua embotellada ha hecho importantes incursiones en la oferta al público, reforzando las percepciones acerca de la pureza del agua embotellada. Si bien esto claramente está dentro de los derechos de la industria, es importante que los embotelladores no exageren su caso o induzcan a error al público haciéndole creer que el agua embotellada es más segura que el agua de grifoll (Olson, 1999).

Dadas las circunstancias, hace casi tres siglos se ha comercializado el agua como producto privado, siendo la botella de plástico su presentación más común desde el desarrollo del polietileno. Grandes corporaciones monopolizan este recurso, ya sea por la venta en sus presentaciones envasadas o por la administración de las redes de distribución en las ciudades. —Cuando se empieza a tratar al agua como un objeto de comercio donde el precio de ésta depende de la oferta y la demanda, se termina controlando como a empresa toda el agua potablell (Soechtig, 2009). Es aquí donde se inician grandes debates debido a que, por orden de la ONU, el agua es un derecho humano; por eso existen en el mundo cientos de campañas y

organizaciones que luchan por evitar la privatización del recurso, como *Ban The Bottle*, organización estadounidense que promueve las prohibiciones de las botellas de plástico de un solo uso, *Take Back The Tap*, campaña perteneciente a la organización Food And Water Watch en la cual se busca reducir el consumo de agua embotellada en los ciudadanos de Washington, realizando activismo principalmente en los campus de las universidades de la ciudad, y *No Más Botellas*, campaña de la Universidad de Puerto Rico en la cual se busca educar sobre los problemas del agua embotellada y reducir su consumo. Uno de los referentes mundiales en la lucha contra el consumo masivo del agua embotellada es Annie Leonard con su cortometraje —La historia del agua embotellada— en donde narra los principales problemas generados a partir de este producto. Por otra parte, y adyacente del problema principal de las botellas de plástico, el 11 de abril del 2013 se fundó el Garbage Patch State (Estado Mancha de Basura), el cual está conformado por cinco islas artificiales constituidas por desechos plásticos (en su mayoría) ubicadas en el Pacífico Norte y Sur, Atlántico Norte y Sur y en el Océano Índico como se visualiza en la Figura 1. En total, suman alrededor de 1.400.000 km<sup>2</sup>. Según el United Nations Environmental Program, se estima que el 80% de la basura que forma estas islas viene de tierra firme, y el 20% de embarcaciones.

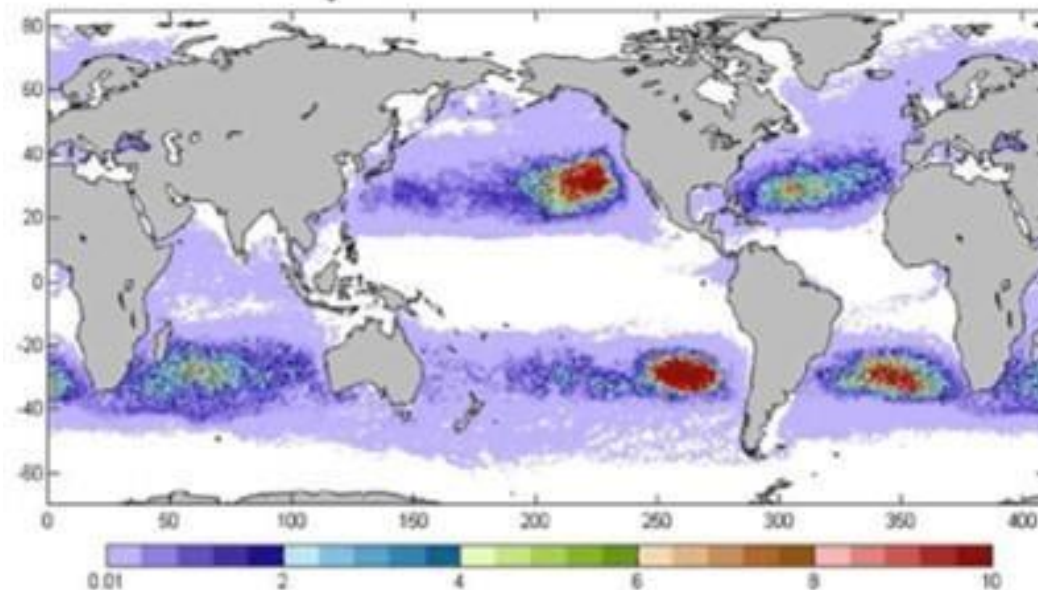


Figura 1. Distribución y concentración del Garbage Patch State en el mundo.

Fuente: [garbagepatchstate.org](http://garbagepatchstate.org)

Tabla 1. Nombres, áreas, densidad y peso del Garbage Patch State.

	Nombre del parche	Localización Geográfica	Área superficial (km <sup>2</sup> )	Densidad de las partículas (piezas/km <sup>2</sup> )	Cantidad de plástico (ton)
1	Parche de basura del este	Norte del Océano Pacífico	8.095.000	25.000	20.240
2	Parche de basura del oeste	Sur del Océano Pacífico	715.520	40.000	2.860
3	Parche de basura del Atlántico	Norte del Océano Atlántico	3.625.753	25.000	9.064
4	Parche de basura del Atlántico	Sur del Océano Atlántico	1.296.180	20.000	2.590
5	Parche de basura del Índico	Océano Índico	2.183.480	10.000	2.185
<b>TOTAL</b>			<b>15.915.933</b>		<b>36.939</b>

Fuente: [garbagepatchstate.org](http://garbagepatchstate.org)

Según Ávila (2015), muchas personas pueden optar por utilizar agua embotellada porque prefieren su sabor y olor, o porque es conveniente. El agua embotellada, en algunos casos, también puede ser necesaria como una medida provisional cuando se contamina el agua del grifo, lo que hace que el agua no sea apta para el consumo

humano; también es necesaria cuando no se cuenta con una red de distribución de agua potable de confianza, como es el caso en Colombia, donde —en zonas rurales, tres millones de personas viven aún sin agua potable (Ávila, 2015). Sin embargo, es mucho mejor desde un punto de vista de salud, económico y ambiental mejorar el abastecimiento público de agua potable, y de esta manera, tener un cambio cultural relacionado con el consumo masivo de agua en botella. Así como lo sugiere Olson (1999), no podemos renunciar a la seguridad en el agua del grifo. Alrededor del planeta, miles de empresas venden agua embotellada; en muchas de sus tácticas publicitarias se expone que este producto es sumamente beneficioso para la salud, extraído de manantiales y fuentes naturales, como el caso de Mahalo, agua extraída y desalinizada de Hawái que se comercializó como un elixir para mejorar la salud, una de las aguas embotelladas más caras del mundo, vendiéndose en Japón diez veces más cara que el petróleo (Whatley, 2010).

Cada día se crean campañas para reducir y hasta eliminar la comercialización del agua embotellada debido a que algunos estudios sugieren que este producto posee químicos nocivos para la salud humana, derivados de su manufacturación industrial y además aconsejan consumir el agua de grifo de las fuentes municipales ya que éstas poseen rigurosos controles de calidad durante todo el día. En este sentido, surgen algunas preguntas acerca del consumo del agua embotellada, entendiendo como *consumo masivo* cuando un producto es utilizado por grandes cantidades de consumidores constantemente en un largo periodo de tiempo.

¿Es de mejor calidad el agua embotellada que el agua de grifo en la ciudad de Manizales? ¿Cumple el agua embotellada comercializada en Manizales con los estándares de calidad de agua potable? ¿Cuáles son las afectaciones socioambientales de la producción y el consumo masivo del agua embotellada?

Nadie debe asumir que sólo porque el agua proviene de una botella es necesariamente más pura o más segura que el agua del grifo. Pruebas encargadas por Natural Resources Defense Council-NRDC y estudios realizados por investigadores

anteriormente citados demuestran que el agua embotellada está en ocasiones contaminada (Olson, 1999). Este es el caso del antimonio, encontrado en algunas botellas de plástico tipo PET, que en pequeñas dosis puede causar mareos y depresión, pero en dosis más grandes puede causar náuseas, vómitos y muerte (Shotyk, 2006). Así como benceno y bromato (Whatley, 2010) y ftalato y tolueno (Soechtig, 2009).

Colombia no es ajena a esta problemática, y considerando que existe escasa investigación en el tema, se genera la necesidad de indagar por los posibles impactos y riesgos que se pueden ocasionar por el consumo masivo del agua embotellada y las inadecuadas prácticas de gestión posconsumo de este producto.

## **5. JUSTIFICACIÓN**



En los últimos años, el agua embotellada se ha convertido en un problema ecológico, económico y social. Para su producción, se extraen cientos de miles de litros de agua de acuíferos y fuentes superficiales vulnerables que abastecen a poblaciones enteras; en esta parte de su ciclo de vida se empiezan a reflejar claramente los problemas ambientales que este producto genera. Su transporte y disposición final se destacan como otros de los principales impactos al medio ambiente (Leiba, N., Gray, S. y Houlihan, J., 2011., Pacific Institute, 2007), siendo un producto innecesario cuando se cuenta con agua de grifo potable. —El problema de las botellas de plástico posconsumo es otra amenaza. Las botellas de plástico se reciclan en algunos casos, pero el proceso de reciclaje es a menudo tóxico debido a químicos lixiviados del plástico. Además, los productos químicos utilizados para la fabricación del plástico para las botellas pueden ser un problema, ya que muchos de los productos químicos (estireno, cloruro de polivinilo, bisfenol A) son disruptores endocrinos los cuales también son conocidos como disruptores hormonales, estos productos químicos pueden causar problemas graves para el desarrollo del cuerpo a humanos y a la fauna expuesta a ellos, especialmente en su sistema reproductivo (Rauch, 2005).

En el aspecto económico, los precios del agua suelen ser 2000 veces más altos que el agua de grifo, lo cual puede variar considerablemente entre ciudades; teniendo en cuenta que el consumidor paga por su embotellamiento, etiquetado, publicidad y transporte, pero no tanto por el líquido que hay en él. —Sólo haciendo botellas para satisfacer la demanda de los Estados Unidos para el agua embotellada, se utilizan más de 17 millones de barriles de petróleo al año, suficiente para alimentar 1,3 millones de coches durante un año (Pacific Institute, 2007).

El aumento de los mercados para el agua embotellada ha permitido que su negocio se expanda considerablemente. En la Figura 2 se pueden observar los 15 principales países para el mercado del agua embotellada, mientras que en la Figura 3 se ven los 15 países con más rápido crecimiento del mercado de este producto,

aquí se destacan países suramericanos como Brasil y Perú. Por su parte, Colombia no fue incluida en este estudio.



Figura 2. Principales mercados de agua embotellada a nivel mundial.  
Fuente: Macintosh, 2011

## MERCADOS CON MÁS RÁPIDO CRECIMIENTO A NIVEL MUNDIAL



Figura 3. Mercados con más rápido crecimiento a nivel mundial.

Fuente: Macintosh, 2011

Tomando como referencia a Estados Unidos, que es el principal consumidor de agua embotellada, se puede apreciar en la Figura 4 el aumento exponencial en el consumo de este producto desde la década de los setenta; este es un escenario que se podría dar en Colombia, país en el que el producto ha empezado a aumentar considerablemente sus ventas, en donde —según Raddar, firma especializada en análisis de consumo, las compras de agua embotellada y empacada en Colombia fue de 309.202 millones de pesos en el año 2011 (Portafolio, 2012).

Ventas de agua embotellada en Estados Unidos  
(Galones por año)

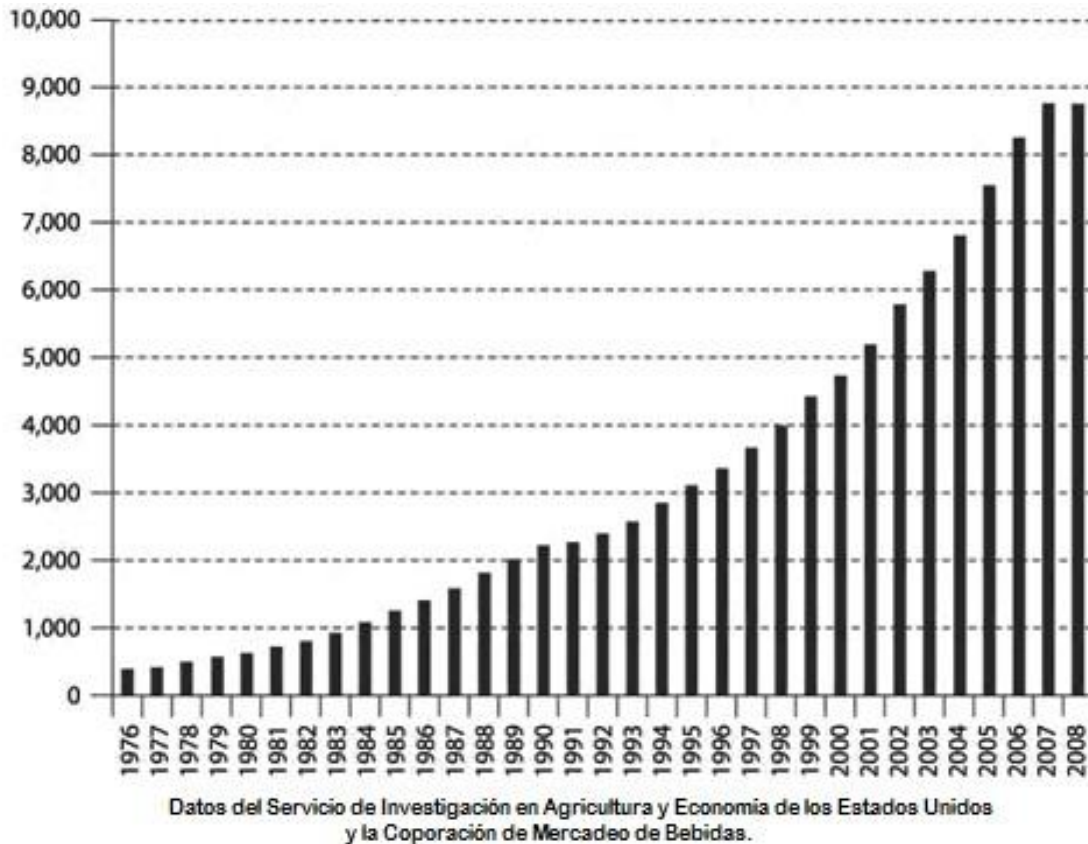


Figura 4. Ventas de agua embotellada en Estados Unidos.  
Fuente: Gleick, 2010

La gran mayoría de las empresas que comercializan agua embotellada, gastan grandes cantidades de dinero publicitando su producto en donde se exponen beneficios para el ambiente y para la salud del consumidor, creando la necesidad de consumir agua embotellada para poder llevar una vida sana. Algunos estudios han refutado las afirmaciones de pureza percibidas del agua embotellada. En un estudio de 2004 presentado a la Sociedad Americana de Microbiología, investigadores encontraron que, en una muestra de 68 aguas minerales comerciales, 40% de ellas contenían bacterias y/u hongos (Rauscher, 2004). Además, en ese mismo año, —la marca Dasani, perteneciente a Coca-Cola, fue

rechazada en Reino Unido por vender agua de grifo purificada y posteriormente el hallazgo de bromato en sus botellas (Whatley, 2010).

Por estas razones y otras que se expondrán posteriormente, el agua embotellada no es un producto necesario para su consumo masivo, como viene ocurriendo en las últimas décadas, y más aún en algunas ciudades de Colombia que cuentan con agua potable en su sistema de abastecimiento, la cual en la mayoría de los casos puede ser tomada directamente del grifo, como lo es en el caso de Manizales, ciudad que se destaca por su alta calidad de agua potable y donde sus habitantes no deberían consumir agua embotellada debido a la calidad de su agua de grifo, y así evitar impactar negativamente el ambiente y al mismo tiempo su economía. Por esto, surgió la necesidad de realizar este proyecto en donde se determina la calidad del agua envasada y se exponen sus impactos al medio ambiente y la sociedad. Los resultados que se exponen muestran que, cuando se cuenta con una buena red de abastecimiento, el agua de grifo es de igual o de mejor calidad que el agua embotellada.

## **6. OBJETIVOS**

**6.1 OBJETIVO GENERAL:** Analizar teóricamente el ciclo de vida del agua embotellada, identificando impactos socioambientales generados por el consumo masivo de este producto en el municipio de Manizales.

**6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Establecer las etapas del ciclo de vida del agua embotellada.
2. Identificar los principales impactos socioambientales generados por el consumo masivo del agua embotellada en la ciudad de Manizales.
3. Determinar la calidad del agua embotellada de diferentes muestras del producto comercializado en Manizales, bajo los parámetros de la normativa de agua para consumo humano vigente en Colombia.
4. Comparar la calidad de diferentes muestras de agua embotellada con el agua de grifo, definiendo la fuente de agua potable con mayor calidad.

## **7. MARCO TEÓRICO**

Según el Instituto Colombiano de Normas Técnicas-ICONTEC, en su Norma Técnica Colombiana-NTC 3525, el agua embotellada o agua envasada es aquella sometida a uno o varios tratamientos que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en la legislación nacional vigente y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal (ICONTEC, 2012).

El agua es una necesidad humana básica. En promedio una persona no puede sobrevivir sin este recurso más de siete días y, por recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, se deben ingerir dos litros al día; siendo además un derecho humano, —cuando se inicia la comercialización de las necesidades de la vida, de manera que la gente tenga más dificultades para obtener acceso a esas necesidades, se llega a la base para una inestabilidad política gravell (Soechtig, 2009). Dada estas circunstancias, el agua es vital para el buen funcionamiento de las personas y, en sí, de la sociedad; es por esto que la comercialización de agua embotellada ha sido un gran negocio desde su aparición en los mercados, prometiendo beneficios para la salud de sus consumidores. En la Figura 5 se puede observar un ejemplo de una etiqueta de agua embotellada comercializada en México.



Figura 5. Etiqueta de agua embotellada marca *e-pura*

Fuente: droledebx.free.fr

La producción de agua embotellada genera grandes impactos al medio ambiente, contradiciendo así muchas de sus campañas publicitarias en donde se expone ser

un *producto amigable con el ambiente*: —En el proceso de producción de un (1) litro de agua embotellada, se utilizan tres litros de agua potable (Kalstrom & Dell'Amore, 2010). Además, la contaminación por plástico producida por el consumo de agua embotellada es alarmante, un ejemplo se expone en el caso de la Fundación de Investigación Marina Algalita de Estados Unidos la cual realizó una investigación en 1999 y encontró seis veces más plástico que plancton en el mar; en 2008 realizaron exactamente la misma investigación y encontraron 46 veces más plástico que plancton (Soechtig, 2009). —El PET está constituido de petróleo crudo, gas y aire. Un kilogramo de PET es 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para obtener ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene principalmente a partir de derivados del gas natural, es oxidado con aire para formar el etilenglicol. La combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol produce como resultado el PET (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2004). En la Tabla 2 se pueden observar los tipos de plástico que se utilizan en el mundo.

Tabla 2. Tipos de plásticos y sus aplicaciones.

<b>Plásticos</b>	<b>Código</b>	<b>Aplicaciones típicas</b>
Polietilen Tereftalato (PET)	1	Botellas de gaseosas, agua, aceite y vinos; envases farmacéuticos; tejas; películas para el empaque de alimentos; cuerdas, cintas de grabación; alfombras; zuncho; rafia; fibras.
Polietileno de alta densidad (PE-AD)	2	Tuberías; embalajes y láminas industriales; tanques, bidones, canastas o cubetas para leche, cerveza, refrescos, transporte de frutas; botellas; recubrimiento de cables; contenedores para transporte; vajillas plásticas; letrinas; cuñetes para pintura; bañeras; cerramientos; juguetes; barreras viales; conos de señalización.
Cloruro de polivinilo	3	Tuberías y accesorios para sistemas de suministro de agua potable, riego y alcantarillado;



<p>PVC Suspensión - Rígido</p> <p>PVC Suspensión - Flexible</p> <p>PVC-Emulsión</p>		<p>ductos, canaletas de drenaje y bajantes; componentes para la construcción, tales como: perfiles y paneles para revestimientos exteriores, ventanas, puertas, cielorazos y barandas; tejas y tabletas para pisos; partes de electrodomésticos y computadores; vallas publicitarias, tarjetas bancarias y otros elementos de artes gráficas; envases de alimentos, detergentes y lubricantes; empaques tipo blister.</p> <p>Membranas para impermeabilización de suelos o techos, recubrimientos aislantes para cables conductores; empaques y dispositivos de uso hospitalario (como bolsas para almacenar suero o sangre, equipos para venoclisis), mangueras para riego, suelas para calzado, películas para empaque.</p> <p>Papel decorativo para recubrimientos interiores de paredes, cueros sintéticos para muebles y calzado, juguetes, recubrimientos en rollo para pisos.</p>
<p>Polietileno de baja densidad (PE-BD, PE-LBD)</p>	<p>4</p>	<p>Películas para envolver productos, películas para uso agrícola y de invernadero; láminas adhesivas; botellas y recipientes varios; tuberías de irrigación y mangueras de conducción de agua; bolsas y sacos, tapas, juguetes; revestimientos; contenedores flexibles.</p>
<p>Polipropileno (PP)</p>	<p>5</p>	<p>Película para empaques flexibles, confitería, pasabocas, bolsa de reempaque, laminaciones, bolsas en general. Rafia, cuerda industrial, fibra textil, zuncho, muebles plásticos, utensilios domésticos, geotextiles, mallas plásticas, carcasas de baterías, vasos desechables, vasos plásticos, tarrinas, empaques para detergentes, tubería, botellas, botellones, juguetería.</p>

<p>Poliestireno (PS) Espumado Expandido</p>	<p>6</p>	<p>Su principal aplicación es la fabricación de envases y empaques tanto de uso permanente como de un solo uso (desechables). Aplicaciones dirigidas a la industria, como elementos para equipos eléctricos y electrodomésticos; carcazas; gabinetes interiores; contrapuertas de neveras; estuches para casetes de audio y video.</p>
		<p>Aplicaciones en la industria farmacéutica y accesorios médicos. Juguetería y recipientes de cosméticos. Elementos en la industria de la construcción: encofrados; concretos aligerados: difusores de luz; divisiones de baño; cielorrasos; rejillas arquitectónicas. Industria Automotriz: artículos escolares y de oficina. Elementos decorativos para el hogar; publicidad y promocionales.</p>
<p>Otros • Policarbonato (PC) • Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) • Estireno Acrilonitrilo(SAN) • Poliamida (PA) • Nylon • Acetatos(POM)</p>	<p>7</p>	<p>Botellones para agua Discos compactos Carcazas para computadores y equipos de tecnología Películas Envases para alimentos</p>

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008)

Uno de los factores relevantes es el gasto energético de la producción de agua embotellada comparándola con el agua de grifo; se necesita un estimado de 2.000 veces más energía para producir agua embotellada que para producir una cantidad equivalente de agua del grifo, entendiendo el agua embotellada como el producto final, no sólo la botella. Aparte, la producción de agua embotellada y transporte para sólo el mercado de Estados Unidos consume más de 30 millones de barriles de petróleo cada año y produce tanto dióxido de carbono como 2 millones de

automóviles. (Leiba et al, 2011). Sus extensas campañas también prometen grandes beneficios para la salud, pero esto es refutado en muchos estudios alrededor del mundo. Según el Consejo Nacional para la Defensa de los Recursos Naturales (por sus siglas en inglés NRDC), —una parte de agua embotellada contiene contaminantes bacterianos, y varias marcas de agua embotellada contienen productos químicos orgánicos sintéticos (tales como disolventes industriales, productos químicos de plástico o trihalometanos subproductos de la reacción química entre el cloro y la materia orgánica en el agua) o los contaminantes inorgánicos (como el arsénico, un carcinógeno conocido) en al menos algunas botellas (Olson, 1999). Además, —en una prueba independiente para agua embotellada en Estados Unidos se enviaron 7 marcas a dos laboratorios distintos. Uno, Test America, y otro al laboratorio del Doctor Michael Sommer, luego los resultados fueron analizados por el Dr. King, un epidemiólogo y toxicólogo de Toxicology Inc. En los resultados se encontraron componentes como cloro, dibutadina, estireno, benceno. El primer grupo de botellas se analizó luego de salir de los estantes, en el cual el laboratorio Test America encontró en el análisis de las muestras, tolueno, el cual es constituyente de la gasolina y se usa en diluyentes de pintura, siendo un agente neurotóxico y también relacionado con trastornos a la reproducción. El segundo grupo fue dejado en la cajuela de un automóvil durante una semana, éste fue analizado por el químico Dr. Sommer e identificó estireno en una de las muestras, el cual es causante de cáncer y puede causar serios efectos en la reproducción; además encontró tres tipos diferentes de ftalato (dietil, dimetil y di-n-octil) los cuales pueden causar disfunción, particularmente en el feto y pueden producir trastornos de la reproducción en hombres y mujeres (Soechtig, 2009). Junto a esto, el agua embotellada siempre es más costosa que el agua de grifo, estos costos no pueden ser fácilmente asumidos por personas de bajos ingresos y no deberían tener que ser sufragados por los ancianos, los inmunocomprometidos, o personas con enfermedades crónicas con el fin de conseguir el agua que es segura para beber. En su investigación, Olson (1999) expone que por lo general el 90% o más del costo que pagan los consumidores de agua embotellada va a las cosas que no son el agua en sí - el embotellado, embalaje, transporte,

comercialización, venta al por menor, otros gastos, y el beneficio. —El costo real reside en la comercialización y la marca (Whatley, 2010).

Algunas de las posibles causas por las cuales las personas compran agua embotellada podrían ser: aumento en su estatus social y su percepción de poder adquisitivo, ayuda al ambiente por ser un —producto ecológico y mejoramiento de la salud del consumidor. Estados Unidos y México son los principales consumidores de agua embotellada a nivel mundial, es por esto que la mayoría de estudios que se realizan sobre el tema provienen de Norte América. Según el periódico Vanguardia (2014) Danone, Coca-Cola y PepsiCo tuvieron el 82% de las ventas de agua embotellada en México para el 2014. Bonafont, de Danone, es la líder entre los consumidores nacionales y recauda el 38% de los ingresos que se generan. Le siguen Ciel, de Coca-Cola, con el 25%, y Epura, de PepsiCo, 19%. Pero Colombia, un país de mercados emergentes y con auge de nuevos negocios, está empezando a ganar terreno en la venta de agua embotellada, un negocio que es manejado por grandes corporaciones. Aunque el consumo de agua en botella es menor en el país en comparación con otras naciones, —en 2011 en Colombia, según Raddar, se vendieron más de US\$176 millones. De acuerdo con la información de Euromonitor, en la región, Argentina lidera con ventas anuales de US\$3.051 millones. En el caso de Chile el monto asciende a US\$168 millones (cifra a 2010) (Cantillo, 2012).

A pesar de las millonarias ventas y grandes utilidades generadas por la venta de agua embotellada, las corporaciones están innovando y cambiando las opciones del producto, agregando características con el fin de aumentar sus ganancias. Es por eso, que —la marca Drop Vitamin Water Plus aterrizó en el mercado colombiano para agitar la competencia en el sector de bebidas, porque en el región de aguas funcionales<sup>2</sup> tiene el camino libre, sin competidor. Esta es una de las marcas más importantes en el mundo y fue registrada en Colombia por la empresa Drop Technologies, que se encarga de producirla y comercializarla. Pero su nombre en el mercado mundial es Glaceau Vitamin Water, líder en producción y colocaciones

---

<sup>2</sup> O bebidas funcionales, son aquellas que ofrecen beneficios para la salud y el autocuidado, pueden ser de origen natural o preparadas con micronutrientes extra (Naranjo, 2014).

en el mercado junto con otros competidores como Propel Fitness Water y Dakara. Drop Vitamin Water Plus proyectó vender 90.000 botellas en 2012 y 250.000 botellas en 2013. Igualmente esperaron crear una marca propia de agua. Cada producto tuvo un precio de lanzamiento de \$4.000. Una botella con agua con o sin gas tuvo un valor de \$1.500, mientras que las saborizadas —que compiten con las gaseosas— llegaron a los \$2.000 (Cantillo, 2012). Como se puede ver en la Tabla 3, para 2004, Colombia se ubicaba entre los primeros 40 países con mayor consumo de agua embotellada en el mundo; dadas las tendencias de crecimiento del mercado de este producto en el país, estas cifras deben haber aumentado. La información que se brinda en la Tabla 3 es la única que fue posible encontrar y ésta se presenta con propósitos ilustrativos de las tendencias de consumo.

Tabla 3. Consumo de agua embotellada por país 1998 – 2004.

Consumo de Agua Embotellada por País					
<i>Miles de metros cúbicos</i>					
<u>Región</u>	<u>País</u>				
N. América	Estados Unidos	<u>1998</u>	<u>2000</u>	<u>2002</u>	<u>2004</u>
		15635	18563	22893	25893
N. América	México	10883	12424	14767	17683
Asia	China	3540	5993	9887	11894
S. América	Brasil	4722	6817	9628	11298
Europa	Italia	7722	9221	9690	10661
Europa	Alemania	8216	8401	8680	10313
Europa	Francia	6565	7462	8430	8550
Asia	Indonesia	2736	4300	6146	7362
Europa	España	3716	4208	4513	5506
Asia	India	1364	2150	3361	5126
Asia	Tailandia	3842	4286	4837	4962
Europa	Turquía	1185	1667	2007	2460
Medio Oriente	Arabia Saudita	1490	1770	2116	2270
Europa	Reino Unido	813	1415	1780	2205
Asia	Corea del sur	1009	1191	1359	1957
Europa	Rusia	611	968	1406	1944
Europa	Polonia	944	1279	1723	1873
Asia	Japón	790	1149	1461	1566
Europa	Bélgica-Luxemburgo	1234	1262	1330	1532
Asia	Filipinas	837	1119	1292	1414
N. América	Canadá	650	848	1027	1116
Europa	Rumania	448	640	839	993
Europa	República Checa	598	701	821	891
Europa	Portugal	646	719	761	846
Europa	Suiza	653	654	668	744
Europa	Austria	610	610	645	672
S. América	Argentina	575	599	603	669
Europa	Hungría	245	398	515	662
Asia	Pakistán	108	242	548	637
Europa	Ucrania	274	362	479	612
Oceanía	Australia	355	443	566	595
<b>S. América</b>	<b>Colombia</b>	<b>579</b>	<b>549</b>	<b>557</b>	<b>577</b>
Europa	Grecia	410	450	483	522
Europa	Serbia	-	313	392	469
Medio Oriente	Emiratos Árabes Unidos	245	270	326	413
Asia	Hong Kong	222	271	331	401
Europa	Bulgaria	67	180	286	384
Medio Oriente	Líbano	215	275	346	383
Medio Oriente	Israel	112	170	283	378
S. América	Venezuela	221	248	290	346

Europa	Holanda	241	286	317	344
Europa	Croacia	158	200	247	309
Medio Oriente	Egipto	146	188	235	290
Asia	Malasia	158	199	237	288
Asia	Vietnam	140	180	219	248
Europa	Eslovaquia	162	170	178	190
Europa	Suecia	127	151	175	189
Medio Oriente	Kuwait	78	112	144	172
S. América	Perú	81	104	132	162
Europa	Slovenia	81	109	138	162
S. América	Chile	81	116	118	130
Europa	Irlanda	62	86	107	129
Asia	Singapur	64	76	88	103
África	Sudáfrica	41	69	96	101
Europa	Noruega	76	79	91	101
Europa	Dinamarca	72	82	84	97

Fuente: Pacific Institute, 2007

La ciudad de Manizales, en la cual se basa este proyecto, —cuenta con una población de 397.488 habitantes para 2016ll (DANE, 2005) es la capital del departamento de Caldas. —Cuenta con una altura de 2150 msnm y está ubicada en la Cordillera Central, cerca del Nevado del Ruiz. Forma parte de la llamada *región paisa* y del llamado *Triángulo de oro*. Fundada en 1849 por colonos antioqueños, hoy es una ciudad con gran actividad económica, industrial, cultural y turística. Igualmente resalta por su actividad cultural en la que se destacan su Feria anual, el Festival Internacional de Teatro y numerosos espectáculos y convencionesll (Alcaldía de Manizales, 2014). —Su actividad central, tradicionalmente ha sido el cultivo y producción del café. Este cultivo permitió la creación de nuevas fuentes de trabajo y de fábricas diversas, algunas de las cuales permanecen en el área metropolitana. Estas empresas se dedican a productos como licores, zapatería, cauchos, chocolate, bancos, autopartes, electrodomésticos, detergentes y jabones, trillado y empaclado del café, dulces y metalúrgicas entre otrasll (FONADE, 2013). —En el año 2014, se generaron 0,71 kilogramos de basura por habitante por día. Siendo un total de 280 toneladas de residuos sólidos cada día en toda la ciudadll (Manizales Cómo Vamos, 2014).

En Colombia la composición de los residuos sólidos en 2008 fue: —orgánicos 65%, papel y cartón 5%, plásticos 14%, vidrio 4%, caucho 1%, metales 1%, textiles 3%, patógenos y peligrosos 2%, otros 5%ll (Ministerio de Ambiente, 2008); así que se puede aproximar que de los 0,71 kg que genera cada habitante por día en Manizales, cada uno de ellos genera 0.0994 kg (99,4 gramos) de residuos plásticos

diariamente, un gran inconveniente ambiental debido a la escasa industria recicladora en Manizales y Colombia en general.

Aunque las grandes corporaciones cuentan con avanzada tecnología en sus industrias, muchas veces, el agua embotellada sufre procesos de contaminación que pueden suceder en su etapa de manufactura. —En el año 2013, la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) realizó un estudio en el cual reveló que de 162 marcas analizadas, 102 revelan problemas de salubridad y microbiológicos (Portafolio, 2013). Esto genera preocupación en los consumidores, ya que estos supuestamente pagan por un producto completamente inocuo y fuera de peligro para su salud. No sólo la salud se ve afectada muchas veces por el consumo de agua embotellada, los impactos al ambiente y las estafas al consumidor son expuestas en varios estudios alrededor del mundo, tales como los casos del Doctor Niels Jungbluth (Suiza) (2006) donde compara los impactos ambientales del agua de grifo y el agua embotellada, demostrando que esta última genera grandes perjuicios hacia la naturaleza; y el caso del estudio realizado por la organización sin ánimo de lucro estadounidense Grupo de Trabajos Ambientales (EWG por sus siglas en inglés) donde se demuestran grandes irregularidades en las etiquetas de información al consumidor por parte de las empresas de agua embotellada (Leiba et al, 2011). Además, Fantin, Masoni. y Scalbi en 2011 encontraron en estudios de ACV del agua embotellada que el agua del grifo siempre presenta el mejor desempeño ambiental de efectos potenciales de calentamiento global (GWP por sus siglas en inglés), los resultados muestran una gran variabilidad (hasta 33 veces la relación entre los peores y los mejores resultados de GWP), debido principalmente a las diferentes tecnologías para el tratamiento de agua potable; así mismo estos estudios realizados en Europa mostraron que el mejor potencial de calentamiento atmosférico de agua embotellada es 94,4 veces mayor que el peor de GWP de agua del grifo; incluso en el caso de situaciones particulares (el agua del grifo en el desierto con el uso de las tecnologías de desalinización) el agua embotellada tiene un potencial de calentamiento atmosférico de 9,7 veces mayor que el potencial de calentamiento atmosférico de agua del grifo; el sondeo de estos ACV también confirmó que la reducción de las distancias de envasado y distribución son las dos

estrategias principales para reducir el potencial de calentamiento atmosférico de agua embotellada. Junto a esto, el Departamento de Calidad Ambiental (DEQ por sus siglas en inglés) de Oregon en Estados Unidos, realizó en 2009 un estudio en donde estableció subescenarios de mediciones de impactos ambientales relacionados a distintas fuentes de agua como grifo y embotellada en diferentes presentaciones; para todos los subescenarios planteados se encontró que el agua de grifo siempre posee menores impactos ambientales que los demás sistemas de agua potable, algunos de estos impactos fueron: *acidificación de ecosistemas, potencial carcinogénico, potencial de ecotoxicidad, potencial de eutrofización, potencial de calentamiento global, potencial de agotamiento de la capa de ozono, potencial de efectos a la respiración, potencial de generación de smog, entre otros.*

A pesar de todo, existen muchas alternativas propuestas a nivel global para frenar el consumo masivo de este producto y sus impactos ambientales, como la prohibición de la venta de agua embotellada en lugares públicos, por ser un producto insostenible, en casos de ciudades como San Francisco, California, EEUU, en donde las autoridades prohibieron la venta de agua embotellada en propiedad pública y así incentivar a la población a portar envases propios para llenarlos con agua del grifo (Minter, 2014); siguiendo los pasos de la ciudad australiana de Bundanoon, pionera en la prohibición en la venta de agua embotellada (The Australian, 2009), junto a la comunidad canadiense de Tsal'alh en la provincia de Columbia Británica donde se prohibió la venta de agua embotellada en las instalaciones públicas para proteger las fuentes públicas de agua (CBC news, 2015).





Figura 6. Bebedero público en Santa Mónica, California.

[Fotografía de GlobalTap] (Santa Mónica, California, Estados Unidos)  
Obtenida de: [globaltap.org](http://globaltap.org)

Otra alternativa es la instalación de bebederos y fuentes para la recarga de botellas de aluminio u otro material de larga duración, como la aplicada en el aeropuerto de San Francisco (Rodríguez, 2012). Dichos planteamientos son *soluciones al final del tubo* en donde no se ataca el problema de raíz. El modelo económico y de producción de los mercados no permite solucionar desde los inicios de los procesos dichas problemáticas, por esto algunos autores y expertos en el tema han planteado el llamado *Modelo de Economía Circular*, el cual fue por primera vez planteado en 1966 por Kenneth Ewart y actualmente resurge como una propuesta —restauradora de diseño, y que tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales a su mayor utilidad y valor, en todo momento. Como resultado, la economía circular establece una clara distinción entre el consumo y el uso de los materiales: la economía circular defiende la necesidad de un modelo de "servicio funcional" en el que los fabricantes o distribuidores retienen cada vez más la propiedad de sus productos y, cuando sea posible, actuar como proveedores de servicios, la venta de la utilización de los productos, no en su consumo de un solo sentido (Ellen MacArthur Foundation, 2013), creando así un impacto y un hito en la economía e industria global.

## 8. METODOLOGÍA

El proceso metodológico del proyecto se compuso de dos fases: una fase inicial descriptiva exploratoria y una fase experimental analítica.

- Fase 1: Para alcanzar los objetivos 1 y 2.

### **Identificación de etapas del ciclo de vida del agua embotellada e impactos socioambientales generadas en cada una de ellas:**

Se establecieron las fases del ciclo de vida del agua embotellada y se identificaron los principales impactos socioambientales, desde la extracción de materia prima hasta el posconsumo, mediante la conceptualización del ciclo de vida del producto, detallando en cada etapa del proceso, los daños causados hacia la naturaleza y la sociedad. Este análisis se logró a partir de la revisión del tema que incluye consultas bibliográficas en bases de datos en internet como Proquest, Scielo, Google Academic y Science Direct, y la implementación y utilización de fichas bibliográficas

en las cuales se extrajo la información potencialmente útil para su posterior análisis. En la fase preliminar del estudio, se determinó que para poder realizar un análisis del ciclo de vida de un producto se necesita de un extenso volumen de información específica de una marca, suministrada por la empresa objeto del estudio, esto debido a que cada una de las empresas cuenta con detalles diferentes en la producción y comercialización del agua embotellada y, a pesar que la manera en que se fabrica el producto es muy similar y casi estandarizado, éstos generan cambios considerables en la *huella ecológica*<sup>3</sup> de cada marca. Debido a esto, se expresa que se realizó un análisis *teórico* del ciclo de vida, en donde se generaliza la información del agua embotellada y se analiza según los impactos socioambientales generados en cada una de sus etapas. Se determinaron cinco etapas del ciclo de vida del agua embotellada: *Extracción de materia prima, Producción y embotellamiento del agua, Transporte y distribución, Consumo y Posconsumo (Desecho, Reuso o Reciclaje)*, tomando de ejemplo a Dogan (2008) y a Anastas y Lankey (2000) los cuales fueron casos de estudio similares y ayudaron a establecer y definir las cinco etapas anteriormente mencionadas.

Además se diseñó y aplicó una encuesta a manera de sondeo a 70 personas (20 vendedores y 50 consumidores del producto) de la población de Manizales, para obtener información que permitió analizar algunos hábitos de consumo y de ventas, tomando como muestra la población del sector de la Carrera 23 de la ciudad (ver Anexo 1), ya que esta es una zona comercial y allí se presenta confluencia de personas con estratos socioeconómicos variados y es un punto clave para el mercado manizaleño, en donde se pueden encontrar diferentes precios y marcas de agua embotellada.

---

<sup>3</sup> La huella ecológica es la medida del área de tierra y agua biológicamente productiva que un individuo, población o actividad utiliza para producir todos los recursos que consume y para asimilar los desechos generados (como las emisiones de dióxido de carbono del uso de combustibles fósiles), utilizando la tecnología y las prácticas de gestión de recursos prevalecientes. La huella ecológica comúnmente se expresa en términos de hectáreas globales (PNUMA, 2012).

- Fase 2: Para alcanzar los objetivos 3 y 4.

### **Determinación de la calidad del agua embotellada de diferentes muestras del producto comercializado en Manizales y comparación con la calidad del agua de grifo.**

Se realizaron pruebas en laboratorio de la calidad de las muestras de 3 marcas diferentes de agua embotellada que se comercializan en Manizales (codificadas como A, B y C); para cada marca se tomaron dos muestras (condiciones 1 y 2), esto fue decidido según criterio de los investigadores, debido principalmente a que tres marcas era una cantidad considerable según la disponibilidad de recursos para las pruebas de laboratorio y los resultados de los sondeos de consumo. Se tuvieron dos variables para cada marca, una fue expuesta a condiciones naturales de almacenamiento con exposiciones prolongadas al sol y la intemperie durante 7 días (condición 1) y luego se le hicieron las pruebas de laboratorio, mientras que la otra muestra se analizó inmediatamente después de comprada (condición 2). Las pruebas se hicieron en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Católica de Manizales (UCM), determinándose los siguientes parámetros: pH, turbiedad, cloro residual, alcalinidad, calcio, cloruros, *E-coli* y coliformes totales, color, conductividad, dureza total, dureza cálcica y magnesio; además las pruebas de aluminio y hierro total se realizaron por parte del Laboratorio de Aguas de Manizales, esto por la falta de reactivos en el Laboratorio UCM; estos parámetros son los establecidos y regulados por la resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Igualmente, este procedimiento fue realizado también para una muestra del agua de grifo de la ciudad, teniendo en total 7 muestras (Grifo, A1, A2, B1, B2, C1, C2). Para cada muestra, los análisis se realizaron por duplicado o por triplicado.

Los siguientes parámetros fueron omitidos por cuestiones técnicas y económicas del proyecto: Olor y sabor, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Cianuro libre y disociable, Cobre, Cromo total, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio, Trihalometanos totales, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Carbono Orgánico Total, Nitritos, Nitratos, Fluoruros, Manganeso, Molibdeno, Sulfatos, Zinc, Fosfatos y Giardia y Cryptosporidium.

Después de realizar las pruebas de laboratorio, se procedió a comparar los resultados obtenidos para la muestra del agua de grifo analizada en los laboratorios de la UCM, con la calidad reportada del agua de grifo municipal, información que fue obtenida de las bases de datos de Aguas de Manizales, empresa encargada del servicio, para comparar la validez de los datos de laboratorio; posteriormente se calculó el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano ( IRCA), establecido en la resolución 2115 de 2007 y así determinar finalmente cuál fuente de agua posee mayor calidad y es más beneficiosa para la salud humana.

Los procedimientos y preparación de las muestras se realizaron bajo la supervisión de Javier Andrés Quintero y se ejecutaron en las instalaciones del Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Católica de Manizales (UCM). Igualmente, los instrumentos y reactivos fueron provistos y adecuados por CALER UCM.

La forma en la que se seleccionaron los parámetros a analizar se encuentra en la metodología del proyecto. Los parámetros a analizar fueron: pH, turbiedad, cloro residual, alcalinidad, calcio, cloruros, E-coli y coliformes totales, color, conductividad, dureza total, dureza cálcica, magnesio, hierro total y aluminio. Todos se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la UCM, excepto hierro total y aluminio, estos fueron analizados en el Laboratorio de Aguas, de Aguas de Manizales.

Las prácticas de laboratorio con sus respectivos procedimientos se encuentran en el Anexo 2.

Ecuación para el cálculo del IRCA por muestra:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

Tabla 4. Puntajes de riesgo IRCA.

<b>CARÁCTERÍSTICA</b>	<b>PUNTAJE DE RIESGO</b>
<b>Color aparente</b>	6
<b>Turbiedad</b>	15
<b>pH</b>	1.5
<b>Coloro Residual Libre</b>	15
<b>Alcalinidad Total</b>	1
<b>Calcio</b>	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
<b>Magnesio</b>	1
Zinc	1
<b>Dureza Total</b>	1
Sulfatos	1
<b>Hierro</b>	1.5
<b>Cloruros</b>	1
Nitratos	1
Nitritos	3
<b>Aluminio</b>	3
Fluoruros	1
COT	3
<b>Coliformes Totales</b>	15
<b><i>Escherichia Coli</i></b>	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

Fuente: Resolución 2215 de 2007

Con las pruebas realizadas, se obtiene un 88,5% de puntaje de riesgo total para comparar en las muestras realizadas, esto debido a las pruebas faltantes por cuestiones técnicas y económicas, sin embargo, éste es un porcentaje aceptable para el cálculo.

## **9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **9.1 ANÁLISIS TEÓRICO DEL CICLO DE VIDA**

Gracias a toda la información adquirida y analizada en la revisión bibliográfica, se pudo establecer un ACV teórico del agua embotellada, en el cual se establecieron los principales impactos socioambientales de cada una de sus etapas. Aquí se presentan los detalles de los impactos socioambientales obtenidos en la revisión de las etapas del ACV. En la Figura 7 se pueden observar las etapas del ciclo de vida del agua embotellada, las cuales son: Extracción de materia prima, Producción (Fabricación botella y Embotellamiento del agua), Transporte y distribución, Consumo y Posconsumo.



Figura 7. Esquema básico de las etapas del ciclo de vida del agua embotellada.

Fuente propia

### 9.1.1 Extracción de la materia prima

La materia prima del agua embotellada consta de dos componentes principales: plástico y agua. En la obtención de ambas se generan impactos socioambientales importantes.

El plástico para fabricar las botellas es obtenido gracias a la industria petrolera, en donde se utiliza crudo como componente principal de productos petroquímicos que se utilizan para fabricar las preformas del plástico PET, que después serán convertidas en botellas. Dicha industria petrolera cuenta con relevantes impactos socioambientales en sus modelos de producción, deteriorando las fuentes de agua y afectando gravemente a los ecosistemas circundantes. Por ejemplo, en la ciudad de Corpus Christi, en Estados Unidos, en donde se extrae y refina crudo que es usado para la fabricación de preformas allí mismo, las personas enfermas y muertas por cáncer han aumentado drásticamente desde que se abrió dicha refinería de petróleo allí (Soechtig, 2009), lo cual expone impactos no sólo al ambiente, sino a



las personas que viven cerca de estos lugares. Teniendo en cuenta además el dato anteriormente brindado en donde se muestra que solamente para Estados Unidos sólo en el año 2006 se utilizaron 17 millones de barriles de petróleo para fabricar botellas plásticas para agua embotellada.

Por su lado, la extracción de agua para su embotellamiento ha generado grandes problemas a la sociedad y al ambiente. Mientras algunas empresas obtienen el agua directamente del grifo, otras (en especial las grandes multinacionales) la obtienen de los acuíferos y ríos de los territorios y comunidades, lo cual ha generado grandes debates políticos en algunos lugares en donde se ha realizado esta explotación; por ejemplo, en el documental *Tapped* (Soechtig, 2009) se puede apreciar la historia de varios condados de Estados Unidos en donde sus habitantes se han opuesto a la explotación de su recurso hídrico el cual, en teoría, pertenece a todos y manifiestan su inconformidad debido a que grandes empresas como Nestlé y Danone venden este recurso de la comunidad a precios muy elevados y al mismo tiempo contaminan sus acuíferos y cuerpos de agua, explotándolos también en épocas de sequía, prevaleciendo el bien comercial e individual y no el bien común y el derecho humano al agua.

En Colombia, al poseer los mismos modelos de explotación y producción extranjeros, los problemas socioambientales son igual de evidentes e incluso pueden llegar a ser más dramáticos para las zonas rurales en donde el abastecimiento de agua es limitado.

### 9.1.2 Fabricación de botellas y Embotellamiento del agua (Producción)

La fabricación de las botellas y el embotellamiento del agua pueden ser unidas en una etapa llamada Producción. Esta etapa no está exenta de impactos socioambientales.

La fabricación de las botellas se genera a partir de las preformas de polietileno tereftalato (PET) recibidas de la industria petrolera, éstas se calientan y se inflan hasta obtener el tamaño deseado por cada una de las empresas. —El PET se produce a partir de combustibles fósiles - típicamente de gas natural y petróleo. El proceso de producción de PET también se basa en otras fuentes de energía, incluidas las fuentes térmicas y eléctricas. La industria de fabricación de plásticos europea encontró que la producción de una tonelada de resina de PET requiere 83.000 MJ de energía. También estiman que el transporte de la resina y su conversión en botellas requieren unos 20.000 MJ adicional de energía por tonelada de PET. Cuando se juntan, la energía necesaria para producir y transportar la resina PET, y luego moldear en botellas, asciende aproximadamente a 100.000 MJ por tonelada de PETII (Pacific Institute, 2007). En la Figura 8 se puede observar el esquema de producción de la botella de PET.

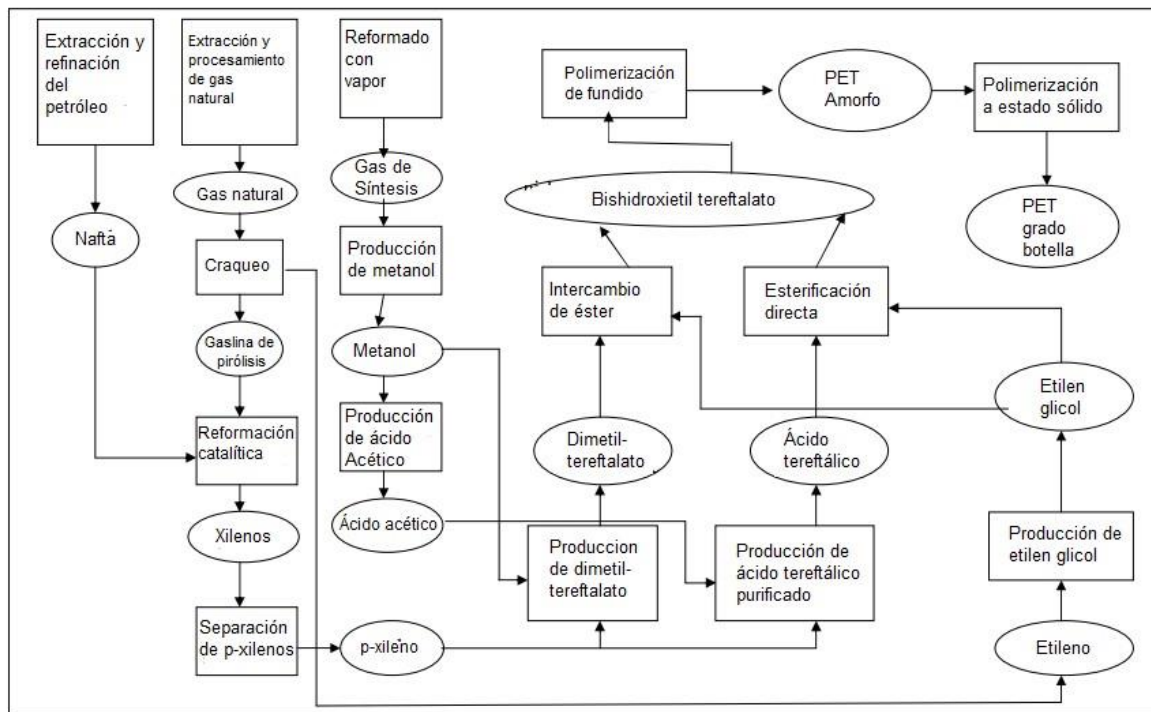


Figura 8. Esquema de producción de una botella PET.  
Fuente: Adaptado de Dogan (2008)

Después de obtenidas las materias primas y las botellas fabricadas, las empresas proceden a embotellar el agua, algunas poseen dichas embotelladoras en el mismo

lugar donde fabrican las botellas, mientras que otras tienen estas plantas separadas, lo cual aumenta la *huella de carbono*<sup>4</sup> por las emisiones de gases generadas en el transporte de las botellas. Tanto las fuentes de agua como los tratamientos y filtrados que recibe ésta, varían considerablemente según cada empresa, pero esta fuente se puede dividir en dos: de cuerpo de agua o de grifo. Muchas marcas de agua embotellada utilizan en su publicidad etiquetas con frases e imágenes alusivas a la naturaleza y a manantiales de agua, creando en el consumidor pensamientos de salud y bienestar, sin embargo —sólo en Estados Unidos cerca de la mitad de toda el agua embotellada se nutre de agua del grifo municipal (Leiba et. al., 2011), lo que la convierte en agua de grifo embotellada. Aquí continúan los debates políticos y sociales, ya que además de utilizar un recurso de las comunidades, éste se vende a precios elevados al pueblo, como ya se había expuesto antes. En la Figura 9 se puede ver el proceso básico de embotellamiento del agua.

---

<sup>4</sup> La huella de carbono es la cantidad de Gases Efecto Invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto (Secretaría Distrital de Ambiente, 2013).

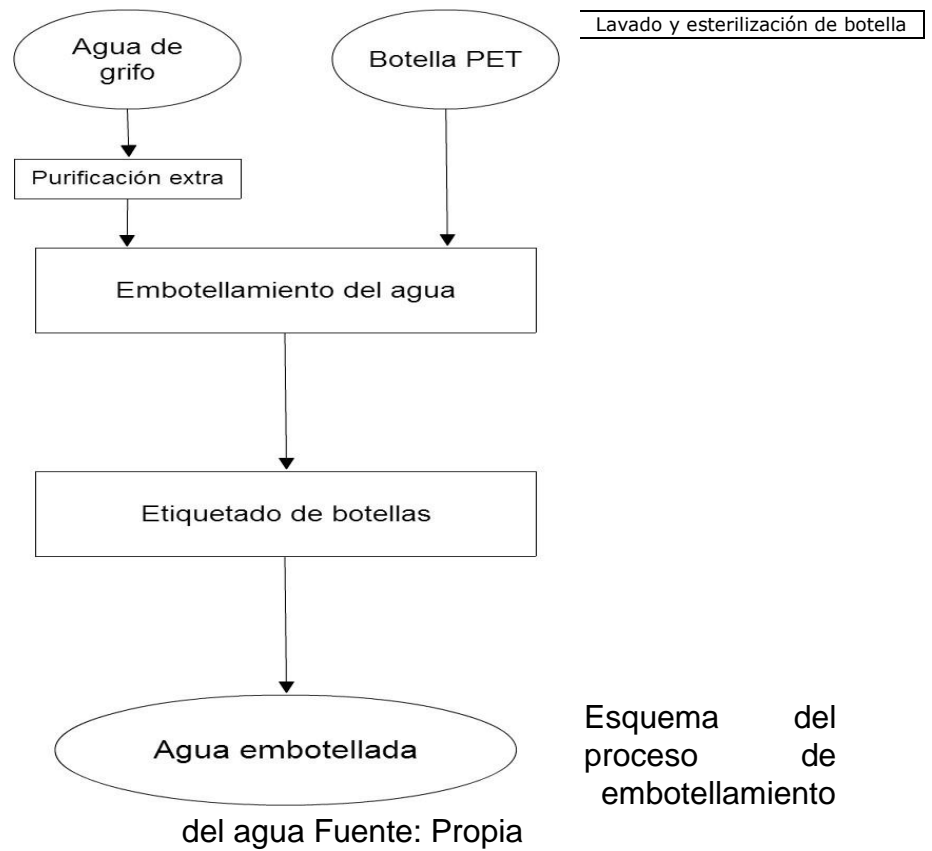


Figura 9.

Esquema del proceso de embotellamiento

Igualmente, la producción de agua embotellada genera impactos ambientales importantes, teniendo una huella de carbono y una huella ecológica fuertes, es por esto que muchas veces es comparada con el agua de grifo, ya que es la otra fuente de agua potable a la cual tienen acceso las personas en algunas ciudades. En cuestiones energéticas, —se necesita un estimado de 2.000 veces más energía para producir agua embotellada que producir una cantidad equivalente de agua del grifoll (Leiba et. al., 2011), además —combinando todos los totales de insumos energéticos, se estima que la producción de agua embotellada requiere entre 5,6 y 10.2 MJ/L, tanto como 2,000 veces el coste energético de la producción de agua del grifoll (Gleick y Cooley, 2009)<sup>5</sup>; teniendo en cuenta además que, en promedio, —la

<sup>5</sup> Los autores no definen si en estas cifras incluyen el costo energético de potabilizar el agua que se embotella o realizarle algún tratamiento adicional en caso de ser obtenida del grifo.

*huella hídrica*<sup>6</sup> del agua embotellada es de 3 litros de agua potable por litro de productoll (Kalstrom & Dell'Amore, 2010)<sup>7</sup>.

### 9.1.3 Transporte y Distribución

Una de las etapas en las que más impactos ambientales se generan por gasto de combustibles fósiles, emisiones y potencial de calentamiento global, es el transporte y la distribución del agua embotellada. Esta etapa es fundamental cuando se va a medir la huella de carbono de un producto.

Muchas empresas realizan su producción en países lejanos a donde se va a comercializar el producto, es por esto que deben transportarlos por miles de kilómetros entre países y continentes hasta llegar a los mercados. El agua embotellada de algunas grandes empresas multinacionales debe ser transportada entre Europa, Asia y América y, además, debe ser distribuida por todo el país en donde se vaya a comercializar, lo cual genera una gran cantidad de emisiones y utilización de combustibles fósiles. —Combinando la producción de agua embotellada y transporte para el mercado de Estados Unidos, éste consume más de 30 millones de barriles de petróleo cada año y produce tanto dióxido de carbono como 2 millones de automóvilesll (Leiba et. al., 2011). Teniendo en cuenta además el estudio de Jungbluth en 2006 en donde se cuantifica el impacto ambiental del agua de grifo y el agua embotellada, y al compararlas se determina que —el agua embotellada sin gas y sin refrigeración hace un impacto ambiental entre 90 y 1000 veces mayor que el agua del grifo. La diferencia se hace más pronunciada cuanto

---

<sup>6</sup> Un indicador de uso del agua que considera tanto el uso directo como el indirecto del agua que hace un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, comunidad, nación o negocio se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios que son consumidos por el individuo, comunidad o nación, o producidos por la empresa (PNUMA, 2012).  
<sup>7</sup> el enfoque del trabajo no indaga sobre los detalles técnicos de los procesos productivos del agua embotellada (en particular, sobre el proceso de acondicionamiento del agua, previo a su embotellamiento).

más lejos el agua embotellada tiene que ser transportada al clientell (Jungbluth, 2006). Claramente los impactos ambientales aumentan cuando el agua es refrigerada para preferencia de los clientes y consumidores.

En los últimos años, Colombia ha sufrido de fuertes fenómenos climáticos, tanto de sequías por el intenso verano, como de inundaciones por el invierno, eso ha agravado el problema de abastecimiento de agua de muchas poblaciones que se encuentran en zonas vulnerables del país. Paradójicamente, cuando se producen períodos de sequía, especialmente en las zonas costeras, el Estado, algunas organizaciones humanitarias y los propios habitantes del país, gastan dinero y envían miles de contenedores con agua embotellada a dichas zonas, lo cual genera a su vez un impacto ambiental por la acumulación de plástico y utilización de combustibles fósiles en el transporte de éstas. Esto permite dimensionar el problema del agua embotellada con carácter político y social, permitiendo determinar que el dinero utilizado en estas labores podría invertirse en soluciones definitivas como la construcción de plantas de tratamiento de agua potable, teniendo en cuenta la disponibilidad del recurso hídrico.

#### 9.1.4 Consumo

Ésta se podría considerar la etapa más importante en el ACV del agua embotellada, ya que de ella dependen las demás etapas. El consumidor es el encargado de establecer si un producto aumenta o reduce sus ventas y, al mismo tiempo, los impactos de cada una de sus etapas del ciclo de vida.

Cuando una persona que posee acceso al agua de grifo decide consumir una botella de agua, no sólo la sed o la necesidad de tomar agua es el factor que determina su compra, influencias sociales y publicitarias también afectan esta decisión. La salud, estilo de vida y estatus social hacen parte de las razones para que se consuma agua embotellada de manera masiva; el consumidor, muchas veces, considera que su salud mejorará, su estilo de vida será más positivo y su estatus social será más alto al comprar agua embotellada, pero esto puede ser amplia y científicamente debatido.

Las ventas de agua embotellada empezaron a aumentar considerablemente hace un par de décadas, —entre 1990 y 2000 cuando las ventas en el mundo se duplicaron de 50 mil millones a 100 mil millones de litros al añoll (Whately, 2010). Igualmente, los mercados no tradicionales han manifestado mayor número de ventas en los últimos años, como lo son América Latina y Asia. —El Banco Mundial estimó para el año 2009 que el valor del mercado de agua embotellada es de 800 mil millones de dólaresll (Soechtig, 2009). —Las principales empresas que controlan el mercado son Coca-Cola, Nestlé, Pepsico y Danone, con diferentes marcas alrededor del mundo. Solamente en 2009 se bebieron 1500 millones de litros de la marca Evian de Danone en el mundoll (Whately, 2010), esto expone la preferencia de los consumidores por el agua embotellada sobre otras bebidas, mucho más aun cuando este producto cambió el material de su envase de vidrio por polietilen tereftalato o plástico, —cuando se introdujo el PET al agua embotellada, ésta pasó a ser la segunda bebida más consumida en el mundo después de los refrescos carbonatadosll (Whately, 2010). Sin embargo, este cambio también ha traído grandes problemas a la imagen del producto entre la comunidad científica y algunos consumidores responsables que se preocupan por su salud. —La marca Perrier de Nestlé pasó de vender 12 millones de botellas en 1980 a 152 millones para finales de la década, sin embargo, al año siguiente se encontraron grandes lotes de sus botellas de agua contaminadas con benceno, conocido químico causante de cáncerrll (Whately, 2010). Todas las corporaciones han tenido inconvenientes con contaminantes asociados a sus marcas de agua embotellada. Sin embargo, sus ventas continúan creciendo, —en 2008 Nestlé ganó 3,6 billones de dólares sólo en

agua embotellada, además sólo en 2007 en Estados Unidos se compraron más de 29 billones de botellas (Tapped, 2009).

Tabla 5. Principales países consumidores de agua embotellada per cápita 1999 – 2010.

Litros por persona por año										
							2005	2007	2009	2010
Países	1999	2000	2001	2002	2003	2004	(BMC)	(BMC)	(Canadean)	(BMC)
México	117	124	130	143	157	169	179	205		243
Italia	155	160	164	167	179	184	191	202	189	187
Emiratos Árabes Unidos	110	114	119	133	145	164	181	260		153
Bélgica - Luxemburgo	122	118	118	124	133	148	160	150	120	148
Alemania	101	102	103	105	121	125	128	126	165	134
Francia	118	126	131	141	148	142	139	136	112	132
España	102	105	109	112	127	137	146	120	124	124
Líbano	68	77	85	94	96	102	107	111		121
Tailandia	67	70	73	76	77	77	77	89		114
Hungría	30	39	46	51	62	66	70	108	109	111
Suiza	90	90	90	92	96	100	104	107		108
Estados Unidos	64	67	74	82	85	91	99	111		107
Eslovenia	48	56	64	71	78	80	81	95	56	107
Croacia	42	47	52	56	62	69	78	92		101
Chipre	67	72	76	81	86	92	98	91		98
Qatar							81			95
Arabia Saudita	76	80	85	90	88	88	93	91		95
China / Hong Kong							69			95
República Checa	62	68	74	80	84	87	90	93	77	92
Austria	75	75	78	79	86	82	81	95	95	91
Israel	23	29	38	47	56	61		88		
Portugal	70	72	73	76	78	80	83	85		

Fuente: Gleick, 2014

La salubridad del agua embotellada continúa en debate, en un estudio de calidad del agua realizado por el NRDC en 2008 se concluyó que en algunos casos las



muestras de agua embotellada contienen bacterias o productos químicos en niveles que se consideran inseguros porque pueden causar cáncer u otras enfermedades. "La mayoría del agua embotellada probada era de buena calidad, pero algunas marcas poseían calidad irregular", dijo el informe. "La contaminación que presenta riesgos inmediatos para la gente sana es poco común", dijo (Soechtig, 2009). En el mundo, se siguen realizando análisis sobre la calidad química y microbiológica del agua embotellada, sin embargo en Colombia pocos estudios hay sobre este tema. En Venezuela, Benítez et al, estudiaron en 2013 diferentes marcas de agua en bolsa y embotellada, la mayoría de ellas mostraron crecimiento microbiano de coliformes totales que sobrepasaron valores de 4 NMP/100mL<sup>7</sup> en el agua potable envasada. Por su parte, Wang et al. en un estudio realizado en el año 2010, observaron niveles cuantificables de BPA en dos botellas que habían sido etiquetados como "sin BPA" (0.246 ppb<sup>8</sup> en una y 0,063 en la otra), además hallaron 4-nonilfenol en cinco botellas probadas con el etiquetado "sin BPA" después de haber sido calentado en un horno de microondas, tratando de recrear condiciones de almacenamiento a las que muchas veces son sometidas las botellas antes y después de ser compradas; teniendo relación con el estudio de Xu Li et. al. (2010) en donde muchas botellas de agua marcaron positivo para 4-Nonilfenol, BPA y Triclosan.

En el año 2014 se realizó uno de los estudios más relevantes para la calidad microbiológica y de subproductos de desinfección en agua embotella en Colombia, allí Arévalo-Pérez *et. al.* encontraron cloroformo en todas las marcas estudiadas, excepto en la primera, en un rango entre 1.8 y 132.8 µg/l; aunque la concentración de cloroformo en el agua embotellada no es regulada, su cantidad en dos marcas excedió la norma de la Food and Drug Administration de Estados Unidos (FDA) para trihalometanos (THM). En cuanto a los AHA (ácidos haloacéticos), el MCAA (ácido clorado monocloroacético) se encontró en tres de las marcas (entre 3 y 7.1 µg/l), mientras que los otros dos ácidos se detectaron en cuatro de las siete marcas (5.6 y 73 µg/l). El TCAA (ácido clorado tricloroacético) presentó las mayores

---

<sup>7</sup> Número Más Probable de bacterias sobre 100 mililitros de muestra.

<sup>8</sup> Partes Por Billón

concentraciones, entre 9 y 73 µg/l. También en este estudio, el cultivo de microorganismos arrojó resultados importantes, de las siete marcas estudiadas, sólo dos no presentaron crecimiento de bacterias, enterobacterias o mesófilos. En tres hubo crecimiento de aerobios mesófilos y en otras dos se presentó crecimiento tanto de microorganismos aerobios mesófilos como de enterobacterias. En el caso de hongos y levaduras, únicamente la marca ECA5<sup>9</sup> no mostró crecimiento; tres marcas exhibieron crecimiento de levaduras y en las otras tres hubo crecimiento de hongos; en dicho estudio existieron diferencias importantes entre la calidad microbiológica de las marcas reconocidas y aquella que de manera reciente ingresa al mercado, ya que esta última fue positiva para tres de los cuatro indicadores, por lo que el control en la entrada de nuevos productos debería ser más restrictivo. Además, en otros estudios se ha observado una incidencia del tiempo de almacenamiento con la liberación de ftalatos, aditivos del PET, que servirían de sustrato para las esporas de hongos, como *Penicillium citrinum* y *Alternaria alternata* (Criado, M.V., Fernández-Pinto, V.E., Badessari, A., y Cabral, D., 2005); es así como el tiempo entre el embotellamiento y el consumo puede modificar la diversidad bacteriana.

Los problemas por contaminación química y bacteriana en el agua embotellada han sido registrados mundialmente. En Hungría en 2011, Varga encontró diferentes tipos de microorganismos en muestras de agua embotellada, que aunque no representan un gran peligro para personas sanas, éstos si pueden afectar gravemente la salud de personas inmunodeficientes. En Grecia, Vantarakis *et. al.* realizaron un gran estudio entre 1995 y 2010, en donde el 13,0% de las muestras analizadas fueron consideradas como muestras que no cumplen con el consumo humano, se detectaron coliformes totales en 170 muestras (9,1%), *Enterococcus spp.* se detectó en 18 muestras (1,2%) y *P. aeruginosa* se detectó en 114 de 1860 muestras (6,1%), teniendo resultados similares, en cantidad, al estudio de Ahmed *et. al.* en 2013; sin embargo en este último, 9 marcas resultaron ser positivas para *A. hydrophila*, que es conocido por causar septicemia y la gastroenteritis en niños

---

<sup>9</sup> Marca codificada en el estudio de Arévalo.-Pérez et al. (2014).

pequeños, ancianos y personas inmunodeprimidas. —Además de ser una causa primaria de diferentes enfermedades, *P. aeruginosa* se controla a menudo como un indicador de otra contaminación bacteriana de origen fecal (Ahmed et al., 2013). Por su parte, Shotyk y Krachler en 2007 ejecutaron un estudio en donde encontraron que la concentración de antimonio (relacionado con problemas pulmonares) en el agua embotellada aumenta según su tiempo de almacenamiento, esto concuerda con el estudio de Westerhoffa *et. al.* (2008), en donde también se encontró antimonio debido en gran parte a las temperaturas de almacenamiento antes o después de realizarse el consumo del producto. —La lixiviación de antimonio debe ser motivo de preocupación para los fabricantes privados, mayoristas y tiendas al por menor, así como a empresas de servicios públicos de agua que a menudo embotellan agua para eventos públicos, desastres, o incluso reventas. Debido a que el antimonio causa problemas agudos y crónicos de salud, las condiciones, tales como tipos de plástico o la temperatura de almacenamiento, que promueven el deterioro de la calidad del agua (es decir, el aumento de las concentraciones de antimonio en el tiempo) deben ser evitados (Westerhoffa et al, 2008).

Por otra parte, —la presencia de hongos no se encuentra regulada en Colombia; sin embargo, son importantes desde la perspectiva de salud, pues muchos de estos organismos son capaces de causar enfermedades infecciosas e irritación en las mucosas, efectos especialmente perjudiciales en personas con inmunodeficiencias (Arévalo-Pérez et al., 2014). Asimismo, —aunque las levaduras no generan un efecto en la salud de la población expuesta, pueden causar alteraciones organolépticas en el agua y generar un ambiente propicio para el crecimiento de otros microorganismos, al cambiar el pH (Ancasi, E., Carrilo, L. y Benítez, M., 2006). Esto demuestra también la necesidad de ajustes significativos en las regulaciones sobre el agua embotellada.

#### 9.1.5 Posconsumo

Luego de ser consumida el agua embotellada, la botella de plástico PET resultante puede tener 3 destinos diferentes: desechada, reusada o reciclada. Según Annie Leonard en su libro y proyecto *La historia de las cosas: de cómo nuestra obsesión por las cosas está destruyendo el planeta, nuestras comunidades y nuestra salud, y una visión del cambio*. —La mayoría de éstas, 80% aproximadamente, terminan en los botaderos de las ciudades del mundo y sólo el 20% son reusadas o recicladasll (Leonard, 2010). Esto genera grandes problemas ecológicos y socioeconómicos, ya que el plástico nunca se degrada, sólo se rompe en pedazos cada vez más pequeños, afectando a los ecosistemas y las cadenas alimenticias; y ,por otra parte, —el agua embotellada tiene costos económicos indirectos; la eliminación de residuos de agua embotellada en plástico, por ejemplo, cuesta a las ciudades de USA un estimado de US\$ 70 millones en honorarios de la descarga de residuos cada añoll (Leiba et. al., 2011). Por su parte, —en Colombia sólo se recicla el 28% del plásticoll (El Espectador, 2010), agravando el problema socioambiental generado por este tipo de residuo.

El océano es el principal ecosistema afectado por los residuos de plástico, ya que gran parte de las botellas desechadas terminan allí, afectando a las especies animales y vegetales que allí habitan, especialmente a peces y aves que confunden los trozos de plástico con alimento. En la actualidad, —en el océano el plástico supera en cantidad al plancton por más de 40 veces, esto ha generado desequilibrios en los ecosistemas de todo el mundoll (Soechtig, 2009), como se puede apreciar en el documental *Tapped* (2009).

Cuando una botella es reusada o reciclada, el gasto de recursos y el impacto ambiental se ven significativamente reducidos. En un estudio realizado en 2013 por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México - INNEC, se determinó que en el caso específico de cambio climático, la sustitución de resina PET virgen por resina PET reciclada reporta una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes de 702.273 toneladas, además se observó una reducción de impactos ambientales al cambio climático, agotamiento de recursos abióticos, agotamiento

de la capa de ozono y acidificación entre 500% - 600% con respecto a esquemas sin valorización de PET en la fase de reciclaje para materias primas.

Para el caso específico del estudio llevado a cabo en México se determinó que —si bien el desarrollo de infraestructura para el reciclaje en México o el extranjero, tiene una carga ambiental, en suma resulta en un mejor comportamiento para el ambiente al aprovechar el recurso como material para sustituir materia virgen, esto debido al impacto ambiental de la extracción y procesamiento del PET virgen grado amorfo o alimenticio. Lo anterior, permite realizar una estimación cuantitativa de la ventaja ambiental de tomar una acción de valorización, contra el no realizar ninguna acción (INNEC, 2013).

## 9.2 Matriz de identificación de los Aspectos e Impactos Socioambientales del Ciclo de Vida del Agua Embotellada.

A continuación, se presentan los aspectos e impactos identificados en cada fase del ciclo de vida. El signo —másll (+) se refiere a algunos impactos positivos del proceso, mientras que el signo —menosll (-) se refiere a los impactos negativos.

Tabla 6. Matriz de identificación de los aspectos e impactos socioambientales.

FASES DEL CICLO DE VIDA	ASPECTOS	IMPACTOS
	Consumo de agua y energía sequía	(-) Afectación del ciclo hidrológico por reducción de los niveles de cuerpos de agua, realizándose □ muchas veces en épocas de eléctrica (-) Contaminación a cuerpos de

<p>Extracción de materia prima</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilización de hidrocarburos y agua y suelos por vertimientos y combustibles residuos producidos en la extracción del agua y los métodos</li> <li> <input type="checkbox"/> Vertimientos resultantes de utilizados para explotación de maquinarias y extracciones hidrocarburos <ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Afectación a las comunidades</li> </ul> </li> <li>Emisiones por transporte de por deterioro de la calidad y agua* cantidad de los recursos suelo y agua. <ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Pérdida del patrimonio cultural de las comunidades afectadas por la extracción de sus recursos.</li> </ul> </li> </ul>
<p>Fabricación botellas y Embotellamiento agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Deterioro de la atmósfera y la calidad del aire debido a las emisiones en el transporte (afectación a la salud de las personas)*</li> <li>(+) Generación de empleos locales en los procesos de extracción.</li> </ul>
<p>Transporte y Distribución</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li> <input type="checkbox"/> Consumo de agua <ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Afectación del ciclo hidrológico por la extracción del recurso hídrico del ecosistema.</li> </ul> </li> <li> <input type="checkbox"/> Alta utilización de petróleo para fabricación de botellas <ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Aumento de la huella ecológica por gasto de energía eléctrica (dependiendo del tipo de generación de la energía de la que depende la fábrica) y el consumo de combustibles fósiles</li> </ul> </li> <li> <input type="checkbox"/> Contaminación cruzada<sup>10</sup> del agua por la maquinaria al momento del embotellamiento* <ul style="list-style-type: none"> <li>(-) Deterioro de la atmósfera y la calidad del aire debido a las emisiones en el transporte (afectación a la salud de las personas) *</li> <li>(+) Generación de empleos en las fábricas y embotelladoras.</li> </ul> </li> <li> <input type="checkbox"/> Consumo de combustibles fósiles utilizados en transporte y en algunas maquinarias* <ul style="list-style-type: none"> <li>(+) Generación de empleos en las fábricas y embotelladoras.</li> </ul> </li> </ul>

<sup>10</sup> La contaminación cruzada consiste en el trasvase de microbios patógenos (que provocan enfermedades) de unos alimentos contaminados (normalmente, crudos) a otros alimentos, tanto de manera directa como indirecta (EUFIC, 2001).

Consumo	<input type="checkbox"/> Elevado consumo de combustibles fósiles	<p><b>(-)</b> Emisión de gases de efecto invernadero, lo cual aporta al cambio climático y calentamiento global. Elevada huella de carbono.</p> <p><b>(-)</b> Reducción de la calidad del aire y afectación a la atmósfera por emisiones.</p> <p><b>(-)</b> Afectación a la salud de las personas por contaminación del aire.</p> <p><b>(+)</b> Generación de empleo para el transporte y la distribución del producto.</p>
	<input type="checkbox"/> Costos elevados del agua embotellada <input type="checkbox"/> Falsa expectativa en el mejoramiento de la salud del consumidor <input type="checkbox"/> Consumismo (o consumo masivo) como una tendencia y moda en los mercados	<p><b>(-)</b> Afectación a la economía de las personas que consumen repetidamente agua embotellada por sus elevados precios, comparados con el agua de grifo. <b>(-)</b> Afectación a la salud de las personas por creencias y expectativas publicitarias relacionadas al consumo de agua embotellada y al mejoramiento de la salud, con respecto al agua de grifo.</p> <p><b>(+)</b> Apoyo a la economía por el movimiento del mercado y la generación de empleo en las tiendas y supermercados que ofrecen el producto.</p>

<p>Posconsumo</p> <p>*En algunos casos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□</li> <li>□</li> </ul> <p>Generación de residuos plásticos</p> <p>Uso de dineros públicos para transporte de los residuos</p> <p>(-) Contaminación de suelos por residuos plásticos y sus lixiviados.            (-) Contaminación de las fuentes hídricas y cuerpos de agua por residuos plásticos, sus lixiviados y las microesferas o partes desintegradas del plástico que se depositan en los lechos de los cuerpos de agua.            (-) Afectación a los ecosistemas (especialmente el marino) y a la cadena alimenticia (incluyendo humanos) por la adición de las microesferas de plástico en dichas cadenas.            (-) Problemas a la salud humana por consumo de microesferas de plástico en sus alimentos. (-) Afectación a los recursos públicos por utilización de fondos en planes para la disposición final de los residuos plásticos. (-) Emisiones generadas por el transporte de los residuos plásticos*            (+) Cuando es reciclado, el plástico puede ser utilizado como materia prima para la fabricación de nuevos productos.</p>
--	--

Fuente propia, basado en los autores citados en todo el documento.

### 9.3 Sondeos de percepción:

Estos sondeos de percepción fueron llevados a cabo el 5 de octubre de 2015, la población objetivo fueron los vendedores y potenciales consumidores ubicados en el sector de la Carrera 23 de Manizales. El objetivo del sondeo fue determinar



algunos hábitos de venta y consumo en las personas de la ciudad, así como algunas de las marcas favoritas y su precio.

9.3.1 Consumidores:

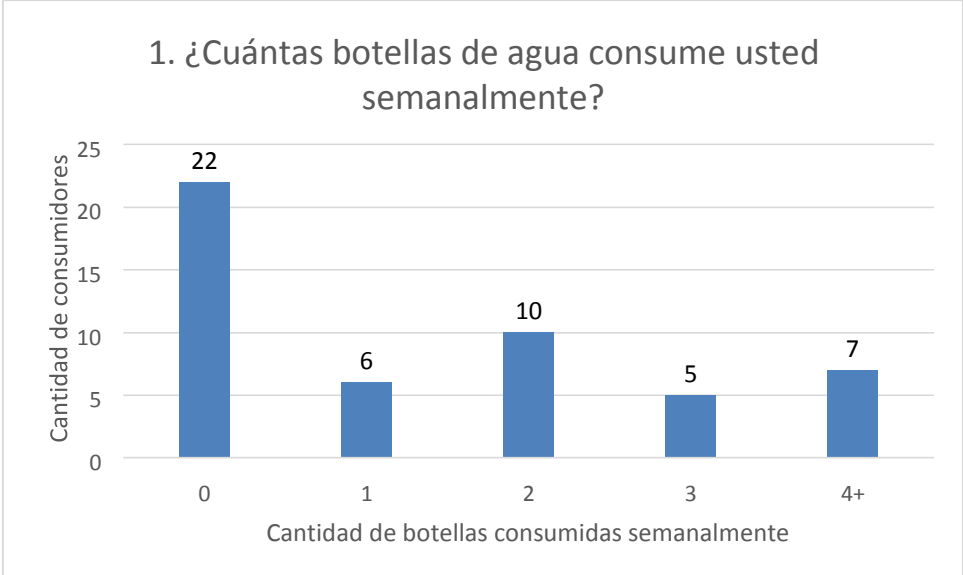


Figura 10. Pregunta 1 – Sondeo consumidores.

En la Figura 10 se puede observar que el 44% de la población manizaleña sondeada, no compra o consume agua embotellada, mientras que otros valores interesantes como 2 y 4+ botellas semanales, sobresalen.

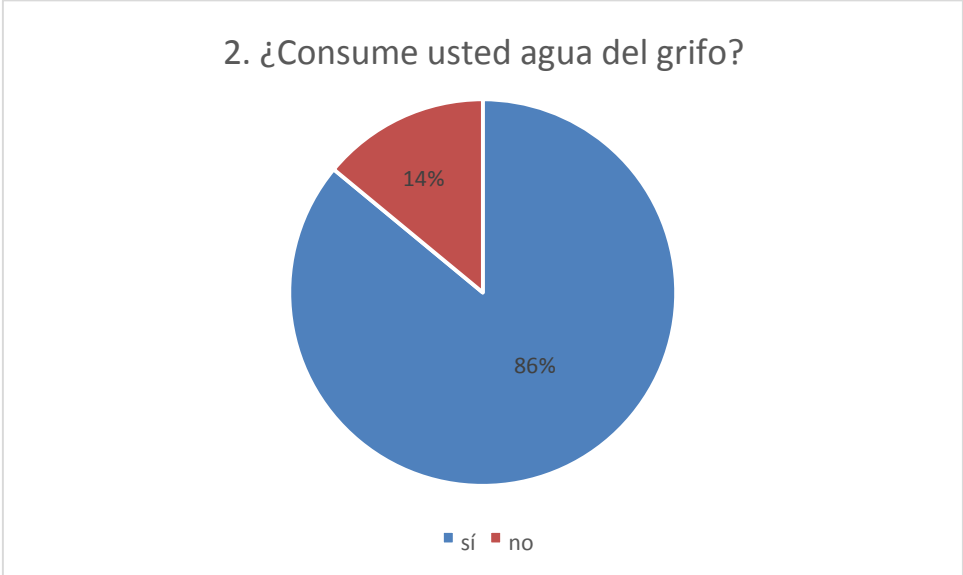


Figura 11. Pregunta 2 – Sondeo consumidores.

Con la Figura 11 se puede determinar que el 86% de la población encuestada no consume agua embotellada, depositando su confianza en la red de distribución municipal. Mientras que un escaso 14% compra agua embotellada.

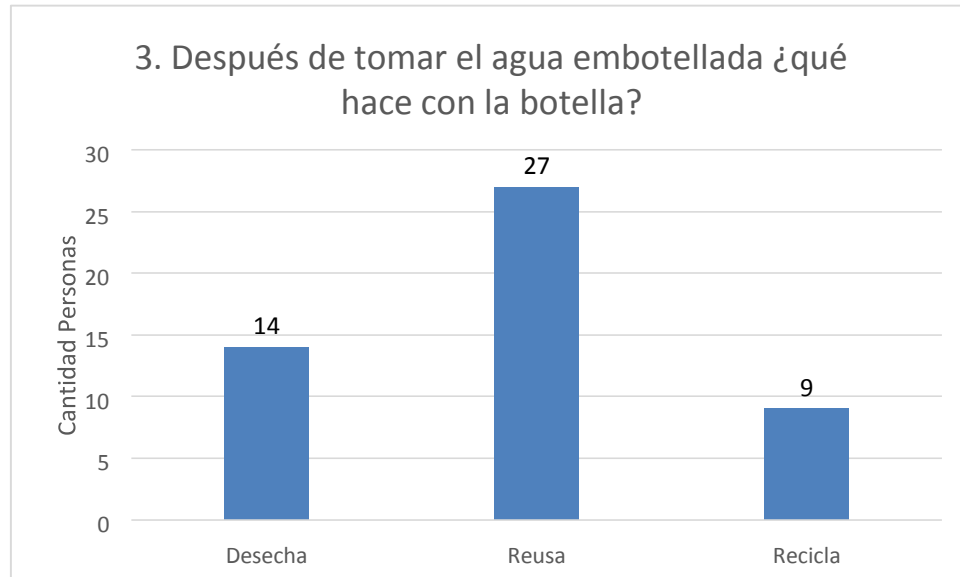


Figura 12. Pregunta 3 – Sondeo consumidores.

En la Figura 12 se observa que el reciclaje (entendido en este caso como separación en la fuente para propiciar el reciclaje)(18%) es la acción que menos practican las personas cuando consumen una botella de agua, el reuso es la acción que predomina (54%), esto sucede cuando las personas rellenan la botella de PET, por su parte desechar la botella (28%) es una cifra relevante, considerando que esta es la acción que más contaminación genera e impacta negativamente al ambiente.

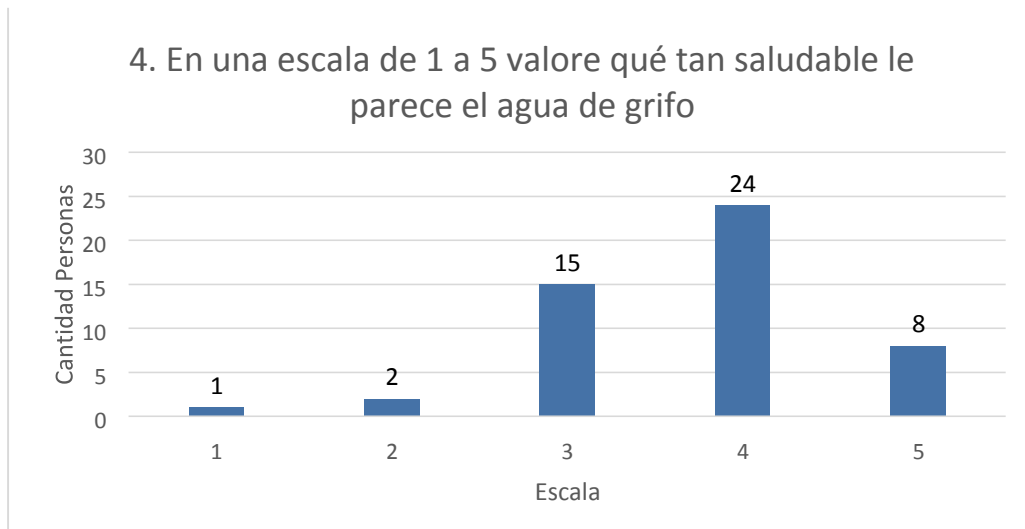


Figura 13. Pregunta 4 – Sondeo consumidores.

Con la Figura 13 se representa una escala en la que las personas calificaron según su propio concepto qué tan saludable consideran el agua de grifo. Aquí se puede determinar que la población sondeada considera el agua de grifo de Manizales saludable o de buena calidad, sobresaliendo una calificación de 4, seleccionada por un 48% de las personas en la escala de medición.

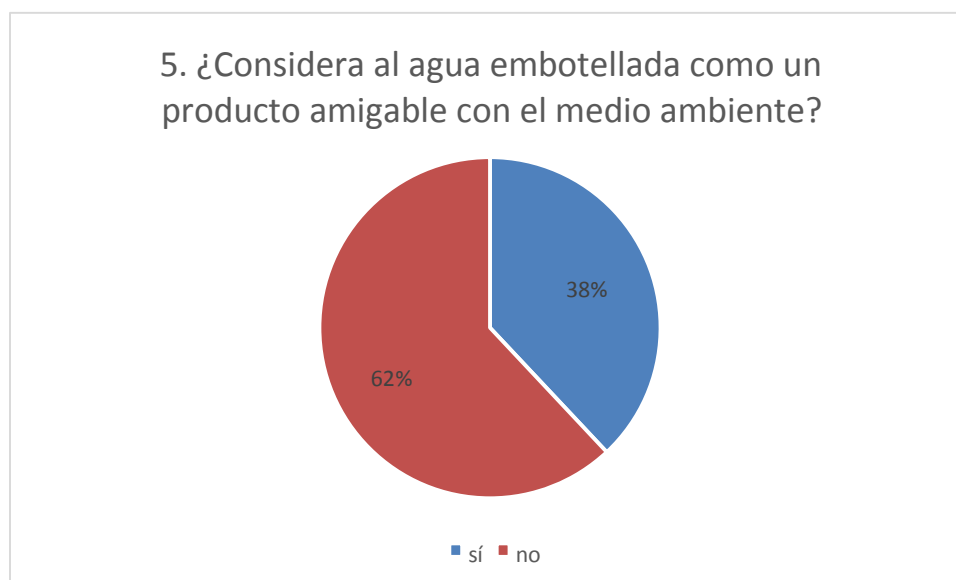


Figura 14. Pregunta 5 – Sondeo consumidores.

En la Figura 14 se puede ver que la percepción de las personas en relación con el agua embotellada y el ambiente, no es favorable, con una total de 31 personas que no consideran al agua embotellada un producto ‘amigable’ con el ambiente. Esto se podría deber principalmente a que el 62% de las personas sondeadas no conocen los impactos socioambientales del producto.

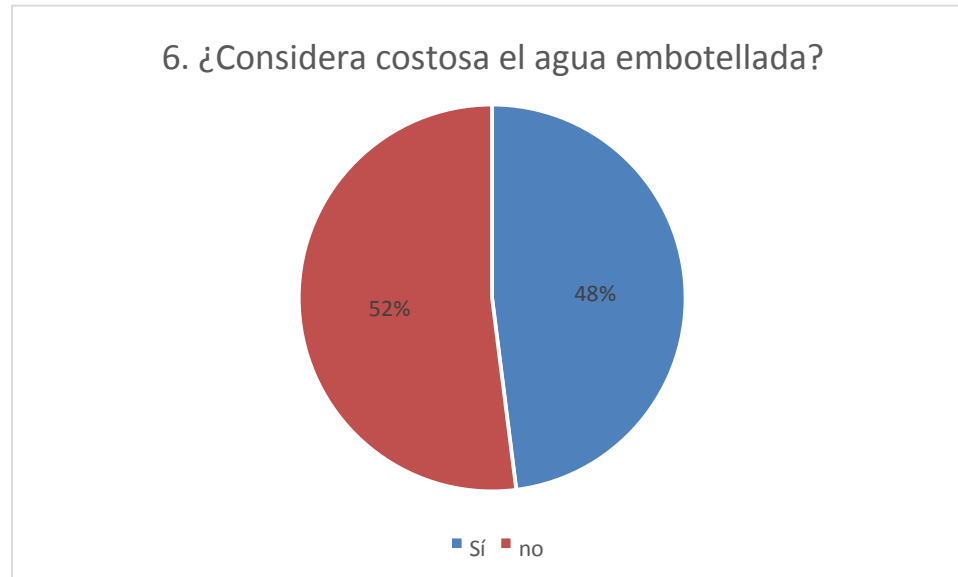


Figura 15. Pregunta 6 – Sondeo consumidores

En cuanto a la percepción del costo del agua embotellada, el sondeo muestra en la Figura 15 que los consumidores se dividen en opinión sobre dichos costos mostrando respuestas de Sí y No con 48 y 52% respectivamente. Caso similar sucede con la influencia de compra según el tipo de envase o botella, en donde se dividen en 50 y 50% las respuestas en la Figura 16.

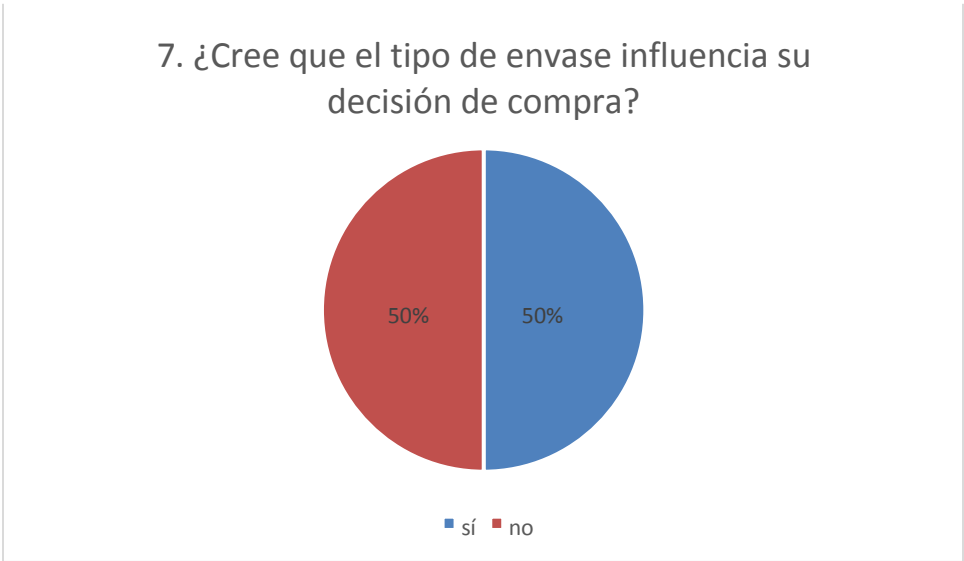


Figura 16. Pregunta 7 – Sondeo consumidores.

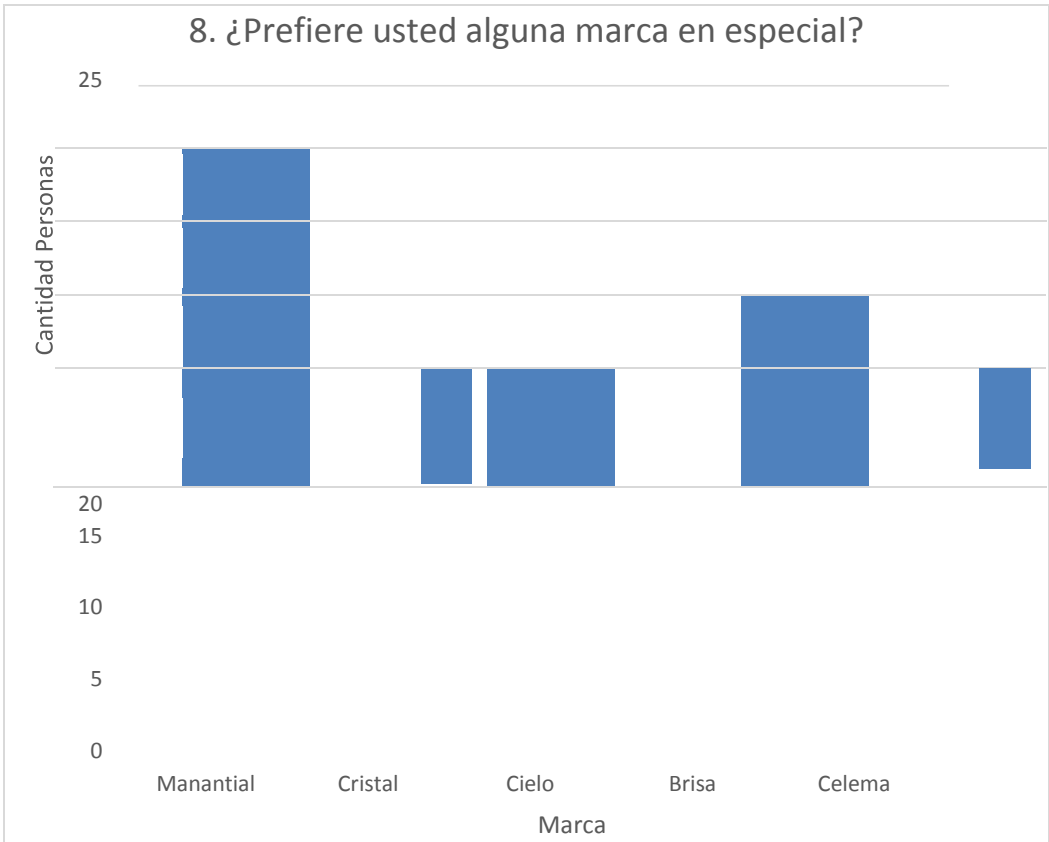


Figura 17. Pregunta 8 – Sondeo consumidores.

En la Figura 17 se puede observar que las marcas preferidas por la población sondeada fueron (en orden de relevancia): Manantial (40%), Brisa (20%),

Cristal (16%), Celema (14%) y Cielo (10%). Este resultado sirvió para elegir las marcas objeto de las pruebas de calidad en el laboratorio.

### 9.3.2 Vendedores:

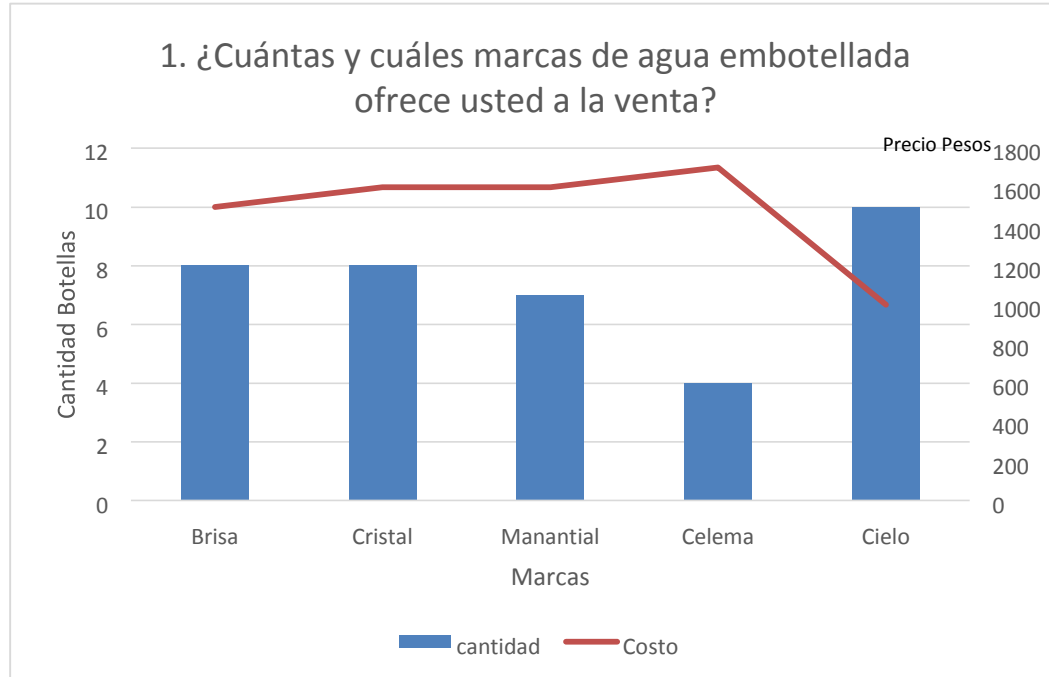


Figura 18. Pregunta 1 – Sondeo vendedores.

En la Figura 18 se observa que las marcas Brisa, Cristal y Manantial poseen valores similares en precio y ofertas; sin embargo, para dos marcas las cifras son diferentes, Celema es la menos ofertada y la más costosa (caso peculiar debido a que dicha marca es envasada en la misma ciudad), mientras que Cielo es la más ofertada y la más barata.

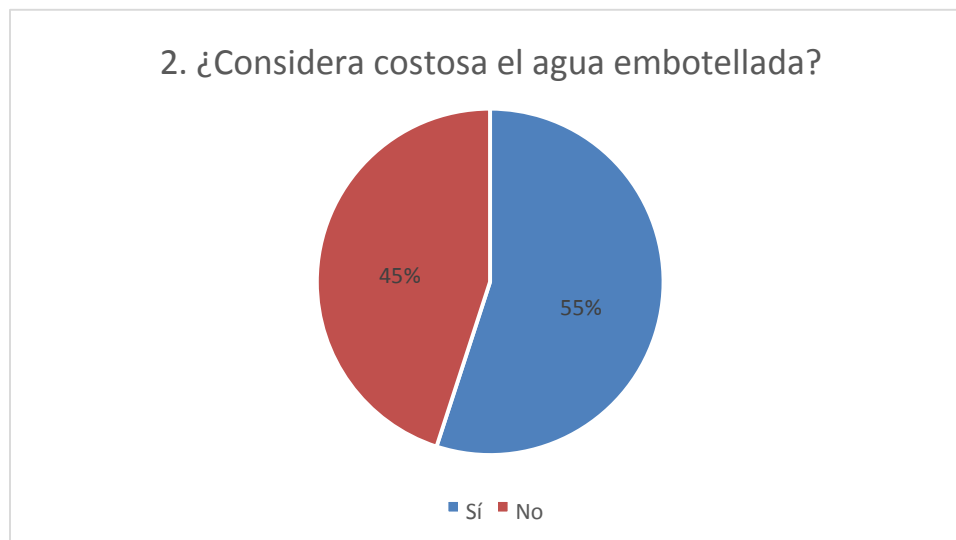


Figura 19. Pregunta 2 – Sondeo vendedores

En la Figura 19 se puede ver que las opiniones entre vendedores o comerciantes de agua embotellada es equilibrada, 11 personas piensan que el agua embotellada es costosa, mientras que 9 piensan que no.

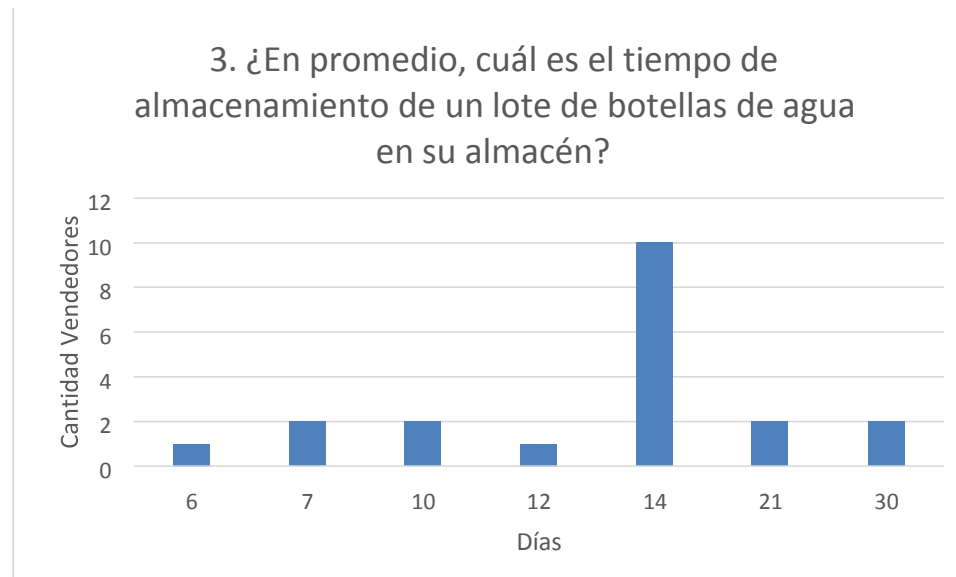


Figura 20. Pregunta 3 – Sondeo vendedores

Con la Figura 20 se observa que el tiempo de almacenamiento promedio más relevante o concurrido es de 14 días o 2 semanas, abarcando el 50% de los comerciantes sondeados, mientras que el 50% restante se reparte entre 6 y 30

días. Esto quiere decir que, en su mayoría, cada dos semanas llegan lotes nuevos a las tiendas.

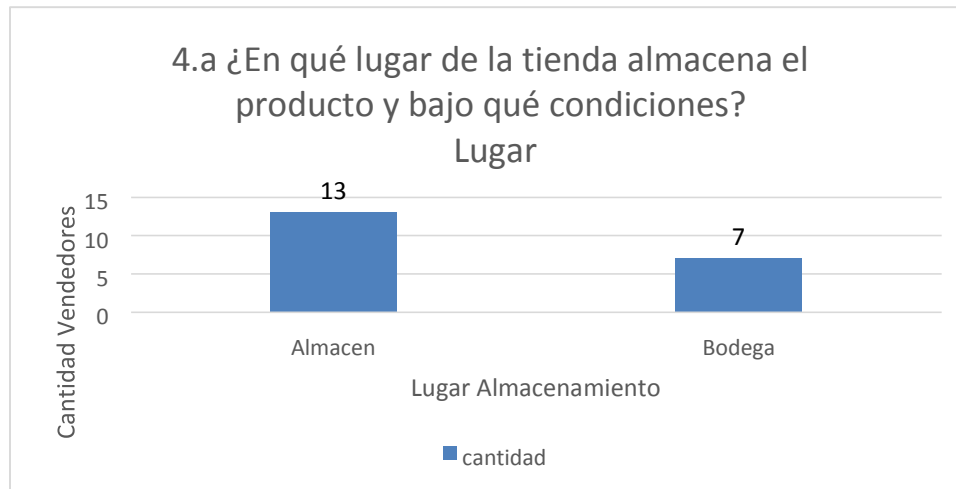


Figura 21. Pregunta 4a – Sondeo vendedores.

En la Figura 21 se puede determinar que el 65% de los vendedores o comerciantes sondeados prefieren almacenar los lotes de agua embotellada en la misma tienda junto a los demás productos. Por su parte, el otro 35% lo almacena en la bodega de la tienda. En cuanto a la condición de almacenamiento, en la Figura 20 se puede observar que el 90% de los vendedores o comerciantes sondeados almacena el agua embotellada al clima, mientras que el 10% restante la almacena en refrigerador.

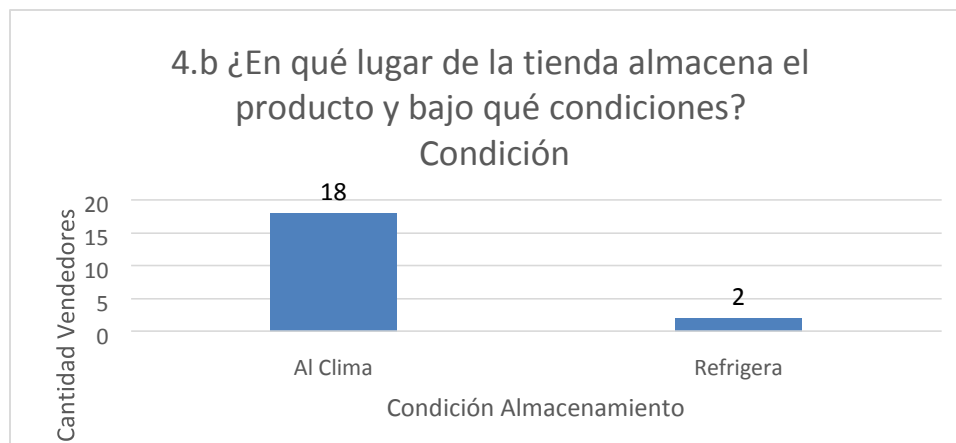


Figura 22. Pregunta 4b – Sondeo vendedores

#### 9.4 Pruebas de laboratorio de calidad de agua:



En estas pruebas de laboratorio se escogieron las 6 marcas más relevantes en cuanto a precio y disponibilidad en los establecimientos comerciales sondeados, se evaluaron, entonces, 6 marcas y el agua de grifo.

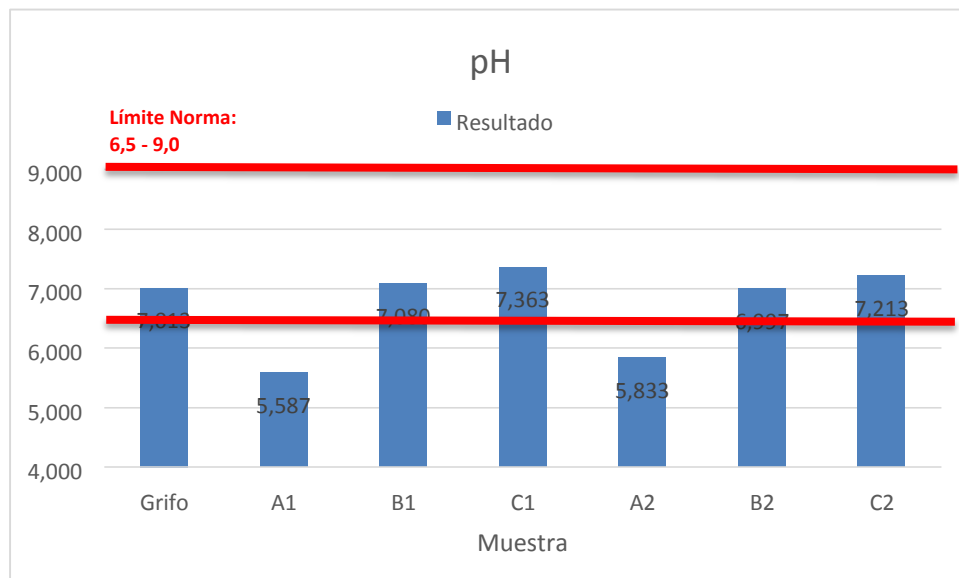


Figura 23. Resultados pH

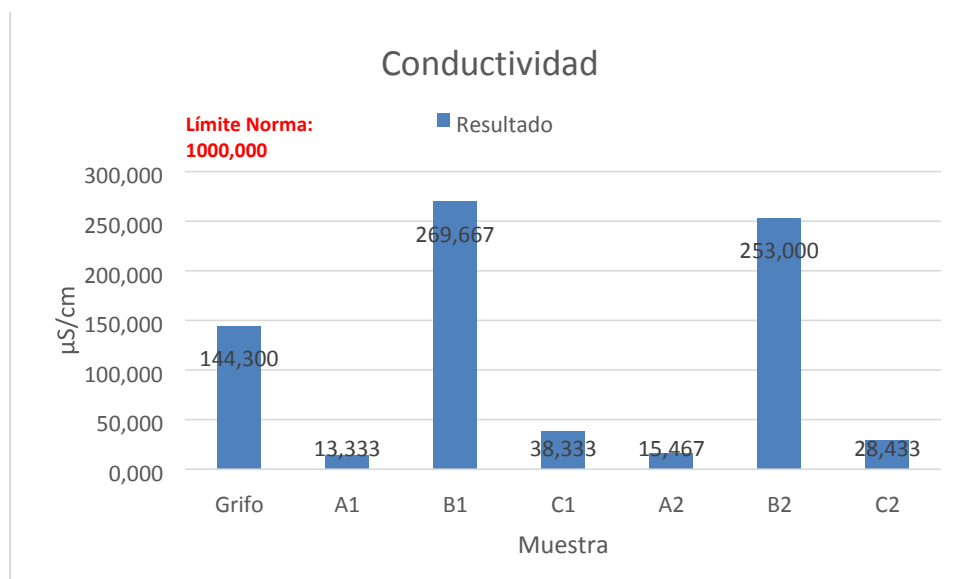


Figura 24. Resultados Conductividad

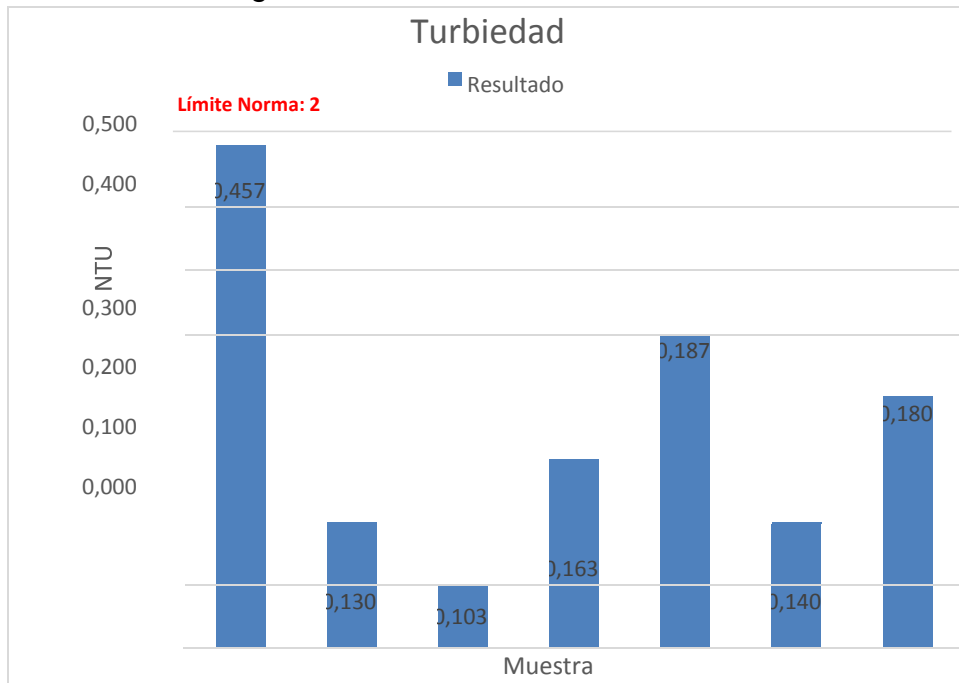


Figura 25. Resultados Turbiedad

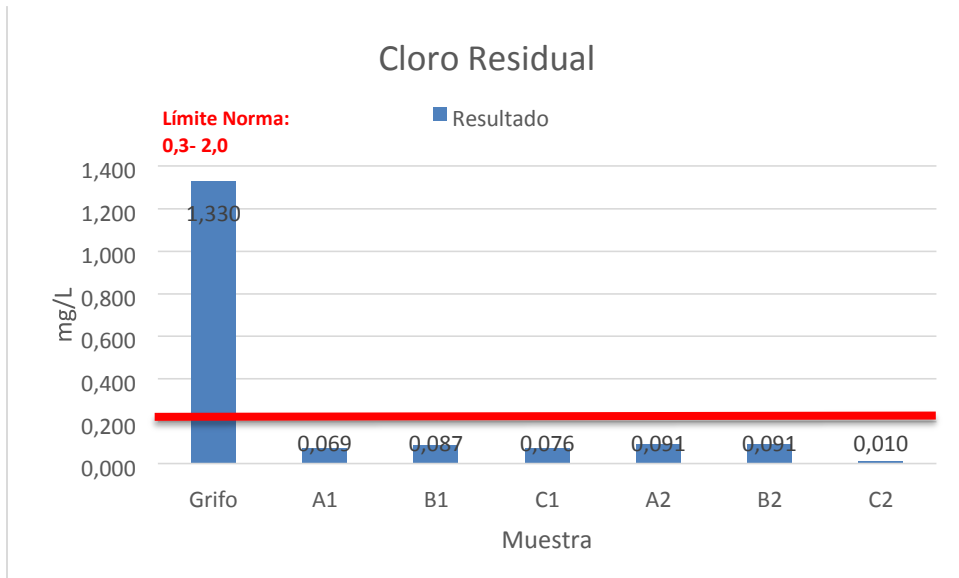


Figura 26. Resultados Cloro Residual

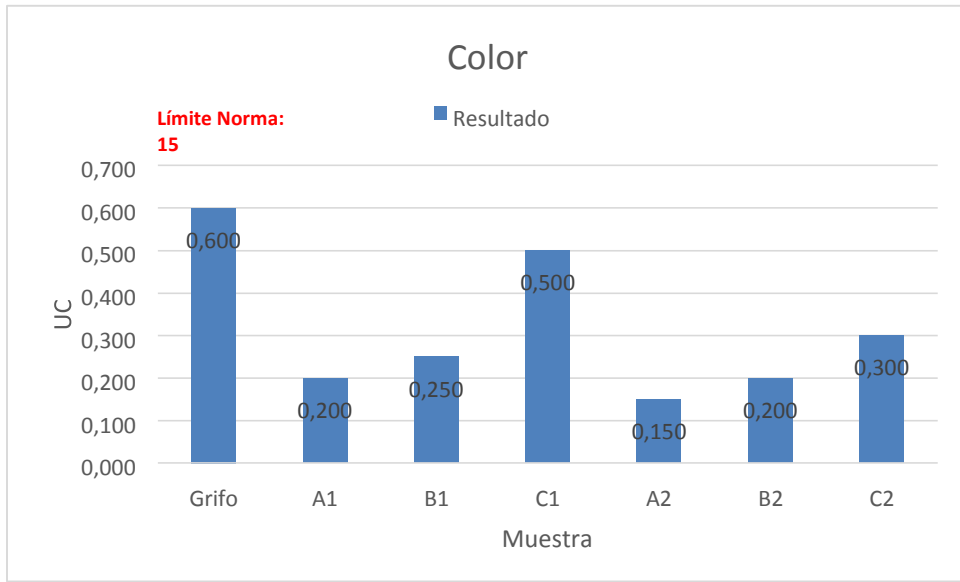


Figura 27. Resultados Color

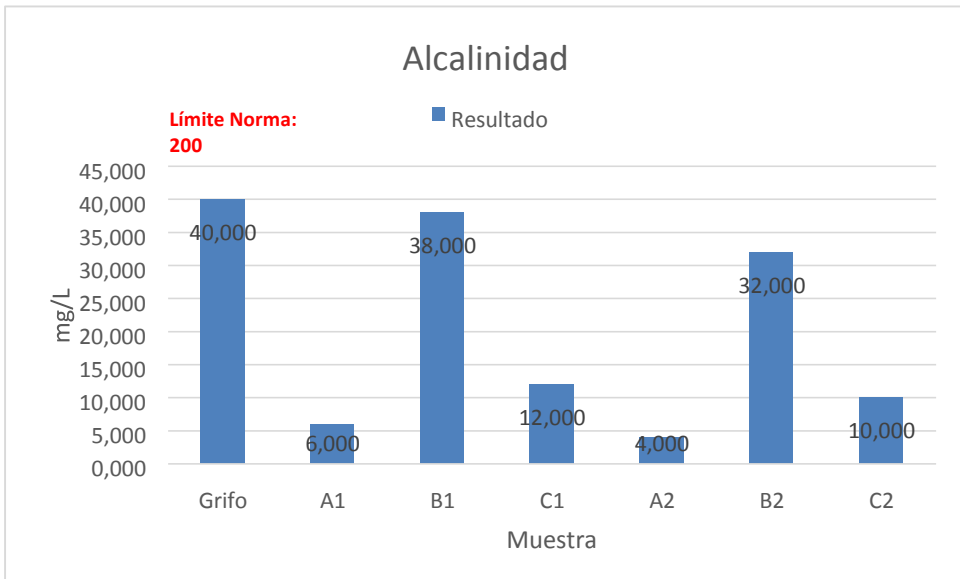


Figura 28. Resultados Alcalinidad

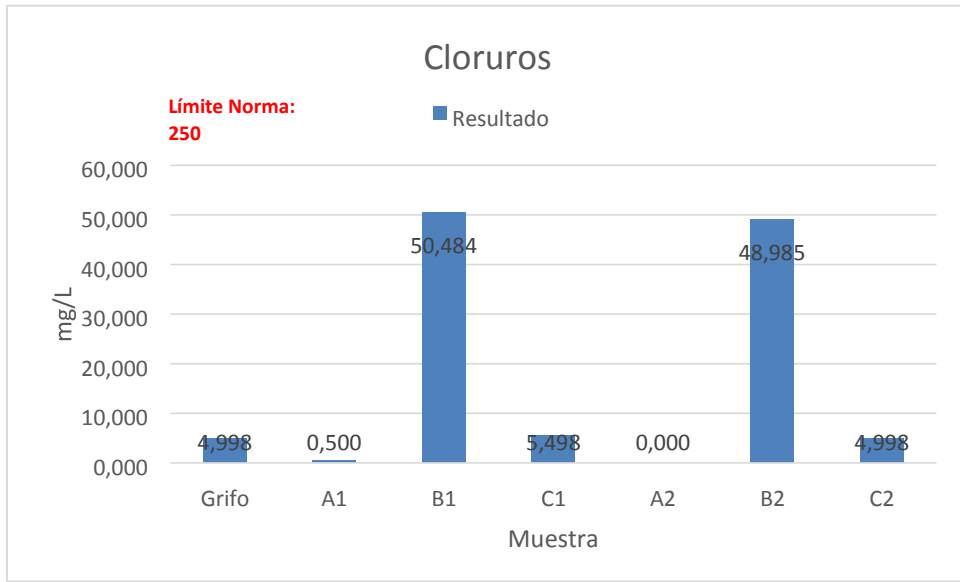


Figura 29. Resultados Cloruros

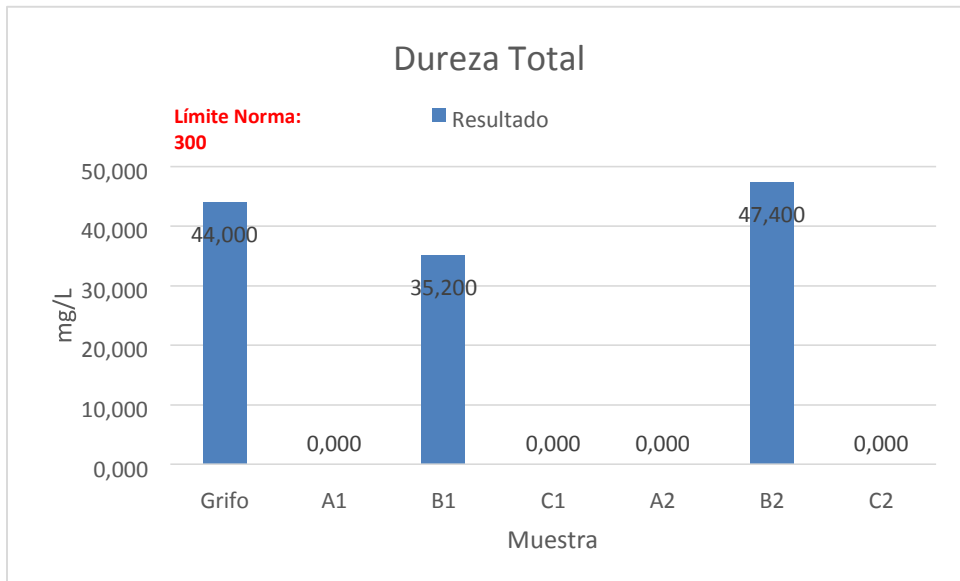


Figura 30. Resultados Dureza Total

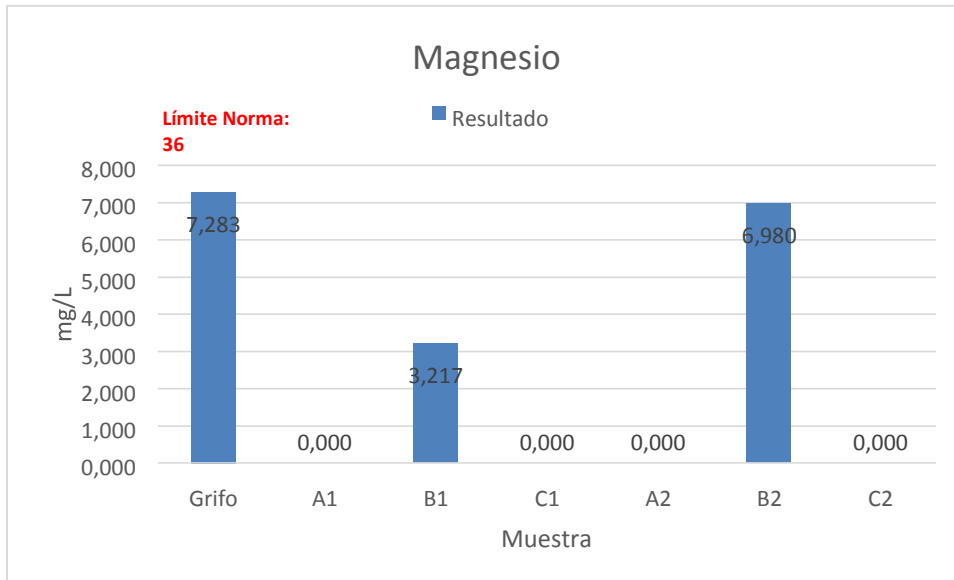


Figura 31. Resultados Magnesio

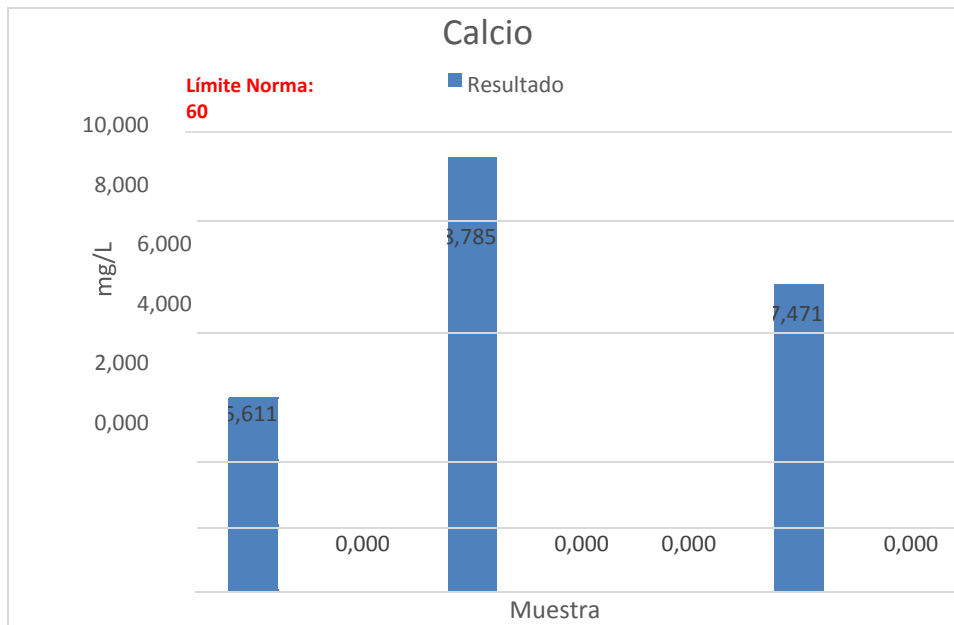


Figura 32. Resultados Calcio



Figura 33. Resultados Aluminio

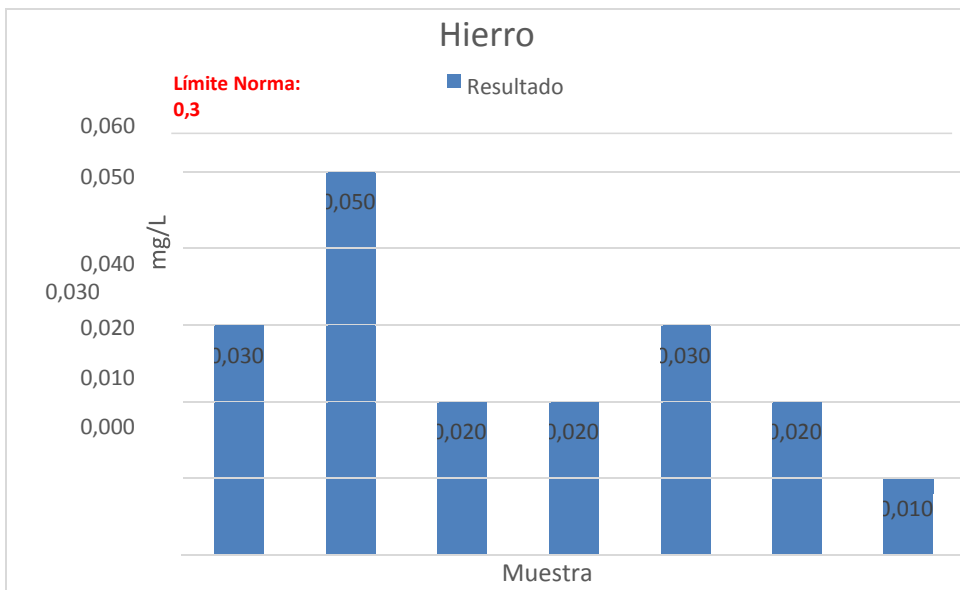


Figura 34. Resultados Hierro

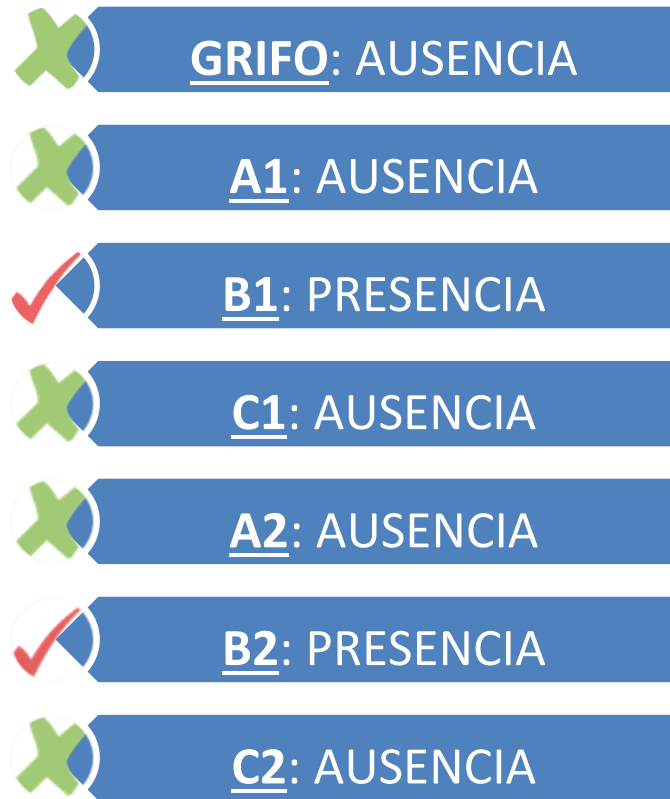
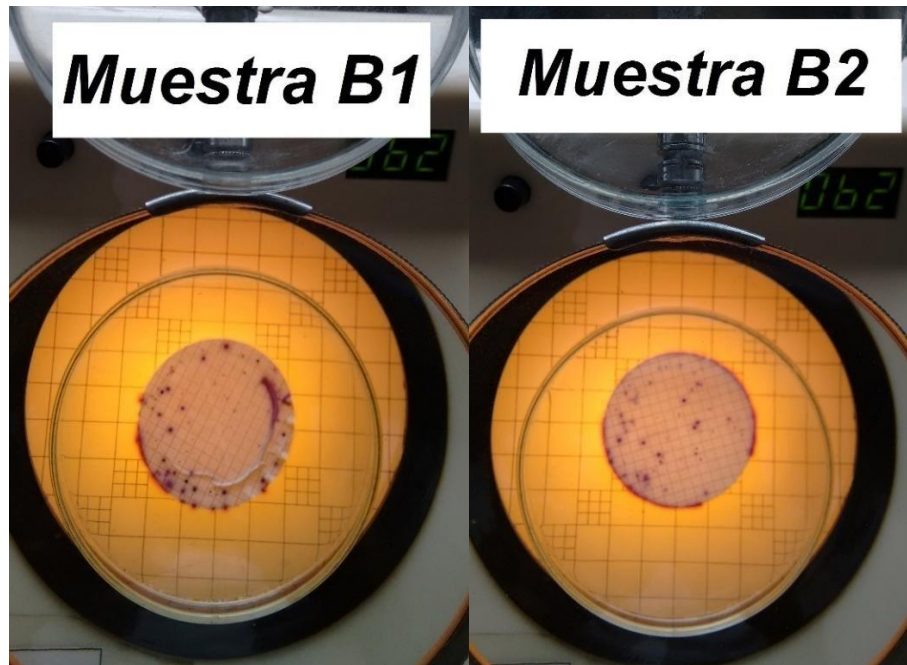


Figura 35. Resultados Escherichia coli y Coliformes totales



### Figura 36. Fotografías Muestras B1 y B2 en conteo de cultivo de microorganismos

Las muestras Grifo, C1 y C2 cumplen satisfactoriamente con la resolución 2115 de 2007, de los parámetros analizados en las pruebas de calidad de laboratorio; mientras que las muestras A1, B1, A2 y B2 no cumplen con todos.

A1 y A2 (ver Figura 23) no cumplen con la norma en el parámetro de pH, arrojando resultados por debajo del rango (6,5 – 9) establecido en la resolución 2115 de 2007; se puede apreciar que A1 (muestra expuesta a malas condiciones de almacenamiento) es levemente más ácida que A2 (muestra analizada recién comprada). Debido a esto, la marca A registra 1,7% en el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano - IRCA.

Por su parte, B1 y B2 no cumplen con la norma en los parámetros de *E. coli* y Coliformes totales, arrojando presencia de microorganismos para ambas pruebas. La resolución 2115 de 2007 establece que no debe haber presencia en de colonias (< 0) en ninguno de los dos parámetros, esto incrementa considerablemente su IRCA, teniendo un 45,2% para ambas muestras (ver Figura 35 y 36). A pesar de que cumple el resto de parámetros estudiados, en otras 3 pruebas arrojan resultados llamativos. En la prueba de Conductividad (ver Figura 24) B1 y B2 muestran 269,6 y 253,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente, mientras que las otras marcas registran resultados entre 13 y 144  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , esto puede deberse al nivel de salinidad de la fuente del agua a embotellar. En cuanto a la prueba de Cloruros (ver Figura 29) B1 y B2 muestran 50,4 y 48,9 mg/L respectivamente, mientras que las otras marcas registran resultados entre 0,0 y 5,4 mg/L, esto puede deberse a que este parámetro está fuertemente relacionado a la Conductividad. En la prueba de Dureza Total (ver Figura 30) B1 y B2 muestran 35,2 y 47,4 mg/L respectivamente, mientras que las otras marcas registran resultados entre 0,0 y 44,0 mg/L (la única muestra que registro presencia de Dureza Total fue Grifo), esto puede deberse a que en el proceso de potabilización del agua municipal, las sales que elevan la Dureza total no son removidas. Pese a estas considerables diferencias con respecto a las otras muestras y marcas, estos tres parámetros no exceden ni se acercan al límite máximo permitido por la norma.



#### 9.4.1 Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano - IRCA

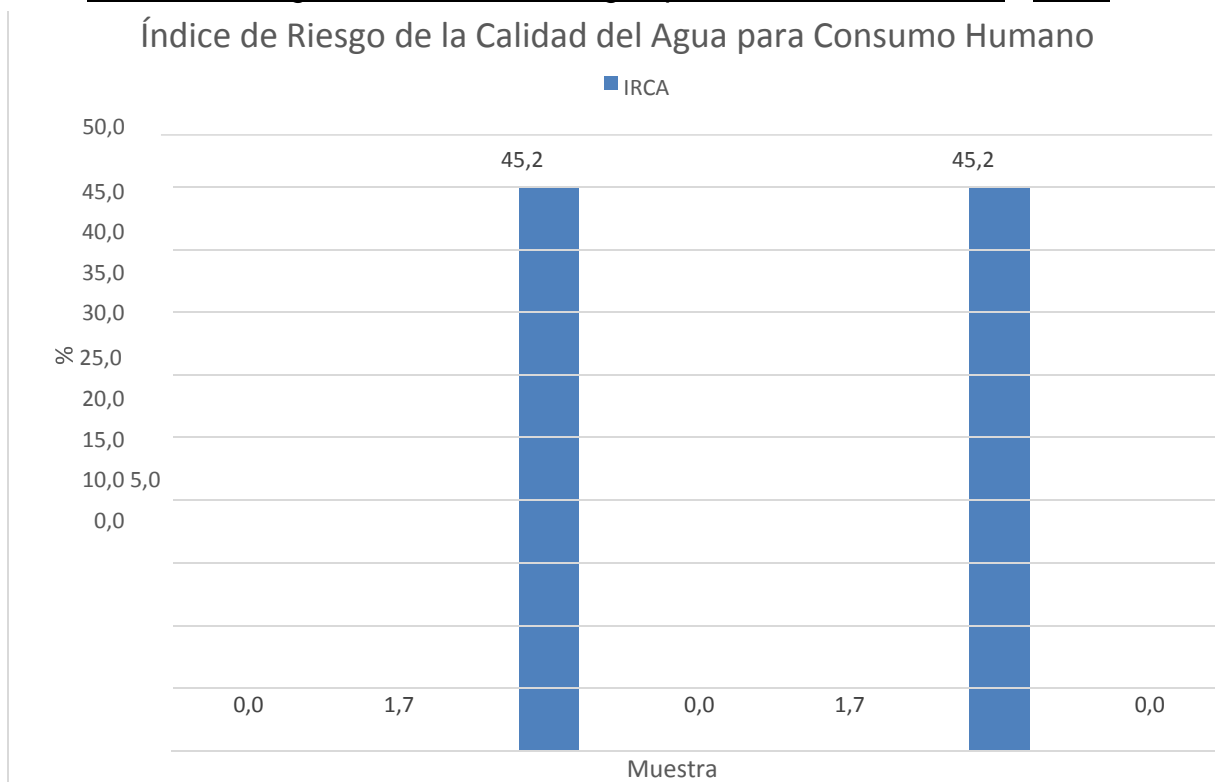


Figura 37. IRCA

#### 9.4.2 Comparación de validez de datos para agua de grifo:

En la Tabla 6 se puede observar que no existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio del proyecto y los datos reportados por Aguas de Manizales, lo cual ratifica la validez de los datos medidos y analizados.

Tabla 7. Comparación para agua de grifo entre datos del proyecto y datos reportados por Aguas de Manizales para el mes de septiembre.

Grifo		
Parámetro	Resultados	
	<u>Proyecto</u>	<u>Aguas Manizales*</u>

Cloro Residual (mg/L)	1,33	1,26
Turbiedad (NTU)	0,457	0,62
Conductividad (uS/cm)	144,3	146
pH	7,013	7,21
Color (UC)	0,6	2
Alcalinidad (mg/L)	40	29
Cloruros (mg/L)	4,998	6
Dureza Total (mg/L)	44	38
Magnesio (mg/L)	7,283	2
Calcio (mg/L)	5,611	13
Colif. Totales	0	0
E-Coli	0	0
Aluminio (mg/L)	0,02	0,07
Hierro (mg/L)	0,03	0,09

\*Datos obtenidos de la página web de Aguas de Manizales. Septiembre 2015

## 10. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitieron establecer que, en Manizales, el agua de grifo es de igual calidad que el agua embotellada y en algunos casos mejor. Dos reconocidas marcas de agua embotellada analizadas no cumplen con parámetros básicos de calidad como pH, Coliformes totales y Escherichia Coli, establecidos en la normativa colombiana. Las posibles causas de estos resultados pueden deberse a la fuente de dónde se obtiene el agua como materia prima y los procesos de embotellamiento, en donde puede existir contaminación directamente en el agua o en la botella misma. Actualmente en Colombia es difícil determinar estas causas, debido a que la normativa no exige que las empresas especifiquen en su etiqueta la fuente del agua embotellada, ya sea de manantial, pozo o grifo.

Se pudo determinar que las condiciones y el tiempo de almacenamiento influyen en la calidad del agua embotellada, esto debido principalmente a la lixiviación de tóxicos derivados del plástico y al crecimiento bacteriano en las botellas; esto genera un riesgo directo e importante en la salud de los consumidores.

Se encontró que el precio no va directamente relacionado con la calidad del agua ya que la marca más económica fue la que cumplió satisfactoriamente los parámetros analizados bajo la norma colombiana. Además el precio del agua de grifo es drásticamente inferior al del agua embotellada, y su calidad es constantemente alta.

Por su parte, los impactos ambientales relacionados a ambas fuentes de agua, grifo o embotellada, son sumamente variables; en todos los casos referenciados de análisis de ciclo de vida, el agua de grifo siempre genera menos impactos

ambientales que cualquier marca de agua embotellada, esto debido principalmente a la utilización de combustibles fósiles en el transporte del producto y a la disposición final del residuo plástico, que en la mayoría de los casos es desechado y dispuesto en ecosistemas marinos, afectando así el entorno y generando problemas globales.

Se encontró que la reducción de las distancias entre el envasado (embotellamiento) y distribución (transporte), reduce considerablemente el potencial de calentamiento atmosférico del agua embotellada, generado principalmente por emisiones. Debido a estas problemáticas, se han aplicado prohibiciones en ciudades e instituciones a nivel mundial, lo cual se empieza a reflejar como una tendencia en los países desarrollados. Numerosas organizaciones y campañas contra el agua embotellada son cada vez más reconocidas globalmente, especialmente en Norte América y Europa, en donde se plantean soluciones, aparte de prohibiciones, como la instalación de bebederos y proyectos de educación ambiental para las comunidades, que en muchos casos se ven directamente afectados por la contaminación y la explotación del recurso hídrico en su región. Se pudo determinar, que en ciudades en donde se cuenta con un buen sistema de abastecimiento municipal de agua potable, es mejor en términos económicos, ecológicos y de salud, beber agua del grifo.

Debido a que los análisis de laboratorio realizados a diferentes marcas y tipos de muestra de agua embotellada, se limitaron a una muestra pequeña, no es apropiado generalizar los resultados para las marcas analizadas. Se recomienda realizar otros estudios más detallados sobre las características fisicoquímicas del agua.

Lo que evidencia los resultados experimentales obtenidos para el índice IRCA sólo es válido para las muestras analizadas en este estudio, y sugiere que los consumidores podrían en algunos casos estar expuestos a un producto que no es inocuo. De allí se propone, la importancia de informar a los consumidores de agua embotellada, que su consumo no necesariamente implica agua de óptima calidad.

En este sentido, se realizará la socialización de los resultados de este proyecto mediante charlas y publicaciones.

## **11. RECOMENDACIONES**

Este proyecto estudió Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizado por otros autores, además realizó pruebas de calidad de agua potable comparando ambas fuentes, grifo y embotellada, sirviendo como base para futuras investigaciones en donde se realice un ACV con datos originales para marcas de agua embotellada en Colombia. Estos estudios son necesarios para profundizar en la investigación relacionada a los impactos socioambientales del agua embotellada; además, es pertinente la generación de proyectos que realicen pruebas más completas con mayor número de parámetros y detección de sustancias químicas en muestras de agua embotellada. También se recomiendan procesos de formación en cultura ambiental, para dar a conocer los impactos de hábitos de consumo y minimizar el deterioro ambiental.

## **12. BIBLIOGRAFÍA**

- Aguas de Manizales. Informe de Calidad del Agua. Disponible en: <http://www.aguasdemanizales.com.co/Inicio/NuestraEmpresa/RendicióndeCuentas/InformeCalidaddelAgua/tabid/1273/Default.aspx>
- Alcaldía de Manizales. (2014). Información general del municipio de Manizales. Disponible en: <http://www.manizales.gov.co/Contenido/Alcaldia/24/informacion-general>
- Anastas, P. y Lankey, R. (2000). Life cycle assessment and green chemistry: the yin and yang of industrial ecology. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/242113171\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_and\\_Green\\_Chemistry\\_The\\_Yin\\_and\\_Yang\\_of\\_Industrial\\_Ecology](https://www.researchgate.net/publication/242113171_Life_Cycle_Assessment_and_Green_Chemistry_The_Yin_and_Yang_of_Industrial_Ecology)
- Ancasi, E., Carrilo, L. y Benítez, M. (2006). Mohos y levaduras en agua embotellada y bebidas sin alcohol. Rev. Argent. Microbiol. Vol. 38, 2006, pp. 93-96
- Arévalo-Pérez, Elisa C.; Martínez-León, M.C. Aida J.; Lemus-Pérez, Mildred F.; Rodríguez-Susa, Manuel, S. (2014). Aproximación a la presencia de SPD y microorganismos en agua embotellada. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. V, núm. 2, marzo-abril, 2014, pp. 5-18. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531987001>
- Ávila, C. (2015). ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? Artículo del diario El Tiempo. Colombia. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-encolombia-15445939>
- Benítez, B., Ferrer, K., Rangel, L., Ávila, A., Barboza, Y. y Levy, A. (2013). Calidad microbiológica del agua potable envasada en bolsas y botellas que se venden en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia-Venezuela. Multiciencias 2013, 13 (Enero-Marzo) Pp 17-22. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90428348002>
- Cantillo, D. (2012). La revolución de una industria líquida. Agosto 2014, de El Espectador. Recuperado de: <http://www.elespectador.com/noticias/economia/revolucion-de-unaindustria-liquida-articulo-342580>
- CBC News. (2015). Tsal'alh First Nation Ban Bottled Water. Columbia Británica, Canadá. Disponible en: <http://www.cbc.ca/news/canada/britishcolumbia/tsal-alh-first-nation-bans-bottled-water-1.2900048>
- Criado, M.V., Fernández-Pinto, V.E., Badessari, A., y Cabral, D. (2005). Conditions that regulate the growth of moulds inoculated into bottled mineral water. Int. J. Food Microbiol. Vol. 99, 2005, pp. 343-349
- DANE. (2005). Proyecciones de población municipales por área. Disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06\\_20/ProyeccionMunicipios2005\\_2020.xls](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls)

□

- DEQ. (2009). Life Cycle Assessment of Drinking Water Systems: Bottle Water, Tap Water and Home/Office Delivery Water. Oregon, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.deq.state.or.us/lq/pubs/docs/sw/LifeCycleAssessmentDrinkingWaterReportOnly.pdf>
- Dogan, S. (2008). Life Cycle Assessment of PET Bottle. Dokuz Eylül University. Disponible en: [http://www.fbe.deu.edu.tr/all\\_files/tez\\_arsivi/2008/yl\\_t2427.pdf](http://www.fbe.deu.edu.tr/all_files/tez_arsivi/2008/yl_t2427.pdf)
  - El Espectador. (2010). Soy ECOlombiano – Fascículo coleccionable 17. Disponible en: [http://www.soyecolombiano.com/site/Portals/0/documents/biblioteca/A\\_PUBLICACIONES/I\\_FASCICULOS\\_COLECCIONABLES\\_EL\\_ESPECTADOR/Fasciculo\\_17\\_Soy%20Ecolombiano\\_FINAL\\_129-136\\_BAJA.pdf](http://www.soyecolombiano.com/site/Portals/0/documents/biblioteca/A_PUBLICACIONES/I_FASCICULOS_COLECCIONABLES_EL_ESPECTADOR/Fasciculo_17_Soy%20Ecolombiano_FINAL_129-136_BAJA.pdf)
  - Ellen MacArthur Foundation. The circular model - an overview. (2013). Estados Unidos. Disponible en: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circulareconomy/the-circular-model-an-overview>
  - European Food Information Council – Eufic. (2001). Alimentación hoy en día. Disponible en: <http://www.eufic.org/article/es/artid/contaminacioncruzada/>
  - Fantin, V., Masoni, P. y Scalbi, S. (2011). Tap water or bottled water? A review of LCA studies supporting a campaign for sustainable consumption. ENEA. Disponible en: <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ResourceDirectory/studyLCA.vm?sid=224>
  - FONADE. (2016). Las adecuaciones y/o reparaciones locativas de la sede de la Escuela superior de administración pública – esap ubicada en la Ciudad de Manizales. Disponible en: [http://www.fonade.gov.co/Contratos/Documentos/4004\\_20130919101726A\\_NEXO%201%20ESTUDIO%20PREVIO%20MCO%2012-2013.pdf](http://www.fonade.gov.co/Contratos/Documentos/4004_20130919101726A_NEXO%201%20ESTUDIO%20PREVIO%20MCO%2012-2013.pdf)
  - E, Kennet. The Economics of the Coming Spaceship Earth. (1966). Estados Unidos. <http://www.eoearth.org/view/article/156525/>
  - Gleick, P. y Cooley, H. (2009). Energy Implications of Bottled Water. Pacific Institute. Estados Unidos. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/17489326/4/1/014009/>
  - Gleick, P. (2010). Bottled and Sold: The Story Behind Our Obsession with Bottled Water. Agosto 2014, de Island Press. Recuperado de: <http://islandpress.org/bottled-and-sold>
  - Gleick, P. (2014) The World's Water. Volumen 8. Pacific Institute. Disponible en: <http://worldwater.org/water-data/>
  - Gómez Villamizar, F. (8 de agosto de 2007). El agua, un negocio que se calienta. *Dinero*. Recuperado de: <http://www.dinero.com/negocios/articulo/elagua-negocio-calienta/49360>



□

- ICONTEC. (2012). NTC 3525 Agua Envasada. Agosto 2014, de ICONTEC. Recuperado de: <http://tienda.icontec.org/brief/NTC3525.pdf>
- INECC y GIZ. (2013). Estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del Manejo de Envases de Bebidas de Polietilen Tereftalato (PET) en la Fase de Posconsumo. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2013\\_acv\\_pet.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2013_acv_pet.pdf)
- Jungbluth, N. (2006). Comparación de los impactos ambientales del agua de grifo contra el agua embotellada. Agosto 2014, de Swiss Gas and Water Association. Recuperado de: [http://aquadoc.typepad.com/waterwired/files/bottled\\_water\\_impact\\_lca.pdf](http://aquadoc.typepad.com/waterwired/files/bottled_water_impact_lca.pdf)
- Kalstrom, S. y Dell'Amore, C. (2010). Why Tap Water is Better Than Bottled Water. Agosto 2014, de National Geographip. Recuperado de: <http://news.nationalgeographic.com/news/2010/03/100310/why-tap-water-isbetter/>
- Leiba, N., Gray, S. y Houlihan, J. (2011). 2011 Bottled Water Scorecard. Environmental Working Group. Disponible en: <http://www.ewg.org/research/ewg-bottled-water-scorecard-2011>
- Leonard, A. y Fox, L. Free Range Studios. (2010). The Story of Bottled Water. [Web]. Estados Unidos. Recuperado de: <http://storyofstuff.org/movies/story-of-bottled-water/>
- Macintosh, S. (2011). European Bottled Water – Overview. Canadean. Disponible en: [http://www.asvanyvizek.hu/js/tinyMCE/plugins/filemanager/files/2011/efbw\\_canadean\\_pres\\_16jun11.pdf](http://www.asvanyvizek.hu/js/tinyMCE/plugins/filemanager/files/2011/efbw_canadean_pres_16jun11.pdf)
- Manizales Cómo Vamos. (2014). Cómo vamos en Medio Ambiente. Disponible en: <http://manizalescomovamos.org/?portfolio=medio-ambiente>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2008). Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358043/4075\\_170909\\_criterios\\_tecnicos\\_generalidades.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358043/4075_170909_criterios_tecnicos_generalidades.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Acoplásticos. Colombia. (2004). Guías Ambientales para el Sector Plástico. Disponible en: [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias\\_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/INDUSTRIAL%20Y%20MANUFACTURERO/Guias%20ambientales%20sector%20pl%C3%A1sticos.pdf)
- Minter, A. (2014). San Francisco's Dumb Ban on Bottled Water. Agosto 2014, de Bloomberg. Recuperado de:

□

<http://www.bloombergtview.com/articles/2014-03-14/san-francisco-s-dumbban-on-bottled-water> □ Naranjo, E. (2014). Bebidas funcionales, —una necesidad saludablell.

Revista IALIMENTOS. Disponible en:  
<http://revistaalimentos.com.co/ediciones/edicion4-2/bebidas/bebidasfuncionales-una-necesidad-saludable.htm>

Olson, E. (1999). Agua Embotellada: ¿Bebida pura o pura exageración?. Agosto 2014, de Natural Resources Defense Council. Recuperado de:  
<http://www.nrdc.org/water/drinking/bw/bwinx.asp>

- Pacific Institute. (2007). Fact Sheet: Bottled Water and Energy – Getting to 17 Million Barrels. Agosto 2014, de Pacific Institute. Recuperado de:  
<http://pacinst.org/publication/bottled-water-fact-sheet/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA. (2012). Aguas saludables para el desarrollo sostenible. Recuperado de:  
[http://www.pnuma.org/publicaciones/PNUMA\\_gestionAgua2012.pdf](http://www.pnuma.org/publicaciones/PNUMA_gestionAgua2012.pdf)
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA. (2012). GEO5, Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. Recuperado de:  
[http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5\\_report\\_full\\_es.pdf](http://www.unep.org/geo/pdfs/geo5/GEO5_report_full_es.pdf)
- Portafolio. (2012). Drop Vitamin Water plus será la nueva agua en el mercado. Agosto 2014, de Portafolio. Recuperado de:  
<http://www.portafolio.co/negocios/drop-vitamin-water-plus-sera-la-nuevaagua-el-mercado>
- Portafolio. (2013). Andi advierte sobre venta de agua contaminada. Agosto 2014, de Portafolio. Recuperado de:  
<http://www.portafolio.co/economia/andi-advierte-venta-agua-contaminada>
- Rauch, M. (2005). Drinking water: Know-how. Agosto 2014. Disponible en:  
<http://connection.ebscohost.com/c/articles/16829666/drinking-water-knowhow>
- Rauscher, M. (2004). —High levelsll of bacteria found in bottled mineral water. Clinical Infections Diseases.
- Rodrigues, L., Dias, P. y Ferraz, R. (2014). Água envasada: qualidade microbiológica e percepção dos consumidores no município de Viçosa (MG). Cad. Saúde Colet., Rio de Janeiro, 2014 22 (3). Pp 224-232.
- Rodríguez, M. (2012). Estaciones de recarga de botellas de agua en el Aeropuerto de San Francisco. Agosto 2014, de Diario del viajero. Recuperado de:  
<http://www.diariodelviajero.com/america/estaciones-derecarga-de-botellas-de-agua-en-el-aeropuerto-de-san-francisco>
- Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2013). Guía para la elaboración del informe de Huella de Carbono Corporativa en entidades públicas del Distrito Capital. Bogotá, Colombia. Disponible en:

□

[http://ambientebogota.gov.co/en/c/document\\_library/get\\_file?uuid=015755de-1e95-49fb-8c7c-667c4fb398fa&groupId=10157](http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=015755de-1e95-49fb-8c7c-667c4fb398fa&groupId=10157)

- Shotyk, W. (2006). Toxic risk in bottled water? Agosto 2014, de Royal Society of Chemistry. Recuperado de: <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2006/January/19010601.asp>
- Shotyk, W. y Krachler, M. (2007). Contamination of Bottled Waters with Antimony Leaching from Polyethylene Terephthalate (PET) Increases upon Storage. Universidad de Heidelberg. Disponible en: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es061511%2B>
- Soechtig, S (Productor y Director). (2009). Tapped. [Web]. Estados Unidos. Recuperado de: <http://www.tappedthemovie.com/>
- The Australian. (2009). Bundanoon in 'world-first' ban on bottled water. Australia. Disponible en: <http://www.theaustralian.com.au/news/nation/bundanoon-in-world-first-banon-bottled-water/story-e6frg6nf-1225779878437>
- The Garbage Patch State. Recuperado de: <http://www.garbagepatchstate.org/es/>
- Van Hoof, B., Monroy, N. y Saer, A. (2008). Producción más Limpia: Paradigma de gestión ambiental. Colombia. Editorial Alfaomega Colombiana.
- Vanguardia. (2014). México, el mayor consumidor agua embotellada. Agosto 2014, de Vanguardia. Recuperado de: <http://www.vanguardia.com.mx/mexicoelmayorconsumidoraguaembotellada-1976562.html>
- Vantarakis, A., Smaili, M., Detorakis, I., Vantarakis, G. y Papapetropoulou, M. (2013). Diachronic long-term surveillance of bacteriological quality of bottled water in Greece (1995-2010). Food Control 33. 2013. Pp 63-67.
- Varga, L. (2011). Calidad bacteriológica de las aguas minerales naturales embotelladas comercializadas en Hungría. Food Control 22 (2011) Pp 591-595. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713510003415>
- Vidal, J., Consuegra, A., Gomecasares, L. y Marrugo, J. (2009). Evaluación de la calidad microbiológica del agua embotellada en bolsas producida en Sincelejo- Colombia. Rev. MVZ Córdoba. Vol. 14, 2009, pp. 1736-1744
- Wang, J. y Schnute, W. (2010). Análisis directo del nivel de traza de bisfenol A, octilfenoles y nonilfenol en agua embotellada y lixiviado de botellas por cromatografía líquida de ultra-alto rendimiento /espectrometría de masas. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rcm.4679/abstract>
- Westerhoffa, P., Prapaipongb, P., Shock, E., Hillaireaud, A. (2008). Antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. Water Research. 2008. Pp 551-556.
- Whatley, F. (Productor y Director). (2010). Foods that make billions: Liquid

□

Gold. [Web]. Reino Unido. Recuperado de:  
<http://www.bbc.co.uk/programmes/b00w8cll>

- W. Ahmed, R. Yusuf, I. Hasan, W. Ashraf, A. Goonetilleke, S. Toze, T. Gardner. (2013). Fecal indicators and bacterial pathogens in bottled water from Dhaka, Bangladesh. *Brazilian Journal of Microbiology* 44. 2013. Pp 97103.
- Xu, L., Guang-Guo, Y., Hao-Chang, S., Xiao-Bing, Y., Li, W. (2010). Simultaneous determination and assessment of 4-nonylphenol, bisphenol A and triclosan in tap water, bottled water and baby bottles. *Environment International* 36. 2010. Pp 557-562.

### 13. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

- APHA, AWWA y WPCF. (2014). Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Madrid, España. Editorial Diaz de Santos
- Bozzo, S. (Productor y Director). (2008). Blue Gold: World Water Wars. [Web]. Estados Unidos. Recuperado de: <http://www.bluegoldworldwaterwars.com/>
- Leonard, A., (2010), *La historia de las cosas: de cómo nuestra obsesión por las cosas está destruyendo el planeta, nuestras comunidades y nuestra salud, y una visión del cambio*. Fondo de Cultura Económica.
- Merck. (2011). Microbiology Manual 12th Edition.



Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Proyecto: Análisis Teórico del Ciclo de Vida del Agua Embotellada e Identificación de Impactos Socioambientales Generados por el Consumo Masivo de este Producto en el Municipio de Manizales

### SONDEO AL CONSUMIDOR

1. ¿Cuántas botellas de agua consume usted semanalmente?

0          1          2          3          4 o más

2. ¿Consumo usted agua del grifo? Sí          No

3. Después de tomar el agua embotellada ¿qué hace con la botella?

La desecha          La reusa          La recicla

4. En una escala de 1 a 5 valore qué tan saludable le parece el agua de grifo

1	2	3	4	5
no es saludable	es poco saludable	es medianamente saludable	saludable	muy saludable

5. ¿Considera al agua embotellada como un producto amigable con el medio ambiente? Sí          No

Porque\_\_\_\_\_

6. ¿Considera costosa el agua embotellada? Sí          No

Porque \_\_\_\_\_

7. ¿Cree que el tipo de envase influencia su decisión de compra? Sí          No

Porque\_\_\_\_\_

8. ¿Prefiere usted alguna marca en especial? ¿Cuál?

Manantial          Cristal          Cielo          Brisa  
 Celema          Dasani          Evian          Perrier

Éxito

Carulla

AquaFina

PureLife



Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Proyecto: Análisis Teórico del Ciclo de Vida del Agua Embotellada e Identificación de Impactos Socioambientales Generados por el Consumo Masivo de este Producto en el Municipio de Manizales

### SONDEO AL COMERCIANTE

1. ¿Cuántas y cuáles marcas de agua embotellada ofrece usted a la venta?

Marca	Costo

2. ¿Considera costosa el agua embotellada? Sí No

Porque\_\_\_\_\_

3. ¿En promedio, cuál es el tiempo de almacenamiento de un lote de botellas de agua en su almacén? Días\_\_\_\_\_ semanas \_\_\_\_\_ meses\_\_\_\_\_

4. ¿En qué lugar de la tienda almacena el producto y bajo qué condiciones?

(Lugar)\_\_\_\_\_

Refrigera\_\_\_\_\_ al clima\_\_\_\_\_

### ANEXO 2

### GUÍA CON PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO

En esta guía se presentan los detalles y procedimientos que se llevaron a cabo en las pruebas de laboratorio del proyecto ANÁLISIS TEÓRICO DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA EMBOTELLADA E IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES GENERADOS POR EL CONSUMO MASIVO DE ESTE PRODUCTO EN EL MUNICIPIO DE MANIZALES.

Los procedimientos y preparación de las muestras se realizaron bajo la supervisión de Javier Andrés Quintero y se ejecutaron en las instalaciones del Laboratorio de Calidad de Aguas de la Universidad Católica de Manizales (UCM). Igualmente, los instrumentos y reactivos fueron provistos y adecuados por CALER UCM.

La forma en la que se seleccionaron los parámetros a analizar se encuentra en la metodología del proyecto. Los parámetros a analizar fueron: pH, turbiedad, cloro residual, alcalinidad, calcio, cloruros, E-coli y coliformes totales, color, conductividad, dureza total, dureza cálcica, magnesio, hierro total y aluminio. Todos se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la UCM, excepto hierro total y aluminio, estos fueron analizados en el Laboratorio de Aguas, de Aguas de Manizales.

## PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Seleccionadas las 3 marcas de agua embotellada a analizar y la muestra agua de grifo, teniendo en total 4 muestras. Se codificaron de la siguiente manera: A, B, C y Grifo. Se diseñaron 2 condiciones para cada marca, excepto para Grifo. Las botellas se compraron en presentación de 500 ml.



Las muestras bajo la Condición 1 fueron expuestas durante una semana a la intemperie, sin sombra, simulando malas condiciones de almacenamiento. Estas muestras quedaron codificadas así: A1, B1 y C1. Después, fueron analizadas en el laboratorio.

Las muestras bajo la Condición 2 fueron analizadas inmediatamente después de compradas. En total se obtuvieron siete muestras: A1, B1, C1, A2, B2, C2 y Grifo.

## PROCEDIMIENTOS EN EL LABORATORIO

### **COLOR APARENTE - Método de Comparación visual 2120B**

1. Instrumental y Reactivos:

- *Tubos de Nessler*, iguales, de 50 ml y forma alta.
- pHmetro.

- *Solución de 500 UPC Hach lote HC-1055*

2. Preparación de patrones: Se prepararon patrones de 0 a 2 UC, con resolución de 0,1UC.
3. Procedimiento: Después de preparados los patrones, se observó el color de la muestra llenando con ésta un tubo de Nessler hasta la marca de 50 ml, y se comparó con los estándares preparados. Fue conveniente mirar verticalmente hacia abajo a través de los tubos sobre una superficie blanca o especular.

### **TURBIEDAD - Método Nefelométrico 2130B**

\*El turbidímetro HACH\_\_\_\_\_ se encontraba calibrado al momento de realizar las pruebas.

1. Instrumental:
  - *Turbidímetro HACH\_\_\_\_\_*
  - *Tubos de muestra, de cristal incoloro, transparente.*

2. Procedimiento: Se agitó cuidadosamente la muestra. Se esperó hasta que desaparecieron las burbujas de aire, y se vertió la muestra a la celda del turbidímetro. Se tomó la lectura de la turbiedad directamente en la escala del equipo.

### **ALCALINIDAD - Método de Titulación 2320B**

1. Instrumental y Reactivos:
  - *Tiosulfato de sodio 0.1 N*
  - *Indicador mixto rojo de metilo y verde de bromocresol*
  - *Ácido sulfúrico 0.02 N*
  - *Montaje de titulación*

2. Preparación de muestras: Se tomaron 50 ml de muestra y cada una se dechloró con 0,05 ml (una gota) de tiosulfato de sodio 0,1 N.
3. Procedimiento: se tomaron 50 ml de la muestra con probeta. La muestra se llevó a un erlenmeyer. Se añadieron 0,2 ml (cinco gotas) de solución indicadora y se tituló sobre una superficie blanca hasta conseguir un cambio de color persistente de azul a anaranjado.
4. Cálculos:

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{l} = \frac{A * B * C * 1000}{\text{ml muestra}}$$

A = Volumen del ácido estándar gastado en ml

B = Normalidad del ácido estándar (0,02N)

C = Peso equivalente del carbonato de calcio, 50 g/eq-g

## **DUREZA TOTAL – Método titulométrico de EDTA 2340C**

1. Instrumental y Reactivos:
  - *Solución tampón de dureza*
  - *EDTA 0.01 M*
  - *Pastilla tampón de dureza*
  - *Montaje de titulación*

2. Procedimiento: se tomaron 50 ml de la muestra y se llevaron a un erlenmeyer. Se adicionó 1 ml de solución tampón de dureza y una pastilla indicadora de dureza. Poco a poco, se añadió titulante EDTA 0,01M estándar, agitando continuamente, hasta que desaparecieron los últimos matices rojizos. Las últimas gotas se añadieron con intervalos de 3-5 segundos, hasta obtener el cambio de color de rojo a verde

3. Cálculos:

$$Dureza, mg CaCO_3/l = \frac{A * B * 100 * 1000}{ml muestra}$$

A= Volumen titulado

B= Concentración EDTA

## **CONDUCTIVIDAD – Método de laboratorio 2510B**

1. Instrumental y Reactivos:

- *Agua destilada*
- *Solución Estándar de conductividad 84 µS/cm*
- *Conductímetro*

2. Procedimiento: Se lavó la celda con agua destilada para evitar interferencias. Se sumergió la celda en cada muestra y se leyó el registro en el equipo. La temperatura de referencia fue 25°C.

## **COLORO RESIDUAL – Método colorimétrico de la DPD 4500-CI**

1. Instrumental y Reactivos:

- *DPD* N,N-dietil-fenilendiamina
- Clorímetro Hach Pocket - Celda de medición.

2. Procedimiento: A 10 ml de muestra, se le agregó un (1) sobre de DPD y se agitó en la celda del clorímetro durante 20 segundos. Se leyó el registro directamente en el clorímetro.

## **CLOURUROS – Método argentométrico 4500-Cl<sup>-</sup>**

### 1. Instrumental y Reactivos:

- *Solución Indicadora de Cromato de potasio*
- *Nitrato de plata 0.0141 N*
- *Hidróxido de sodio 0.1 N*
- *Montaje de titulación*

2. Preparación de muestras: Algunas muestras poseían un pH inferior a 7 (para esta prueba el pH de la muestra debe estar entre 7 y 10) así que se ajustaron con Hidróxido de sodio 0,1N.
3. Procedimiento: se tomaron 100 ml de muestra, a cada muestra se le adicionó 1 ml de la solución indicadora de cromato de potasio. Se tituló con el Nitrato de plata 0,0141 N hasta conseguir el cambio de color de amarillo a rosado. Se procedió de la misma manera con 100 ml de agua destilada para definir el blanco de la titulación...

#### **PH – Método electrométrico 4500-H<sup>+</sup>**

1. Instrumental y Reactivos:
  - *Medidor potenciómetro de pH*
  - *Solución pH4*
  - *Solución pH7*
2. Procedimiento: Se calibró el equipo utilizando las soluciones pH4 y pH7. Se lavó el electrodo con agua destilada para evitar interferencias. Luego, se sumergió el electrodo en la muestra, agitando suavemente el beaker donde



se encontraba la muestra. Se esperó un poco más de un minuto a que se estabilizara la medición del equipo. La temperatura de referencia fue 25°C.

## **DUREZA CÁLCICA – Método titulométrico de EDTA 3500-Ca**

### 1. Instrumental y Reactivos:

- *Indicador murexida*
- *EDTA 0.01 M*
- *Hidróxido de sodio 2 N*
- *Montaje de titulación*

2. Procedimiento: A la muestra de 50 ml se le agregó 1 ml de Hidróxido de sodio y 0,1 g de Murexida. Se procedió a realizar la titulación con EDTA 0,01 M, hasta alcanzar el cambio de color, de salmón a violeta.

### **CALCIO Y MAGNESIO - Calculados**

Estos parámetros fueron calculados a partir de la dureza cálcica y la dureza total, se la siguiente manera:

$$*mg de Calcio = Dureza Cálcica * 0,4*$$

$$*mg de Magnesio = (Dureza Total - Dureza Cálcica) * 0,243*$$

## **COLIFORMES TOTALES Y ESCHERICHIA COLI – Filtro membrana y Cultivo**

### 1. Instrumental:

- *Filtro de membranas*
- *Equipo de filtración*
- *Agar Chromocult*
- *Cajas de Petri*
- *Incubadora*

2. Procedimiento: Se colocó con pinzas estériles un filtro de membrana estéril (con la trama hacia arriba) sobre la placa porosa del receptáculo. Se situó con cuidado la unidad de embudo correspondiente sobre el receptáculo y se

fijó. La filtración se llevó a cabo bajo un vacío parcial. Todavía con el filtro en su lugar, se aclaró el embudo filtrando tres porciones de 20-30 ml de agua de dilución estéril. Tras el enjuagado final y la desconexión al vacío del proceso de filtrado del agua esteril, se filtró cada una de las muestras con un volumen de 100 ml, se desbloqueó y se retiró el embudo e inmediatamente se quitó el filtro de membrana con unas pinzas estériles, colocándolo en el medio de cultivo Chromocult con un movimiento de rotación para evitar que quede aire atrapado. Se incubó la membrana de control (blanco) en las mismas condiciones que las de la muestra. Al comienzo de cada serie de filtraciones, se utilizaron unidades de filtración estériles como mínima precaución para evitar la contaminación accidental. La incubación se realizó a 35°C durante 24 horas. La cantidad y tipos de colonias se distinguieron y se contaron en el contador de colonias del laboratorio.