

# Huella hídrica de once productos de origen animal de México y Estados Unidos

Alexandra Esquivel Alcántara<sup>1</sup>

María del Carmen Salgado Vega<sup>2</sup>

## Resumen

El aumento de la población, la globalización de la economía, el desarrollo de la tecnología, entre otros, son factores que han provocado un incremento en el consumo de bienes y servicios, que, para ser producidos, requieren de un elevado uso de recursos que se obtienen de la naturaleza, particularmente de agua, dejando como resultado un colapso sobre ellos y el medio ambiente en general. Si bien, todos los recursos naturales son importantes, se hace un especial énfasis en los recursos hídricos porque el agua es indispensable para la vida de los seres vivos. Debido a esto, es necesario empezar a tomar conciencia de lo que podría pasar si en algún momento, este recurso se agotara.

En años recientes, surge un indicador llamado "huella hídrica" que permite observar el uso oculto del agua en los procesos productivos. Constituye una herramienta que contribuye a la reducción de los problemas hídricos porque analiza la forma en que utiliza el agua un consumidor, un productor, una región o un país.

El objetivo del presente trabajo es realizar una comparación de la huella hídrica de once productos de origen animal entre México y Estados Unidos a través de la prueba estadística llamada "prueba de la mediana" con la finalidad de conocer estadísticamente cuál de los países tiene la huella hídrica más alta. Resulta interesante involucrar el estudio de animales a lo largo de este estudio, porque los hábitos de consumo en el mundo están generando presiones cada vez mayores sobre los recursos hídricos. La producción de alimentos, específicamente la carne de animales implica un elevado uso.

Para concluir es posible decir que los resultados obtenidos de la comparación de la huella hídrica de México y Estado Unidos para once productos de origen animal y que se calcularon a través de la prueba de la mediana son innovadores. Esto se debe a que, en investigaciones antiguas, no se hacen comparaciones mediante pruebas estadísticas, se calcula únicamente la HH de cada país y eso es lo que se muestra. Es importante mencionar que los resultados que arrojó la investigación realizada, muestran que la HH de once productos de origen animal es igual entre los dos países, estadísticamente. Y aunque, son poblaciones completamente diferentes, comparten este rasgo en común.

La demanda de productos agropecuarios ha crecido a un ritmo acelerado. Cada uno de éstos, requiere de una elevada cantidad de agua para poder ser elaborados. Por todo ello, es necesario elevar la productividad, pero también la eficiencia en la forma de producción. De modo que, el aprovechamiento del agua de lluvia, puede ser un buen mecanismo que contribuya en la reducción de la HH en general, específicamente de los productos de origen animal. Una gran parte de la HH

---

<sup>1</sup> Lic. Alumna de la Maestría en Estudios Sustentables, Regionales y Metropolitanos de la UAEMEX, alexa\_esal@outlook.com

<sup>2</sup> Dra. UAEMEX, casa1961@yahoo.com.mx

de las personas, la originan los productos agropecuarios. La producción de alimentos es costosa tanto en términos económicos como hídricos. Un consumo alto de carne implica una huella hídrica elevada. Por lo tanto, es necesario cambiar a patrones de consumo que requieran menos agua, por ejemplo, reduciendo el consumo de carne.

**Palabras clave:** Huella hídrica, Estados Unidos, México y Producto de origen animal

### Introducción

En principio se reconoce que, en los últimos años, el planeta ha sufrido cambios que se deben a que la tecnología se ha desarrollado de una manera rápida, a la globalización de la economía, al aumento de la población, entre otros. El que existan esos avances y se cuente con una economía conectada con el mundo, ha traído ventajas para la sociedad, pero, por otro lado, ha generado presiones sobre los recursos naturales. En relación con la población, el aumento de ésta, ha generado un incremento en el consumo de bienes y servicios, que, para ser producidos, requieren de un elevado uso de recursos que se obtienen de la naturaleza, dejando como resultado un colapso sobre ellos y el medio ambiente en general. SABMiller y WWF, (2010), afirman que, el desarrollo económico combinado con el crecimiento de la población significa que se está consumiendo más agua que nunca.

La globalización de la economía es un fenómeno que genera controversia en el mundo, porque si bien es cierto que tener una economía conectada con el exterior trae ventajas para la sociedad, también ha contribuido a la rápida degradación del ambiente y a incrementar las diferencias sociales. No todas las regiones o países han logrado sumarse a esta dinámica y se han quedado rezagadas.

El mundo globalizado y preocupado en la reproducción de las ganancias, ha llevado a un colapso no solo de las sociedades que se han visto perjudicadas, donde la brecha de desigualdad se ha incrementado en los últimos años, sino que también ha contribuido a la degradación del medio ambiente, se han agotado los recursos naturales, se ha usado y contaminado sin medida al agua, se ha afectado al aire, al suelo, se están acabando los bosques y los recursos naturales están sometidos a presiones cada vez mayores.

Muchos de los problemas ambientales que existen hoy, específicamente los hídricos, tienen origen en los patrones de vida, en las formas de consumo, en la manera en cómo se produce. De aquí que, resulte oportuno realizar estudios que contribuyan a la mejora de las condiciones del medio ambiente como es el objeto de estudio de esta investigación. Hoekstra et al., (2009), menciona que, diversas actividades humanas consumen o contaminan mucha agua. A escala mundial, la mayor parte del uso del agua se da en la producción agrícola, pero también hay volúmenes importantes de agua consumidos y contaminados en los sectores industrial y doméstico.

Dado que el agua es esencial en la vida de los seres humanos, garantizar la seguridad hídrica en el mundo invita a un cambio que pueda llevar a un uso sostenible, eficiente, justo y equitativo de ella. Ercin y Hoekstra (2012), declaran que, la disponibilidad de agua dulce en cantidades suficientes y calidad adecuada es un requisito para las sociedades humanas y los ecosistemas naturales.

Para comprender mejor lo que sucede en el mundo con los recursos hídricos, surge la Huella Hídrica (HH). Es un indicador de la apropiación humana del agua dulce. Éste, no solo toma en cuenta la que se empleó directa o indirectamente para producir algo, sino también distingue el tipo

de agua: lluvia (HH verde), superficial y subterránea (HH azul), o la empleada para asimilar la carga contaminante (HH gris).

De aquí la importancia del estudio de la HH, ayuda a percibir de mejor forma los problemas hídricos, por otra parte, permite tomar buenas decisiones sobre el uso y aprovechamiento del agua. Hoekstra y Chapagain (2009), han demostrado que visualizar el uso oculto del agua detrás de los productos, puede ayudar a comprender y cuantificar los efectos del consumo y el comercio en el uso de los recursos hídricos. La mejor comprensión puede formar una base para una mejor gestión de los recursos de agua dulce del mundo.

Por todo esto, el presente artículo tiene como objetivo hacer una comparación del comportamiento de la HH de once productos de origen animal (leche, yogurt, mantequilla, queso procesado, huevo, queso azul, jamón de cerdo, carne de cerdo, crema, carne de res, carne de pavo) de México contra Estados Unidos (EUA) para saber cuál de los dos países tiene la HH más alta. Para poder llevarlo a cabo, se hace uso de una prueba estadística que tiene por nombre "prueba de la mediana".

Se parte de las hipótesis siguientes: H0: la mediana de la HH de once productos de origen animal de México y EUA es igual (leche, yogurt, mantequilla, queso procesado, huevo, queso azul, jamón de cerdo, carne de cerdo, crema, carne de res y carne de pavo), H1: la mediana de la HH de once productos de origen animal de México y EUA es diferente. Por consiguiente, las preguntas de investigación de este trabajo son: ¿La HH de 11 productos de origen animal es igual en México y en EUA? ¿Cuáles son las consecuencias de que sean iguales?

En síntesis, el presente artículo se compone de la introducción, en el material se presenta la información y algunos datos de la HH. En el método, se describe a la prueba de la mediana, se muestran los datos de la HH de los once productos para los dos países y se realizan los cálculos necesarios para llevar a cabo la prueba mencionada anteriormente. En la discusión, se muestran los hallazgos encontrados y finalmente, se muestran las conclusiones.

## **Material y métodos**

En cuanto al agua, es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, lo es tanto que, la Organización de Naciones Unidas (ONU), que se destaca por tomar medidas sobre los problemas que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, tiene entre sus objetivos principales el abastecer a millones de personas sin acceso a agua limpia del mundo. Dentro de estos objetivos también se contempla el reducir los conflictos que tienen que ver con la escasez de este líquido, así como mejorar las condiciones sanitarias y de higiene de las personas.

Además de ser uno de los recursos naturales más preciados de los que se disponen, es un recurso esencial, limitado y escaso, que en unos años podría encontrarse en peligro de agotarse con consecuencias fatales para los que habitan el planeta.

Así mismo, Parada (2012), afirma que el agua del planeta tierra está en su mayor parte en los océanos como agua salada. Según estadísticas de la FAO (2002), el agua que está económicamente disponible para ser usada por el hombre (agua dulce en ríos, lagos y acuíferos) representa apenas el 0.001% del agua estimada del planeta y equivale a entre 9000 y 14000 km<sup>3</sup> al año.

De igual manera, Hoekstra y Mekonnen (2011), mencionan que, el agua es un recurso natural que cubre aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la tierra, pero el 97.5% del agua del planeta es agua salada. Solo el 2.5% de las reservas mundiales de agua es dulce, pero más de dos tercios de esa cantidad está en forma de hielo y nieve en la Antártida, Groenlandia y regiones montañosas. Esto deja menos del 1% de los recursos hídricos mundiales como agua dulce accesible para satisfacer las necesidades humanas. Afortunadamente, el agua dulce es un recurso renovable, lo que significa que se repone continuamente a través de la precipitación sobre la tierra. Que se renovable no significa que el suministro sea ilimitado.

Acorde con lo anterior, es posible darse cuenta que, la cantidad de agua dulce que se encuentra disponible para ser usada, en los próximos años puede no ser suficiente para atender las necesidades de la creciente población mundial. Además de ser la menor parte de la cantidad que se tiene en el planeta tierra, el agua que se desperdicia y contamina en los hogares, pero sobretodo en los procesos productivos, es muy elevada. Esto genera que, en algunas regiones el suministro de agua limpia y potable sea frecuente, mientras que, en otras, ésta sea escasa dejando graves consecuencias para los habitantes de esos lugares.

La producción de bienes y servicios, necesita de grandes cantidades de agua. Para ser producidos, varios países hacen uso del agua que se tiene disponible en otras regiones de su país o de cualquier otro que no tenga problemas de escasez, no obstante, con el paso del tiempo, la explotación de este recurso en esas regiones, las deja muy afectadas.

En la actualidad, el agua enfrenta una crisis severa a nivel mundial, y se encuentra lejos de ser resuelta, el problema fundamental es que la cantidad disponible es fija, mientras que la población aumenta cada año. De acuerdo con datos del Consejo Consultivo del Agua para 2018, 9 millones de habitantes no tienen servicio de agua potable, 10.5 millones no cuentan con alcantarillado y 2,1 billones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura.

Además, la cantidad de agua que se desperdicia es considerable, en las ciudades se desperdicia alrededor de 40% del agua, por fugas en las redes de abastecimiento y distribución y tomas domiciliarias. Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual (Consejo Consultivo del Agua, 2018).

De ser así, lo que se tenga que vivir será muy difícil de soportar. De aquí que, es urgente reflexionar de lo que en unos años pueda pasar. Además, resalta la importancia de impulsar estudios e investigaciones relacionadas a los recursos escasos, específicamente del agua, que contribuyan a tener mejores condiciones de vida.

Cabe señalar que, en el mundo, el aumento del consumo de bienes y servicios ha traído como consecuencia un uso elevado de agua necesaria para su producción. En muchas ocasiones no es posible visualizar ese uso porque a las manos del consumidor llega el producto terminado. No resulta fácil darse cuenta de la cantidad de agua que hay detrás de cada uno de los productos que se usan en la vida diaria.

De aquí que, en años recientes surge un indicador que toma en cuenta toda el agua que se necesita para producir un artículo, la huella hídrica. Éste aporta un enfoque más amplio que permite observar y tomar en cuenta el consumo real de agua de las actividades humanas. A continuación, se presentan los antecedentes y algunas definiciones sobre ésta.

Con respecto a los antecedentes, el precedente de la HH viene a partir del concepto de Agua Virtual (AV), se describe como el agua contenida en un producto, entendiéndose por tal, no solamente la cantidad física contenida en el mismo, sino la cantidad de agua que ha sido requerido para generar dicho producto (Martínez, 2013). El concepto de huella hídrica se deriva del concepto de Huella Ecológica (HE).

Acercas de la HE, SEMARNAT, (2012), menciona que es un indicador de sustentabilidad diseñado por William Rees y Malthis Wackernagel a mediados de la década de los noventa del siglo pasado, para conocer el grado de impacto que ejerce cierta comunidad humana, persona, organización, país, región o ciudad sobre el ambiente.

En lo que toca al AV, a principios de la década de los noventa, el profesor John Anthony Allan define por primera vez al agua virtual (AV), la describe como el agua contenida en un producto, entendiéndose por tal, no solamente la cantidad física contenida en el mismo, sino la cantidad de agua que ha sido requerido para generar dicho producto. Así definida el AV se configuraba como indicador físico en términos de agua de la producción de un bien o servicio (Martínez, 2013).

Hoekstra (2003), afirma que el AV, es el agua contenida en un producto, no en el sentido real sino en el sentido virtual. Se refiere al agua usada para elaborar un producto determinado. El concepto fue creado originalmente por el Profesor John Anthony Allan (Allan, 1993, 1994) del King's College de Londres y de la Escuela de Estudios Africanos y Orientales, al estudiar países con déficits de agua. Su carácter innovador solo se hizo patente una década después, al comprenderse que el agua virtual podía representar una medida más exacta del flujo de agua entre países, porque tomaba en consideración toda el agua que, a pesar de no estar presente realmente, podía añadirse virtualmente a los productos de importación y exportación, especialmente a los productos agrícolas, y hacerse visible en ellos a partir de estimaciones apropiadas (Parada, 2012).

Respecto a la HH, en el 2002, Arjen Hoekstra (2008), introduce el término difundido ampliamente por la organización Water Footprint Network<sup>3</sup> (WFN). La huella hídrica mide la disponibilidad de agua dulce (m<sup>3</sup>/año) que ocupa el objeto de estudio (producto, consumo, región país) para el manejo del recurso hídrico de forma sostenible en el tiempo, asimismo se puede utilizar para medir el consumo y la contaminación del agua (Arévalo, 2017).

Puesto que, el concepto de la HH ha tomado gran importancia, en 2011 se lanza un manual que ayuda a determinar la HH titulado "The Water Footprint Assessment Manual: Setting the global standard", un documento que recoge un conjunto de metodologías para el cálculo de la HH con el fin de unificarlas y estandarizarlas (Martínez, 2013).

También, el concepto de HH introducido por Hoekstra (2003) y posteriormente elaborado por Hoekstra y Chapagain (2008), proporciona un marco para analizar el vínculo entre el consumo humano y la apropiación del agua dulce del planeta. La huella hídrica de un producto se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir el producto (Hoekstra et al., 2009).

Por otra parte, la HH es considerada de creación reciente. Además, aporta un enfoque más amplio que permite observar y tomar en cuenta el consumo real de agua de las actividades humanas,

---

<sup>3</sup> Se funda en 2008 con el objetivo de promover el uso justo e inteligente del agua. Se crea como una red dinámica y global con más de 200 socios: desde grandes empresas a pequeños proveedores, instituciones financieras y organismos reguladores, organizaciones sin fines de lucro y académicos.

de esta manera, es posible modificar el modo en que se han abordado los problemas de agua a nivel global.

Similarmente, WWF (2012) afirma que la huella hídrica es un indicador de toda el agua que utilizamos en nuestra vida diaria; la que utilizamos para producir nuestra comida, en procesos industriales y generación de energía, así como la que ensuciamos y contaminamos a través de esos mismos procesos. Nos permite conocer el volumen de agua que aprovecha un individuo, un grupo de personas o consumidores, una región, país o la humanidad en su conjunto.

Al mismo tiempo, Rendón (2015), menciona que es un indicador que mide el volumen total de agua dulce consumido por una unidad específica en estudio, que puede ser un individuo, un cultivo, un área geográficamente definida, un país, entre otros.

Igualmente, Constantini (2003), manifiesta que la huella hídrica de una persona o una comunidad denota el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir bienes y servicios que consumen dicha persona o comunidad. Se expresa en términos de volumen de uso de agua al año.

A su vez, Ferrer (2014), refiere que el concepto de HH estima el volumen de agua consumido o contaminado para generar un producto, mantener un territorio, una organización o servicio. Para Bolaños, (2011), es la cantidad de agua utilizada en la producción de un bien o servicio.

Finalmente, Water Footprint Network (2020), señala que es una medida de la apropiación de la humanidad del agua dulce en volúmenes de agua consumida y/o contaminada. Se debe agregar que la HH considera la fuente de donde proviene el agua y, en función de ello, la clasifica en 3 tipos o colores: azul, verde y gris:

1. Agua azul: Se denomina así a la que se encuentra en los cuerpos de agua superficial (ríos, lagos, esteros, etc.) y subterráneos. La huella hídrica azul se refiere al consumo de agua superficial y subterránea de determinada cuenca, entendiendo consumo como extracción. Es decir, si el agua utilizada regresa intacta al mismo lugar del que se tomó dentro de un tiempo breve, no se toma en cuenta como HH.
2. Agua verde: Es el agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad, siempre y cuando no se convierta en escorrentía<sup>4</sup>. Igualmente, la huella hídrica verde se concentra en el uso de agua de lluvia, específicamente en el flujo de la evapotranspiración del suelo que se utiliza en agricultura y producción forestal.
3. Agua gris: Es toda el agua contaminada por un proceso. Sin embargo, la huella hídrica gris no es un indicador de la cantidad de agua contaminada, sino de la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales conocidas de éstos y los estándares locales de calidad del agua vigentes.

En síntesis, la suma del agua verde, el agua azul y el agua gris que requiere un producto o servicio dentro de todo el proceso de elaboración será su huella hídrica (WWF, 2012). Es necesario recalcar que, la HH y el AV, son dos conceptos similares y que se encuentran estrechamente vinculados. WWF, (2012), menciona que la HH es un concepto que se refiere al agua utilizada en

---

<sup>4</sup> Es una corriente de agua, que puede provenir de la lluvia, derretimiento de la nieve u otras fuentes, que fluye sobre la superficie de la tierra cuando ya se ha superado la capacidad de evaporación y de infiltración que tiene la tierra.

la creación de un producto, por lo cual, se puede hablar del “contenido de agua virtual” de un producto, en lugar de su huella hídrica.

Sin embargo, el concepto de la HH aporta un enfoque más profundo y su aplicación, por lo tanto, es más amplia. Es así que, la HH no solo se refiere al volumen contenido de agua de cada producto, sino que es un indicador multidimensional que, para ser usado, considera el lugar de origen del agua, la fuente de donde proviene, es decir, el color (azul, verde, gris) y el momento en que es utilizada y regresada (al lugar de origen o bien a otro lugar).

Dicho lo anterior y de acuerdo con el objetivo del presente trabajo, se analiza la forma en que está compuesta la HH que tiene que ver con los animales. La HH de un animal vivo consta de diferentes componentes: la HH indirecta del alimento y la HH directa relacionada con el agua potable y el agua de servicio consumida. Para un animal, la HH se expresa como:

$$HH [a, c, s] = HH \text{ alim } [a, c, s] + HH \text{ beb } [a, c, s] + HH \text{ serv } [a, c, s]$$

Donde:

a= categoría del animal

c= país

s= sistemas de producción que están relacionados con la alimentación, consumo de agua y agua de servicio.

Es necesario recalcar que, el agua de servicio se refiere al agua que se usa para limpiar el lugar donde se encuentra el animal a lo largo de su vida, lavarlo y otros servicios que son necesarios para mantener limpio y en las mejores condiciones su espacio.

Por lo que se refiere a la huella hídrica de un animal y a sus tres componentes pueden expresarse en términos de  $m^3/\text{año/animal}$  o, cuando se suma a lo largo de la vida del animal, en términos de  $m^3/\text{animal}$ . Para ganado vacuno, porcino, ovino y pollos de engorde<sup>5</sup>, animales que proporcionan productos después de haber sido sacrificados, es más útil observar la HH del animal al final de su vida útil, porque es ese total el que se asignará a los diversos productos (por ejemplo, carne, cuero) (Mekonnen y Hoekstra, 2010).

En cambio, para las vacas y gallinas lo más sencillo es observar la HH del animal por año (promediada durante su vida útil), porque se puede relacionar fácilmente esta huella anual de agua animal con su producción anual promedio (leche, huevos) (Mekonnen y Hoekstra, 2010).

Conviene subrayar que una vez que ya se proporcionaron las definiciones de la HH, en los párrafos siguientes se muestran algunos datos de la HH en mundo. Cada ser humano utiliza en promedio  $1,240 m^3$  de agua por año; sin embargo, las diferencias son muy grandes entre los países. Por ejemplo, en México, la huella hídrica es de  $1,441 m^3$  de agua por persona al año, mientras que en Estados Unidos, uno de los países con mayor huella hídrica, se utilizan  $2,483 m^3$  (Conagua, 2011).

Además, WWF (2012), menciona que la HH mundial se estima en  $9,087 Gm^3^6$  al año: 74% verde, 11% azul y 15% gris. El 92% está relacionado con actividades agrícolas. Por otra parte, el 38% de la HH de producción está en sólo 3 países: China ( $1,207Km^3$ ), India ( $1,182Km^3$ ), Estados

<sup>5</sup> Son los pollos que se utilizan únicamente para la crianza y exclusivamente para obtención de carne.

<sup>6</sup> Es una unidad de longitud equivalente a 1, 000, 000,000 (mil millones) de metros.

Unidos (1,053Km<sup>3</sup>). También China, India y EUA tienen la mayor HH de consumo (1,368 Km<sup>3</sup>, 1,145 Km<sup>3</sup> y 821 Km<sup>3</sup>). Esto se debe al tamaño de la población y a los hábitos de consumo.

Acercas de la HH de alimentos en el mundo, WWW (2012), afirma que se distribuye en: 27% cereales, 22% carne, 7% derivados lácteos y 44% otros productos. En cuanto al consumo de México, aproximadamente, la mitad de la Huella Hídrica se refiere al consumo de productos de origen animal.

En relación con el consumo de productos de origen animal, Gerbens- Leenes et al., (2011), afirman que, los productos animales tienen un requerimiento de agua particularmente grande en comparación con los alimentos de origen vegetal. Por ejemplo, la huella hídrica total de la carne de cerdo es dos veces mayor que la huella hídrica de las legumbres y cuatro veces mayor que la huella hídrica de los granos. Hoy, la huella hídrica mundial de la producción animal constituye casi un tercio de la huella hídrica de la producción agrícola total.

Cualquier huella hídrica de un producto animal es mayor que la HH de los productos de cultivo con un valor nutricional equivalente, siendo 20 veces mayor en promedio por caloría que para los cereales y las raíces con almidón, y teniendo que la HH por gramo de proteína para la leche, huevos y la carne de pollo es 1.5 veces mayor que para las legumbres. Estos valores también difieren si los productos animales provienen de sistemas industriales o de sistemas de pastoreo o mixtos, ya que los primeros generalmente consumen y contaminan más recursos de aguas subterráneas y superficiales, lo que contribuye a aumentar la HH gris (González et al., 2020).

Puesto que, los hábitos alimenticios influyen en gran medida en la huella hídrica general de las personas, en los países industrializados, el consumo promedio de calorías es de aproximadamente 3400 kcal por día, aproximadamente el 30% de eso proviene de productos animales. (Hoekstra, 2015).

Además, en las últimas décadas, la demanda de productos animales, como carne, leche y huevos, ha aumentado debido a los cambios en los patrones de consumo de alimentos. En países ricos, la ingesta de proteínas es generalmente mayor que la requerida debido particularmente al consumo excesivo de productos animales. En general, el consumo per cápita de carne y otros productos animales aumenta con el ingreso promedio per cápita hasta que alcanza cierto nivel de satisfacción.

Los países de altos ingresos, como Estados Unidos, tienen un gran consumo de productos animales. Ahí, un ciudadano promedio consume 123 kg de carne y 254 litros de leche por año (Gerbens-Leenes et al., 2010). De acuerdo con Chapagain y Hoekstra, (2004), en los países ricos, las personas generalmente consumen más bienes y servicios, lo que se traduce inmediatamente en aumento de huellas hídricas.

A su vez, la producción de carne, leche y huevos requiere y contamina grandes cantidades de agua, particularmente para la producción de alimentos para animales. En el período 1996-2005, la huella hídrica mundial anual para la producción animal fue de 2.422 Gm<sup>3</sup> (de los cuales 2112 Gm<sup>3</sup> verde, 151 Gm<sup>3</sup> azul y 159 Gm<sup>3</sup> gris). De esta cantidad, se necesitaron 0.6 Gm<sup>3</sup> de agua azul (0.03%) para mezclar el alimento, 27.1 Gm<sup>3</sup> de agua azul (1.12%) era agua potable y 18.2 Gm<sup>3</sup> de agua azul (0.75%) para el servicio. El agua para productos animales, por lo tanto, se refiere principalmente al agua consumida o contaminada para producir alimento para animales (Gerbens-Leenes et al., 2010).



Finalmente, una forma de contribuir a reducir el uso del agua es evitando el desperdicio de alimentos. El desperdicio de alimentos es desperdicio de agua. De acuerdo con la FAO, las pérdidas y desperdicios de alimentos son la disminución de la masa de alimentos para el consumo humano en cualquier punto de la cadena productiva. Mil trescientos millones de toneladas de alimentos se pierden o desperdician cada año en el mundo. Esto equivale a cerca de un tercio de los alimentos producidos para el consumo humano. (Vázquez y Lambarri, 2017).

## **Método**

Con el objetivo de conocer que tan probable es que los dos grupos (países) tengan la misma mediana y hayan sido extraídos de la misma población, se hace uso de una prueba estadística llamada "Prueba de la Mediana". Ésta es una prueba no paramétrica para el caso de muestras independientes que usa las medianas en lugar de las medias y fue desarrollada por Mood.

Así mismo, Mood demostró que la prueba de la mediana en escala de intervalo con varianza común, tiene la misma potencia-eficacia que la prueba de los signos. Su potencia-eficacia es de alrededor del 95% para  $(m + n)$  tan pequeño como 6. La potencia-eficacia disminuye conforme se incrementa el tamaño de la muestra, alcanzando una eficacia asintótica de  $2/\pi = 63\%$  (Siegel y Castellan, 2015).

Por su parte, Wayne y Chad (1929), afirman que, la prueba mediana es un procedimiento no paramétrico que se usa para probar la hipótesis nula de que dos muestras independientes se han extraído de poblaciones con medianas iguales. Brown y Mood también analizan la prueba, atribuida principalmente a Mood y Westenberg.

Además, Pérez (2008), menciona que cuando es necesario comparar dos o más poblaciones independientes y dado que no hay normalidad no es posible utilizar las medias aritméticas, existe la opción de emplear la mediana, otra medida de tendencia central sobre todo con distribuciones asimétricas. A fin de aplicar esta prueba, que contrastaría la hipótesis nula de que la mediana poblacional es la misma para todas las poblaciones que intervienen, resulta indispensable que dichas poblaciones tengan una distribución continua y que las muestras que las representan se hayan seleccionado de manera aleatoria.

Dicho brevemente, es un procedimiento para evaluar si dos grupos independientes difieren en sus tendencias culturales. Proporciona información sobre la probabilidad de que dos grupos independientes hayan sido extraídos de la misma población con la misma mediana.

En relación a las hipótesis, Siegel y Castellan (2015), afirman que la hipótesis alterna puede plantear que la mediana de una población es diferente de la otra población (si es prueba bidireccional) o que la mediana de una población es superior que de la otra población (si es prueba unidireccional).

Para ilustrar mejor lo dicho anteriormente, en seguida se muestran los datos para la HH de once productos de origen animal para México y Estados Unidos.

Cuadro 1. Huella hídrica de once productos de origen animal, México y Estados Unidos (m<sup>3</sup>/ton), 1996-2005

Producto/ país	México			Estados unidos		
	Pastoreo	Mixto	Industrial	Pastoreo	Mixto	Industrial
<b>Leche</b>	1324	2356	0	1264	729	605
<b>Yoghurt</b>	1539	2739	0	1469	847	702
<b>Mantequilla</b>	7202	12825	0	6877	3968	3290
<b>Queso procesado</b>	6557	11665	0	6263	3620	3004
<b>Huevo</b>	5440	3243	3965	2254	1446	1582
<b>Queso azul</b>	5981	9719	0	5470	2878	2196
<b>Jamón de cerdo</b>	6256	6167	8364	5514	5336	3667
<b>Carne de cerdo</b>	6056	5970	8096	5337	5165	3550
<b>Crema</b>	2250	3657	0	2058	1083	826
<b>Carne de res</b>	27542	19249	26824	29483	19643	4552
<b>Carne de pavo</b>	7687	4919	3407	2836	1688	1731

Fuente: elaboración propia con datos de Mekonnen y Hoekstra, 2010.

Habría que mencionar antes de realizar la comparación de las medianas de las dos poblaciones, que la FAO (Sere y Steinfeld, 1996) ha definido tres sistemas principales de producción pecuaria: sistemas industriales, mixtos y de pastoreo (FAO, 2020):

1. Sistemas de pastoreo: se definen como sistemas pecuarios en los que más del 90% de la materia seca suministrada como alimento a los animales procede de tierras de pastos, pastizales, forrajes anuales y piensos<sup>7</sup> comprados y menos del 10% del valor de la producción total procede de actividades agrícolas no ganaderas.
2. Sistemas mixtos: los cultivos y la producción ganadera están integrados en la misma explotación. Estos sistemas producen a nivel mundial el mayor porcentaje total de carne (54%) y leche (90%) y son los más utilizados en la agricultura en pequeña escala de numerosos países en desarrollo.
3. Sistemas industriales: son aquellos en los que los animales están separados de la tierra que constituye la base de suministro de piensos y de eliminación de desechos. Dichos sistemas dependen de suministros externos de piensos, energía y otros insumos. Producen >50% de la producción mundial de carne de cerdo y aves de corral y el 10% de la producción de carne de oveja y vacuno.

<sup>7</sup> Es un alimento para los animales elaborado por una mezcla de materias primas (vegetales y/o animales y/o minerales) que son transformadas con el fin de lograr un alimento nutritivo y sano para ellos.

## Resultados

Para empezar, se desea saber si la HH de once productos de origen animal es diferente entre México y Estados Unidos. Se considera un nivel de significación de 5%. Aunque existen tres sistemas de producción considerados por la FAO, para fines de esta investigación, se ha tomado en cuenta el sistema de producción mixto porque de acuerdo a lo citado anteriormente, son los más utilizados en la agricultura de numerosos países en desarrollo.

Para conocer si la HH de once productos de origen animal es diferente en México y Estados Unidos, se llevó a cabo la prueba de la mediana, los resultados se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Datos

Puntuaciones de HH	México	Estados Unidos	Combinados
Por arriba de la mediana	6	6	12
Por debajo de la mediana	5	5	10
<b>Total</b>	11	11	22

Fuente: elaboración propia

Se parte de las hipótesis siguientes:

$H_0: \theta_1 = \theta_2$  = la mediana de la HH de once productos de origen animal de México y EUA es igual.

$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$  = la mediana de la HH de once productos de origen animal de México y EUA es diferente.

Respecto al estadístico de prueba y debido a que  $N = 22$  y es mayor que 20 ( $N > 20$ ), se utiliza la distribución ji cuadrada ( $X^2$ ) con  $gl = 1$  asintóticamente distribuida.

$$X^2 = \frac{N ( |AD - BC| - N/2 )^2}{(A + B)(C + D)(A + C)(B + D)}$$

Donde:

N = Número total de observaciones.

A = Número de puntuaciones combinadas por debajo de la mediana del grupo I.

B = Número de puntuaciones combinadas por debajo de la mediana del grupo II.

C = Número de puntuaciones combinadas por arriba de la mediana del grupo I

D = Número de puntuaciones combinadas por arriba de la mediana del grupo II.

En cuanto al valor crítico, en la tabla de la distribución  $X^2$  se busca la columna = 0.05 y renglón =  $gl = 1$ . Esta búsqueda arroja un valor crítico de 3.84. En lo que toca a la regla de decisión, se rechazará la  $H_0$ : si  $X^2$  calculada es mayor que  $X^2$  crítica. A continuación, se estima el valor

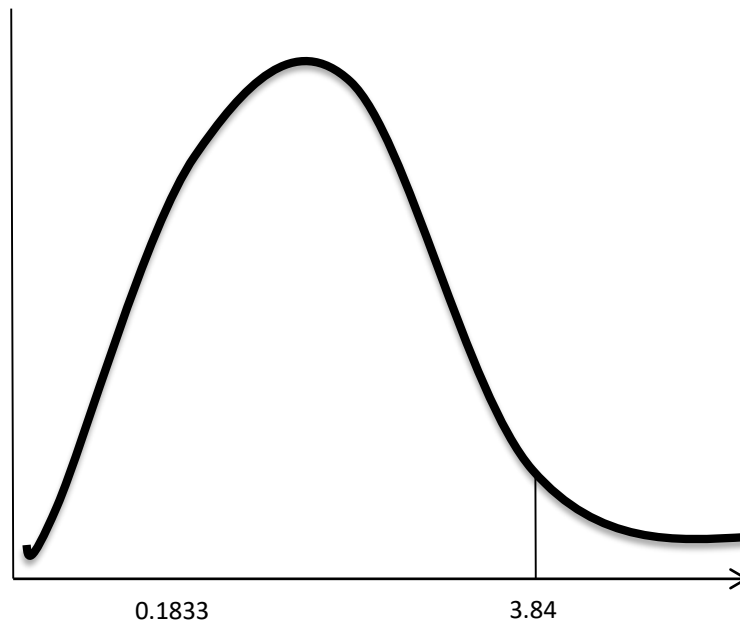
calculado. Se hace uso de los datos del cuadro 2 para sustituir los valores en la fórmula de la distribución  $X^2$ .

$$X^2 = \frac{N \left( |AD - BC| - \frac{N}{2} \right)^2}{(A + B)(C + D)(n)(m)}$$

$$= \frac{22 \left( |(6)(5) - (6)(5)| - \frac{22}{2} \right)^2}{(6 + 6)(5 + 5)(11)(11)} = \frac{22 \left( 0 - \frac{22}{2} \right)^2}{(12)(10)(11)(11)} = \frac{22 (121)}{14520} = \frac{2662}{14520}$$

$$X^2 = 0.1833$$

Gráfica 1. Curva de distribución



Fuente: elaboración propia.

El análisis de la prueba de la mediana mostró que no se rechaza la  $H_0$  con un nivel de significación del 5%. Por lo tanto, se rechaza  $H_1$ . Por consiguiente, la interpretación que puede darse es que México y Estados Unidos pertenecen a la misma población y tienen la misma mediana. La HH de once productos de origen animal es igual entre los dos países.

### Discusión

Para comenzar con la discusión, es necesario recordar los resultados obtenidos. Se aceptó  $H_0$ , que significa que México y Estados Unidos pertenecen a la misma población y tienen la misma mediana. Por lo tanto, estadísticamente, la HH de once productos de origen animal es igual entre los dos países.

A pesar de que son poblaciones diferentes en cuanto a sus rasgos étnicos, al tamaño de la población, al nivel educativo, a la estructura política y social y a aspectos económicos, la HH generada de 11 productos provenientes de animales (leche, yogurt, mantequilla, queso procesado, huevo, queso azul, jamón de cerdo, carne de cerdo, crema, carne de res, carne de pavo) es semejante.

Por otra parte, y respecto a la prueba de la mediana, considera mediciones que se encuentran a la mitad de la distribución de los datos, por lo que en otras investigaciones convendría hacer uso de distintas técnicas estadísticas como la media y la desviación estándar a través del método ANOVA para corroborar los hallazgos aquí encontrados.

Lo anterior con el objetivo de discriminar los procesos productivos, los sectores o industrias que generan una alta HH y que esto contribuya a reducir el consumo de agua. Finalmente, la consecuencia de que las medianas sean iguales es que los dos países tienen similitud en la distribución de la masa de datos.

## **Conclusiones**

Para concluir es posible decir que los resultados obtenidos de la comparación de la huella hídrica de México y Estado Unidos para once productos de origen animal y que se calcularon a través de la prueba de la mediana son innovadores. Esto se debe a que, en investigaciones antiguas, no se hacen comparaciones mediante pruebas estadísticas, se calcula únicamente la HH de cada país y eso es lo que se muestra. Es importante mencionar que los resultados que arrojó la investigación realizada, muestran que la HH de once productos de origen animal es igual entre los dos países, estadísticamente. Y aunque, son poblaciones completamente diferentes, comparten este rasgo en común.

La demanda de productos agropecuarios ha crecido a un ritmo acelerado. Cada uno de éstos, requiere de una elevada cantidad de agua para poder ser elaborados. Por todo ello, es necesario elevar la productividad, pero también la eficiencia en la forma de producción. De modo que, el aprovechamiento del agua de lluvia, puede ser un buen mecanismo que contribuya en la reducción de la HH en general, específicamente de los productos de origen animal.

Una gran parte de la HH de las personas, la originan los productos agropecuarios. La producción de alimentos es costosa tanto en términos económicos como hídricos. Un consumo alto de carne implica una huella hídrica elevada. Por lo tanto, es necesario cambiar a patrones de consumo que requieran menos agua, por ejemplo, reduciendo el consumo de carne.

Además de cambiar los patrones de alimentación y de consumo, se necesita adaptar un enfoque más amplio en el que estos patrones estén influenciados por los precios de los productos. Así mismo, los precios del agua deben reflejar la escasez porque existen subsidios a este sector. Sin embargo, si aumentara el precio, seguramente los consumidores buscarían la forma de reducir su uso. Por otra parte, incentivar el no desperdicio de alimentos, es también una manera de evitar el desperdicio de agua.

Finalmente, la HH debe ser una herramienta que se tome más en cuenta para analizar de manera más profunda los problemas hídricos y como los patrones de consumo de la población mundial afectan al agua, evitando así, mayores presiones sobre ésta.

## Bibliografía

- Arévalo, G. (2017) Análisis del recurso hídrico en México por medio de la huella hídrica. [Fecha de consulta: 11-marzo-2020]. Disponible en: [https://www.realidadeconomica.umich.mx/index\\_files/analisis\\_del\\_recurso\\_hidrico\\_en\\_mexico\\_4.pdf](https://www.realidadeconomica.umich.mx/index_files/analisis_del_recurso_hidrico_en_mexico_4.pdf).
- Bolaños, M. (2011) Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras. [Fecha de consulta: 8-abril-2020]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/75>.
- Chapagain, A y Hoekstra, A. (2004) *Water footprints of nations*. UNESCO
- Conagua, (2011) Estadísticas del agua en México. [Fecha de consulta: 12-mayo-2020]. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo\\_8.pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf)
- Consejo Consultivo del Agua, (2018) [Fecha de consulta: 19-abril-2020]. Disponible en: <http://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/agua-en-mexico>.
- Constantini, F. (2003) Agua virtual y Huella Hídrica: Novísimos criterios sobre la utilización del agua en el mundo. [Fecha de consulta: 12-mayo-2020]. Disponible en: <https://www.pj.gov.py/ebook//monografias/nacional/internacional-público/Fernando-Costantini-Agua-virtual-y-Huella-Hidrica.pdf>.
- Ercin, A. y Hoekstra, A. (2012) *Water footprint scenarios for 2050. A global analysis and case study for Europe*. UNESCO,
- FAO, (2020) Sistemas de producción. [Fecha de consulta: 12-mayo-2020]. Disponible en: [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_productions.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_productions.html).
- Ferrer, M. (2014) Huella hídrica: La nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación. [Fecha de consulta: 8-abril-2020]. Disponible en: <http://http://www.conama2014.conama.org/conama2014/download/files/conama2014/CT2014/1896712004.pdf>.
- Gerbens-Leenes, P.; Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2011) *A comparative study on the water footprint of poultry, pork and beef in different countries and production systems*. UNESCO.
- González, Y., Casas, Y. y Vidal, G. (2020). Huella del agua. Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería Universidad de Concepción. [Fecha de consulta: 8-abril-2020]. Disponible en: <https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2020/05/serie-comunicacional-huella-del-agua.pdf>.
- Hoekstra, A.; Chapagain, A.; Aldaya, M. y Mekonnen, M. (2009) *Water footprint Manual. State of art 2009*. Water footprint Network.
- Hoekstra, A. y Mekonnen, M. (2011) Global water scarcity: the monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major rivers basins. UNESCO
- Hoekstra, A. (2015) The water footprint: the relation between human consumption and water use. [Fecha de consulta: 30-mayo-2020]. Disponible en: [https://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2015\\_1.pdf](https://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2015_1.pdf).

- Martínez, M. (2013) Indicadores como información base para el análisis del desempeño ambiental: huella hídrica, huella ecológica y huella de carbono. [Fecha de consulta: 12-abril-2020]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/11399/1/1080215529.pdf>.
- Mekonnen, M y Hoekstra, A. (2010) *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products*. UNESCO.
- Mekonnen, M y Hoekstra, A. (2010) *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products*. UNESCO.
- Parada, G. (2012) El agua virtual: conceptos e implicaciones. ORINOQUIA, Vol. 16 - No 1. [Fecha de consulta: 8-abril-2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a08.pdf>.
- Pérez, H. (2008) *Estadística para las ciencias sociales, del comportamiento y de la salud*. Tercera edición. Editorial Cengage Learning.
- Rendón, E. (2015) La huella hídrica como un indicador de Sustentabilidad y su aplicación en el Perú. Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL, Vol. 2, N° 1. Primer semestre 2015. pp. 34-47. [Consultado 8-mayo-2020]. Disponible en: <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/40>.
- SABMiller y WWF, (2010) Water futures. Working together for a secure water future.
- SEMARNAT, (2012). Huella ecológica, datos y rostros 2012. [Fecha de consulta: 2-mayo-2020]. Disponible en: [https://www.sema.gob.mx/descargas/manuales/HuellaEcologica\\_SEMARNAT.pdf](https://www.sema.gob.mx/descargas/manuales/HuellaEcologica_SEMARNAT.pdf).
- Siegel, S y Castellan, N. (2015) *Estadística no paramétrica. Aplicada a las ciencias de la conducta*. Cuarta edición. Editorial Trillas.
- Vázquez, R. y Lambarri, J. (2017) *Huella hídrica en México. Análisis y perspectivas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Wayne, D. y Chad, C. (1929) *Biostatistics. A foundation for analysis in the Health Sciences*. Décima edición.
- WWF, (2012) *Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. Water Footprint Network, (2020). Water footprint. [Consultado 8-mayo-2020]. Disponible en: <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/>.

