

HUELLA HÍDRICA DE CULTIVOS ANDINOS DE LA REGIÓN PUNO COMERCIALIZADOS EN LA REGIÓN AREQUIPA – 2018

WATER FOOTPRINT OF ANDEAN CROPS FROM PUNO REGION COMMERCIALIZED IN THE AREQUIPA REGION - 2018

José Luis Vilca-Ticona¹, Marcelino J. Aranibar²

¹Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca, Dirección de Desarrollo Agroeconómico y Recuperación de Ecosistemas Av. La Torre N° 399, Puno, Perú, jovilti@hotmail.com

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional del Altiplano, maranibar@unap.edu.pe

RESUMEN

Alrededor del 70% del agua es utilizada por la agricultura en la región Puno, su actividad agrícola se realiza básicamente con agua de precipitación pluvial (agua verde). En este estudio se estimó la huella hídrica (HH), el agua virtual movilizada y su valoración económica en los principales cultivos andinos producidos en la región Puno y comercializados en la región Arequipa. En la metodología se incluyó información del clima, plantas y suelo y el consumo de agua por cultivo se calculó con la ayuda del software Cropwat versión 8.0 (FAO, 1997). Para determinar la huella hídrica de cultivos andinos se formuló un modelo que incorpora la evapotranspiración de referencia, coeficiente de cultivo, superficie de terreno, rendimiento de cultivo y volumen de comercialización. La huella hídrica (m³/ha) de los cultivos andinos de la región Puno fue mayor en el cultivo de la papa (6,660.69) y menor en el cultivo de tarwi (3,750.45), y con valores intermedios en los cultivos de oca (5,449.75), olluco (4,762.52), haba (4,091.39), quinua (6,179.58), kañiwa (5,466.55), cebada (4,159.33) y mashua (5,387.82). mientras que el volumen de agua virtual procedente de la región Puno que ingresa a la región Arequipa mediante los cultivos andinos, fue mayor para el cultivo de papa (145,175,163.13 m³/año) y menor para la mashua (1,098,284.76 m³/año) y con volúmenes intermedios para la oca, olluco, haba, tarwi, quinua, kañiwa y cebada. El valor económico del agua virtual, fue mayor en el cultivo de la papa (60,247,692.70 soles/año) y menor para el cultivo de mashua (455,788.17 soles/año), y con valores intermedios para la oca, olluco, haba, tarwi, quinua, kañiwa y cebada. En general se traslada de Puno hacia la ciudad de Arequipa un valor de 90,764,178.56 de soles en agua virtual contenida en productos de cultivos andinos.

Palabras clave: agua verde, agua virtual, comercialización, cultivos, huella hídrica, valor económico.

ABSTRACT

Around 70% of the water is used by agriculture in the Puno region, its agricultural activity is basically done with rainwater (green water). In this study, the water footprint (HH), the virtual water mobilized and its economic valuation were estimated in the main Andean crops produced in the Puno region and marketed in the Arequipa region. Information on climate, plants and soil was included in the methodology and water consumption per crop was calculated with the help of Cropwat software version 8.0 (FAO, 1997). To determine the water footprint of Andean crops, a model was formulated that incorporates reference evapotranspiration, crop coefficient, land area, crop yield and marketing volume. The water footprint (m³ / ha) of the Andean crops of the Puno region was higher in the potato crop (6,660.69) and lower in the cultivation of tarwi (3,750.45), and with intermediate values in the oca crops (5,449.75), olluco (4,762.52), bean (4,091.39), quinoa (6,179.58), kañiwa (5,466.55), barley (4,159.33) and mashua (5,387.82). while the volume of virtual water from the Puno region that enters the Arequipa region through Andean crops, was higher for potato cultivation (145,175,163.13 m³ / year) and lower for mashua (1,098,284.76 m³ / year) and with volumes intermediates for the oca, olluco, bean, tarwi, quinoa, kañiwa and barley. The economic value of virtual water was higher in the potato crop (60,247,692.70 soles / year) and lower for the cultivation of mashua (455,788.17 soles / year), and with intermediate values for the goose, olluco, bean, tarwi, quinoa, kañiwa and barley. In general, a value of 90,764,178.56 soles in virtual water contained in Andean crop products is moved from Puno to the city of Arequipa.

Keywords: commercialization, crops, economic value, green water, virtual water, water footprint.

*Autor para correspondencia: jovilti@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida en nuestro planeta, mantiene el bienestar humano y garantiza el correcto funcionamiento de los ecosistemas para (Falkenmark, 2003), constituye uno de los ejes fundamentales para alcanzar los objetivos perseguidos en una “economía verde” así mismo (UNEP, 2011). La mayor parte del agua en el mundo la utiliza actualmente la agricultura, tanto para la producción de alimentos, como para la producción de fibras vegetales, o la producción de biocombustibles, de esta forma, alrededor del 70% del agua utilizada en el planeta es destinada a usos agrarios (De Santa Olalla, 2005).

La huella hídrica (HH) para elaborar un producto o servicio viene a ser el volumen de agua utilizada directa o indirectamente para su producción, es decir considera la suma de los consumos de todas las etapas de la cadena productiva (Arévalo *et al.*, 2011; WWW-Perú, 2015). Así, el valor final de la huella hídrica se calcula de diversas maneras y puede considerar la suma de los tres tipos de agua (azul, verde y gris) (CNIC, 2012). Aunque, otros investigadores indican que el término de HH debe diferenciar el tipo de agua utilizada, así como el lugar y momento de producción (Hoekstra *et al.*, 2009). El cálculo de la HH aporta información para conocer en qué puntos de nuestra producción es posible reducir el consumo de agua, de tal forma que podríamos aplicar los principios del desarrollo sostenible (Velázquez, 2008).

Por otro lado, el concepto de agua virtual (AV) fue inicialmente utilizado para evaluar los flujos de agua asociados a la importación de productos agroalimentarios a nivel internacional, como respuesta de algunos países a la escasez de agua en sus propios territorios (Allan, 2003). El valor del AV de un producto alimenticio es el inverso de la productividad del agua y podría entenderse como la cantidad de agua por unidad de alimento que podría ser consumida durante su proceso de producción (Pengue, 2004; FAO, 2005), y se estima que el 15% del agua utilizada en el mundo se destina a la exportación en forma de AV (Hoekstra y Hung, 2002). Mientras que el 67% de circulación de AV está relacionada con el comercio internacional de diversos cultivos. El AV que necesita un país o región para atender la necesidad de bienes y servicios de sus habitantes, se denomina huella hidrológica (Llamas, 2005).

La FAO ha desarrollado el modelo CROPWAT para estimar HH de productos agrícolas. La HH varía por categoría de cultivo y por región de producción (Mekonnen *et al.*, 2011). El cultivo de papa alcanza una HH de 430,2 m³ de agua /tn de producto sin embargo (González, 2016). En zonas áridas y semiáridas (países árabes) la estimación de la HH es muy importante, solo Irán importó 11,640 millones de m³ de agua virtual en cultivos entre 2005 y 2006 (Arabi *et al.*, 2012). La huella hidrológica total de la humanidad fue estimada en 7500 km³/año (Chapagain y Hoekstra, 2004). También se ha observado que la liberalización del comercio de alimentos (AV), podría tener efectos negativos en el medio ambiente, sobre todo en los países que utilizan de modo exagerado o insostenible sus recursos hídricos para producir productos agrícolas de exportación (Van Hofwegen, 2004).

El desarrollo tradicional del agua y la agricultura basado en el riego tiende a conducir a la extracción excesiva de agua derivada del medio ambiente a medida que el uso del agua se eleva a un nivel insostenible (Hargreaves, 1975; Gilmont, Antonelli & Greco, 2016), la evapotranspiración real, es el uso potencial del agua bajo condiciones favorables y es equivalente a ET (cultivo), por los cultivos agrícolas, incluyendo la evaporación directa de la humedad del suelo y de las plantas húmedas por las hojas.

La evapotranspiración actual o real ocurre desde superficies húmedas con vegetación, considerando la evaporación desde suelos húmedos y la transpiración a través de las plantas (García, 1992). El conocimiento de índice de rendimiento vegetativo es muy importante para la planta y considera un

conjunto de fenómenos de evaporación y de transpiración siendo la pérdida de agua observada en una superficie líquida o sólida saturada, en condiciones reinantes atmosféricas (Monsalve, 1999).

La tasa de evaporación y transpiración de un cultivo exento de enfermedades, que crece en un campo extenso (uno o más hectáreas) en condiciones óptimas de suelo, fertilidad y suministro de agua (Vásquez y Chang, 1992; Chapagain *et al.*, 2006). Por otro lado, se puede ahorrar agua mediante la importación de productos agrícolas de alto consumo de agua y exportando productos con menor consumo de este elemento. También podemos considerar que si todos los productos agrícolas importados se producirían en Túnez se emplearía 1605 Gm³/año, estos productos sin embargo se están produciendo con solo 1253 Gm³/año en los países exportadores, el ahorro de los recursos mundiales de agua es de 352 Gm³/año, lo cual demuestra que la planificación tiene efecto positivo en el ahorro del agua.

En un estudio realizado por Chouchane *et al.*, (2014) para determinar la huella hídrica de 1996 al 2005, se identificó que la papa y el tomate presentan alta productividad del agua, mientras que las aceitunas y la cebada presentan baja productividad, la huella hídrica azul de la producción agrícola de este país representa el 31% de los recursos hídricos renovables, indicando que en Túnez existe escasez significativa de agua. La investigación anterior concluye que la huella hídrica promedio global (m³/ton) para la cebada (1420), para el trigo (1830), la zanahoria (200) y para la papa (290). Basado en estos antecedentes se propuso determinar la huella hídrica, el volumen y el valor económico del agua virtual de los cultivos andinos de la región Puno comercializados en la región Arequipa.

Los Análisis de datos, son cuatro componentes identificados (evaporación del cultivo, requerimiento de agua del cultivo, contenido de agua virtual y agua virtual transferida), fueron utilizados para determinar la huella hídrica de los cultivos andinos, en estos se integra inicialmente el componente del clima que es no modificable para el presente estudio, puesto que el mismo se desarrolla con cultivos bajo condiciones de secano, es decir con el componente de agua verde (agua de lluvia almacenada en el suelo); así mismo incorpora el otro componente de interés como es el cultivo, en el que viene expresada la parte genética y su expresión en su crecimiento y desarrollo, incorporado sus características de consumo de agua, tal expresión genética se produce en interrelación con el medio ambiente, es decir el clima y el suelo donde se desarrollan.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio considera una investigación descriptiva y se realizó en Puno (S15°50'31" - O70°01'11" y 3825 m de altitud) y en Arequipa (S16°23'56" - O71°32'6" y 2335 m de altitud). En el primero se tiene la mayor producción de cultivos andinos realizada por pequeños productores y por ello realizó el cálculo de la huella hídrica para 9 cultivos. Mientras que en el segundo existe la mayor comercialización de cultivos andinos, por ello se levantó información sobre los volúmenes de comercialización, seguidamente se calculó el agua virtual trasladada, así como el aspecto valorativo económico en términos de costo del recurso agua.

El modelo conceptual de huella hídrica de los cultivos andinos de la región Puno, fue formulado utilizando la técnica del diagrama de entidad y relación (DER). Esta técnica permitió generar un modelo que reflejó la representación de las entidades relevantes de un sistema para estimar la huella hídrica de nueve cultivos andinos.

La huella hídrica se obtuvo siguiendo la propuesta de Chapagain y Hoeskstra (2004):

1. Obtención de registros climáticos de la región de estudio (Puno).

2. Determinar la evapotranspiración de referencia (potencial).
3. Obtención de los parámetros de los cultivos como el coeficiente de cultivo (K_c), el cual se obtuvo de la revisión de publicaciones de la FAO y de otras fuentes de estudios específicos.
4. Con los parámetros anteriores se calculó la evapotranspiración del cultivo (real).

El agua virtual transferida en estos cultivos andinos, se determinó en función al contenido de agua virtual (V_j) y a la cantidad de comercialización del producto (E_j) mediante la siguiente ecuación:

$$AV_t = f(V_j, E_j) \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que el agua tiene una connotación cualitativa, el valor del agua se puede cuantificar, en un valor monetario, en este caso fue tomado como referencia los precios fijados por el Ministerio de Agricultura en la región Puno y por una revisión exhaustiva de referencias a dicho valor en el Perú. Para hallar el valor económico del agua virtual transferido en cada cultivo, se utilizó la siguiente función:

$$VE = AV \times C_p \quad (2)$$

Donde VE: valor económico, AV: agua virtual transferida y C_p : el costo del producto.

En el cálculo de HH se utilizaron variables de entrada [Evapotranspiración de referencia (ET_0), coeficiente de cultivo (K_c), superficie de terreno (ST), rendimiento del cultivo (RC), comercialización del cultivo (E_j)] en un modelo general:

$$Y = f(ET_0, K_c, ST, RC, E_j)$$

Donde:

Y = Huella Hídrica de cada cultivo.

Para determinar la evapotranspiración del cultivo se utilizó el siguiente modelo:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

Donde:

ET_0 : Evapotranspiración de referencia

K_c : Coeficiente de cultivo

Mientras que el requerimiento de agua del cultivo se estimó con el siguiente modelo:

$$RAC = ET_c \times ST \quad (2)$$

Donde:

ET_c : Evapotranspiración del cultivo

ST: Superficie de terreno

Para determinar el contenido de agua virtual se utilizó:

$$V = \frac{RAC}{RC} \quad (3)$$

Donde:

RAC: Requerimiento de agua del cultivo

RC: Rendimiento del cultivo

Para determinar el contenido de agua virtual del producto:

$$V_j = V \quad (4)$$

Donde:

V: Contenido de agua virtual

Para determinar la variable de salida: Agua virtual transferida en productos de los cultivos andinos se utilizó:

$$AV_t = V_j \times E_j \quad (5)$$

Donde:

V_j: Contenido de agua virtual del producto

E_j: Comercialización del cultivo

Los Análisis de datos, son cuatro componentes identificados (evaporación del cultivo, requerimiento de agua del cultivo, contenido de agua virtual y agua virtual transferida), fueron utilizados para determinar la huella hídrica de los cultivos andinos, en estos se integra inicialmente el componente del clima que es no modificable para el presente estudio, puesto que el mismo se desarrolla con cultivos bajo condiciones de secano, es decir con el componente de agua verde (agua de lluvia almacenada en el suelo); así mismo incorpora el otro componente de interés como es el cultivo, en el que viene expresada la parte genética y su expresión en su crecimiento y desarrollo, incorporado sus características de consumo de agua, tal expresión genética se produce en interrelación con el medio ambiente, es decir el clima y el suelo donde se desarrollan.

Los cálculos respectivos se realizaron siguiendo la metodología expuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), mediante el software CROPWAT versión 8.0 (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La expresión lineal de las relaciones entre los componentes identificados para determinar el HH se traducen en un producto cosechable, en donde se tiene el contenido de agua que puede ser transferido a otros sistemas (agua virtual), en nuestro caso de la región Puno hacia la ciudad de Arequipa. Finalmente, la huella hídrica de los cultivos incorpora todos los pasos por los que tuvo que transitar el agua (acumulada en el suelo) hasta llegar al producto final comercializable y transferible (Figura 1).

Estos resultados guardan relación con lo que señala De Santa Olalla (2005) que indica que existen modelos orientados hacia el uso del cálculo indirecto de la evapotranspiración, sin embargo, podría ser también útil en casos de mediciones de este parámetro de forma directa. El modelo conceptual desarrollado ha sido formulado para las condiciones de cultivo en secano, que es la predominante en la región Puno, es decir con el aporte sólo de las precipitaciones pluviales que se acumulan en el suelo (agua verde), para su uso en otros casos en donde se requiera el cálculo de otros aportes de agua como el riego (agua azul), podrían incorporarse también al modelo explicado con ligeras modificaciones; por lo que existe concordancia en la aplicación de ambos modelos para la obtención de la huella hídrica.

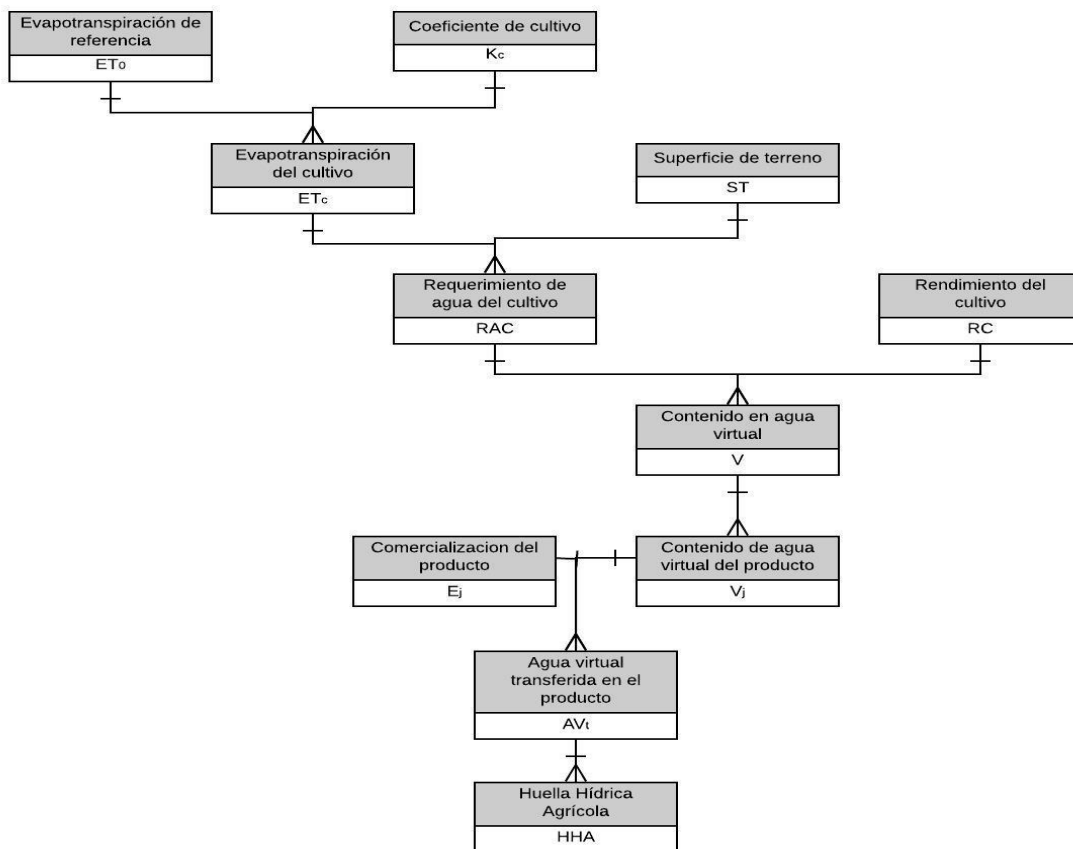


Figura 1. Diagrama conceptual final para determinar la huella hídrica de cultivos andinos.

Debe entenderse que este modelo no busca reemplazar a los modelos ampliamente conocidos en agronomía como modelos de uso consuntivo del agua (Gurovich, 1999), que parten del principio de mediciones directas de consumo de agua por las plantas, sino que busca un modelo simple que incorpore las variables básicas para su cálculo, simplificando aquellas cuya medición demandaría trabajos específicos y laboriosos, de modo que al final se obtenga un valor coherente de la huella hídrica, que establezca una relación directa entre los sistemas hídricos, los cultivos de la zona y el consumo humano, el cual puede determinar factores como la escasez del agua y puede permitir la mejora de la gestión de la producción y gestión del agua misma como lo señala también Mallma (2015).

Los resultados de las estimaciones de la evapotranspiración de referencia (ETo) para la zona andina de la región Puno, señalan que la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, presentó un valor mínimo en el mes de junio con 79.12 mm coincidente con la época de estiaje, mientras que su máximo valor se presentó en el mes de octubre con 111.07 mm (Tabla 1).

Tabla 1. Evapotranspiración de referencia (ETo) por diferentes métodos (mm/mes), Estación meteorológica CP-Puno promedio 2010-2018

Mes	Método de Hargreaves (2006)	Método de Penman Monteith (1990)	Método de Penman Modificado (1998)	Método de Linacre (1977)	Método de Papadakis (1980)	Promedio
Enero	92.50	102.88	158.82	96.50	42.56	98.65

Febrero	86.16	87.74	133.66	84.68	39.80	84.74
Marzo	79.89	94.48	138.59	92.58	39.86	89.08
Abril	76.04	91.78	129.89	90.73	44.86	86.17
Mayo	67.62	89.12	110.20	92.02	47.35	81.26
Junio	64.85	85.70	104.04	91.39	51.69	79.12
Julio	65.99	90.15	112.31	94.96	50.24	82.73
Agosto	74.74	97.14	126.77	97.50	50.07	89.24
Setiembre	83.67	102.52	139.33	95.94	48.22	93.40
Octubre	98.07	124.21	176.10	104.05	52.93	111.07
Noviembre	100.83	118.95	166.68	98.15	50.40	106.35
Diciembre	96.23	111.33	176.59	95.42	41.87	104.29

Como lo señala Serruto (2003), se debe considerar que los métodos de estimación indirecta de la evapotranspiración de referencia, se realizan en base a la temperatura, radiación solar, humedad y velocidad del viento, estos métodos han sido validados y considerados útiles para los fines de cálculo de estimación de la huella hídrica de cultivos, por lo que concuerda con nuestros resultados sobre la utilidad de dichos métodos indirectos. Además, el uso generalizado a nivel global de las mencionadas metodologías, queda claro que su probada utilidad es aceptada desde mucho tiempo atrás como lo señala Hargreaves (1975).

En el altiplano peruano la mayoría de cultivos tienen un periodo de cultivo supeditado básicamente a los meses con presencia de precipitación pluvial, por lo cual utilizan la humedad acumulada en el suelo a partir de lo que se ha denominado agua verde, por lo que las variaciones del periodo fenológico entre estos cultivos son mínimas, estando la mayoría de ellas comprendidas entre 5 a 6 meses de desarrollo.

Los resultados permiten identificar que la evapotranspiración de referencia estimada, presenta variaciones mínimas entre cultivos, atribuible a que son manifestaciones de la latitud geográfica donde nos encontramos, así como de los valores meteorológicos propios en la región Puno (Tabla 2).

Tabla 2. Evapotranspiración de referencia (ET_o) por cultivo (mm) y coeficiente de cultivo (K_c), Puno promedio 2010-2018

Familia	Cultivo	Nombre científico	Meses de cultivo	ET _o (mm)	K _c *
Tuberosas	Papa	Solanum andigenum	6.0	569.29	1.17
	Oca	Oxalis tuberosa	6.5	619.29	0.88
	Olluco	Ullucus tuberosus	7.0	680.36	0.70
	Mashua	Tropaeolum tuberosum	6.5	619.29	0.87
Fabáceas	Haba	Vicia faba	5.0	505.11	0.81
	Tarwi	Lupinus mutabilis	5.0	513.76	0.73
Quenopodiaceas	Quinua	Chenopodium quinoa	6.0	594.19	1.04
	Kañiwa	Chenopodium pallidicaule	6.0	594.19	0.92
Cereales	Cebada	Hordeum vulgare	6.0	594.19	0.70

(*). Diferentes fuentes bibliográficas

La evapotranspiración del cultivo (ETc) que es la necesidad de agua que requiere el cultivo para su desarrollo, presenta variaciones atribuibles al componente genético de la especie y la interrelación con el ambiente, así tenemos que la mayor evapotranspiración la realiza el cultivo de la papa con 666.07 mm, mientras que la menor evapotranspiración se produce en el cultivo del tarwi con 375.04 mm, el resto de cultivos se encuentran en rangos intermedios a los señalados (Tabla 3).

Tabla 3. Evapotranspiración del cultivo (ETc) y requerimiento de agua del cultivo (RAC-Huella hídrica) para nueve cultivos andinos de la región Puno

Familia	Cultivo	Nombre científico	Meses de cultivo	ETc (mm)	RAC (m ³ /ha)
Tuberosas	Papa	Solanum andigenum	6.0	666.07	6,660.69
	Oca	Oxalis tuberosa	6.5	544.98	5,449.75
	Olluco	Ullucus tuberosus	7.0	476.25	4,762.52
	Mashua	Tropaeolum tuberosum	6.5	538.78	5,387.82
Fabáceas	Haba	Vicia faba	5.0	409.14	4,091.39
	Tarwi	Lupinus mutabilis	5.0	375.04	3,750.45
Quenopodaceas	Quinua	Chenopodium quinoa	6.0	617.96	6,179.58
	Kañiwa	Chenopodium pallidicaule	6.0	546.65	5,466.55
Cereales	Cebada	Hordeum vulgare	6.0	415.93	4,159.33

Según los resultados, los valores de agua virtual para el presente estudio son descifrables como la huella hídrica de los cultivos en lo referente al producto cosechable, como lo señala Arévalo *et al.*, (2011) esta huella incorpora el volumen de agua utilizada directa o indirectamente para su producción, en el caso de los cultivos andinos estudiados la fuente de agua única es la precipitación pluvial (agua verde), almacenada en el suelo, por lo que los cálculos necesarios son menos engorrosos como el que requeriría un modelo mixto.

El mayor rendimiento se observa en el cultivo de la papa con promedio de 11,911.37 kg/ha, mientras que el menor rendimiento lo produce el cultivo de la kañiwa con 791.5 kg/ha, se observa que los cultivos con mayor consumo de agua son también en términos generales los que tienen mayor rendimiento de producto cosechable, del modo inverso aquellos con menor consumo de agua tienen un rendimiento menor, atribuible al aspecto fisiológico de las plantas y su capacidad de adaptarse a la disponibilidad de agua en la región Puno. Sin embargo, también debe entenderse que un bajo rendimiento puede estar asociado a una baja tecnología agronómica, así como a una falta de mejoramiento genético de variedades de mayor producción (Tabla 4).

Tabla 4. Rendimiento promedio de nueve cultivos andinos y agua virtual (Vj) en la región Puno

Familia	Cultivo	Nombre científico	Rendimiento Kg/ha	D.E Kg/ha	Agua virtual (lt/kg)
Tuberosas	Papa	Solanum andigenum	11,911.37	403.08	559.19
	Oca	Oxalis tuberosa	8,243.5	250.80	661.10
	Olluco	Ullucus tuberosus	6,627.2	223.67	718.63
	Mashua	Tropaeolum tuberosum	7,477.3	183.92	720.56

Fabáceas	Haba	Vicia faba	5,693.8	233.11	718.57
	Tarwi	Lupinus mutabilis	1,287.7	48.73	2912.52
Quenpodaceas	Quinua	Chenopodium quinoa	1,065.8	75.35	5798.06
	Kañiwa	Chenopodium pallidicaule	791.5	28.51	6906.57
Cereales	Cebada	Hordeum vulgare	1,071.6	49.28	3881.42

La papa y el tomate presentan alta productividad del agua (bajo consumo), mientras que las aceitunas y la cebada con baja productividad (alto consumo) Chouchane *et al.*, (2014).

Nuestros resultados para el caso de la papa corroboran esos resultados, puesto que dicho cálculo está en función del rendimiento de los cultivos analizados, esto se explica porque cultivos como la Kañiwa presenta una huella hídrica alta, puesto que su rendimiento es bajo, debido al poco trabajo de mejoramiento genético que ha tenido el mismo, y escasa tecnología de cultivo desarrollada. Mientras que la papa que es un cultivo que cuenta con variedades mejoradas y una tecnología de cultivo adecuada presenta menor huella hídrica. Este aspecto también ha sido señalado por Pengue (2004) que manifiesta que el valor del agua virtual de un producto alimenticio es el inverso de la productividad del agua, lo cual concuerda con los resultados de nuestro estudio.

Se tiene que en términos porcentuales la mayor huella hídrica se produce en el cultivo de la papa, puesto que en este producto se tiene el 66.38% de agua que se movilizó de la región Puno hacia Arequipa, en segundo lugar, de importancia se tiene a la quinua con un 15.11% de agua movilizada, el resto de cultivos presentan menores porcentajes respecto a su contribución. La explicación de la importancia de la papa en los volúmenes de agua, radica básicamente en su mayor disponibilidad de excedentes para su comercialización, atribuible como ya se ha señalado, a su mayor área cultivada, así como un mayor rendimiento en comparación al resto de cultivos andinos (Figura 2).

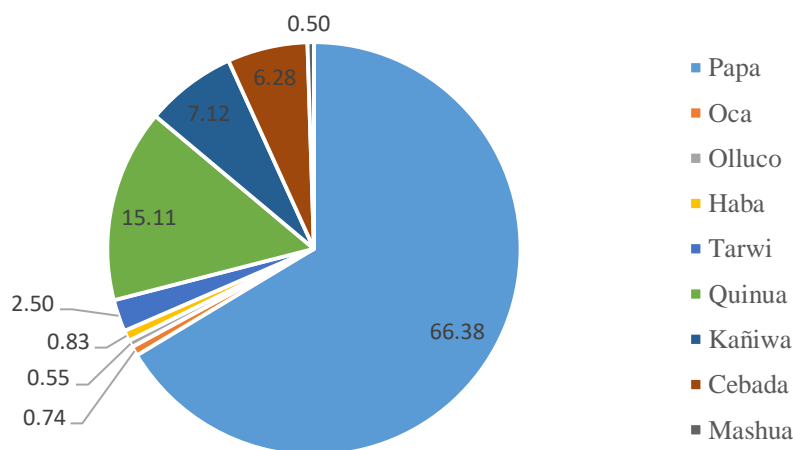


Figura 3. Distribución porcentual de la huella hídrica de cultivos andinos de la región Puno comercializados en la ciudad Arequipa

El desarrollo tradicional del agua y la agricultura basado en el riego, tiende a conducir a la extracción excesiva de agua del medio ambiente hasta niveles insostenibles, este comportamiento se remedia tradicionalmente manteniendo la producción agrícola mientras se reinvierte en eficiencia y recursos hídricos alternativos Gilmont, Antonelli y Greco (2016); en el caso de nuestro estudio al parecer la forma tradicional de producción en nuestra región, supeditada específicamente a la precipitación pluvial ha permitido hasta el momento un balance hídrico en la región, aspecto que viene siendo modificado con obras de riego, por lo que se debería realizar un análisis profundo sobre el efecto de las obras de riego en el balance hidrológico global de la cuenca del Titicaca, sobre todo por su fragilidad ya señalada (Serruto, 1992); además indicamos que debería incorporarse los resultados de nuestro estudio por el componente virtual del agua que no ha sido considerado en la mayoría de los estudios de balance hidrológico hasta la actualidad.

Valor económico de agua virtual de cultivos andinos

El valor económico del agua transferida de la región Puno hacia la ciudad de Arequipa en productos de cultivos andinos, indica que la papa es el producto donde viaja la mayor cantidad expresada en 60 247 692.70 de Soles, seguida del cultivo de la quinua con 13 711 268.52 de Soles, el resto de cultivos presentan contribuciones económicas intermedias a las señaladas. En total se tiene 90 764 178.56 de Soles que son transferidos de forma virtual en forma de agua de la región Puno hacia Arequipa en productos de nueve cultivos andinos (Tabla 5).

Tabla 5. Valor económico de agua virtual de cultivos andinos de Puno comercializados en Arequipa

Familia	Cultivo	Nombre científico	VAt (m ³)	Valor económico (Soles)*
Tuberosas	Papa	Solanum andigenum	145,175,163.13	60,247,692.70
	Oca	Oxalis tuberosa	1,621,294.86	6,728,37.37
	Olluco	Ullucus tuberosis	1,193,493.52	495,299.81
	Mashua	Tropaeolum tuberosum	1,098,284.76	455,788.17
Fabáceas	Haba	Vicia faba	1,813,850.32	752,747.88
	Tarwi	Lupinus mutabilis	5,459,576.99	2,265,724.45
Quenopodaceas	Quinua	Chenopodium quinoa	33,039,201.26	13,711,268.52
	Kañiwa	Chenopodium pallidicaule	15,568,859.16	6,461,076.55
Cereales	Cebada	Hordeum vulgare	13,739,140.00	5,701,743.10
			Total	90,764,178.56

Fuente: 0.0001% de UIT según Chang-Navarro *et al.*, (2010)

Los resultados señalan que existe un movimiento de agua virtual importante en los productos de cultivos andinos hacia la ciudad de Arequipa, considerando que esta forma de agua nunca ha sido tomada en cuenta en los balances hídricos, consideramos que toda gestión seria de recursos hídricos debería en el futuro ser utilizada, puesto que el agua proveniente de la precipitación en una región es propia de la misma y al viajar, aun de forma virtual, es parte integrante del balance global como lo señala Van Hofwegen (2004); también es atribuible a la mejor tecnología generada para ellos por ser productos más comerciales que los otros y por su potencial económico en lo concerniente a su comercialización (Mallma, 2015).

CONCLUSIONES

La huella hídrica de los cultivos andinos de la región Puno fue mayor en el cultivo de la papa (6,660.69 m³/ha) y menor en el cultivo de tarwi (3,750.45 m³/ha), y con valores intermedios en los cultivos de oca, olluco, haba, quinua, kañiwa, cebada y mashua.

El volumen de agua virtual procedente de la región Puno que ingresa a la región Arequipa mediante los cultivos andinos, fue mayor para el cultivo de papa (145,175,163.13 m³) y menor para la mashua (1,098,284.76 m³) y con volúmenes intermedios para la oca, olluco, haba, tarwi, quinua, kañiwa y cebada.

El valor económico del agua virtual, es mayor en el cultivo de la papa (60,247,692.70 soles) y menor para el cultivo de mashua (455,788.17 Soles), y con valores intermedios para la oca, olluco, haba, tarwi, quinua, kañiwa y cebada.

LITERATURA CITADA

- Allan, J. (2003). Virtual water eliminates water war. A case study from the Middle East. Virtual water trade. Values of water research report series N° 12. IHE. Holanda.
- Arabi, A., Alizadeh, A., Rajaei, Y., Jam, K. y Niknia, N. (2012). Agricultural Water Foot Print and Virtual Water Budget in Iran Related to the Consumption of Crop Products by Conserving Irrigation Efficiency. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(May), 318–324. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.45035>.
- Arévalo, D., Lozano, J. y Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica en Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y humanismo*, N° 7, Cataluña, España.
- Centro Nacional de Información de la calidad (CNIC). (2012). La huella hídrica. Asociación española para la calidad. Madrid, España.
- Chapagain, A. y Hoekstra, A. (2004). Water footprints of nations. Value of water research report series, N° 16, UNESCO.
- Chapagain, A., Hoekstra, A. y Savenije, H. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. *Journal Interactive of Hydrology and earth System Sciences*, Berlin. 14 p.
- Chouchane, H., Hoekstra, A., Krol, M. y Mekonnen M. (2014). The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators Journal*. 52:311-319.
- De Santa Olalla, F. (2005). Agua y Agronomía. Editorial Mundi Prensa. España. 600 p.
- Falkenmark, M. (2003) Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 29 (358(1440):2037-2049.
- FAO, (2005). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio riego y drenaje N° 56. Roma, Italia. 322 p.
- Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF-Perú). (2015). Huella hídrica del Perú, sector agropecuario. Lima, Perú. 32 p.
- García, V. J. (1992). Agro meteorología. Editorial E. Martell. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú. 176 p.
- Gilmont, M., Antonelli, M., & Greco, F. (2016). Opportunity costs of virtual water: a justification for green-water based agricultural capacity growth for economic, social and environmental sustainability. *Environmental Change Institute*, 1(1), 1-14.
- González, M. (2016). Análisis comparativo de la huella hídrica en agroecosistemas de la microcuenca Alto Rio Ubaté. Universidad nacional de Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/54617/>.
- Hargreaves, H.G. (1975). “Manual de requerimiento de agua para los cultivos bajo riego y la agricultura bajo secano”. AID, de los EE.UU. de Norte América 37p.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. y Mekonnen, M. (2009). Water footprint Manual. USA. 127 p.
- Llamas, M. (2005). Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. *Revista Académica de Ciencias Exactas de Física Natural*. Madrid. España. 30 p.



- Mallma, T. (2015). Huella hídrica de los productos agrícolas de la región Junín comercializadas en la ciudad de Lima. Tesis, Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Mekonnen, M. y Hoekstra, A. (2011). The Green, blue and grey wáter footprint of crops an derived crop products. Journal Interactive of Hydrology and Earth System Sciences. Berlin. 24 p.
- Monsalve, G. (1999), Hidrología en la Ingeniera. Segunda edición Alfa Omega 879 p.
- Pengue, W. (2004). Agua virtual, agronegocios Sojero y cuestiones económicas ambientales futuras. GEPANA FADU UBA. Buenos Aires. Argentina. 43 p.
- Serruto, A. (1992). Balanço Hídrico com Base Ecológica da Vertente do Lago Titicaca (Perú - Bolíva); Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Orientador: Kokei Uehara.
- Serruto, R. (2003). Riegos y Drenajes. Curso de actualización para examen de suficiencia profesional. Facultad de Ciencias Agrarias, UNA – Puno. Perú. 69 p.
- UNEP (2011). Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Van Hofwegen, P. (2004). Virtual wáter trade. Synthesis E-Conference. World wáter Council. 4th Wolrd Water Forum.
- Vásquez, A. y Chang, L. (1992). El Riego. Tomo I. Lima. Perú. 160 p.
- Velázquez, E. (2008). El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 47 p.

