

## Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la sierra central y comercializados en Lima

### Water footprint of agricultural products produced in the central highlands and traded in Lima

Tito Mallma Capcha<sup>1</sup>  
Universidad Nacional del Centro del Perú  
hydroandes@hotmail.com

Jesús Abel Mejía Marcauczco<sup>2</sup>  
Universidad Nacional Agraria La Molina

#### RESUMEN

El objetivo ha sido determinar un modelo para obtener la huella hídrica de los principales productos agrícolas de la sierra central del Perú que son comercializados en los mercados de la ciudad de Lima, para ello se desarrolló un modelo conceptual que determine el requerimiento de agua de los cultivos que junto a los respectivos rendimientos han permitido establecer el contenido de agua virtual de cada producto agrícola expresado en l/kg; con este resultado y la cantidad de producto comercializado, se han determinado el agua virtual (AV) transferida hacia el mercado de Lima, correspondiente a los catorce productos agrícolas considerados. Se obtuvieron valores que indican que los volúmenes de agua virtual entre los productos varían por las cantidades comercializadas y están en función de la producción que a su vez depende de factores como el clima, la demanda del consumidor y de la tecnología empleada en la producción. Así, el consumo de un kg de papa en la ciudad de Lima implica la transferencia de 300,71 litros de "agua virtual" desde la región Junín, donde se produce el producto. El producto que transfiere la mayor cantidad de agua virtual es la papa con 78 069 926,37 m<sup>3</sup>, seguido de la arveja verde con 16 889 273,96 m<sup>3</sup>, y el producto que transfiere la menor cantidad es la cebolla con 10 336,59 m<sup>3</sup>, en tanto que el volumen total de agua virtual transferida es de 165 595 592,28 m<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** Agua virtual, comercialización, cultivos, mercado.

#### ABSTRACT

The objective was to determine a model to obtain the water footprint of main agricultural products from the Peru's central highlands which are sold in the Lima markets, so a conceptual model that determines the crops water requirement was developed also with the respective yields both have established the virtual water content of each agricultural product expressed in l/kg; with this result and the sold product amount, the virtual water (AV) was determined transferred to the Lima market, corresponding to fourteen agricultural products. Values which indicate that virtual water volumes between the products vary by the commercialized amounts according to the production which depends on factors such as weather, consumer demand and the technology used in production were obtained. Thus, consumption of a potato kg in Lima involves the transfer of 300,71 liters of "virtual water" from the Junin region where the product is produced. The product which transfer as much virtual water is the potato with 78 069 926,37 m<sup>3</sup>, followed by green peas with 16 889 273,96 m<sup>3</sup>, and the product which transfer as little virtual water is the onion with 10 336,59 m<sup>3</sup>, whereas the total volume of transferred virtual water is 165 595 592,28 m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Virtual water, commercialization, crops, market.

#### Historial del artículo:

Recibido: 30 de marzo de 2015. Aprobado: 02 de mayo 2015. Disponible en línea: 30 de junio de 2015

<sup>1</sup> Ingeniero agrícola y civil, M. Sc. en Ingeniería Agrícola, docente de la Universidad Nacional de Centro del Perú.

<sup>2</sup> Ingeniero agrícola, doctor en Ingeniería Hidráulica, docente de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

## INTRODUCCIÓN

El problema central de esta investigación se ha basado en la escasez del agua que por el cambio climático y la ubicación geográfica afecta a la agricultura de determinadas zonas del país como Lima y que para enfrentar la baja producción agrícola y satisfacer las necesidades alimenticias de su población, tiene que abastecerse con productos de la sierra central del país.

El objetivo fue desarrollar un modelo conceptual para determinar la huella hídrica de los principales productos agrícolas procedentes de la sierra central del país que son comercializados en los mercados de la ciudad de Lima.

El trabajo se justifica porque la sierra central caracterizada por su buen clima, de especial presencia de lluvias desde noviembre hasta abril, produce una amplia diversidad y enorme cantidad de productos agrícolas que abastecen en gran medida el mercado limeño.

La huella hídrica es definida como el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios consumidos por un individuo o comunidad (1), y se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores (por ejemplo, individuos, familias, pueblos, ciudades, provincias, naciones) o productores agrícolas para conocer cuánto de agua se requiere para producir un determinado producto (2).

La huella hídrica permite a los productores conocer y comprender la huella que dejan sobre el uso del agua, es decir saber cuánta agua utilizan y consumen en el transcurso de todo el ciclo de vida de los cultivos y de este modo conocer si el recurso hídrico es aprovechada eficientemente y cuál es el impacto que causa al medioambiente.

Según Hoekstra et al (3), creador del concepto de la huella hídrica y director científico de la Red de la Huella Hídrica, el interés por este concepto se origina en el reconocimiento de que los impactos humanos en los sistemas hídricos pueden estar relacionados, en última instancia, al consumo humano, y que temas como la escasez o contaminación del agua pueden ser mejor entendidos y gestionados considerando la producción y cadenas de distribución en su totalidad.

Los problemas hídricos están íntimamente relacionados con la estructura de la economía ya que la ciudad de Lima ha externalizado significativamente su huella hídrica al obtener para su consumo productos agrícolas de otras regiones donde requieren un alto contenido de agua para la producción. Este hecho genera una importante presión en los recursos hídricos en las regiones comercializadoras, donde muy a menudo existe una carencia de mecanismos para una buena

gobernanza y conservación de los recursos hídricos.

Regiones como la costa peruana que cuentan con escaso recurso hídrico, pueden adquirir el agua virtual y de esta manera contar con una seguridad alimentaria, de este modo pueden destinar sus limitados recursos hídricos a fines más lucrativos como el abastecimiento urbano o la producción de cultivos de alto valor (4). Es evidente que el comercio del agua virtual genera un importante ahorro de agua en las regiones que adquieren el producto y un posible deterioro en los que ofrecen, ya que hacen un uso intensivo o a nivel de sobreexplotación (5). Y es que la huella hídrica es un indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El ámbito de estudio para determinar la huella hídrica comprende la sierra central del país (Junín), de donde proceden los principales productos agrícolas comercializados en los mercados de la ciudad de Lima.

Para el desarrollo del trabajo, entre los materiales fueron empleados estudios previos y datos como los estudios realizados sobre coeficientes de cultivo para la sierra central del Perú (6); los costos de comercialización de productos agrícolas de esta zona en el mercado mayorista de Lima; la cédula de cultivo de los principales productos agrícolas; y los rendimientos de producción de los principales cultivos.

El procedimiento del estudio fue el siguiente:

- Se formuló el modelo conceptual sobre la base de la metodología desarrollada y planteada por Hoekstra y Chapagain (3), al cual se le incorporó una serie de aportaciones con el fin de adaptarlo de la mejor manera posible al modelo de agricultura y lograr una mejor precisión en los resultados (Rodríguez et al.) (7).
- En el estudio se ha determinado el contenido de agua virtual de 14 productos agrícolas de primera necesidad para la población y que tienen una importancia significativa dentro del comercio nacional. El período elegido para el estudio abarcó los últimos 10 años, del 2004 al 2013.
- El requerimiento de agua del cultivo viene a ser la cantidad que fisiológicamente necesita la planta para vivir y es igual a su consumo de agua por evapotranspiración. Esta agua procede, en parte, de la precipitación absorbida por el suelo y, cuando este es insuficiente, habrá el aporte extra en forma de riego. La cantidad de agua disponible en el suelo, así como la evapotranspiración,

dependen de diferentes factores climáticos, edáficos y fisiológico (8).

- Determinación de la evapotranspiración real de los cultivos con información de la evapotranspiración potencial de referencia obtenida con el lisímetro y coeficientes de cultivos en función del período vegetativo. La evapotranspiración real representa el requerimiento de agua por los cultivos, durante todo su período vegetativo.
- Con la información de superficie cultivada, los rendimientos de los cultivos y su comercialización fue determinado el agua virtual comercializada o huella hídrica agrícola.
- Los resultados fueron obtenidos en l/kg de cada producto agrícola, y considerando el producto comercializado por año en promedio se obtuvo el total de agua virtual por producto expresado en m<sup>3</sup>.

La figura N° 1 muestra el modelo conceptual de la huella hídrica empleado en el estudio.

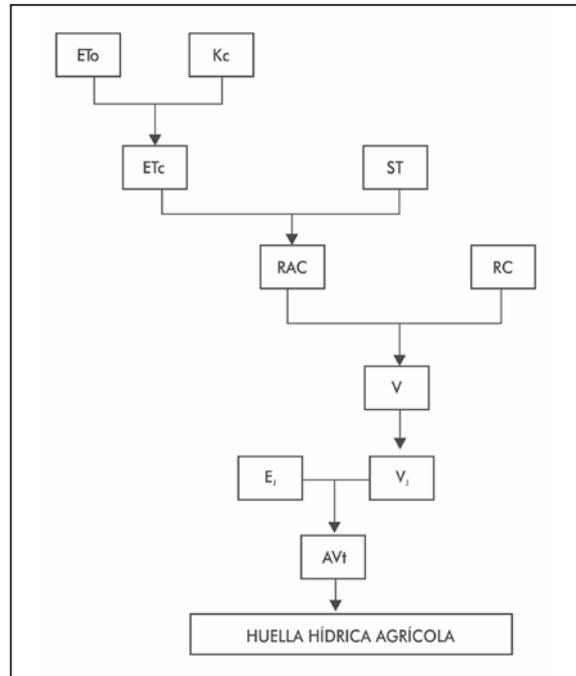


Figura N° 1: Esquema del procedimiento de obtención de la huella hídrica.

## RESULTADOS

En el estudio fueron considerados catorce cultivos de la sierra central del país que son comercializados en el mercado de Lima, y sobre la base de estos cultivos: papa, maíz grano, choclo, trigo, quinua, zanahoria, haba, arveja, cebolla, ajo, alcachofa, cebada y olluco, figura N° 2.

- ETo : Evapotranspiración de referencia
- Kc : Coeficiente de cultivo
- ETc : Evapotranspiración del cultivo
- ST : Superficie de terreno
- RAC : Requerimientos de agua del cultivo
- RC : Rendimiento del cultivo
- V : Contenido en agua virtual
- E<sub>j</sub> : Comercializaciones del producto j
- V<sub>j</sub> : Contenido en agua virtual del producto j
- AVt : Agua virtual transferida en productos agrícolas

Tabla N° 1: Requerimiento de agua de los cultivos por superficie de terreno.

Cultivo	Período vegetativo (mes)	Área cultivada (ha)	ETo	Kc	ETc (mm)	RAC (m3/ha)
Papa	5	22 381,4	685,1	0,71	486,4	4 864,2
Trigo	5	6 525,9	685,1	0,82	561,8	5 617,8
Choclo	5	6 998,8	685,1	0,71	486,4	4 864,2
Maíz grano	6	8 552,4	807,6	0,73	589,6	5 895,5
Haba verde	5	2 784,3	685,1	0,71	486,4	4 864,2
Haba grano	6	2 271,8	807,6	0,67	541,1	5 410,9
Arveja verde	5	4 263,9	685,1	0,73	500,1	5 001,2
Alcachofa	12	514,5	1 702,7	0,70	1 191,9	11 918,9
Zanahoria	5	3 235,8	685,1	0,82	561,8	5 617,8
Cebolla	6	1 502,0	807,6	0,71	573,4	5 734,0
Ajo	6	265,1	807,6	0,94	759,1	7 591,4
Cebada	5	12 276,4	685,1	0,63	431,6	4 316,1
Quinua	6	1 145,2	807,6	0,94	759,1	7 591,4
Olluco	6	2 643,5	807,6	0,75	605,7	6 057,0

ETo : Evapotranspiración de referencia  
Kc : Coeficiente de cultivo

ETc : Evapotranspiración del cultivo  
RAC: Requerimiento de agua del cultivo

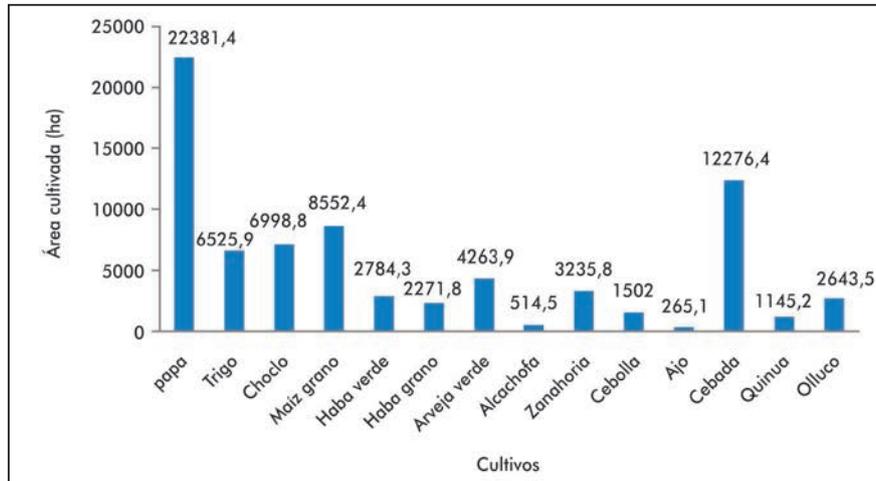


Figura N° 2: Área de cultivo de los diferentes productos considerados en el estudio.

Tabla N° 2: Agua virtual transferida en productos agrícolas desde la sierra central del país (Junín) hacia el mercado de la ciudad de Lima por año.

Cultivo	RC (kg/ha)	V = V <sub>j</sub> (l/kg)	E <sub>j</sub> (kg)	AVt (m3)
Papa	16 175,64	300,71	259 616 880	78 069 926,37
Trigo	1 822,48	3 082,51	298 030	918 681,63
Choclo	11 218,88	433,57	36 922 670	16 008 694,33
Maíz grano	1 740,55	3 387,14	7 185 810	24 339 317,54
Haba verde	6 766,32	718,89	5 155 430	3 706 164,38
Haba grano	1 740,55	3 108,74	373 340	1 160 617,55
Arveja verde	6 365,35	785,70	21 495 940	16 889 273,96
Alcachofa	17 083,35	697,69	5 482 640	3 825 188,73
Zanahoria	21 631,41	259,71	35 619 000	9 250 489,48
Cebolla	18 954,93	302,50	34 170	10 336,59
Ajo	7 759,33	978,36	1 103 720	1 079 838,61
Cebada	1 753,38	2 461,61	3 539 720	8 713 394,52
Quinua	1 334,19	5 689,92	16 390	93 257,86
Olluco	6 573,01	921,50	1 660 790	1 530 410,73
TOTAL				165 595 592,28

RC: Rendimiento del cultivo

V<sub>j</sub> : Contenido de agua virtual del producto j

V : Contenido en agua virtual

AVt: Agua virtual transferida en productos agrícolas

E<sub>j</sub> : Comercialización del producto j (data del Ministerio de Agricultura y Riego)

La tabla N° 1 muestra la información sobre el período vegetativo de los cultivos, la superficie cultivada, el requerimiento de agua de los catorce cultivos y los rendimientos respectivos por hectárea cultivada, y de acuerdo con esta información se puede mencionar que el cultivo de la papa abarca la mayor superficie sembrada con 22 381,40 ha y un período vegetativo de 5 meses, mientras que el ajo tiene la menor superficie cultivada con 265,10 ha y 6 meses de período vegetativo. Cabe mencionar que la alcachofa es un cultivo anual (12 meses) y abarca una superficie de siembra de 514,50 ha.

Los resultados obtenidos en la tabla N° 1 también

indican que el requerimiento de agua varía de acuerdo con el tipo de cultivo. Así, por ejemplo, la cebada requiere 4 316,13 m<sup>3</sup> de agua para producir en promedio 1 753,39 kg/ha, en tanto que la alcachofa requiere de 11 918,90 m<sup>3</sup> de agua para producir 17 083,35 kg/ha.

### Contenido de agua virtual

En la tabla N° 2 se observan, para los catorce cultivos, el contenido de agua virtual y el volumen de estos productos que se comercializan, en función del rendimiento de los cultivos por superficie de terreno cultivado. Según esta tabla, el contenido de agua virtual

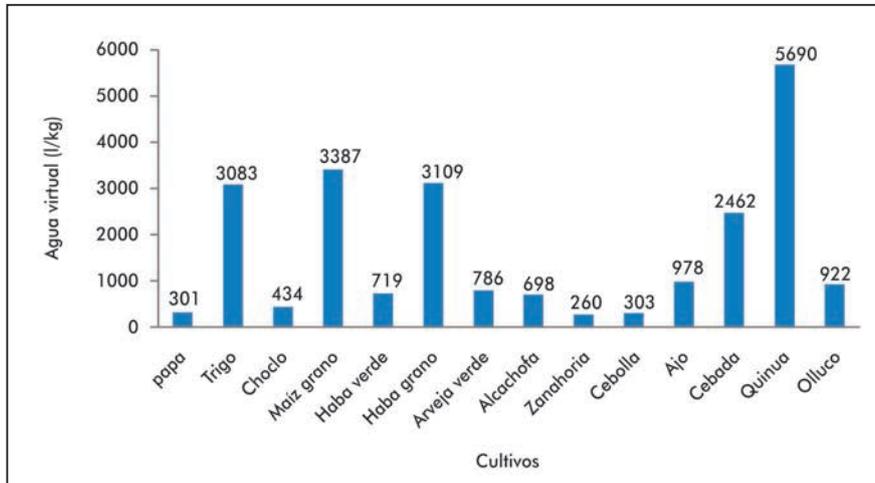


Figura N° 3: Volumen de agua virtual requerido para producir un kilo de producto.

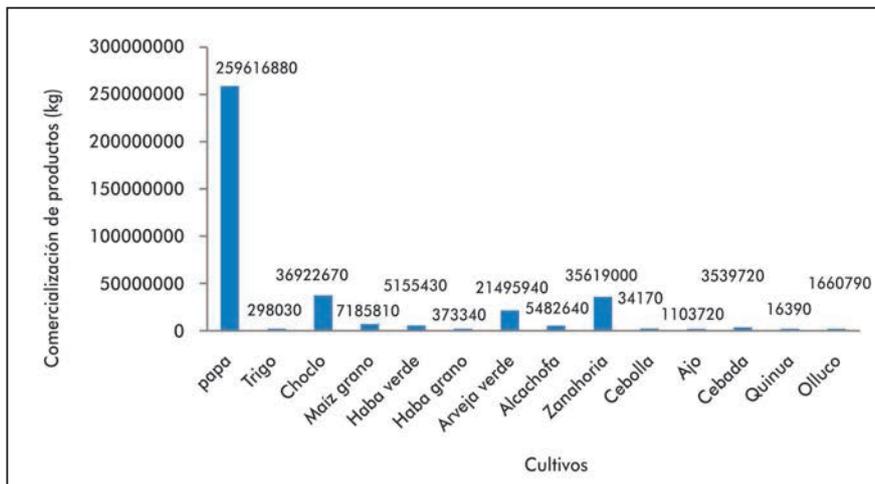


Figura N° 4: Comercialización de productos de Junín en el mercado de Lima.  
Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego.

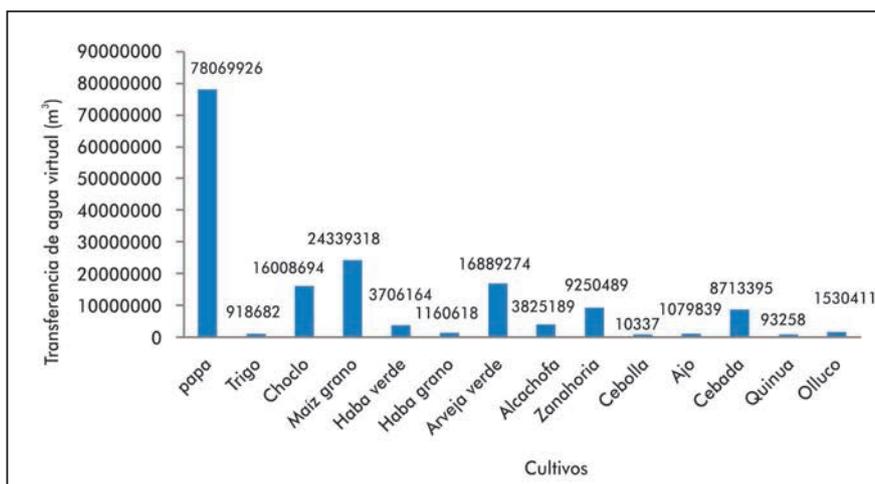


Figura N° 5: Volumen de agua virtual transferida en productos agrícolas desde la sierra central del país (Junín) hacia el mercado de Lima.  
Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego.

más alto corresponde a la quinua con 5 689,92 litros de agua por kg, mientras que el más bajo pertenece a la zanahoria con 259,71 litros de agua por kg.

La figura 3 muestra de manera general el volumen de agua virtual requerido para producir un kilo de cada uno de los catorce productos que son cultivados en la sierra central y comercializados en los mercados limeños.

## Comercialización del producto

El producto agrícola más comercializado es la papa con 259 616 880 kilogramos, seguido por el choclo con 36 922 670 kilogramos, y el menos comercializado es la cebolla con 34 170 kg, valores anuales según información del Ministerio de Agricultura y Riego (figura N° 4).

La estimación de los volúmenes de agua virtual que ingresan al mercado de Lima es el resultado de la comercialización de los diferentes productos agrícolas registrados por el Ministerio de Agricultura y Riego (figura N° 5).

## DISCUSIÓN

Para estimar los valores de la evapotranspiración en referencia se han considerado registros meteorológicos de una altitud media de la zona de producción de los cultivos, que en este caso es el representativo, ya que el piso altitudinal para el desarrollo de dichos cultivos varían, los datos de la evapotranspiración de referencia fueron tomados directamente por el método del lisímetro, dichos parámetros son empleados para el presente cálculo como lo mencionan Zhuo et al. (9).

La papa es el producto comercializado con mayor cantidad de agua virtual, que llega a 78 069 926,37 m<sup>3</sup>, seguido de la arveja verde con 16 889 273,96 m<sup>3</sup>, en tanto que el de menor cantidad es la cebolla con 10 336,59 m<sup>3</sup>.

El requerimiento de agua de los cultivos, por campaña agrícola, está en función del período vegetativo y la evapotranspiración, exigencia que resulta más alta para el cultivo de la alcachofa y más baja para el cultivo de cebada. La quinua es uno de los cultivos que genera mayor cantidad de agua virtual por kilogramo de producto, a pesar de su bajo rendimiento; sin embargo, en contraste, hay cultivos que tienen un alto rendimiento por hectárea con un contenido de agua virtual menor como en el caso de la zanahoria.

De los resultados se puede analizar que para producir 1 kg de papa en las condiciones de la sierra central se requiere 300,71 litros de agua, lo que significa que se ha transferido a través de su comercialización esta

cantidad de agua virtual, que no sería posible producir en condiciones de la costa por la escasez del recurso hídrico.

El contenido de un mayor volumen de agua virtual se presenta en los cultivos como cereales y legumbres, corroborado por Aldaya et al (10).

La estimación de los volúmenes de agua virtual que ingresan al mercado de Lima es el resultado de la comercialización de los diferentes productos agrícolas registrados por el Ministerio de Agricultura y Riego.

El presente procedimiento servirá para determinar de una manera práctica y consistente el agua virtual para otros cultivos y para diferentes regiones, pero para ello se requiere contar con datos de coeficiente de cultivo y la evapotranspiración de referencia; si se necesita obtener la cantidad de agua virtual comercializado entre dos regiones como dato adicional, se requiere el volumen del producto agrícola en referencia.

En las próximas décadas, la demanda de agua dulce aumentará como lo mencionan Mekonnen y Hoekstra (11), por lo que se deberá prever dicho déficit con la producción de cultivos en regiones donde el agua es abundante, siempre que exista una buena gestión y planificación del recurso.

El volumen de agua virtual obtenido en el presente trabajo para el cultivo de la papa es 300,71 l/kg, mientras que en el estudio realizado por Mekonnen y Hoekstra (11) es 224 l/kg, variación que se debe a las diferencias climatológicas entre las dos realidades, a la tecnología empleada en las labores de cultivo, a la variedad del producto, entre otros factores. Para hacer la comparación y validar los resultados de los otros cultivos no se cuentan con estudios al respecto, sin embargo se puede afirmar que los resultados son consistentes ya que se ha comprobado con el caso del cultivo de la papa.

En conclusión, con el modelo conceptual propuesto se ha determinado el volumen de agua virtual que es transferido desde la sierra central del país (Junín) hacia la ciudad de Lima, en productos agrícolas como la papa, maíz grano, arveja verde, choclo y otros en menor proporción, que a su vez implica el consumo de agua virtual en cantidades considerables, como puede verse en la tabla N° 2. El cultivo de papa abarcó la mayor área cultivada por año con 22 381,40 ha y el cultivo del ajo la menor área cultivada con 265,10 ha.

El cultivo de la cebada, cultivo en seco, requiere 4 316,13 m<sup>3</sup> de agua para producir en promedio 1 753,39 kg de este producto por ha, mientras que la alcachofa requiere de 11 918,90 m<sup>3</sup> de agua para producir 17 083,35 kg/ha. El contenido de agua virtual más alto fue a la quinua con 5 689,90 litros

de agua por kg y el más bajo a la zanahoria con un 259,70 litros de agua por kg.

El producto agrícola de mayor comercialización es la papa con 259 616 880 kg, sigue el choclo con 36 922 670 kg, y la más baja es la cebolla con 34 170 kg. El producto que transfirió la mayor cantidad de agua virtual es la papa con 78 069 926,37 m<sup>3</sup>, seguido de la arveja verde con 16 889 273,96 m<sup>3</sup>, y el producto que menos transfirió agua virtual es la cebolla con 10 336,59 m<sup>3</sup>.

En total se transfirió desde la sierra central del país hacia la ciudad de Lima para su consumo a través de la comercialización de los catorce productos agrícolas un volumen de 165 595 592,28 m<sup>3</sup> de agua virtual; lo que significa que si los productos agrícolas del centro del país (región Junín) no se comercializan en la ciudad de Lima, se requiere este volumen de agua virtual para producir los productos en áreas agrícola de Lima con el agravante de mayores costos de producción, uso de extensas áreas agrícolas, entre otros.

La metodología empleada en el presente trabajo se puede aplicar en la estimación de agua virtual agrícola en los diferentes valles y regiones productivos del Perú.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Grajales QA, Jaramillo RA, Cruz CG. Los nuevos conceptos sobre agua virtual y huella hídrica aplicados al desarrollo sostenible, implicaciones de la agricultura en el consumo hídrico. *Revista Universidad de Caldas*. 2010; 16(1): 7-26
2. Centro de las nuevas tecnologías del agua. Material didáctico sobre la huella hídrica. Andalucía: Fundación CENTA; 2012.
3. Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. The water footprint assessment manual. Washington, DC: Water Footprint Network; 2011. Disponible en: [http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf)
4. Llamas R. Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 2005; 99(2): 369-390.
5. Eco Portal.Net [Internet]. Buenos Aires: Pengué WA; 27 de noviembre de 2006 [Citado el 17 de noviembre de 2014]. "Agua virtual", agronegocios sojero y cuestiones económico ambientales futuras [1 pantalla]. Disponible en: [http://www.ecoport.net/Temas\\_Especiales/Agua/Agua\\_virtual\\_agronegocio\\_sojero\\_y\\_cuestiones\\_economico\\_ambientales\\_futuras](http://www.ecoport.net/Temas_Especiales/Agua/Agua_virtual_agronegocio_sojero_y_cuestiones_economico_ambientales_futuras)
6. Garay CO. Manual de uso consuntivo del agua

para los principales cultivos de los Andes centrales peruanos. Huancayo: INIA; 2010.

7. Rodríguez R, Garrido A, Llamas MR, Varela-Ortega C. La huella hidrológica en la agricultura española. Madrid: Fundación Marcelino Botín; 2008.
8. Velásquez E. El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 2008; 8: 29-47.
9. Zhuo L, Mekonnen M, Hoekstra Y. Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting: a case study for the Yellow River basin. *Journal Interactive of Hydrology and Earth System Sciences*. 2014; 18(6): 2219-2234.
10. Aldaya M, Allan A, Hoekstra Y. Strategic importance of green water in international crop trade. *Journal of the International Society for Ecological Economics*. 2010; 69(4): 887-894.
11. Mekonnen M, Hoekstra Y. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Journal of the Ecological Indicators*. 2014; 46: 214-223.