

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS



**“HUELLA HÍDRICA DE LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS
DE LA REGIÓN JUNÍN COMERCIALIZADAS EN LA
CIUDAD DE LIMA”**

Presentada por:

TITO MALLMA CAPCHA

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE

DOCTORIS PHILOSOPHIAE

Lima – Perú

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN RECURSOS HÍDRICOS

**“HUELLA HÍDRICA DE LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN
JUNÍN COMERCIALIZADAS EN LA CIUDAD DE LIMA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTORIS PHILOSOPHIAE**

**Presentada por:
TITO MALLMA CAPCHA**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

**Ph.D. Eusebio Ingol Blanco
PRESIDENTE**

**Dr. Jesús Abel Mejía Marcacuzco
PATROCINADOR**

**Dr. Néstor Montalvo Archiñigo
MIEMBRO**

**Ph.D. Eduardo Chavarri Velarde
MIEMBRO**

**Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo
MIEMBRO EXTERNO**

DEDICATORIA

Con mucho cariño dedico esta Tesis, a mi esposa Beatriz, a mis hijas Gabriela, Sandra y Bríyeda, quienes son mis grandes tesoros y la fuente de mi inspiración.

AGRADECIMIENTO

Se le agradece al Dr. Jesús Abel Mejía Marcacuzco por brindarme su apoyo en la conducción de la presente Tesis.

Así mismo también agradezco al Dr. Néstor Montalvo Arquiñigo, al Ph.D. Eusebio Ingol Blanco y al Ph.D. Eduardo Chavarri Velarde, por apoyarme con sus sugerencias durante la revisión de dicho trabajo.

También agradezco al personal administrativo de la oficina del Doctorado de Recursos Hídricos por brindarme las facilidades para la sustentación de la Tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Hipótesis Planteada	4
1.4 Justificación.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1 Materiales.....	37
3.2 Metodología para determinar la Huella Hídrica en la Agricultura.....	37
3.3 Procedimiento para determinar la Huella Hídrica en la Agricultura.....	59
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1 Evapotranspiración de referencia.....	63
4.2 Coeficiente de cultivo	69
4.3 Evapotranspiración del cultivo	70
4.4 Superficie de terreno.....	71
4.5 Requerimiento de agua del cultivo	71
4.6 Rendimiento del cultivo	71
4.7 Contenido de agua virtual	72
4.8 Comercialización del producto.....	72
4.9 Contenido de agua virtual del producto	73
4.10 Agua virtual transferida en productos agrícolas.....	73
4.11 Aplicación del modelo	74

4.12 Volumen de agua virtual total, comercializada y sobrante.....	80
4.13 Valor económico del agua de los cultivos comercializados en el mercado de Lima.....	82
4.15 Discusión.....	85
V. CONCLUSIONES.....	88
VI. RECOMENDACIONES.....	90
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
VIII. ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO 1. Población y nivel de desnutrición en Lima Metropolitana.....	36
CUADRO 2. Coeficientes de uso consuntivo (Kc) de los principales cultivos de la Sierra de la región Junín.....	39
CUADRO 3. Valores de Kc por etapa de crecimiento de la alcachofa.....	39
CUADRO 4. Valores de Kc por etapa de crecimiento del olluco.....	39
CUADRO 5. Valores de Kc por etapa de crecimiento de la quinua.....	39
CUADRO 6. Valores de Kc de diferentes cultivos.....	40
CUADRO 7. Etapas de crecimiento de los cultivos.....	40
CUADRO 8. Rendimiento del cultivo de la papa.....	43
CUADRO 9. Rendimiento del cultivo del trigo.....	44
CUADRO 10. Rendimiento del cultivo del maíz choclo.....	45
CUADRO 11. Rendimiento del cultivo del maíz grano.....	46
CUADRO 12. Rendimiento del cultivo del haba verde.....	47
CUADRO 13. Rendimiento del cultivo del haba grano.....	48
CUADRO 14. Rendimiento del cultivo de la arveja verde.....	48
CUADRO 15. Rendimiento del cultivo de la alcachofa.....	49
CUADRO 16. Rendimiento del cultivo de la zanahoria.....	50
CUADRO 17. Rendimiento del cultivo de la cebolla.....	51
CUADRO 18. Rendimiento del cultivo del ajo.....	52
CUADRO 19. Rendimiento del cultivo de la cebada.....	53
CUADRO 20. Rendimiento del cultivo de la quinua.....	54
CUADRO 21. Rendimiento del cultivo del olluco.....	55
CUADRO 22. Comercialización de productos agrícolas de la Sierra de la región Junín al mercado de Lima.....	56
CUADRO 23. Evapotranspiración de Referencia media por el método del lisímetro.....	64
CUADRO 24. Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la papa.....	64

CUADRO 25.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del trigo.....	65
CUADRO 26.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del maíz choclo.....	65
CUADRO 27.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del maíz grano.....	65
CUADRO 28.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del haba verde.....	66
CUADRO 29.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del haba grano.....	66
CUADRO 30.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la arveja verde.....	66
CUADRO 31.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la alcachofa.....	67
CUADRO 32.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la zanahoria.....	67
CUADRO 33.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la cebolla.....	68
CUADRO 34.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del ajo.....	68
CUADRO 35.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la cebada.....	68
CUADRO 36.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la quinua.....	69
CUADRO 37.	Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del olluco.....	69
CUADRO 38.	Valores de Kc promedio de los principales cultivos.....	70
CUADRO 39.	Valores de Kc promedio de los principales cultivos.....	70
CUADRO 40.	Valores de Kc promedio de los principales cultivos.....	70
CUADRO 41.	Evapotranspiración de referencia promedio ocurrido en la Sierra de la región Junín para el periodo vegetativo de la papa.....	74
CUADRO 42.	Requerimiento de agua de los cultivos por superficie de terreno.....	76

CUADRO 43. Agua Virtual transferida en productos agrícolas desde la Sierra de la región Junín hacia el mercado de la ciudad de Lima.....	78
CUADRO 44. Volumen de agua virtual total, comercializada y sobrante.....	81
CUADRO 45. Precios de los productos agrícolas por kilo en el mercado de Lima.....	83
CUADRO 46. Valor económico del agua de los cultivos de la región Junín comercializadas en el mercado de Lima.....	84
CUADRO 47. Comparación de resultados del presente estudio con otras investigaciones.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Esquema del procedimiento de obtención de la huella hídrica.....	62
FIGURA 2. Área de cultivo de los productos considerados en el estudio.....	77
FIGURA 3. Volumen de agua virtual requerido para producir un kilo de producto en la Sierra de la región Junín.....	79
FIGURA 4. Flujo de la huella hídrica de productos comercializadas de la Sierra de la región Junín al mercado mayorista de Lima.....	79
FIGURA 5. Distribución porcentual de la huella hídrica total de los productos agrícolas comercializadas en el mercado de la ciudad de Lima.....	80
FIGURA 6. Volumen de agua virtual total, comercializada y sobrante.....	81
FIGURA 7. Valor económico del agua procedente de la región Junín al mercado de Lima.....	84
FIGURA 8. Huella hídrica total de productos agrícolas transferidos desde la Región Junín al Mercado de Lima.....	96
FIGURA 9. Huella hídrica de la papa transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	96
FIGURA 10. Huella hídrica del trigo transferido desde la región Junín al mercado de Lima.....	97
FIGURA 11. Huella hídrica del choclo transferido desde la región Junín al mercado de Lima.....	97
FIGURA 12. Huella hídrica del maíz grano transferido desde la región Junín al mercado de Lima.....	98
FIGURA 13. Huella hídrica del haba verde transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	98
FIGURA 14. Huella hídrica del haba grano transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	99
FIGURA 15. Huella hídrica de la arveja verde transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	99
FIGURA 16. Huella hídrica Agua de la alcachofa transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	100

FIGURA 17. Huella hídrica de la zanahoria transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	100
FIGURA 18. Huella hídrica de la cebolla transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	101
FIGURA 19. Huella hídrica del ajo transferido desde la región Junín al mercado de Lima.....	101
FIGURA 20. Huella hídrica de la cebada transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	102
FIGURA 21. Huella hídrica de la quinua transferida desde la región Junín al mercado de Lima.....	102
FIGURA 22. Huella hídrica del olluco transferido desde la región Junín al mercado de Lima.....	103

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Huella hídrica transferida total y por productos.....	96
Anexo 2. Programa del modelo conceptual de la huella hídrica en Matlab.....	104

RESUMEN

Esta investigación proporciona un procedimiento para determinar la huella hídrica de los principales productos agrícolas que se comercializan desde la región Junín al mercado de la ciudad de Lima. Para tal fin, se desarrolló un modelo conceptual que inicia con datos meteorológicos de la zona, en base a estos datos se estimó la evapotranspiración de referencia (ET_o), eligiéndose luego los cultivos a los cuales se asignaron los valores del coeficiente de cultivo (K_c) según estudios realizados en dicha zona. Con ello, se ha determinado la evapotranspiración del cultivo (ET_c), que conjuntamente con la superficie del terreno (por unidad de hectárea), sirvió para estimar el requerimiento de agua del cultivo (RAC). Con este resultado y el rendimiento de cada cultivo (RC) se ha determinado el contenido de agua virtual (V) de cada producto agrícola, el cual es expresado en litros de agua virtual por kilo del producto. Con éste valor y la cantidad de producto comercializado (E_j) se estimó el agua virtual que es transferida (AV_t) hacia el mercado de la ciudad de Lima. Los valores de agua virtual de los productos agrícolas como la papa, trigo, choclo, maíz grano, haba verde, haba grano, arveja verde, alcachofa, zanahoria, cebolla, ajo, cebada, quinua y olluco, fluctúan entre 0,008 a 75,52 Hm³, siendo la huella hídrica total de 161,28 Hm³/año para los 14 cultivos estudiados.

Los valores de agua virtual de cada uno de los productos varían, entre un año y otro, en sus cantidades comercializadas; y depende de la producción en la región Junín, la que a su vez está condicionada, esencialmente, a factores como el clima, la demanda del consumidor y la tecnología empleada en los sistemas de producción. Adicionalmente, los resultados indican que los volúmenes de agua virtual entre productos varían por las cantidades comercializadas. Así por ejemplo, el consumo de un kilo de papa en la ciudad de Lima implica la transferencia de 290,92 litros de “agua virtual” desde la región de Junín, donde se produce este producto.

Palabras claves: agua virtual, huella hídrica, comercialización, cultivo.

ABSTRACT

This research provides a method for determining the water footprint of the main agricultural products sold from the Junín region to market of the Lima city. To this end, a conceptual model that starts with meteorological data in the area was developed, based on these data the reference evapotranspiration (ET_o) was estimated, after being selected crops to which the crop coefficient values were assigned (K_c) according to studies in this area. This has allowed to determine crop evapotranspiration (ET_c), which together with the soil surface (per unit of hectare) were used to estimate crop water requirements (RAC). With this result and the crop production (RC) has determined the virtual water content (V) of each agricultural product which is expressed in liters of virtual water per kilogram of product. With this value and the amount of product sold (E_j) the virtual water that is transferred (AV_t) to the market Lima was estimated. Virtual water values for agricultural products such as potatoes, wheat, corn, grain corn, green bean, beans, green peas, artichokes, carrots, onion, garlic, barley, quinoa, and root vegetables, ranging from 0,008 to 75,52 Hm^3 , with a total water footprint of 161,28 Hm^3 / year for the 14 crops studied.

Virtual water values of each product vary, from one year to another, in their amounts marketed; and it depends on production in the Junín region, which in turn is conditioned essentially to several factors such as climate, consumer demand and the technology used in production systems. Additionally, the results show that the volumes of virtual water between products vary by the quantities marketed. For example, the consumption of a kilogram of potatoes in Lima involves the transfer of 290,92 liters of "virtual water" from the region of Junín, where the product is produced.

Key words: virtual water, water footprint, market, crop.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se origina porque la ciudad de Lima carece de agua en forma suficiente, razón por la cual este dificulta la producción agrícola, por lo que se obtienen los productos agrícolas desde la Sierra de la Región Junín, por tanto es necesario conocer la huella hídrica de estos productos.

La huella hídrica, se define como el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos o consumidos por un individuo o comunidad. El uso de agua se mide en volumen de agua consumida, evaporada o contaminada, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad de volumen para productores. La huella de agua 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 requieren para producir. La huella de agua es un indicador geográfico explícito, que no solo muestra volúmenes de uso y contaminación de agua, sino también las ubicaciones. Sin embargo, la huella de agua no proporciona información sobre cómo el agua consumida afecta positiva o negativamente a los recursos locales de agua, los ecosistemas y los medios de subsistencia.

La Huella Hídrica, es un término que va tomando cada vez más relevancia y haciéndose conocido a nivel global. Consiste en que los productores conozcan y comprendan la huella que dejan sobre el uso del agua, es decir su “huella hídrica”. Este término técnico implica que los empresarios sepan cuánta agua utilizan, consumen y contaminan a lo largo de todo el ciclo de vida de sus productos. De esta manera, podrán saber con más facilidad donde se está desperdiciando el recurso hídrico y qué impacto se está causando en el medio ambiente. En el presente trabajo se podrá determinar que, para producir un kilogramo de algún producto agrícola cuanto de agua se utilizará. La huella

hídrica es eso, es el indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor.

El interés por la huella hídrica 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 Hoekstra *et al.* (2009), creador del concepto de la huella hídrica y director científico de la “Red de la Huella Hídrica”. Los problemas hídricos están a menudo íntimamente relacionados con la estructura de la economía, ya que la ciudad de Lima ha externalizado significativamente su huella hídrica al obtener productos agrícolas para su consumo de otras regiones donde requieren un alto contenido de agua para su 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. No solo los gobiernos sino que también los consumidores, comercios y la sociedad en general pueden jugar un papel importante para alcanzar una mejor gestión de los recursos hídricos.

El aporte del presente trabajo se basa en la determinación de la huella hídrica de los 14 productos agrícolas de la región Junín que mayormente son comercializadas hacia la ciudad de Lima, para ello se ha planteado un modelo conceptual con el cual se puede cuantificar la transferencia de volúmenes de agua virtual de una región a otra.

Así mismo, el presente trabajo servirá para orientar a los tomadores de decisiones en el desarrollo de políticas de planificación de los recursos hídricos en la región Junín.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por su ubicación geográfica y por el aspecto climático la costa peruana y de manera en especial la ciudad de Lima no cuenta con el recurso agua suficiente tanto para el consumo humano, como para la producción de los cultivos, ya que la escasez de agua es la principal amenaza ambiental para el futuro, siendo la

ciudad de Lima el lugar donde hay una mayor concentración de la población en comparación con la Sierra y este irá en aumento si no se hace una buena planificación de políticas de Estado. De continuar con la migración poblacional hacia la ciudad de Lima la población va en aumento y la necesidad de agua será aún mayor así como también se requerirá de una mayor cantidad de alimentos agrícolas, siendo la región Junín la principal abastecedora de dichos productos como la papa, maíz grano, choclo, trigo, quinua, zanahoria, haba, arveja, cebolla, ajo, alcachofa, cebada, quinua, olluco entre otros en menor cantidad, por otro lado los agricultores de la Sierra peruana, para producir dichos cultivos emplean el agua sin ninguna técnica en cuanto al volumen óptimo para producir cada uno de estos cultivos y la falta de un manejo adecuado para cada sistema de riego llegando a emplear una cantidad excesiva de agua para producir un kilo de dichos productos, por lo que es indispensable conocer la huella hídrica tanto para su producción como para saber cuánto de agua se está trasladando hacia la ciudad de Lima.

La ciudad de Lima, es abastecida en cuanto a recursos hídricos por tres cuencas siendo ellas la cuenca del río Rímac, río Chillón y río Lurín, siendo el río Rímac la que provee más del 75 % del recurso para el uso de los habitantes de la ciudad de Lima, siendo el aporte del trasvase desde la cuenca del Mantaro un 18 % del total del río Rímac.

Por tanto las preguntas que se plantean son ¿qué cantidad de agua se requiere para producir un cierto producto agrícola?, y ¿cuánto de agua se está aportando como agua virtual a la ciudad de Lima?, a consecuencia de estas respuestas podemos afirmar que hay la necesidad de optimizar el agua en la producción con el empleo de una buena tecnología en la producción de los cultivos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la huella hídrica de los principales productos agrícolas de la región Junín que son comercializadas en el mercado de la ciudad de Lima.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un modelo conceptual para evaluar la huella hídrica en la agricultura.
- Aplicar el modelo desarrollado para determinar la huella hídrica de los cultivos.
- Determinar el volumen de agua virtual que ingresa hacia el mercado de la ciudad de Lima en productos agrícolas.
- Determinar el valor económico del agua virtual procedente de la Sierra Central del País (Junín) al mercado de Lima.

1.3 HIPÓTESIS PLANTEADA

Con el modelo planteado se puede determinar la huella hídrica de los principales productos agrícolas comercializados de la región Junín a la ciudad de Lima.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La disponibilidad de agua en la Costa peruana y de manera en especial en la ciudad de Lima se hace cada vez más escaso por el clima árido de toda la Costa, ya que la disponibilidad de agua es del 2,18 % del total para una población de 65,98 % del total, mientras que en la vertiente del Atlántico se cuenta con un 97,26 % del total de agua disponible en territorio peruano para una población del 30,76 %, (ANA 2012).

La Sierra de la región Junín produce una diversidad de cultivos y en una buena cantidad, porque dispone de un buen clima con presencia de lluvias durante los meses de Noviembre a Abril con una precipitación media anual de 690 mm., esto hace que las lagunas, ríos y manantiales se recargan constantemente por lo que la disponibilidad de agua es considerable, por tanto la agricultura se desarrolla de forma exitosa ya que se cuenta con el recurso agua necesario, esto hace que desde esta parte de la Sierra se comercializa una diversidad de productos agrícolas a la Costa peruana en especial al mercado de la ciudad de Lima y con una buena planificación inclusive se puede comercializar aún un número mayor de estos productos y como consecuencia también se están comercializando agua virtual.

El intercambio de agua virtual por medio del comercio de alimentos es un tema crucial, para tomarlo en cuenta en las discusiones futuras sobre gestión de recursos hídricos, especialmente teniendo en cuenta que en la región de la Costa la disponibilidad de agua es escaso por lo que, se requiere la adquisición de los principales productos de la mesa familiar desde la Sierra Peruana para abastecer a la población asentada en la Costa y de una manera especial en la ciudad de Lima y para conocer el volumen de agua que se comercializa en productos agrícolas es necesario conocer el volumen de agua que se requiere para producir los productos agrícolas que se comercializan al mercado de la ciudad de Lima.

El presente trabajo tiene una gran importancia, ya que con este modelo conceptual se podrá determinar la huella hídrica de los productos agrícolas que se comercializan desde la región Junín, hacia los mercados de la ciudad de Lima.

Otra de las importancias de la huella hídrica es que establece una relación directa entre los sistemas hídricos 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 de agua.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Aldaya M.M., Allan J.A. & Hoekstra A.Y. (2010), manifiesta que, el agua virtual es el volumen de agua utilizada para producir un bien o servicio. Hasta ahora, agua virtual según estudios comerciales se han centrado en su potencial contribución a ahorrar agua, especialmente en regiones con escasez de agua.

La presente investigación evalúa críticamente la importancia estratégica de agua verde (agua en el suelo procedente de las lluvias) en relación con el comercio internacional de productos básicos. Además de tener un menor costo de oportunidad, el uso de agua verde para la producción de cultivos tiene externalidades ambientales en general, menos negativos que el uso de agua azul (riego con agua extraída de los sistemas de agua subterránea o de superficie)

Arevalo D., Lozano J. & Sabogal J. (2011), manifiesta que, para el cálculo de la huella hídrica se aplicó la metodología estándar propuesta por el Water Footprint Network, en las cuales se define la Huella Hídrica de cualquier bien o servicio, como el volumen de agua utilizado directa e indirectamente para su producción, sumados los consumos de todas las etapas de la cadena productiva. La huella hídrica de un individuo, empresa o nación es definida como el volumen total de agua necesaria, directa e indirectamente, para alimentar las cadenas de producción y suministro de los bienes y servicios producidos, consumidos y/o exportados por los individuos, las empresas o los países. De esta forma la huella hídrica de un individuo no está sólo relacionada con su consumo directo de agua, sino con sus hábitos de vida.

Cardona M.C. & Congote O.B. (2013), menciona que, una visión de sustentabilidad está en medir la huella hídrica en unidades de planificación de los bienes y servicios ambientales, es decir, en el esquema de ordenamiento territorial y en la ordenación de la cuenca hidrográfica. Este artículo provoca una reflexión

sobre los modelos utilizados para realizar estas mediciones matemáticas que, aunque ajustadas a las realidades del contexto, se alejan mucho de los valores culturales, políticos y éticos a la hora de una planificación para el manejo y una inclusión social con limitantes desde las funciones ecosistémicas del capital natural del agua como recurso invaluable.

Centro Nacional de Información de la Calidad (2012), menciona que, el valor final de la huella hídrica se calcula de diversas maneras dependiendo de la metodología que se emplee, puede ser la suma de los tres tipos de agua (azul, verde o gris), o la suma de la huella hídrica directa más la huella hídrica indirecta. Dependiendo del sector de actividad o del individuo o comunidad a la que se calcule la huella hídrica se emplean distintas unidades, m^3/kg . o $m^3/año$.

La novedad que incluye la huella hídrica respecto a otras metodologías para contabilizar el agua es la medida de la misma a lo largo de la cadena de producción y la introducción del cálculo del agua gris y verde.

¿Cómo reducir la Huella Hídrica?

Entre las posibilidades para reducir la huella hídrica se encuentran las siguientes:

- a. Cambiar el modelo de consumo sustituyendo los productos con elevada huella hídrica por otros cuya huella hídrica sea menor.
- b. Seleccionar el producto con menor huella hídrica o que la huella del producto se dé en un área geográfica donde no haya escasez de agua.
- c. El reciclaje y la reutilización del agua puede ser una herramienta para la reducción de la huella hídrica gris de los usos del agua.

Algunos ejemplos

En la siguiente tabla indicamos algunos ejemplos de datos de huella hídrica de algunos productos:

Producto	Contenido de agua virtual (lt/kg)
Papa	280
Uva	608
Piña	255
Sandía	235

Razones para calcular la Huella Hídrica

El principal motivo para su cálculo es que se ha identificado que en muchos países y áreas geográficas se ha superado con creces la propia capacidad de aporte hídrico. Es decir, que se han detectado déficits a nivel de sostenibilidad en materia de la gestión del agua.

Los datos calculados hasta el momento sobre huella hídrica indican que está distribuida de manera desigual a lo largo del planeta, al igual que los recursos hídricos. Los países desarrollados suelen tener una huella hídrica mayor que los países en vías de desarrollo. El motivo es que en los primeros es mayor el consumo de productos altamente demandantes de agua en sus procesos de producción que en los segundos.

Es evidente que el cálculo de la huella hídrica nos aporta información para conocer en qué puntos de nuestra producción podemos reducir el consumo de agua, de forma que apliquemos los principios del desarrollo sostenible.

Adicionalmente, a través de este cálculo se puede llegar a relacionar el consumo diario de agua y los problemas de contaminación y distribución de agua en lugares donde se producen los bienes y, por tanto, cuantificar los efectos del consumo y comercio en el uso de los recursos hídricos.

Chapagain A.K., Hoekstra A.Y. & Savenije H.G. (2006), indica que, muchas naciones ahorran recursos hídricos por la importación de productos de alto consumo de agua y las materias primas que exportan que son menos intensivos en agua. El ahorro nacional del agua a través de la importación de un producto puede suponer el ahorro de agua en nivel global, si el flujo es de los lugares de productividad hacia los sitios con baja productividad del agua. El documento analiza las consecuencias de agua virtual flujos internacionales en lo global y presupuestos de agua nacional. La evaluación muestra que el total de cantidad de agua que se habría requerido en la importación, si todos los productos agrícolas importados se producirían en dicho país se emplearía 1605 Gm³/año, estos productos sin embargo se están produciendo con sólo 1253 Gm³/año en los países exportadores, el ahorro de los recursos mundiales de agua por 352 Gm³/año.

Chapagain A.K. & Hoekstra A.Y. (2010), manifiesta que, la huella hídrica nacional de la producción y el consumo de arroz se calcula utilizando el comercio internacional y los datos de producción nacionales. La presencia global de agua de arroz la producción es de 784 km³/año con un promedio de 1325 m³/tn, que es 48% de verde, 44% de azul, y el 8% de gris. Ahí está también 1025 m³/tn de percolación en la producción de arroz. La proporción de verde a azul del agua varía mucho en el tiempo y espacio.

Chouchane H., Hoekstra A.Y., Krol M.S. & Mekonnen M.M. (2014), manifiesta que, el trabajo cuantifica y analiza la huella hídrica de Túnez a nivel nacional y sub nacional, evalúan las huellas hídricas verdes, azules y grises para el período 1996-2005. A nivel nacional, los tomates y las papas fueron los principales cultivos con relativamente alta productividad del agua, mientras que las aceitunas y la cebada fueron los principales cultivos con términos de productividad. Las naranjas tuvieron la mayor productividad y la cebada el más bajo. Al sur de Túnez tenía las productividades de agua y tierra más bajas. La huella hídrica azul total de la producción agrícola representa el 31% de los recursos hídricos renovables, lo que significa que en Túnez en su conjunto hay escasez de agua significativa. La huella hídrica azul del agua representa el 62% del total de los recursos de agua subterránea renovables, lo que significa que el país enfrenta escasez de agua severa relacionada a las aguas subterráneas.

A continuación se presentan la huella hídrica de algunos cultivos.

Cultivo	HH (m³/tn)	HH promedio global (m³/tn)
Cebada	3820	1420
Trigo	2560	1830
Zanahoria	820	200
Papa	260	290

Ercin E.A. & Hoekstra A.Y. (2014), menciona que, el estudio muestra cómo los diferentes conductores cambiarán el nivel de consumo de agua y la contaminación a nivel mundial en 2050. Los escenarios presentados pueden servir de base para una nueva evaluación de cómo la humanidad puede mitigar el futuro escasez de agua dulce. Hemos demostrado con este estudio que la reducción de la huella hídrica de la humanidad para niveles de sostenibilidad es posible incluso

con el aumento de las poblaciones, a condición de que los patrones de consumo cambien. De este estudio puede ayudar a orientar políticas, tanto a nivel nacional como internacional, y establecer prioridades para los próximos años con el fin de lograr un uso sostenible y equitativo de los recursos de agua dulce del mundo.

Escobar J. L. & Gómez O. A. (2007), manifiesta que, el concepto de valor económico del agua se debe construir a partir de la escasez relativa del recurso en las fuentes de abastecimiento. Tradicionalmente, en Colombia se ha considerado el agua como un recurso abundante, lo cual ha impedido entender su naturaleza como un bien económico, sin embargo, la realidad muestra que la escasez de agua y los conflictos entre usuarios son cada vez más evidentes y frecuentes, no solo en los municipios colombianos sino también a nivel internacional.

Desde el punto de vista de la eficiencia, la ausencia del precio del agua ha conducido a un uso irracional que acentúa de forma creciente la escasez relativa del recurso.

Fader M., Gerten D., Thammer M., Heinke J., Lotze-Campen H., Lucht W. & Cramer W. (2010), manifiesta que, la necesidad de aumentar la producción de alimentos para una creciente población mundial hace una evaluación de la agricultura mundial productividad del agua y los flujos de agua virtual importante. Por último, este estudio encuentra que fluye ahorro de agua virtual y la necesidad de tierra virtual a analizar juntos, ya que son intrínsecamente relacionados.

Madrid C. & Velázquez E. (2008), sostiene que, la metodología propuesta se basa en la estimación de los flujos físicos de agua incorporando el indicador de AV en el marco sector de frutas y hortalizas en Andalucía, y para el año 2004. Este estudio se realiza a nivel provincial, por lo que se estiman los parámetros necesarios para las ocho provincias andaluzas.

Para ello, hemos variado el esquema de metabolismo hídrico en dos puntos. En primer lugar, suponemos que no existen re-exportaciones ya que los datos de comercio provenientes de la Agencia Estatal de Administración Tributaria (AEAT) recogen únicamente los movimientos de entrada y salida sin especificar si existe re-exportación o no. En segundo lugar, hemos definido las entradas al

sistema como el riego neto. Esto supone que excluimos los flujos de evaporación y de vertido. Por otro lado, el estudio recoge únicamente el agua azul y, por lo tanto, no se considera ni el agua verde ni el agua gris.

Estimación de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC)

El concepto de RAC puede definirse de muchas formas y debe hacerse con cuidado en función del marco teórico en el que nos encontremos, ya que influirá en gran medida en el diseño de la metodología y en los resultados. En su papel de indicador, el RAC nos ofrece una visión de la intensidad en el uso del agua, es decir, qué cantidad de agua necesitamos para generar una tonelada de producto.

En este estudio, el RAC se define como 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 del suelo o agua verde y, cuando la anterior es insuficiente, del aporte extra en forma de riego, o agua azul. El resto del agua verde o azul que no utiliza la planta se recicla por infiltración y vuelve a formar parte del recurso. La cantidad de agua disponible en el suelo, así como la evapotranspiración, dependen de diferentes factores climáticos, edáficos y fisiológicos.

Utilizaremos una aplicación informática que estima la Evapotranspiración del Cultivo (ETc) y a partir de ella estimamos el RAC.

Cabe resaltar que, aunque no puede decirse que los requerimientos mínimos para cada cultivo se localicen en una sola provincia, en la que se alcanzan los mayores requerimientos de casi todos los cultivos es Almería. Esto podría deberse a dos motivos principalmente: por un lado, a una mayor ETo debido a las mayores tasas de radiación solar que incrementa la ETc; y por el otro, a que los requerimientos por hectárea en invernadero son mayores que en el cultivo no protegido, debido a la intensidad con que se produce.

Los resultados de la huella hídrica en (m^3/tn) los de diferentes cultivos según localidad el siguiente:

Localidad	Ajo	Alcachofa	Cebolla	Haba	Zanahoria
Almería	360	746	302	156	-
Cádiz	132	328	172	106	71
Córdoba	154	577	102	138	158
Granada	164	558	113	139	123

Huelva	304	746	155	183	211
Jaén	160	544	147	212	217
Málaga	217	534	59	238	174
Sevilla	119	457	93	204	90

Mekonnen M.M. & Hoekstra A.Y. (2011), manifiesta que, se ha utilizado un equilibrio dinámico del agua basado en un modelo para calcular el consumo de agua de los cultivos a través del tiempo, con un paso de tiempo de un día. El modelo tiene en cuenta el diario balance hídrico del suelo y las condiciones climáticas de cada celda de la cuadrícula. Además, la contaminación del agua asociado con el uso de fertilizante de nitrógeno en la producción de cultivos se estima para cada celda de la cuadrícula. La evapotranspiración del cultivo de 20 cultivos menores se calculó con el modelo CROPWAT. Adicionalmente, ha calculado la huella de agua de más de doscientos productos derivados de cultivos, incluyendo varias harinas, bebidas, fibras y biocombustibles. Ha utilizado la huella hídrica marco de evaluación como en la directriz del Agua Footprint Network.

Considerando las huellas hídricas de los cultivos primarios, se ve que la huella hídrica promedio global por tonelada de cosecha aumenta a partir de cultivos de azúcar (aproximadamente $200 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$), verduras ($300 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$), raíces y tubérculos ($400 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$), frutas ($1000 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$), cereales ($1600 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$), cultivos oleaginosos ($2400 \text{ m}^3 \text{ ton}^{-1}$). La huella hídrica varía, sin embargo, a través de diferentes cultivos por categoría de cultivos y también por región de producción.

Seguidamente se ven el contenido de agua virtual para los productos agrícolas.

Papa	287 m ³ /tn.
Maíz choclo	700 m ³ /tn.
Trigo	1828 m ³ /tn.
Maíz	1222 m ³ /tn.

Mekonnen M.M. & Hoekstra A.Y. (2014), manifiesta que, en las próximas décadas, la demanda mundial de agua dulce aumentará para satisfacer la creciente demanda de alimentos, cultivos de fibras y biocombustibles. El aumento de la

productividad en la agricultura, reduce la huella hídrica (WF) por unidad de producción y contribuirá a reducir la presión sobre el agua dulce mundial limitada de recursos. Este estudio establece una serie de valores globales de referencia WF para un gran número de cultivos que crece en el mundo. El estudio distingue entre los puntos de referencia para la WF verde-azul (la suma de lluvia y el consumo de agua de riego) y el WF gris (volumen de agua contaminada).

Los valores de referencia proporcionan información valiosa para la formulación de los objetivos de reducción de WF en la producción de cultivos. Más estudios serán requeridos para probar la sensibilidad de los valores de referencia a los supuestos del modelo subyacentes, para ver si es necesaria la regionalización de los puntos de referencia y cómo ciertos niveles de referencia WF se relacionan con tecnología específica y las prácticas agrícolas.

Siendo el contenido de agua virtual de algunos productos agrícolas el siguiente:

Cultivo	Agua virtual (m³/tn)
Papa	224
Cebada	1292
Trigo	1620
Maíz	1028

Pengue, W.A. (2004), manifiesta que, el valor del agua virtual de un producto alimenticio es el inverso de la productividad del agua. Podría entenderse como la cantidad de agua por unidad de alimento que podría ser consumido durante su proceso de producción (FAO, 2003), es decir utilizada o contenida en la creación de productos agropecuarios.

La circulación de agua virtual ha aumentado regularmente con las exportaciones de los países agrícolas durante los últimos cuarenta años. Se estima que aproximadamente el 15 % del agua utilizada en el mundo se destina a la exportación en forma de agua virtual (Hoekstra & Hung, 2002). El 67 % de la circulación de agua virtual está relacionado con el comercio internacional de cultivos. En el último quinquenio del siglo XX el trigo y la soja representaron ambos el 47 % del total de estas salidas. Ni en los cultivos de alto o bajo valor en el comercio internacional, ni las comunidades finales que los consumen,

reconocen en sus cuentas aún, este importante uso de recursos (Chapagain & Hoekstra, 2003).

Llamas R. (2005), indica que, la suma de todo el agua virtual que necesita un país o una región para atender la necesidad de bienes y servicios de los habitantes de esa zona es lo que se denomina huella hidrológica (hydrological footprints en la literatura anglosajona). El concepto de huella hidrológica está relacionado, en cierta forma es un corolario, con el concepto de huella ecológica enunciado unos diez años antes. Éste se refiere a la cantidad de superficie de terreno que es necesaria para que un grupo colectivo pueda realizar un desarrollo sostenible.

El estudio de las huellas hidrológicas de los diversos países está aportando nuevos datos y perspectivas que están permitiendo obtener una visión bastante más optimista de la tan frecuentemente difundida inminente «crisis del agua». Se verá que los datos disponibles confirman lo que algunos ya anunciaron hace años (Llamas, 1992 y 1995): que esa supuesta y fuertemente voceada crisis del agua no es una crisis debida a la escasez física de este recurso sino que esencialmente se trata de un problema de mala gestión.

El concepto de huella hidrológica (water footprints en la literatura anglosajona) fue introducido por **Hoekstra & Hung (2002)**. Este concepto se ha utilizado como un indicador del uso del agua por las personas, grupos colectivos o países. Puede definirse como el volumen de agua que es necesario para la producción de los bienes y servicios que utiliza una persona o un grupo colectivo de personas.

Obviamente, es un concepto íntimamente ligado al de agua virtual.

Chapagain & Hoekstra (2004), estiman que, el valor de la huella hidrológica total de la humanidad es de 7 500 km³/año. Este aumento se debe principalmente a que añaden el agua necesaria para los usos domésticos y urbanos y para la elaboración de productos industriales.

En cualquier caso, es interesante recordar que la precipitación en las tierras emergidas, es decir, la suma del agua azul y verde que cada año circula en el ciclo hidrológico es del orden de 115000 km³. En otras palabras, desde un punto de vista global las necesidades de agua (azul y verde) de la humanidad actual quedan

bastante por debajo del 10% de las precipitaciones anuales. De todas formas, estas son cifras globales que constituyen sólo una primera aproximación para enfocar adecuadamente los problemas hídricos específicos de los distintos países.

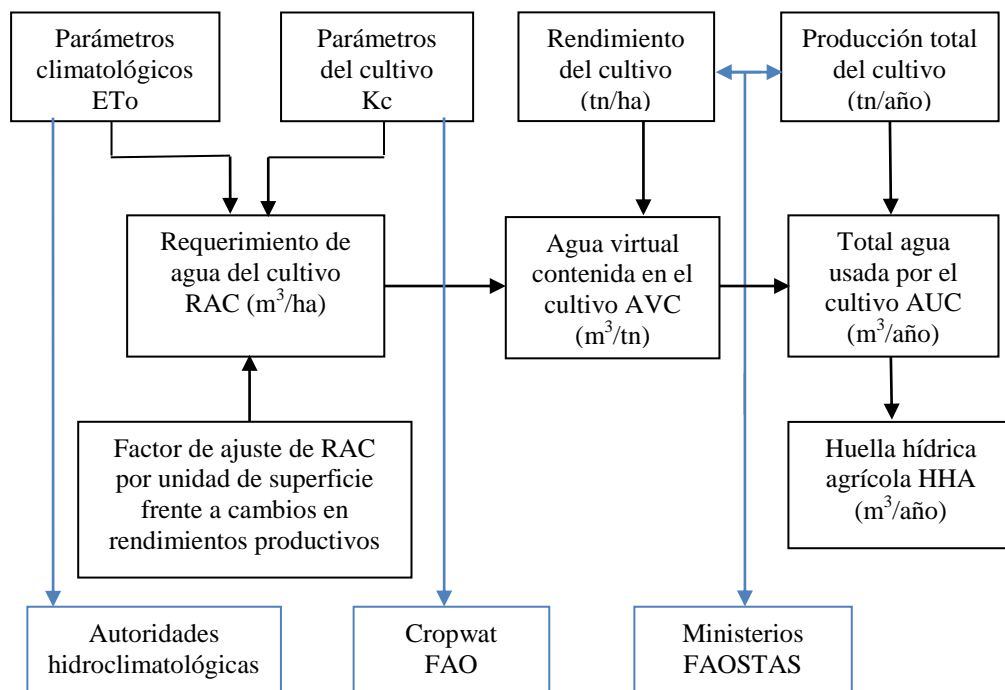
Zimmer & Renault (2003), un año antes, estimaron que la cantidad total de agua (azul y verde) que se utiliza en el planeta para producir todo tipo de alimentos es de unos 5 200 km³/año. Esta cifra es del mismo orden de magnitud que los 6 000 km³/año que estima NU (2003) como volumen de agua necesario para la producción de alimentos para los seis mil millones de personas del planeta. Según Zimmer & Renault (*ibíd.*), de esa cantidad el 29% se utiliza para producir carne, un 17% para la producción de productos animales elaborados; los cereales sólo suman el 23%. Hay que tener en cuenta que en las carnes y en los productos animales elaborados se incluye el agua virtual utilizada para la producción de forrajes que han alimentado a esos animales. En cambio, desde el punto de vista del valor energético, la situación es diferente. Los cereales suponen el 51% del valor energético y la carne y los productos animales elaborados sólo el 15%.

En un último trabajo de **Chapagain et al. (2005)**, reconocen, como hace **Wilchems, (2004)**, que los factores económicos y sociales suelen ser los motores principales del comercio del agua virtual a través del comercio de alimentos y productos elaborados. Ahora bien, caben pocas dudas de que los conceptos de agua virtual y de huella hidrológica han introducido cambios decisivos en múltiples aspectos tradicionales de la política del agua a escala mundial. Los conceptos de seguridad alimentaria e hidrológica y los catastrofistas anuncios de que media humanidad va a estar “water stressed” en las próximas décadas van a sufrir cambios muy significativos.

Chapagain & Hoekstra (2004), presentan en los apéndices de su trabajo un cúmulo de datos obtenidos principalmente de la FAO, del Banco Mundial y de la Organización Mundial de Comercio. Esos apéndices suponen una interesante base de trabajo. Ahora bien, esas cifras deben tomarse todavía con cierta reserva y considerarlas como una primera aproximación. En primer lugar, algunos de esos datos iniciales no inspiran gran confianza pues proceden esencialmente de los propios países y en algunos de ellos la organización de los servicios estadísticos

no es muy eficiente. Además, como ya se dijo, el paso de las cantidades de productos comercializados a su correspondiente agua virtual todavía tiene que ser perfeccionada, especialmente en lo que se refiere a los productos elaborados (industriales o agrícolas). Otro importante aspecto, prácticamente no considerado en el trabajo de Chapagain & Hoekstra mencionado, es que apenas analiza el valor económico que implican los distintos flujos de agua virtual.

Chapagain & Hoekstra (2004), presenta en el siguiente esquema la estimación de la huella hídrica y el agua virtual en la agricultura.

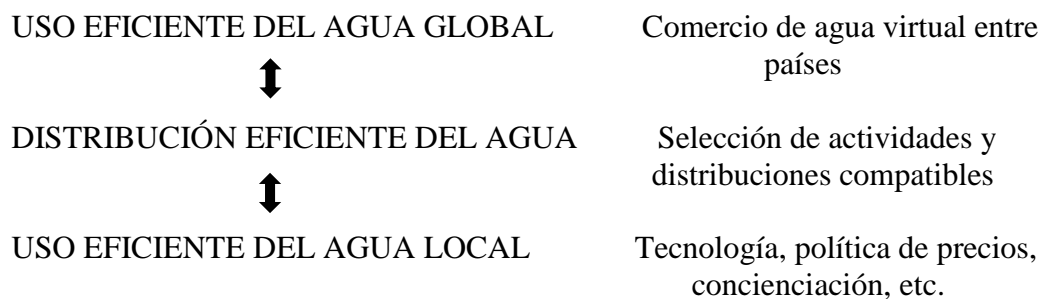


Van Hofwegen (2004), estima que la liberalización del comercio de alimentos (y por ello de agua virtual) podría tener efectos negativos en el medio ambiente. Esto podría ocurrir en los países que utilizaran de modo exagerado o insostenible sus recursos hídricos con objeto de producir productos agrarios que pudieran vender en otros países. No es una hipótesis absurda ya que, en cierto modo, esto parece ser lo que ha ocurrido y no precisamente en un país pobre sino en los EE.UU. y más concretamente en el acuífero de Ogallala, también llamado de las High Plains. Este acuífero tiene una extensión algo mayor de 500 000 km², es decir, análoga a la extensión de toda España. En algunas de sus zonas, y especialmente en Tejas, viene siendo intensamente aprovechado desde hace unos sesenta años. En la zona

de Tejas se ha producido una auténtica «minería del agua subterránea». Se ha extraído un volumen anual (unos 6,00 km³) unas diez veces superior a la recarga interanual. El volumen de agua subterránea que a lo largo de milenios se había almacenado en este acuífero (en la zona de Tejas), está actualmente reducido aproximadamente a dos tercios del volumen inicial (Terrell *et al.*, 2002). Esta agua subterránea, cuya extracción es relativamente barata, se ha empleado fundamentalmente en la producción de algodón, cereales y forrajes para el ganado. Es decir, cultivos de no gran valor. Ahora bien, la producción de carne y productos cárnicos supera unos 6 000 millones de dólares al año y una parte de esa producción ha sido exportada. No puede olvidarse que los EE.UU. es el primer exportador mundial de productos agrarios y también de carne.

Madrid C. (2007), propone el tema, de la **Aplicación del comercio de agua virtual a las políticas de gestión de agua**

La eficiencia en el uso de los recursos hídricos puede gestionarse a tres escalas: local, regional o global (Hoekstra y Hung, 2005). Los tres niveles, junto con los medios para conseguirlos, se muestran esquematizados en el siguiente gráfico.



A escala local, los precios y la tecnología del agua juegan un papel clave. En este nivel, la eficiencia en el uso del agua puede aumentarse mejorando las redes, reconociendo los costos reales y fomentando el ahorro de sistemas más eficientes de uso del agua. A nivel de cuenca hidrológica hablamos de distribución eficiente más que de uso; y el método pasaría por elegir una adecuada diversificación de las actividades, realizar un reparto adecuado entre los sectores de producción y escoger el uso del agua adecuado a cada región. Por último, y por encima de estos dos, se sitúa el nivel global, donde se pretende la eficiencia global mediante la cooperación y la utilización del comercio de agua virtual como herramienta de

gestión. Es en esta última escala donde el agua virtual encuentra su completa utilidad a la hora de conseguir eficiencia en el uso del agua.

El comercio de productos derivados del uso intensivo del agua es una realidad, de forma que el comercio de agua virtual podría ser utilizado como un instrumento para conseguir un uso eficiente a nivel global y así contribuir a que los países con escasez de agua tengan asegurado el alimento, ayudando a compensar el déficit de agua y de comida y, con ello, a mantener la estabilidad social.

Hasta ahora muchos de los problemas políticos de esta índole en países semiáridas de Oriente Medio se han resuelto mediante políticas y estrategias sobre alimentación que empleaban como criterio el sentido común. Algunos de estos países, como Israel o Jordania, han elaborado políticas en la línea de reducir o abandonar las exportaciones y la producción de cultivos con alto requerimiento de agua, reemplazándolos por importaciones, o la producción de cultivos que aporten un alto rendimiento y que permitan optimizar los recursos de agua (van Hofwegen, 2004). La apuesta por esta estrategia es arriesgada y espinosa por el hecho de que sólo algunos países son exportadores netos de alimento en el mundo, ya que la mayoría de los países son importadores netos.

Para estos países es un desafío estimular y dirigir las inversiones en el sector agrícola para desarrollar actividades más allá de la agricultura de subsistencia, aunque este avance supone probablemente su única manera de salir de la pobreza económica. El cambio de actividad requeriría una dirección de los recursos de agua allí donde pueden conseguirse unos ingresos económicos óptimos y donde haya unos mercados físicamente accesibles que generen recursos suficientes para financiar la compra de comida. Esto no tiene que desarrollarse necesariamente a nivel de mercado mundial, sino que puede ser a escala de mercado nacional, regional o incluso local.

El comercio de agua virtual no es sólo importante para los países en vías de desarrollo económico, sino también para los desarrollados económicamente. La planificación local y la colaboración regional incorporando la noción del comercio de agua virtual pueden dar como resultado el intercambio de bienes, la diversificación de cosechas, la creación de la conciencia ante la importancia del tipo de dieta o acciones de restauración de cultivos en cualquier país. En

definitiva, parece una buena opción incluir el comercio de agua virtual tanto en las políticas sectoriales como en las políticas de gestión del agua a niveles de región. Por su parte, los peligros del uso del agua virtual como instrumento político son dos. En primer lugar, el aumento de la dependencia de las regiones importadoras con respecto a los principales exportadores ya que si la agricultura local no es capaz de adaptarse o competir, resultará dañada por la importación (en relación con los aspectos de soberanía alimentaria que hemos mencionado anteriormente). En segundo lugar, las importaciones de un país pueden producir un agotamiento de las reservas extranjeras si no hay ningún mecanismo de compensación, es decir si no se genera un intercambio igualitario.

Programa Global Andino (2012), manifiestan que, el agua que gastamos no es solamente la que ocupamos para ducharnos, preparar los alimentos o beber directamente, pues todo lo que consumimos (bienes, productos, servicios) requiere de agua para su producción.

Para medir el impacto en las reservas de agua mundial, se ha creado el calculador de la Huella Hídrica de las naciones, instrumento que permite abrir los ojos de cuánta agua estamos gastando, y racionalizar su uso frente a futuras crisis mundiales de agua.

La cooperación entre las instituciones globales líderes en el campo ha llevado a la creación de la Water Footprint Network en 2008, que tiene como objetivo coordinar los esfuerzos para desarrollar y difundir el conocimiento sobre los conceptos de huella hídrica, métodos y herramientas.

El concepto de las huellas hídricas fue creado en 2002 por Arjen Hoekstra, profesor de gestión de agua en la Universidad de Twente en Holanda. Usando datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Hoekstra y otros investigadores determinaron el agua utilizada en la elaboración de varios productos, y aplicaron esas estadísticas para calcular la huella hídrica de individuos promedio y países enteros.

Wackernagel M. & Rees W. (1996), sostiene que, el concepto de “sostenibilidad fuerte” usado por la economía ecológica, requiere de indicadores biofísicos que permitan identificar el grado de agotamiento y uso de los recursos naturales dado

que en la práctica, la sostenibilidad dependerá del tamaño que la economía ocupe dentro del conjunto de la biosfera (Giljum 2003). Una buena forma de medir ese tamaño o “escala” en términos físicos, es cuantificar la cantidad de recursos naturales que requiere una actividad económica; ello permite tener indicadores que ayuden a interrelacionar el subsistema económico con la biosfera. Con este propósito se han desarrollado los conceptos de “huella hídrica” (water footprint) y “agua virtual”, los cuales tienen un enfoque orientado por la demanda y el consumo.

La “huella hídrica” (HH) ($m^3/año$) es definida como el volumen total de agua necesaria para producir los bienes y servicios consumidos y exportados por los individuos, las empresas o los países. Así, este concepto incluye el agua requerida para la producción de los bienes exportados, que aunque no son consumidos internamente, si son producidos dentro de la geografía nacional y por tanto consumen agua del país de referencia. Dado que no todos los bienes consumidos en un país son producidos en ese país, la “huella hídrica” consiste de dos partes: “huella hídrica interna” (HHI) que se refiere al volumen de agua usada para producir los bienes y servicios consumidos o exportados por los habitantes de ese país; y la “huella hídrica externa” (HHE), que equivale al volumen de agua usada en otros países para producir los bienes y servicios importados y consumidos por los habitantes del país referenciado (Chapagain y Hoekstra 2004). La HHI representa la suma del volumen de agua usada en la economía nacional en los sectores agrícola (HHA), manufacturero (HHM) y doméstico (HHD). El cálculo del total de agua usada en la agricultura (HHA), resulta de la sumatoria de los Requerimientos de Agua de cada Cultivo (RACc), dividido entre el “Rendimiento” respectivo (tn/ha.) y multiplicado por la “Producción” (tn/año) de cada cultivo. Donde los RACc son el resultado de parámetros climáticos (evapotranspiración) y del coeficiente de absorción del cultivo (K_c).

La “huella hídrica” es un concepto que ha sido desarrollado en analogía al concepto de “huella ecológica” que fue introducido en la segunda mitad de los noventa (Wackernagel y Rees 1996, Wackernagel et al. 1997). La “huella ecológica” de una población representa el área de tierra productiva y de ecosistemas acuáticos requeridos para generar los recursos usados y asimilar los

desperdicios producidos, por una cierta población para un específico estándar material de vida. Mientras que la “huella ecológica” muestra el área necesaria para sostener la vida de las personas, la “huella hídrica” indica el volumen de agua anual requerido para sostener la población bajo ese estándar de vida. La primera valoración de la “huella hídrica” fue elaborada por Hoekstra y Hung (2002). Una mejor estimación fue hecha por Chapagain & Hoekstra (2003). Y, la más reciente y amplia valoración se hizo en 2004, la cual cubre más productos, usa bases de datos más completas y refina la metodología (Chapagain & Hoekstra, 2004).

Chapagain & Hoekstra, UNESCO-IHE (2004), menciona que, el “Agua Virtual” (AV) [m^3/ton] es definida como el volumen de agua requerido para producir un bien o servicio. En el caso de la agricultura, es la división entre el total de agua usada para la producción de un cultivo y el total de toneladas producidas de ese cultivo. Este concepto fue introducido por Allan (1993, 1994) quien elaboró la idea de importar agua virtual (incluida en los alimentos importados) como un instrumento para aliviar la presión sobre la escasez de agua disponible para uso doméstico. Así, el agua virtual se convierte en una fuente alternativa de agua, complementaria a las fuentes endógenas (internas) de recurso hídrico en los países. La importación de agua virtual ha sido por consiguiente también llamada “agua exógena” (Haddadin 2003). El adjetivo “virtual” hace referencia al hecho de que la mayoría del agua usada para producir un producto no está contenida finalmente en ese producto. El agua realmente contenida en un producto es insignificante si se compara con el agua virtual.

La evolución de este indicador permite identificar además los rendimientos en el uso del agua por tonelada de cultivo producida. En la práctica, estos rendimientos corresponden al volumen neto de agua usada puesto que no incluyen las ineficiencias en los sistemas de riego. En consecuencia, las eficiencias en el uso de agua son debidas a mejoras en la productividad (tn/ha.). Igualmente, este indicador ayuda a determinar el “Balance de Agua Virtual Agrícola” (BAVA) de los productos de este sector en un país. El BAVA equivale a la diferencia entre el “Agua Virtual Agrícola Importada” (AVAI) ($\text{m}^3/\text{año}$) y el “Agua Virtual Agrícola Exportada” (AVAE) ($\text{m}^3/\text{año}$). Si el balance es positivo, esto implica una cantidad de agua virtual neta que ha sido traída al país y si es negativo, esto

corresponde a una exportación neta de agua virtual. Un desbalance externo hídrico, muestra la presión que sobre el recurso agua ejercen los consumos de otros países a través del comercio internacional, correspondiendo ello también a otra cara de la deuda ecológica, la cual puede expresarse a través de las externalidades negativas (contaminación) generadas para producir los bienes agrícolas exportados y por su respectivo costo de oportunidad.

La información básica para el desarrollo de este trabajo proviene de dos fuentes estadísticas principales. Los datos relacionados con la producción y los rendimientos agrícolas de los diferentes productos tanto totales como los dirigidos al mercado externo, son tomados de las estadísticas “on-line” de la FAO (FAOSTAT). Por su parte, los datos básicos para la estimación de la “huella hídrica” y el “agua virtual”, tales como la evapotranspiración y el coeficiente de absorción (K_c), son obtenidos del trabajo realizado para estimar la “Huella Hídrica” de las Naciones de UNESCO-IHE (Chapagain & Hoekstra 2004; Volumen 1 y 2).

Este estudio estima la evapotranspiración promedio diario mensual en Colombia para el periodo 1997 - 2001 y el K_c por cultivo lo retoma de estudios de la FAO. En este caso, se supuso datos similares para todo el periodo de análisis. Ninguna de estas dos fuentes de información incluye los cultivos ilícitos ni la floricultura dentro de sus estadísticas.

El periodo a analizar hace referencia a 1961 - 2004. Sin embargo, cuando se trata de las exportaciones el periodo va hasta 2003, dado que para este caso, la FAO solo tiene información hasta ese año. De todas maneras, este rango de tiempo abarca más de 40 años de información que cubren un periodo amplio de la dinámica económica contemporánea de la agricultura colombiana, pasando por periodos de importante transformación de la economía nacional. Este estudio estima la evapotranspiración promedio diario mensual en Colombia para el periodo 1997 - 2001 y el K_c por cultivo lo retoma de estudios de la FAO. En este caso, se supuso datos similares para todo el periodo de análisis. Ninguna de estas dos fuentes de información incluye los cultivos ilícitos ni la floricultura dentro de sus estadísticas.

El periodo a analizar hace referencia a 1961 - 2004. Sin embargo, cuando se trata de las exportaciones el periodo va hasta 2003, dado que para este caso, la FAO solo tiene información hasta ese año. De todas maneras, este rango de tiempo abarca más de 40 años de información que cubren un periodo amplio de la dinámica económica contemporánea de la agricultura colombiana, pasando por periodos de importante transformación de la economía nacional.

Pontificia Universidad Católica del Perú (2010), menciona que, la huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce que abarca no solo el uso directo de un consumidor o productor, sino, el uso indirecto del agua. La huella hídrica de un bien o servicio es la cantidad total de agua que se requiere para producirlo, ya sea externa (al importar los productos) o interna (cuando estos se producen en el territorio nacional). Este concepto se puede expandir para proveer la huella hídrica de naciones o incluso continentes.

La huella hídrica es una herramienta analítica que permite abordar asuntos políticos de seguridad del agua y uso sostenible del agua. Esta muestra la cantidad y localiza el uso de agua en relación al consumo de las personas.

Huella hídrica de un producto: La huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce utilizada para producir el bien o servicio, medida en el lugar donde se produjo el bien. Se refiere a la suma del agua utilizada en las distintas etapas de la cadena de producción. También se conoce como contenido virtual de agua.

Huella hídrica de una comunidad: La huella hídrica de una comunidad se define como el volumen de agua utilizado para la producción de los bienes y servicios que consumen los miembros de dicha comunidad.

Huella hídrica de una nación: La huella hídrica de una nación es un indicador de los efectos del consumo nacional de agua, considerando los recursos internos y externos. El ratio de consumo interno/externo de agua es relevante ya que externalizar la huella hídrica implica incrementar la dependencia en recursos hídricos extranjeros. También resulta en externalizar los impactos ambientales que el consumo/uso de agua conlleva.

El uso de agua se mide en términos del volumen de agua consumido (evaporado) y/o contaminado por unidad de tiempo. La huella hídrica es un indicador geográficamente explícito pues no sólo muestra los volúmenes de agua usados y contaminados, sino también las ubicaciones.

Componentes de la huella hídrica: El total de la huella hídrica de un individuo o una comunidad se descompone en tres:

-Huella hídrica azul: Es el volumen de agua dulce evaporada de los recursos globales de agua superficial y subterránea para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o la comunidad.

-Huella hídrica verde: Es el volumen de agua evaporada de los recursos globales de agua verde (agua de lluvia almacenada en el suelo).

-Huella hídrica gris: Es el volumen de agua contaminada, que puede ser cuantificada como el volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables.

En dicho trabajo reporta la cantidad de agua necesaria para producir un cierto producto:

1 taza de café	140 lt. de agua
1 kg de carne de bovino	16000 lt. de agua
1 manzana	70 lt. de agua

UNESCO (2011), hace la siguiente investigación y reporta lo siguiente:

Sumando los productos básicos que se consumen y el cálculo del agua virtual que supone su producción, se afirma que cada persona gasta entre 2000 y 5000 litros de agua por día. Para preocuparnos, miremos estas cifras:

- 1 kilo de arroz: 3000 litros
- 1 kilo de maíz: 900 litros
- 1 kilo de trigo: 1350 litros
- 1 vaso de zumo de manzanas: 190 litros
- 1 bolsa de patatas fritas: 185 litros
- 1 taza de café: 140 litros

- 1 manzana: 70 litros
- 1 naranja: 50 litros
- 1 taza de té: 35 litros

Allan J. A. (2003), acuñó el concepto "Agua Virtual", para definir el volumen de agua necesaria para elaborar un producto o para facilitar un servicio. Posteriormente, el año 2002, Arjen Hoekstra acuñó el término de "huella hídrica" para obtener un indicador que relacionara el agua con el consumo a todos los niveles de la población. De esta manera, la huella hídrica de un país (o industria, o persona) se define como: "el volumen de agua necesaria para la producción de los productos y servicios consumidos por los habitantes de dicho país o industria, o persona".

Principales factores que determinan la huella hídrica per cápita de un país.

- El consumo de agua promedio per cápita, generalmente relacionado con el ingreso nacional bruto.
- Los hábitos de consumo de sus habitantes (p.ej., cantidad de carne consumida).
- El clima, en particular la demanda evaporativa (condiciones de cultivo).
- Las prácticas agrícolas (eficiencia en el uso del agua).

Estadísticas a Nivel Global

- 70% de la superficie del mundo está cubierta por agua, pero solamente el 2,50% es dulce.
- 1,10 billones de personas en el mundo no tienen acceso al agua, esto es un 1/6 de la población global. Para el 2025 la cifra podría aumentar a 1/3 de los habitantes del planeta.
- 2,20 millones de personas, la mayoría de ellos niños, mueren cada año de enfermedades asociadas a la falta de agua potable, sanidad inadecuada y poca higiene.
- En una encuesta realizada a 200 científicos, señalaron la falta de agua, junto al cambio climático, como el principal problema de este siglo.

Cálculo de la Huella Hídrica

Para calcular la huella hídrica de los países se toman en cuenta varios factores: el volumen total del consumo (nivel de riqueza del país), los patrones de consumo de agua (un país que consuma mucha carne tendrá mayor huella que un país con

tendencia a no comer carne; así como un país que consuma más productos manufacturados industrialmente tendrá una mayor huella hídrica que aquellos que no). El clima también es relevante, porque en regiones más calurosas (donde el agua se evapora más rápido) se necesita mayor cantidad de agua para los cultivos. También se consideran las prácticas agrícolas que ahorren agua y que sean eficientes en su uso.

Huella hídrica de un producto: La huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce utilizada para producir el bien o servicio, medida en el lugar donde se produjo el bien. Se refiere a la suma del agua utilizada en las distintas etapas de la cadena de producción. También se conoce como contenido virtual de agua.

Huella hídrica de una comunidad: La huella hídrica de una comunidad se define como el volumen de agua utilizado para la producción de los bienes y servicios que consumen los miembros de dicha comunidad.

Huella hídrica de una nación: La huella hídrica de una nación es un indicador de los efectos del consumo nacional de agua, considerando los recursos internos y externos. El ratio de consumo interno/externo de agua es relevante ya que externalizar la huella hídrica, implica incrementar la dependencia en recursos hídricos extranjeros. También resulta en externalizar los impactos ambientales que el consumo/uso de agua conlleva.

Componentes de la huella hídrica

El total de la huella hídrica de un individuo o una comunidad se descompone en tres:

Huella hídrica azul: Es el volumen de agua dulce evaporada de los recursos globales de agua superficial y subterránea para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o la comunidad.

Huella hídrica verde: Es el volumen de agua evaporada de los recursos globales de agua verde (agua de lluvia almacenada en el suelo).

Huella hídrica gris: es el volumen de agua contaminada, que puede ser cuantificada como el volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables.

La relación entre consumo y uso de agua

El interés por la huella hídrica 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” señala Arjen Y. Hoekstra, creador del concepto de la huella hídrica y director científico de la “Red de la Huella Hídrica”.

- Rebanada de pan de 30 gr., 40lt. de agua
- Papa de 100 gr., 25 lt. de agua
- Manzana de 100 gr., 70 lt. de agua
- Jitomate de 70 gr., 13 lt. de agua
- Taza de café de 125 ml., 140 lt. de agua
- Vaso de jugo de naranja de 200 ml., 170 lt. de agua

Velásquez E., Madrid C. & Beltran M.J. (2009), manifiesta que, desde la Economía Ecológica se viene proponiendo la necesidad de utilizar indicadores físicos para analizar los procesos económicos, al mismo tiempo que sirven como herramientas en la toma de decisiones. El agua virtual (AV) y la huella hídrica (HH) son dos indicadores que sirven para este objetivo, definiéndose el primero como un indicador desde la perspectiva de la producción y el segundo desde la perspectiva del consumo. Esta diferencia entre ambos es de interés ya que permite identificar los sujetos responsables del consumo de agua, productores o consumidores, poniendo de manifiesto un potencial importante a la hora de definir políticas de gestión de agua.

En este trabajo partimos de la hipótesis de que existe una clara diferencia entre ambos conceptos y que dicha diferencia, aunque manifiesta en sus respectivas conceptualizaciones, no se plasma en las estimaciones y aplicaciones realizadas, llegando a utilizarse ambos conceptos como sinónimos, perdiéndose con ello el enorme potencial que la diferencia entre ambos conceptos.

Partiendo de esta hipótesis, nuestro objetivo es, en primer lugar, poner de manifiesto esta evidente pero ignorada diferencia entre AV y HH mediante una profunda y pausada revisión bibliográfica sobre las definiciones y aportaciones conceptuales, las metodologías desarrolladas y las aplicaciones realizadas; y en segundo lugar, realizar una propuesta conceptual y metodológica que permita poner de relieve las diferencias comentadas y que sirva para identificar

responsabilidades en el consumo de agua. Ello lo hacemos ampliando el contexto de análisis e integrando el doble binomio producción-consumo y agua-energía.

Zhuo L., Mekonnen M.M. & Hoekstra A.Y. (2014), manifiesta que, el método de uno en uno a tiempo se llevó para analizar la sensibilidad de la huella hídrica de los cultivos a los cambios fraccionales de siete variables de entrada individuales y parámetros: precipitación (PR), la evapotranspiración de referencia (ET_o), coeficiente de cultivo (K_c), calendario de cultivo (siembra día con día de grado constante crecimiento), el contenido de agua en el suelo a capacidad de campo (S_{max}), el factor de respuesta del rendimiento (K_y) y máximo rendimiento (Y_m). Las incertidumbres en las estimaciones de la huella de agua de los cultivos relacionadas con las incertidumbres en cuatro variables claves de entrada: relaciones públicas, ET_o, K_c y recortar el calendario que se cuantificaron mediante Simulaciones de Monte Carlo.

Los resultados muestran que la sensibilidad y la incertidumbre difieren entre tipos de cultivo. En, la huella general de aguas de cultivos es más sensible a ET_o y K_c, seguido por el calendario de cultivo. Huellas de agua azul eran más sensibles a la entrada variabilidad que las huellas del agua verde. Cuanto menor sea la huella anual de agua azul, mayor es su sensibilidad a cambios en las relaciones públicas, ET_o, y K_c. Las incertidumbres en el total huella hídrica de un cultivo debido a las incertidumbres combinadas en insumos climáticas (PR y ET_o) eran alrededor de $\pm 20\%$ (intervalo de confianza al 95%). El efecto de las incertidumbres en ET_o fue dominante en comparación con la de PR. Las incertidumbres en la huella hídrica total de un cultivo como resultado de la entrada de llave combinada fueron en promedio $\pm 30\%$ (con un 95% de confiabilidad).

Salmoral G. et al. (2011), menciona que, la huella hídrica, y sus diferentes colores, puede ser estudiada según distintas perspectivas cuando se trata de un área geográfica determinada: la huella del consumo de la población de la zona, la huella sobre los recursos hídricos de la cuenca, o incluso el estudio de las importaciones y exportaciones de agua virtual (Hoekstra et al. 2011).

El presente trabajo se dedica al estudio de la huella hídrica sobre los recursos de la cuenca, relacionada con el consumo de agua propia de la cuenca en los

procesos productivos y otros usos. Cada vez que se emplea el término de “huella hídrica” cabe entender que se trata de esta perspectiva. Una parte de esta huella es destinada a la población de la cuenca, la cual conforma la huella hídrica interna del consumo; otra parte se exporta en forma de agua virtual.

Así la huella hídrica (HH) de la cuenca corresponde a la suma del consumo de agua directo del sector agrícola (HHa, m³/año), ganadero (HHg, m³/año), industrial (HHi, m³/año) y doméstico (HHd, m³/año):

$$HH = HHa + HHg + HHi + HHd$$

La huella hídrica en la agricultura se refiere al volumen de agua consumido para la producción de los cultivos de la cuenca. En el caso de la ganadería se refiere a la huella hídrica directa, que incluye el agua de consumo para el animal y el agua necesaria para su gestión. Por otro lado, en base al concepto de huella hídrica, los retornos correspondientes al uso industrial y doméstico del agua, han sido sustraídos con el fin de estimar tan solo la parte consuntiva en ambos sectores.

La huella hídrica en la agricultura

El cálculo de la huella hídrica, con su componente verde y azul, se basa sobre el hecho que las necesidades hídricas de los cultivos se vean en cierta medida cumplidas por las precipitaciones (agua verde) y eventualmente por el regadío (agua azul).

Las necesidades hídricas de los cultivos (ETc, mm) se calculan siguiendo la metodología seguida por la FAO (Allen et al., 2006):

La huella hídrica verde queda definida por la precipitación evapotranspirada (ETg, mm/mes), calculada como el valor mínimo entre la lluvia efectiva (Peff, mm/mes) y las necesidades hídricas.

$$ETg = \min(CWR, Peff)$$

DEFINICIÓN DE ALGUNOS CONCEPTOS

Evapotranspiración de Referencia, (ETo)

Conocido también como la evapotranspiración potencial, es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmosfera por evaporación y transpiración por un cultivo de tamaño corto que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua.

Incluye los aspectos relacionados con la evapotranspiración de la superficie de referencia, denominada evapotranspiración del cultivo de referencia o evapotranspiración de referencia y simbolizada como ETo. La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo.

Determinación de la evapotranspiración

Existen dos métodos para determinar la evapotranspiración, entre ellos se tienen a los métodos directos e indirectos. Los primeros proporcionan directamente el consumo total del agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para su determinación. Los segundos en forma indirecta y bajo la utilización de fórmulas empíricas, obtienen los consumos de agua a través de todo el ciclo vegetativo de la planta.

Métodos directos

Miden directamente los consumos por evaporación y requieren para su determinación la instalación de aparatos, el cuidado de ellos y seguir la metodología específica en cada paso. Son aplicables para zonas donde se tiene una agricultura establecida, ya que proporcionan valores mucho más apegados a la realidad y sirven a la vez para ajustar los parámetros de los métodos empíricos. Los métodos más utilizados son: el del lisímetro y el método del Tanque evaporímetro.

Método del lisímetro:

Determina la evapotranspiración potencial y consiste en un recipiente enterrado y cerrado lateralmente de tal manera que el agua drenada es captada por un drenaje. El consumo de agua por evapotranspiración se determina pesando diariamente el conjunto del suelo, plantas, agua y aparato, y por diferencia de pesadas se obtiene la humedad consumida. La reposición de agua se efectúa por medio de tanques de alimentación en forma automática.

Puede mencionarse como ventaja la facilidad de las mediciones y de la aplicación del agua.

Siendo el balance hídrico el siguiente:

$$\text{Precipitación} = E_{To} + \text{Infiltración} + \text{Agua almacenada}$$

Si se considera el riego se debe considerar al suelo en condiciones de humedad óptima, siendo la ecuación el siguiente:

$$\text{Precipitación} + \text{Riego} = E_{To} + \text{Infiltración}$$

Método del Tanque evaporímetro:

La E_{To} también se puede estimar con la evaporación del tanque evaporímetro Clase A. Los tanques han probado su valor práctico y han sido utilizados con éxito para estimar E_{To} observando la evaporación del tanque y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la E_{To} . Sin embargo, para la aplicación de este método se deben tomar ciertas precauciones y debe estar garantizado un buen manejo del tanque.

El tanque de evaporación clase A permite estimar los efectos integrados del clima (Radiación, temperatura, viento y humedad relativa), en función a la evaporación registrada de una superficie de agua libre de dimensiones estándar. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque:

$$E_{To} = K_p \times E \quad (1)$$

Dónde:

E_{To} = Evapotranspiración de referencia (mm/día),

K_p = Coeficiente del tanque evaporímetro,

E = Evaporación del tanque evaporímetro (mm/día).

Método indirecto o empírico

Los métodos más comunes para estimar la evapotranspiración son: Penman-Monteith, Hargreaves en base a temperatura, Hargreaves en base a radiación, Blaney y Criddle, Penman simplificado, entre otros que dependen de la confiabilidad de los resultados que ofrecen.

La mayor parte de ellos son demasiado teóricos ya que han sido deducidos bajo condiciones definidas entre regiones y su aplicación precisa de una serie de datos que generalmente no se tienen a la disposición.

El método Penman-Monteith, es recomendado como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia. El método de FAO Penman-Monteith requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento.

La ecuación FAO Penman-Monteith fue derivada a partir de la ecuación original de Penman-Monteith y de las ecuaciones de resistencia aerodinámica y del cultivo:

$$ET_o = \frac{0.408 S (R_n - G) + C \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{S + C (1 + 0.34 u_2)} \quad (2)$$

Dónde:

- ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día⁻²)
- R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- R_a = Radiación extraterrestre (mm día⁻¹)
- G = Flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T = Temperatura media del aire a 2 m. de altura (°C)
- u₂ = Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
- e_s = Presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a = Presión real de vapor (kPa)
- e_s - e_a = Déficit de presión de vapor (kPa)
- S = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- C = Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Le Roy Salazar, recomienda el empleo del método de Hargreaves en base a temperatura y que según este autor en los trabajos realizados por el Plan Meris y el Ministerio de Agricultura, este método dio buenos resultados en los estudios realizados en la Sierra central del país, cuya ecuación es la siguiente:

$$ET_o = MF \times TMF \times CH \times CE \quad (3)$$

$$CH = 0,166 (100 - HRM)^{1/2}$$

$$CE = 1,00 + \frac{0,04E}{2000}$$

Dónde:

MF = Factor mensual de evapotranspiración, se determina de la Tabla, en función a la latitud del lugar (mm).

TMF = Temperatura media mensual (°F),

CH = Factor de humedad relativa media mensual, se determina para valores igual o mayores a 64 % de humedad relativa,

HRM = Humedad relativa media mensual (%),

CE = Factor de corrección por elevación.

E = Altitud (m.s.n.m.).

El método de Hargreaves en base a radiación, puede ser utilizado siempre en cuando se cuenta con datos de radiación media mensual:

$$ETP = 0,004 \times R_s \times T \quad (4)$$

Donde:

R_s = Radiación media mensual (cal/cm²/día)

T = Temperatura media mensual (°F).

El método de Blaney – Criddle, es sugerido para áreas donde se tiene datos de:

-Temperatura ambiental.

-Horas de sol o radiación.

$$ET_o = C \times P (0,46 T + 8) \quad (5)$$

Donde:

T = Temperatura media mensual (°F).

P = Porcentaje media diaria en °C, para el mes considerado.

C = Factor de ajuste, el cual depende de la humedad relativa mínima, horas de sol y de la velocidad de los vientos en el día.

El método de radiación es otro de las formas para determinar la evapotranspiración potencial, el cual se expresa de la siguiente manera:

$$ET_o = C \times (W + R_s) \quad (6)$$

Donde:

R_s = Radiación en evaporación equivalente (mm/día).

W = Factor el cual depende de la temperatura y altitud.

C = Factor de ajuste que depende de condiciones de humedad y viento del día.

Dichas ecuaciones determinan la evapotranspiración de la superficie hipotética de referencia y proporciona un valor estándar con el cual se puede comparar la evapotranspiración en diversos periodos del año o en otras regiones así como también puede relacionarse con la evapotranspiración de otros cultivos.

Coefficiente de cultivo, (K_c)

El coeficiente de cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo con grass de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectaran al valor del coeficiente K_c . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectaran al valor del coeficiente de cultivo.

Descripción y Características de la Zona de Producción

La población de la Sierra de región Junín, presenta un desarrollo económico importante, gracias a la agricultura que es la principal actividad del poblador rural, con un importante volumen de producción anual, que parte de ello se destina al mercado de Santa Anita de Lima.

La Sierra de la región Junín, está ubicado a una altitud media de 3250 m.s.n.m., contando con una precipitación media anual de 690 mm., una temperatura media anual 10,8 °C y la humedad relativa media mensual es 58%, presentándose dos estaciones bien pronunciadas al año, la de estiaje que se presenta de Mayo a Setiembre y la lluviosa de Octubre a Abril.

El relieve es plano a moderadamente inclinada, con suelos de textura que varían entre franco limoso a franco arcillo limoso.

Las condiciones climáticas y el relieve son adecuadas y que favorecen la buena producción de los diferentes cultivos que son de primera necesidad para la alimentación familiar.

La producción agrícola de la Sierra de la región Junín, está basada en los 14 cultivos por orden de importancia, los cuales son: papa, maíz choclo, zanahoria, haba verde, arveja verde, quinua, cebolla, ajo, olluco, trigo, cebada, alcachofa, maíz grano y haba grano, el nivel tecnológico que los agricultores aplican en la producción es la intermedia, empleando para labrar la tierra tractores agrícolas y yuntas, semillas mejoradas, aplicación de abonos, insecticidas entre otros de manera racional, sin embargo la producción de productos agrícolas en la región Junín está en función a la superficie cultivada y a la disponibilidad del agua y además la producción puede ser afectada de manera negativa a causa de algunos factores vulnerables como el clima.

Descripción y Características de Lima Metropolitana

La ciudad de Lima se encuentra ubicada en el desierto costero del Perú, a una altitud media de 556 m.s.n.m., siendo el clima húmedo con ausencia de lluvia y persistente cobertura nubosa, la temperatura promedio anual es 19 °C, con un máximo de 29 °C y la más baja 9 °C, la humedad relativa es alta llegando hasta el 100%, presentándose neblinas persistentes de Junio a Noviembre, es soleado, húmedo y caluroso en el verano de Diciembre a Abril, la precipitación promedio anual es 7,00 mm.

Para el abastecimiento de agua la población de Lima depende de tres ríos, el Rímac, Chillón y Lurín, parte de esta agua sirve para el consumo humano y la otra parte para la agricultura, como el agua es escaso este no abastece para el riego y por otro lado por la alta demografía muchas de las áreas de cultivo son lotizadas para la construcción de viviendas y de esta manera se ven reducidas la superficie de tierras de cultivo.

La población de la ciudad de Lima se va incrementando en un promedio de 139183 habitantes por año, como resultado de la natalidad y la inmigración, esto significa que a medida que pasan los años habrá la necesidad de adquirir una

mayor cantidad de productos agrícolas para la alimentación y por tanto el volumen de agua virtual se incrementará.

La nutrición de los habitantes de la ciudad de Lima, está en relación al consumo de los productos agrícolas tanto en calidad como en cantidad, estando compuesto la dieta diaria familiar saludable con proteínas, carbohidratos y vegetales balanceadas, los cuales los adquieren en los diferentes mercados de la ciudad, observándose que el nivel de desnutrición va disminuyendo, ello se debe a la mejora en la economía del hogar de los pobladores de la ciudad de Lima.

Cuadro 1: Nivel de desnutrición de la Población de la ciudad de Lima

AÑO	POBLACIÓN	INCREMENTO DE LA POBLACIÓN	DESNUTRICIÓN (%)
2004	8338516	144711	13.75
2005	8480489	141973	12.63
2006	8617531	137042	11.55
2007	8749665	132134	10.50
2008	8880155	130490	9.49
2009	9012321	132166	7.50
2010	9149391	137070	8.60
2011	9291850	142459	6.80
2012	9437493	145643	4.10
2013	9585636	148143	4.10
Promedio		139183	

Fuente: INEI, 2014

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

- Informaciones de estudios realizados a nivel nacional y del extranjero, por las diferentes Instituciones e investigadores.
- Registro de cédula de cultivo de los principales cultivos de la Sierra de la región Junín.
- Estudios realizados de valores de coeficiente de cultivo para la Sierra de la región Junín.
- Estadísticas de ingreso de productos agrícolas al mercado de la ciudad de Lima, procedentes de la región Junín.
- Estadística de extensión de terrenos destinados para la agricultura en la región Junín.
- Estadística de rendimiento de producción de los principales cultivos en la Sierra de la región Junín.
- Estadística de precios de comercialización de los productos agrícolas provenientes de la Sierra de la región Junín, hacia el mercado mayorista de Lima.

3.2 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA HUELLA HÍDRICA EN LA AGRICULTURA

Para el cumplimiento del objetivo planteado en el presente trabajo, se ha desarrollado la metodología para realizar los cálculos de los diferentes conceptos que serán tomados en cuenta en el modelo.

Evapotranspiración de Referencia, (ET_o)

Conocido también como la evapotranspiración potencial, es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmosfera por evaporación y transpiración por un cultivo de tamaño corto que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro adecuado y continuo de agua.

Determinación de la evapotranspiración de Referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia para el presente caso se han obtenido directamente por el método directo que es el lisímetro, por ser los valores más reales que los métodos indirectos.

Tipo de Cultivo

En el presente trabajo se han considerado los cultivos que mayormente se comercializan desde la Sierra de la región Junín hacia el mercado de la ciudad de Lima, entre los cultivos considerados se tienen a la papa, trigo, maíz choclo, maíz grano, haba verde, haba grano, arveja verde, alcachofa, zanahoria, cebolla, ajo, cebada, quinua y olluco, siendo estos cultivos los de mayor demanda por los pobladores de la ciudad de Lima.

Dichos cultivos tienen sus propias características de periodo vegetativo, requerimiento de agua y evapotranspiración.

Valores del Coeficiente de Cultivo Tabulados

Valores de K_c en las distintas fases de desarrollo para diversos cultivos, y de acuerdo a la zona de producción, se han considerado del Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos, como la papa, maíz choclo, haba verde, arveja verde, trigo, cebolla y zanahoria, del cultivo de la alcachofa se ha considerado de la información de Hurtado Ch. 2011, para el caso del cultivo del olluco se ha considerado lo mencionado por López & Herman 2003, para el cultivo de la quinua se ha considerado de la información de Geerts 2008 y para los cultivos como la haba grano, cebada, maíz grano y ajo se han tomado en cuenta de la publicación de la FAO.

Cuadro 2: Coeficientes de uso consuntivo (Kc) de los principales cultivos de la Sierra de la región Junín

Cultivos	Días desde la siembra a la cosecha														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Papa	0,18	0,23	0,30	0,40	0,53	0,70	0,84	0,94	1,01	1,05	1,07	1,04	0,95	0,80	0,50
Choclo	0,26	0,30	0,35	0,42	0,51	0,62	0,73	0,83	0,91	0,97	1,01	1,02	1,00	0,93	0,80
Haba verde	0,24	0,30	0,36	0,44	0,54	0,67	0,77	0,86	0,93	0,96	0,99	1,00	0,96	0,88	0,76
Arveja verde	0,30	0,34	0,40	0,48	0,60	0,71	0,80	0,87	0,93	0,96	0,97	0,97	0,94	0,86	0,77
Trigo	0,25	0,36	0,50	0,65	0,78	0,90	0,98	1,04	1,09	1,11	1,12	1,08	0,98	0,94	0,51
Cebolla	0,28	0,34	0,42	0,52	0,62	0,71	0,78	0,84	0,84	0,91	0,92	0,92	0,90	0,85	0,74
Zanahoria	0,34	0,41	0,51	0,60	0,70	0,81	0,90	0,97	1,03	1,07	1,09	1,09	0,96	0,96	0,80

Fuente: Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos (2010)

Cuadro 3: Valores de Kc por etapa de crecimiento de la Alcachofa

Cultivo	Días desde siembra a la cosecha								Prom.
	30	60	90	120	150	180	210	Perenne	
Alcachofa	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Fuente: La alcachofa en el Perú y el mundo (Hurtado Ch., 2011)

Cuadro 4: Valores de Kc por etapa de crecimiento del Olluco

Cultivo	Días desde siembra a la cosecha						Prom.
	30	60	90	120	150	180	
Olluco	0,55	0,90	1,10	0,95	0,70	0,30	0,75

Fuente: El cultivo del olluco en la Sierra Central del Perú (López & Herman, 2003)

Cuadro 5: Valores de Kc por etapa de crecimiento de la Quinua

Cultivo	Días desde siembra a la cosecha								Prom.
	5	34	61	89	115	138	159	175	
Quinua	0,60	0,87	1,00	1,00	1,20	1,17	0,90	0,80	0,94

Fuente: Derivado de la figura B4.1. de Geerts, S. (2008)

Cuadro 6: Valores de Kc de diferentes Cultivos

Cultivo	Kc inicial	Kc media	Kc final
Haba grano	0,50	1,15 – 1,25	0,20 – 0,25
Cebada	0,30	1,15 – 1,25	0,20 – 0,25
Maíz grano	0,30	1,15 – 1,25	0,35 – 0,60
Ajo	0,70	1,10 – 1,20	0,70 – 1,00

Fuente: Publicación de riego y drenaje FAO 56 (Doorenbos & Pruitt, 2006)

Cuadro 7: Etapas de Crecimiento de los cultivos

Cultivo	Etap Inicial	Etap Desarrollo	Etap Fructif.	Etap Final	Total (días)
a. Hortalizas					
Ajo	30	60	50	40	180
Zanahoria	30	40	60	20	150
Cebolla	30	55	55	40	180

Fuente: Publicación de riego y drenaje FAO 56 (Doorenbos & Pruitt, 2006)

.....continuación

Cultivo	Etap Inicial	Etap Desarrollo	Etap Fructif.	Etap Final	Total (días)
b. Tubérculos					
Papa	30	35	50	30	145
c. Leguminosas					
Haba seca	30	45	40	60	175
Haba verde	30	45	40	30	145
Arveja verde	20	30	35	15	100
Alcachofa	40	40	250	30	360

Fuente: Publicación de riego y drenaje FAO 56 (Doorenbos & Pruitt, 2006)

.....continuación

Cultivo	Etap Inicial	Etap Desarrollo	Etap Fructif.	Etap Final	Total (días)
d. Cereales					
Cebada	20	50	60	30	160
Trigo	20	50	60	30	160
Maíz grano	30	50	60	40	180
Maíz choclo	20	40	70	10	140

Fuente: Publicación de riego y drenaje FAO 56 (Doorenbos & Pruitt, 2006)

Evapotranspiración del Cultivo, (ETc)

La evapotranspiración que ocurre en una superficie cultivada puede ser medida directamente a través de los métodos de transferencia de masa o del balance de energía. También se puede obtener la misma a partir de estudios

del balance de agua en el suelo en campos cultivados o a través de lisímetros.

La cantidad de agua que suponen ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta simplemente porque es muy difícil calcularla por separado. Por lo tanto se considera que las necesidades de agua de los cultivos están representadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo más la transpiración de las plantas que es lo que comúnmente se conoce como evapotranspiración.

La evapotranspiración suele expresarse en milímetro de lámina de agua evapotranspirada en cada día (mm/día) y es una cantidad que variará según el clima y el cultivo.

Enfoque del coeficiente del cultivo

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o y el coeficiente del cultivo K_c :

$$ET_c = f(K_c, ET_o)$$

La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ET_o . Por lo tanto, mientras ET_o representa un indicador de la demanda climática, el valor de K_c varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo, así como de los valores de K_c desarrollados en estudios anteriores.

Superficie de Terreno, (ST)

La superficie de terrenos cultivables es un factor clave para la supervivencia de la especie humana y para que el crecimiento poblacional que ocurrirá durante las próximas décadas se pueda producir sin la amenaza de severas hambrunas. La necesidad de terreno para producir alimentos depende de tres

factores, la cantidad de personas a las que hay que alimentar, el tipo de alimento que consumen esas personas y la productividad del terreno.

Durante las próximas tres o cuatro décadas, la población mundial seguirá creciendo, y eso traerá consigo que la necesidad de alimento no dejará de aumentar. Hay que tener en cuenta, además, que en la actualidad, cerca de mil millones de personas pasan hambre y que un objetivo prioritario para la humanidad es la erradicación del hambre.

La Sierra de la región Junín, cuenta con 356 255 ha. de superficie en total, destinados para la actividad agrícola y aptos para la producción de productos que son de primera necesidad para la población.

Requerimientos de agua por el cultivo, (RAC)

La cantidad de agua que los cultivos transpiran, es mucho mayor que, la que retienen (la que usan para crecimiento y el fotosíntesis). La transpiración puede considerarse, por tanto, como el consumo de agua del cultivo por una unidad de superficie de terreno ([www.el Riego .com](http://www.elRiego.com)), el cual está en función de la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la superficie del terreno (ST).

$$RAC = f(ETc, ST)$$

Rendimiento del cultivo, (RC)

Son diversas las variables que indican la mayor o menor eficiencia de la producción agraria; una de ellas es el rendimiento físico por unidad de terreno, generalmente medido como kilogramos o toneladas por hectárea. El Ministerio de Agricultura y Riego, dispone de la información que permite una aproximación a esta variable.

Los rendimientos varían según los años, regiones y tecnologías utilizadas, así como según variedades de un mismo cultivo.

Se ha seleccionado catorce cultivos que son los de mayor demanda, entre ellos se tiene a la papa, trigo, maíz choclo, maíz grano, haba verde, haba grano, arveja verde, alcachofa, zanahoria, cebolla, ajo, cebada, quinua y olluco, cada uno de ellos con sus propios rendimientos, área cultivada y producción.

Como se ven en los Cuadros respectivos el rendimiento va en aumento a medida que la tecnología avanza.

Papa

La papa es un tubérculo de importancia porque aporta proteínas, energía, minerales y vitaminas; porque está adaptado a las condiciones y cultura del poblador de la Sierra peruana y porque su producción y cosecha generan ingresos económicos.

La papa es un cultivo que por su fisiología y morfología es muy sensible al déficit hídrico, el suministro de agua es muy importante durante todas las etapas del crecimiento del cultivo, sobre todo en la etapa de tuberización, los factores como el suelo, el agua y la atmósfera están muy relacionados, ya que se requiere de 5 000 a 7 000 m³ de agua por hectárea y por campaña.

Los riegos deben ser ligeros y frecuentes antes que distanciados y pesados.

En el sistema de producción en secano, los cultivos de papa de mejor rendimiento son aquellos que reciben por lo menos 600 mm. de precipitación.

La superficie sembrada en estos últimos años en la Sierra de la región Junín es de 23037 ha. y la producción para esa superficie es de 402733,20 tn. por año (DRAJ, 2014).

Cuadro 8: Rendimiento del Cultivo de la Papa

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	21579,00	318484,00	14758,98
2005	24217,00	355381,30	14674,87
2006	21480,00	335257,78	15607,90
2007	20739,40	293520,40	14152,79
2008	22496,50	360494,70	16024,48
2009	20871,00	383742,80	18386,41
2010	22834,00	356137,80	15596,82
2011	23168,20	407072,22	17570,30
2012	23392,00	409401,75	17501,78
2013	23037,00	402733,20	17482,02

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Trigo

El trigo se cultiva al secano en la Sierra de la región Junín, la cadena productiva de trigo y sus derivados comerciales tienen diversas características de consumo tanto en cereal, harina, panadería y pastas. Una de las principales variables en la influencia del consumo se concentra en los diversos estratos sociales y las relaciones que se generan en los consumidores de estos productos. El consumo como sabemos estará afectado por diversos factores como el ingreso de las familias, disponibilidad de bienes y servicios esenciales, información, entre otros. El aumento de adquirir trigo en sus derivados lo proporciona un incremento en la capacidad de compra de las familias.

La región Junín ocupa el octavo lugar en producción a nivel nacional, contando con una producción de 15811,53 tn. al año en una superficie cultivada de 6805 ha. en los últimos años (DRAJ, 2014).

Cuadro 9: Rendimiento del Cultivo del Trigo

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	9356,00	13037,00	1393,44
2005	5944,00	8119,90	1366,07
2006	5229,00	7596,59	1452,78
2007	5484,00	7890,18	1438,76
2008	6115,00	10252,00	1676,53
2009	6367,70	12494,37	1962,15
2010	6453,00	14066,51	2179,84
2011	6781,50	14750,80	2175,15
2012	6724,00	15172,80	2256,51
2013	6805,00	15811,53	2323,52

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Choclo

La superficie cultivada del maíz choclo en la Sierra de la región Junín se ha incrementado estos últimos años debido a la gran demanda de este producto, principalmente en la ciudad de Lima.

La siembra a nivel de la Sierra de la región Junín del maíz choclo es al secano y bajo riego, siendo su periodo vegetativo de 5 meses, la necesidad

de agua es 7000 m³ por hectárea en un riego por gravedad y cuando se utiliza el sistema de tecnificado, el consumo de agua es de 3000 a 3500 m³.

La superficie cosechada del maíz choclo al año 2013 fue de 6496 ha. el cual tuvo una producción de 80153,95 tn. (DRAJ, 2014).

Cuadro 10: Rendimiento del Cultivo del Maíz Choclo

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	8836,00	94732,00	10721,14
2005	8064,00	84207,90	10442,45
2006	7035,00	77757,45	11052,94
2007	6709,75	60293,58	8985,97
2008	6758,00	68222,10	10095,01
2009	6431,00	77665,60	12076,75
2010	6793,00	82924,40	12207,33
2011	6395,00	78144,25	12219,59
2012	6470,00	77954,90	12048,67
2013	6496,00	80153,95	12338,97

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Maíz grano

El cultivo del maíz tiene una importancia especial ya que constituye la base de la alimentación humana.

La condición ideal de humedad del suelo, para el desarrollo del maíz, es el estado de capacidad de campo. La cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300 mm., siendo la cantidad óptima de lluvia 550 mm. y la máxima 1000 mm.

La siembra a nivel de la Sierra de la región Junín del maíz grano es al seco y bajo riego, siendo su periodo vegetativo de 7 meses, la necesidad de agua es 7000 m³ por hectárea en un riego por gravedad y cuando se utiliza el sistema de tecnificado, el consumo de agua es de 3000 a 3500 m³.

La superficie sembrada del maíz grano al año 2013 fue de 8410,50 ha. el cual tuvo una producción de 18445,62 tn. (DRAJ, 2014).

Cuadro 11: Rendimiento del Cultivo del Maíz Grano

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	9765,00	13804,40	1413,66
2005	8866,00	12430,55	1402,05
2006	8543,00	12368,73	1447,82
2007	7766,00	10293,54	1325,46
2008	8365,50	12255,32	1464,98
2009	8689,50	16834,20	1937,30
2010	8493,00	17321,15	2039,46
2011	8486,40	17024,74	2006,12
2012	8139,00	17706,05	2175,46
2013	8410,50	18445,62	2193,17

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Haba verde

Este cultivo se desarrolla hasta una altitud de 3600 m.s.n.m., y se cultiva al seco o bajo riego en la Sierra de la región Junín, cuyo periodo vegetativo es de 5 meses, la necesidad de agua es moderada con frecuencia de riego entre 6 a 7 días.

Las técnicas de producción agrícola están supeditadas a factores como la calidad, extensión y ubicación de los terrenos, disponibilidad de agua para riego, riesgos climatológicos, distancia y accesibilidad a mercados y condición socioeconómica del productor.

La producción de haba verde en la Sierra de la región Junín en los últimos años es de 18530,29 tn. por año, para una superficie cultivada de 2531,99 ha. (DRAJ, 2014).

Cuadro 12: Rendimiento del Cultivo de la Haba Verde

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	3992,00	26780,00	6708,42
2005	3261,00	21965,40	6735,79
2006	3065,00	20177,00	6583,03
2007	2903,50	17764,35	6118,25
2008	2574,50	16530,00	6420,66
2009	2274,50	15280,75	6718,29
2010	2387,00	15948,50	6681,40
2011	2387,02	16989,26	7117,35
2012	2466,50	17910,46	7261,49
2013	2531,99	18530,29	7318,47

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Haba grano

Es un cultivo que se desarrolla hasta los 3600 m.s.n.m., y se cultiva al seco o bajo riego en la Sierra de la región Junín, cuyo periodo vegetativo promedio es de 6 meses, la necesidad de agua es moderada con frecuencia de riego entre 6 a 7 días.

Las técnicas de producción agrícola están supeditadas a factores como la calidad, extensión y ubicación de los terrenos, disponibilidad de agua para riego, riesgos climatológicos, distancia y accesibilidad a mercados y condición socioeconómica del productor.

La producción de haba grano para estos últimos años de la Sierra de la región Junín es de 3733,87 tn. por año, para una superficie cultivada de 1816 ha. (DRAJ, 2014).

Cuadro 13: Rendimiento del Cultivo de la Haba Grano

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	2755,00	3887,20	1410,96
2005	2606,00	3523,90	1352,23
2006	2435,00	3517,60	1444,60
2007	2586,00	3713,19	1435,88
2008	2562,00	3908,44	1525,54
2009	2068,00	3766,60	1821,37
2010	2064,00	3986,87	1931,62
2011	1987,00	3766,84	1895,74
2012	1839,00	3682,16	2002,26
2013	1816,00	3733,87	2056,10

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Arveja verde

Es un cultivo de clima templado y algo húmedo, el desarrollo vegetativo tiene su óptimo crecimiento con temperaturas comprendidas entre 16 y 20 °C, estando el mínimo entre 6 y 10 °C y el máximo en más de 35 °C.

Este cultivo en óptimas condiciones de humedad del suelo necesita pocos riegos. No necesita mucha humedad y los riegos han de ser moderados.

Cuando se riega por gravedad, antes de la siembra, es necesario dar un riego para que el suelo tenga humedad suficiente cuando reciba la semilla.

El cultivo de arveja verde en la Sierra de la región Junín para una superficie cultivada en los últimos años de 4611,67 ha., se cuenta con una producción de 31024 tn. de arveja verde (DRAJ, 2014).

Cuadro 14: Rendimiento del Cultivo de la Arveja Verde

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	3974,00	24342,00	6125,31
2005	3899,00	23878,80	6124,34
2006	4009,00	24350,04	6073,84
2007	4178,10	25152,45	6020,07
2008	4358,28	27620,79	6337,54
2009	4133,00	26136,38	6323,83
2010	4491,00	28934,80	6442,84
2011	4432,08	29320,16	6615,44
2012	4553,00	31247,30	6863,01
2013	4611,67	31024,00	6727,28

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Alcachofa

Bajo condiciones de sierra se observa cultivares de alcachofa hasta altitudes de 3300 m.s.n.m., principalmente en los Valles interandinos dependiendo básicamente de las temperaturas que se registran en cada zona y se mantengan en los rangos óptimos.

La alcachofa requiere de una adecuada disponibilidad de agua principalmente durante el crecimiento vegetativo, formación de yemas y maduración de cabezuelas florales.

En sierra, durante los meses de setiembre a marzo el cultivo es manejado mayormente bajo condiciones de lluvia; y durante las épocas de estiaje se aplica el agua de riego, también se requiere el riego complementario ya que las precipitaciones pluviales no siempre se presentan con regularidad todo el año.

El comercio de alcachofas frescas se realiza directamente desde las chacras al mercado de la ciudad de Lima, en donde están concentrados el mayor número de consumidores.

Estos últimos años la superficie sembrada con alcachofa a nivel de la Sierra de la región Junín es de 641 ha., con una producción de 12949,79 tn. (DRAJ, 2014). Esta superficie de cultivo se va incrementando estos últimos años debido a la gran demanda en el mercado.

Cuadro 15: Rendimiento del Cultivo de la Alcachofa

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	334,00	5362,00	16053,89
2005	501,00	7284,40	14539,72
2006	625,00	10530,42	16848,67
2007	673,00	10616,75	15775,26
2008	508,00	7961,90	15673,03
2009	439,00	7300,16	16629,07
2010	410,00	7170,55	17489,15
2011	490,00	9241,60	18860,41
2012	524,00	9831,19	18761,81
2013	641,00	12949,79	20202,48

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Zanahoria

Esta hortaliza como otras en nuestro país ha adquirido mucha importancia, entre las razones se encuentra su alto valor nutritivo, consumo diario, en la meza familiar. En la industria sirve como materia prima para la elaboración de jugos, conservas, entre otras.

Las necesidades hídricas del cultivo, durante todas sus etapas fenológica, aportando la cantidad necesaria, la calidad requerida y en el momento oportuno el agua de riego.

La región Junín es uno de los mayores productores de zanahoria, en donde produce se produce anualmente un promedio de 60 % del total, la cual abastece principalmente a la ciudad de Lima y la Selva Central.

La superficie cultivada estos últimos años llega a 1906 ha., llegando a producir 43 976,80 tn. de zanahoria al año (DRAJ, 2014).

Cuadro 16: Rendimiento del Cultivo de la Zanahoria

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	5013,00	105488,00	21042,89
2005	4540,00	96926,70	21349,49
2006	4111,00	88884,20	21621,07
2007	3999,90	82259,80	20565,46
2008	3089,00	63753,80	20638,98
2009	2855,70	60322,30	21123,47
2010	2559,00	55652,90	21747,91
2011	2242,77	50807,11	22653,73
2012	2042,00	45941,40	22498,24
2013	1906,00	43976,80	23072,82

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Cebolla

La cebolla es uno de los cultivos que se ha adaptado muy bien en la Sierra peruana especialmente en los valles interandinos, siendo su periodo vegetativo entre 5 a 6 meses, El requerimiento de agua de la cebolla fluctúa entre los 1925 m³/ha hasta los 3300 m³/ha, dependiendo de la localidad considerada.

La producción de cebolla se orienta principalmente a cubrir el mercado interno, siendo la cebolla roja la principal variedad producida, dado su arraigado consumo entre la población peruana.

La producción de cebolla se concentra principalmente en los valles interandinos con una producción en el año 2013 de 12700,90 tn. en una superficie cultivada de 658 ha. (DRAJ, 2014).

Cuadro 17: Rendimiento del Cultivo de la Cebolla

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	2625,00	47964,00	18272,00
2005	2412,00	44829,41	18585,99
2006	2004,00	37862,10	18893,26
2007	1987,20	37546,00	18893,92
2008	1535,00	28837,40	18786,58
2009	1145,00	21645,60	18904,45
2010	1021,00	19464,80	19064,45
2011	859,00	16637,70	19368,68
2012	774,00	15075,75	19477,71
2013	658,00	12700,90	19302,28

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Ajo

El ajo es un cultivo muy difundido en el Perú, se le cultiva en todas las regiones desde el nivel del mar hasta los 3500 m.s.n.m., destinado mayormente para su comercialización. La región de mayor producción es Arequipa, sin embargo este cultivo también produce en una buena escala en la Sierra de la región Junín.

Se requiere de una buena provisión de agua en el suelo porque permite un buen crecimiento de la planta y le hace más vigorosa.

La producción de la cebolla roja en estos últimos años llega a 2955,84 tn., en una superficie cultivada de 346,80 ha. (DRAJ, 2014).

Cuadro 18: Rendimiento del Cultivo del Ajo

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (Kg/ha)
2004	227,00	1610,00	7092,51
2005	261,00	1831,50	7017,24
2006	208,00	1562,60	7512,50
2007	214,00	1638,10	7654,67
2008	206,00	1587,50	7706,31
2009	222,00	1684,60	7588,29
2010	274,00	2145,70	7831,02
2011	324,00	2649,45	8177,31
2012	368,00	3124,40	8490,22
2013	346,80	2955,84	8523,18

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Cebada

El cultivo de la cebada en la Sierra de la región Junín por lo general se produce con agua de lluvia, se extiende hasta los 3600 m.s.n.m., ya que es entre los cereales, el que se adapta mejor a las latitudes más elevadas. Para germinar necesita una temperatura mínima de 6 °C. florece a los 16 °C y madura a los 20 °C. tolera muy bien las bajas temperaturas, ya que puede llegar a soportar hasta -10 °C.

La cebada tiene como ventaja que exige más agua al principio de su desarrollo que al final. Siendo la cebada la más resistente a la sequía que el trigo, y de hecho así es, a pesar de tener un coeficiente de transpiración más elevado.

La superficie cultivada a nivel de la Sierra de la región Junín es de 12720,67 ha., con una producción de 28092,50 tn. al año (DRAJ, 2014).

Cuadro 19: Rendimiento del Cultivo de la Cebada

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	13984,00	20040,00	1433,07
2005	11999,00	15977,00	1331,53
2006	10705,00	15271,07	1426,54
2007	10945,00	15440,71	1410,75
2008	11611,00	18501,68	1593,46
2009	12502,50	22715,39	1816,87
2010	12446,00	25902,15	2081,16
2011	12865,75	26533,88	2062,37
2012	12985,00	28172,41	2169,61
2013	12720,67	28092,50	2208,41

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Quinua

En los años recientes, el consumo urbano y las exportaciones de quinua han aumentado, por ello el área cultivada se ha incrementado en cerca del 20%, alcanzando las 35 mil hectáreas en 2010 a nivel nacional.

La quinua se desarrolla en los valles interandinos de 2000 a 3600 m.s.n.m., se caracterizan porque tienen gran desarrollo, pueden llegar de 2 a 2,50 m de altura, son ramificadas, su periodo vegetativo es largo.

Las condiciones climáticas y el suelo tienen influencias muy marcadas en la producción y productividad de la quinua. El clima está determinado por una serie de factores tales como altitud, precipitación, temperatura, latitud, vientos, iluminación, etc.

Dado a su cultivo en zonas marginales de los andes altos, la quinua se enfrenta con altos riesgos ambientales como heladas, sequías prolongadas, granizo, vientos fuertes, suelos pobres y ácidos.

Durante todo el ciclo del cultivo un exceso de humedad, especialmente en combinación con temperaturas elevadas, favorece al ataque de hongos, siendo el requerimiento de agua mínimo entre 300 a 500 mm. y máximo entre 600 a 800 mm. de lámina de agua, para el cultivo se debe definir la fecha correcta de la siembra (así, que la siembra coincida con épocas de lluvia y la cosecha con épocas de estiaje).

En las condiciones de la Sierra de la región Junín, la quinua tiene una producción de 3852,26 tn. para una superficie cosechada de 2138,84 ha. (DRAJ, 2014).

Cuadro 20: Rendimiento del Cultivo de la Quinua

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	1116,00	1366,00	1224,01
2005	829,00	949,30	1145,11
2006	804,00	1049,13	1304,89
2007	879,00	1096,15	1247,04
2008	881,00	1145,49	1300,22
2009	1028,00	1453,65	1414,06
2010	1153,00	1585,66	1375,25
2011	1191,00	1448,30	1216,04
2012	1432,00	1881,91	1314,18
2013	2138,84	3852,26	1801,10

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Olluco

El cultivo del olluco se desarrolla en las zonas altas entre los 3000 a 3900 m.s.n.m., en lugares algo protegidos de las bajas temperaturas cuyo periodo vegetativo es de 6 meses, es de gran importancia en la alimentación dado a su valor nutritivo, después de la papa.

Los requerimientos de humedad varían entre 800 y 1 400 mm. de lámina de agua durante la época de crecimiento en la Sierra peruana.

La superficie sembrada en estos últimos años en la región Junín es de 2680 ha., con una producción de 18719,50 tn. (DRAJ, 2014); además el tubérculo puede ser guardado durante varios meses en la sombra.

Actualmente hay una gran demanda de este cultivo en los mercados de la ciudad de Lima por su contenido proteico.

Cuadro 21: Rendimiento del Cultivo del Olluco

Año	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tn)	Rendimiento (kg/ha)
2004	2748,00	19200,00	6986,90
2005	2666,00	17787,30	6671,91
2006	2511,00	16677,55	6641,80
2007	2622,00	15723,30	5996,68
2008	2632,50	16116,95	6122,30
2009	2507,40	15927,72	6352,29
2010	2530,00	15907,30	6287,47
2011	2804,50	18774,00	6694,24
2012	2734,00	19115,10	6991,62
2013	2680,00	18719,50	6984,89

Fuente: Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

Contenido de Agua Virtual (V)

El contenido de agua en el producto agrícola, viene a ser el agua que se ha empleado en producir un cierto cultivo desde su siembra hasta la cosecha (Hoekstra & Chapagain 2009). Es decir que el contenido de agua está en función al rendimiento del cultivo y para contar con un rendimiento el cultivo debe desarrollarse en las condiciones favorables de clima, suelo y agua. Debiendo por lo tanto el suelo contar con un contenido de agua necesario para mantener una humedad óptima del suelo el cual será aprovechado por el cultivo.

El contenido de agua virtual, está en función del requerimiento de agua del cultivo (RAC) y el rendimiento del cultivo (RC).

$$V = f(\text{RAC}, \text{RC})$$

Comercialización del Producto (Ej)

La región Junín, en forma periódica comercializa diferentes productos agrícolas hacia la ciudad de Lima, es decir la Sierra de dicha región produce el producto y la población de la ciudad de Lima lo consume. Esta comercialización en estos últimos años se hace más intensa a medida que la población de la ciudad de Lima se va incrementando cada vez más.

Siendo los principales productos agrícolas que se comercializan los siguientes:

Cuadro 22: Comercialización de Productos Agrícolas de la Sierra de la región Junín al Mercado de Lima

Año	Ajo (tn)	Cebolla (tn)	Zanahoria (tn)
2004	644,00	153,00	44943,00
2005	1054,00	48,00	41022,00
2006	983,00	34,00	40966,00
2007	1593,00	5,00	35265,00
2008	1369,00	0,00	33635,00
2009	681,00	57,00	33576,00
2010	902,00	18,00	32092,00
2011	1472,00	14,00	32077,00
2012	1202,00	2,00	31991,00
2013	1137,20	10,70	30623,00
PROMEDIO	1103,72	34,17	35619,00

Fuente: SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2013)

.....continuación

Año	Arveja Verde (tn)	Haba Grano (tn)	Haba Verde (tn)
2004	21674,00	189,00	4221,00
2005	20562,00	715,00	4541,00
2006	20893,00	480,00	3454,00
2007	24429,00	359,00	5297,00
2008	23836,00	675,00	6716,00
2009	20681,00	480,00	7020,00
2010	19490,00	432,00	5546,00
2011	21668,00	179,00	6395,00
2012	20938,00	47,00	4111,00
2013	20788,40	177,40	4253,30
PROMEDIO	21495,94	373,34	5155,43

Fuente: SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2013)

.....continuación

Año	Alcachofa (tn)	Maíz Grano (tn)	Choclo (tn)
2004	5651,00	7596,00	32163,00
2005	6345,00	7577,00	35092,00
2006	6576,00	8188,00	41038,00
2007	5484,00	7395,00	29964,00
2008	5370,00	9342,00	35292,00
2009	4709,00	9452,00	44244,00
2010	4853,00	9158,00	46354,00
2011	5163,00	6300,00	36729,00
2012	4607,00	3355,00	33700,00
2013	6068,40	3495,10	34650,70
PROMEDIO	5482,64	7185,81	36922,67

Fuente: SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2013)

.....continuación

Año	Quinua (tn)	Cebada (tn)	Trigo (tn)
2004	25,00	8228,00	612,00
2005	0,00	5099,00	114,00
2006	19,00	3372,00	440,00
2007	0,00	3374,00	566,00
2008	0,00	4663,00	435,00
2009	39,00	2725,00	228,00
2010	18,00	2583,00	192,00
2011	8,00	1944,00	171,00
2012	18,00	1707,00	39,00
2013	36,90	1702,20	183,30
PROMEDIO	16,39	3539,72	298,03

Fuente: SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2013)

.....continuación

Año	Papa (tn)	Olluco (tn)
2004	203871,00	1701,00
2005	228902,00	2373,00
2006	240209,00	2233,00
2007	229773,00	1589,00
2008	278883,00	1616,00
2009	298101,00	2256,00
2010	281667,00	1250,00
2011	277451,00	1404,00
2012	280944,00	786,00
2013	276367,80	1399,90
PROMEDIO	259616,88	1660,79

Fuente: SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2013)

Contenido en Agua Virtual del Producto j (Vj)

Es la cantidad de agua que un producto agrícola requiere para su producción, ya que cada producto de acuerdo a sus características fisiológicas requiere de una cierta cantidad de agua para su desarrollo en las diferentes etapas de su crecimiento de su periodo vegetativo hasta la obtención del producto acabado para su comercialización.

El contenido de agua virtual del producto, está en función del contenido de agua virtual (V) y la comercialización del producto (Ej).

$$V_j = f(V, E_j)$$

Agua Virtual Transferida en Productos Agrícolas. (AVt)

Cuando se comercializa los productos agrícolas, también se está comercializando el agua, es decir el agua que fue empleada para producir un cierto producto agrícola.

Dentro de algunos años por problemas del calentamiento global del planeta y por razones de superpoblación de la ciudad de Lima, el agua para las diferentes necesidades será escaso, por lo que hay la necesidad que regiones como la Sierra de la región Junín que aún cuentan con el recurso agua pudieran destinar mayormente este recurso para la agricultura, previa planificación y destinar una cierta cantidad de productos para su

comercialización y como consecuencia también continuar con la comercialización del agua virtual.

El agua virtual transferida en productos agrícolas, se determina en función al contenido de agua virtual (V_j) y a la comercialización del producto (E_j).

$$AV_t = f(V_j, E_j)$$

3.3 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA HUELLA HÍDRICA EN LA AGRICULTURA

El procedimiento sigue una secuencia analítica con el cual se llega a determinar la cantidad de agua empleada para producir un cierto producto agrícola, el mismo que al ser comercializado al mercado de la ciudad de Lima se está también comercializando agua, al cual se le denomina el agua virtual o huella hídrica.

Fundamento teórico

Para tener una idea clara sobre la huella hídrica se han revisado una serie de trabajos y artículos científicos efectuados por diferentes investigadores sobre el particular, de los cuales se han obtenido los diferentes conceptos referentes al tema los mismos que han sido tomados en cuenta para efectuar el presente trabajo.

Chapagain y Hoekstra (2004), plantea los pasos a seguir para la determinación de la huella hídrica, iniciándose con la obtención de los registros climáticos para determinar la evapotranspiración de referencia (potencial), así mismo también se deberán de considerar los parámetros de los cultivos considerados como el coeficiente de cultivo esto se puede obtener del manual de la FAO, para luego determinar la evapotranspiración del cultivo (real) por el método que uno elige, el autor utilizar para el cálculo el cropwat, determinándose el requerimiento de agua del cultivo RAC del cultivo elegido, este valor puede ser ajustado por unidad de superficie frente a cambios en rendimientos productivos, con este resultado y el rendimiento del cultivo se determinaran el agua virtual contenida en el cultivo (V), y este resultado con la producción total del cultivo se estará determinando el total de agua usada por el cultivo, al mismo que se le

denomina la huella hídrica agrícola (HHA), este mismo procedimiento también lo plantean Allan (2003) y Zhuo et al (2014).

En el presente trabajo se han empleado el mismo procedimiento, considerándose la evapotranspiración de referencia (potencial) obtenido por el lisímetro por ser datos más consistentes ya que corresponden a un método directo y el coeficiente de cultivo fueron obtenidos de los estudios realizados en la zona, los demás pasos fueron tomados en cuenta los mismos que los sigue los autores antes mencionados.

Sistematización del problema

Desde muchos años atrás se comercializan diferentes productos agrícolas entre pueblos, ciudades y naciones, más aún en estos últimos años por el incremento de la población en ciertas ciudades existiendo mayor demanda de dichos productos y por el factor climático algunas regiones no producen ciertos productos de primera necesidad, efectuándose esta comercialización desde los lugares de mayor producción hacia aquellos que lo requieren.

En el presente trabajo se han tomado en cuenta la comercialización de productos agrícolas que a diario se realizan desde la Sierra de la región Junín hacia la ciudad de Lima, ya que con esta comercialización también indirectamente se está comercializando agua virtual en diversas cantidades de acuerdo al requerimiento de agua para producir un cierto producto.

El modelo del sistema cuenta con variables de entrada y de salida; siendo los de entrada aquellos que directamente se toman como datos y la variable de salida es el resultado de la huella hídrica y el operador viene a ser el conjunto de ecuaciones o funciones de transferencia que transforman las variables de entrada en variable de salida.



Variables de entrada: Evapotranspiración de referencia (ET_o), coeficiente de cultivo (K_c), superficie de terreno (ST), rendimiento de cultivo (RC) y comercialización del cultivo (E_j).

Operador: Evapotranspiración del cultivo ($ET_c = K_c \times ET_o$), requerimiento de agua del cultivo ($RAC = ET_c \times ST$), contenido de agua virtual ($V = RAC/RC$) y contenido de agua virtual del producto ($V_j = V$)

Variable de Salida: Agua virtual transferida en productos agrícolas ($AV_t = V_j \times E_j$) que viene a ser la huella hídrica agrícola.

Comparación con resultados similares

El modelo que se ha planteado requiere ser comparado, para ello se comparan algunos resultados obtenidos en el presente trabajo, con los obtenidos en los trabajos realizados por diferentes investigadores para el caso de la huella hídrica de la papa:

Investigador	Agua virtual
-Allan J. A. (2003)	250 lt/kg
-CIAT (2000)	290 lt/kg
-CNIC (2012)	280 lt/kg

De donde se observa que existe una semejanza, con el resultado obtenido en el presente trabajo, la diferencia se debe a las variaciones climáticas, a las características del suelo y al grado de tecnología empleado en la producción de los diferentes productos agrícolas, por lo que dicho modelo se puede aceptar ya que el contenido de agua virtual obtenido para 1,00 kilo de papa es de 290,92 lt. de agua, respecto a los otros cultivos no hay estudios al respecto.

Modelo Conceptual

A continuación se presenta el modelo conceptual de la huella hídrica, empleado en el presente trabajo.

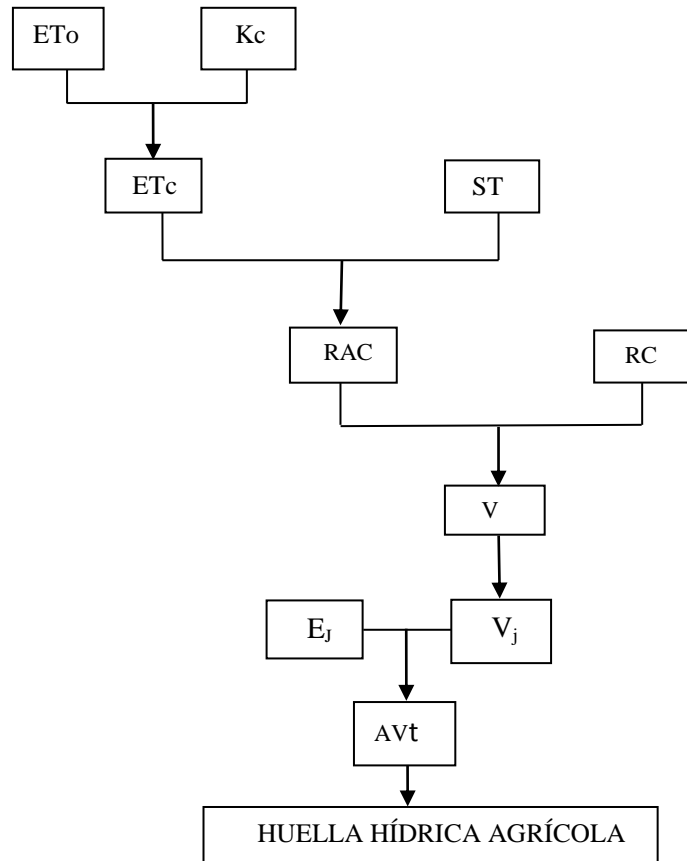


Figura 1. Esquema del procedimiento de obtención de la huella hídrica.

Dónde:

E_{To} : Evapotranspiración de referencia.

K_c : Coeficiente de cultivo.

E_{Tc} : Evapotranspiración del cultivo.

ST : Superficie de terreno.

RAC : Requerimientos de agua del cultivo.

RC : Rendimiento del cultivo.

V : Contenido en agua virtual.

E_j : Comercializaciones del producto j .

V_j : Contenido en agua virtual del producto j .

AVt : Agua virtual transferida en productos agrícolas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET_o)

Los valores de la evapotranspiración de referencia (potencial), considerado en el presente trabajo es aquel tomado por el método directo, en este caso se han considerado la del método del lisímetro de la Estación de Huayao, considerándose para ello un registro de los últimos 10 años.

Para determinar los valores de la ET_o con el método del lisímetro previamente se han efectuado el balance hídrico de acuerdo al modelo requerido para el caso, es decir de acuerdo a la Estación del año meses lluviosos y meses de estiaje.

Para el cálculo de la ET_o se ha utilizado los datos meteorológicos de la Estación de Huayao que se ubica en la localidad de Huachac, de la Provincia de Chupaca, Departamento de Junín, el cual se ubica a una altitud media 3 308 m.s.n.m. En el Cuadro 23, se presenta los resultados obtenidos, de donde se observa que la ET_o anual es de 1702,70 mm., lo que representa un promedio de 4,66 mm/día. El máximo valor corresponde al mes de Octubre con 174,50 mm/mes equivalente a 5,62 mm/día y el menor valor se presenta en Junio con 118,00 mm/mes equivalente a 3,93 mm/día.

Cuadro 23: Evapotranspiración de Referencia media por el método del lisímetro

Meses	ET _o (mm/mes)
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50
Junio	118,00
Julio	124,90
Agosto	161,70
Setiembre	170,50
Octubre	174,50
Noviembre	145,50
Diciembre	166,00

Fuente: SENAMHI

De este Cuadro, se ha determinado los valores de la evapotranspiración de referencia para los diferentes cultivos considerados en el estudio, de acuerdo a los meses en los cuales los cultivos se encuentran en sus diferentes etapas de crecimiento como la inicial, desarrollo, fructificación y maduración.

Cuadro 24: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la papa

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 25: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del trigo

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del choclo

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 27: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del maíz grano

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 28: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la haba verde

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 29: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la haba grano

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 30: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la arveja verde

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 31: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la alcachofa

Meses	ETo (mm/mes)
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50
Junio	118,00
Julio	124,90
Agosto	161,70
Setiembre	170,50
Octubre	174,50
Noviembre	145,50
Diciembre	166,00

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 32: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la zanahoria

Meses	ETo (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 33: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la cebolla

Meses	ETo (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 34: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del ajo

Meses	ETo (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 35: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la cebada

Meses	ETo (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 36: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo de la quinua

Meses	ETo (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 37: Evapotranspiración de referencia para el periodo vegetativo del olluco

Meses	ETo (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50
Mayo	122,50

Fuente: Elaboración propia

4.2 COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

Con el objeto de considerar el efecto de las características de cada cultivo sobre las necesidades de agua, se ha determinado los coeficientes de cultivo (Kc).

Los coeficientes de cultivo han sido determinados para el período vegetativo de cada cultivo, para lo cual se han considerado los valores de los estudios realizados para las condiciones del Valle del Mantaro, en la Estación del INIA Estación Experimental de Santa Ana, en el cual se tiene en cuenta las características del cultivo, la fecha de siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo, la duración del período vegetativo, las condiciones climáticas y especialmente durante la primera fase de crecimiento la frecuencia de riego. Los valores del coeficiente de cultivo (Kc) promedio se presentan en los Cuadros del 38 al 40.

Cuadro 38: Valores de Kc Promedio de los principales Cultivos

Cultivo	Kc
Papa	0,71
Choclo	0,71
Haba verde	0,71
Arveja verde	0,73
Trigo	0,82
Cebolla	0,71
Zanahoria	0,82

Fuente: Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos 2010.

Cuadro 39: Valores de Kc Promedio de los principales Cultivos

Cultivo	Kc
Alcachofa	0,70
Olluco	0,75
Quinoa	0,94

Fuente: Hurtado, López & Herman 2003, Geerts 2008 respectivamente

Cuadro 40: Valores de Kc Promedio de los principales Cultivos

Cultivo	Kc
Haba grano	0,67
Cebada	0,63
Maíz grano	0,73
Ajo	0,94

Fuente: Publicación de riego y drenaje FAO 56 (Doorenbos & Pruitt, 2006)

4.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ETc)

La necesidad de agua por los cultivos, es el agua consumido en forma de evapotranspiración en condiciones ideales de crecimiento, medido desde la siembra hasta la cosecha. Las condiciones ideales quieren decir que el agua del suelo se mantenga por la lluvia y/o el riego para que no limite el crecimiento de plantas y el rendimiento de los cultivos. Básicamente, las necesidades de agua de cultivo se calculan multiplicando la evapotranspiración de referencia (ET_o) por el coeficiente de cultivo (K_c): ET_c = K_c × ET_o. Se supone que las necesidades hídricas de los cultivos se cumplen plenamente, por lo que la evapotranspiración del cultivo actual (ET_c) será igual a las necesidades de agua de los cultivos.

La evapotranspiración del cultivo se determina en función a los resultados de la evapotranspiración de referencia y el coeficiente de cultivo el cual nos permite obtener los requerimientos de agua de los cultivos a lo largo de su periodo vegetativo, el cual se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (7)$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

K_c = Coeficiente de cultivo

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/mes)

4.4 SUPERFICIE DE TERRENO (ST)

Se ha considerado la superficie del terreno destinado para producir los diferentes cultivos de acuerdo a la estadística e información agraria de la Dirección Regional de Agricultura Junín, en el presente caso se está considerando la unidad es decir una hectárea por cultivo, para luego totalizar de acuerdo al área cultivada.

$$ST = f(\text{a la superficie cultivada})$$

4.5 REQUERIMIENTO DE AGUA DEL CULTIVO (RAC)

Es la cantidad de agua que se utiliza para producir un determinado producto por superficie de terreno cultivada, el requerimiento de agua del cultivo es determinado por el producto de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la superficie de terreno (ST) que está destinado para un determinado cultivo.

$$RAC = ET_c \times ST \quad (8)$$

Dónde:

RAC = Requerimiento de agua del cultivo (m^3/ha)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

ST = Superficie de terreno (ha.)

4.6 RENDIMIENTO DEL CULTIVO (RC)

El rendimiento de los cultivos está en función al grado de tecnología empleado en las diferentes actividades empleados desde la siembra hasta la cosecha, para el presente caso se ha considerado el rendimiento promedio de

los últimos 10 años considerados, ya que estos últimos años la tecnología de la producción a mejorado.

Otro de los factores que influyen en el rendimiento de los cultivos es el clima de la zona en estudio, es decir son dos épocas bien pronunciadas una que es lluviosa de Noviembre a Marzo y la seca de Mayo a Octubre, durante este periodo la agricultura es bajo riego.

$RC = f(\text{según la tecnología empleado para producir})$

4.7 CONTENIDO DE AGUA VIRTUAL (V)

El agua virtual es una herramienta esencial para calcular el uso real del agua de una determinada zona, o su huella hídrica "water footprint", equivalente al total de la suma de los productos agrícolas que es destinado a la comercialización hacia una localidad para su consumo. La huella hídrica de una localidad es un indicador útil de la demanda de dicha zona o país respecto a los recursos hídricos del planeta.

A nivel individual, la huella hídrica es igual a la cantidad total de agua virtual de todos los productos consumidos.

El contenido de agua virtual viene a ser el cociente entre el requerimiento de agua del cultivo y el rendimiento del cultivo.

$$V = \frac{RAC}{RC} \quad (9)$$

Dónde:

$V =$ Evapotranspiración del cultivo (m^3/kg)

$RAC =$ Requerimiento de agua del cultivo (m^3/ha)

$RC =$ Rendimiento del cultivo (kg/ha)

4.8 COMERCIALIZACIÓN DEL PRODUCTO (Ej)

Por la ubicación geográfica y por el clima adverso en escasez de lluvia en la Costa y de manera en particular la ciudad de Lima donde se encuentra concentrada el mayor número de habitantes, se convierte en adquiridor de los principales productos agrícolas que se emplean en la mesa familiar.

En la región Junín, la comercialización de los productos agrícolas como la papa, maíz choclo, haba verde, arveja verde, haba grano, maíz grano, trigo, cebada, cebolla, ajo, zanahoria, alcachofa, quinua y olluco, presentan un crecimiento sostenido en los últimos años, actitud que genera una oferta comercializable más competitiva que ayuda a consolidar y abrir más mercados en las ciudades de la Costa peruana.

Esta situación implica una mayor atención en mejorar las infraestructuras y la tecnología para la producción de los principales cultivos de la región Junín porque es y será por siempre el principal abastecedor de dichos productos hacia el mercado de la ciudad de Lima.

$$E_j = f(\text{comercialización de los productos agrícolas a una determinada zona})$$

4.9 CONTENIDO DE AGUA VIRTUAL DEL PRODUCTO (V_j)

Para producir los productos agrícolas se requiere conocer el consumo de agua; y esto está en función al periodo vegetativo de cada cultivo y a las diferentes etapas de su crecimiento, denominándose a esta agua virtual del producto.

El agua virtual de los productos de una región es un indicador útil de la demanda de la localidad respecto a los recursos hídricos de la zona.

$$V_j = f(\text{agua empleada para producir un producto agrícola})$$

4.10 AGUA VIRTUAL TRANSFERIDA EN PRODUCTOS AGRÍCOLAS (AV_t)

Dentro del país la producción de alimentos agrícolas está en función al clima y a la disponibilidad de terrenos de cultivo, llegando a comercializar desde las regiones de alta producción hacia aquellos que por su ubicación geográfica y la escases de áreas de cultivo y a la alta densidad poblacional existe mayor demanda de estos cultivos.

En las regiones en los que abundan los recursos hídricos, la transferencia de agua virtual no deja de traer consecuencias medioambientales. Los recursos hídricos disponibles en las regiones se utilizan para la producción de

cultivos para la comercialización. Esta situación contribuye a que se agoten los acuíferos, se sequen los ríos y aumente el nivel de evaporación.

Parte del recurso hídrico que dispone una región es comercializado, esto ocurre cuando se comercializa los productos agrícolas, esta cantidad de agua se determina con la siguiente expresión:

$$AVt = Vj \times Ej \quad (10)$$

Dónde:

AVt = Evapotranspiración del cultivo (m^3)

Vj = Requerimiento de agua del cultivo (m^3/kg)

Ej = Rendimiento del cultivo (kg)

4.11 APLICACIÓN DEL MODELO

En el siguiente acápite se desarrolla la aplicación del procedimiento planteado para el caso del cultivo de la papa, el cual se ubica en la Sierra de la región Junín, para ello se han tomado en consideración datos meteorológicos de dicha zona, las áreas de producción de los principales cultivos como la papa, maíz choclo, maíz grano, haba verde, haba grano, arveja verde, alcachofa, zanahoria, cebolla, ajo, trigo, cebada, quinua y el olluco, los cuales tienen una gran demanda en el mercado de la ciudad de Lima.

1. Evapotranspiración de referencia:

Se han considerado la evapotranspiración determinada para la zona de acuerdo a las características meteorológicas de la Estación de Huayao, determinado por el método directo del lisímetro.

Cuadro 41: Evapotranspiración de referencia promedio ocurrido en la Sierra de la región Junín para el periodo vegetativo de la papa

Meses	ET _o (mm/mes)
Diciembre	166,00
Enero	141,60
Febrero	123,40
Marzo	129,60
Abril	124,50

Fuente: Elaboración propia

2. Coeficiente de Cultivo (Kc):

El valor de Kc para el cultivo de la papa con un periodo vegetativo de 5 meses se considera en el siguiente cuadro.

Meses	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Prom.
Kc	0,30	0,70	1,01	1,04	0,50	0,71

3. Evapotranspiración del cultivo:

$$ETc = Kc \times ETo$$

Kc	ETo (mm)	ETc (m,)
0,30	166,00	49,80
0,70	141,60	99,12
1,01	123,40	124,63
1,04	129,60	134,78
0,50	124,50	62,25
TOTAL		470,58

4. Superficie de terreno:

El presente cálculo es para una unidad de superficie, por lo que se ha considerado 1,00 ha. de terreno.

$$ST = 1,00 \text{ ha.}$$

5. Requerimiento de agua del cultivo:

$$RAC = ETc \times ST$$

$$RAC = 470,58 \text{ mm} \times 1,00 \text{ ha} \times 10$$

$$RAC = 4\,705,80 \text{ m}^3/\text{ha}$$

6. Rendimiento del cultivo:

El rendimiento de la papa varía de acuerdo a la tecnología empleada y de acuerdo a la variedad, para el presente caso se ha considerado el rendimiento promedio de 10 años.

$$RC = 16175,64 \text{ kg/ha}$$

7. Contenido de agua virtual:

$$V = \frac{RAC}{RC}$$

$$V = \frac{4\,705,80 \text{ m}^3/\text{ha}}{16\,175,64 \text{ kg}/\text{ha}}$$

$$V = 0,29092 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = 290,92 \text{ lt}/\text{kg}$$

8. Comercialización de la papa:

La comercialización de los productos está dada por la cantidad de papa que ingresa al mercado de la ciudad de Lima procedente de la región Junín de un promedio de los últimos 10 años.

$$E_j = 259616880 \text{ Kg}$$

9. Agua virtual transferida:

Para determinar el agua virtual transferida se obtiene por el producto del contenido de agua virtual y la cantidad comercializado de la papa.

$$AV_t = V \times E_j$$

$$AV_t = 0,29092 \text{ m}^3/\text{kg} \times 259\,616\,880 \text{ Kg}$$

$$AV_t = 75\,527\,742,72 \text{ m}^3/\text{año}$$

Siguiendo este mismo procedimiento se determina el agua virtual transferida para los demás cultivos considerados en el presente estudio:

Cuadro 42: Requerimiento de agua de los cultivos por superficie de terreno

Cultivo	Periodo Vegetativo (mes)	Área cultivada (ha)	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	RAC (m ³ /ha)
Papa	5	22381,40	682.00	0.69	470.58	4705.80
Trigo	5	6525,90	689.52	0.64	441.29	4412.90
Choclo	5	6998,80	690.11	0.71	489.98	4899.80
Maíz grano	6	8552,40	802.26	0.71	569.60	5696.00
Haba verde	5	2784,30	679.57	0.67	455.31	4553.10
Haba grano	6	2271,80	809.90	0.60	485.94	4859.40
Arveja verde	5	4263,90	680.11	0.74	503.28	5032.80
Alcachofa	12	514,50	1702.70	0.70	1191.89	11918.90
Zanahoria	5	3235,80	685.38	0.77	527.74	5277.40
Cebolla	5	1502,00	683.48	0.71	485.27	4852.70
Ajo	6	265,10	804.64	0.84	675.90	6759.00
Cebada	5	12276,40	680.21	0.64	435.33	4353.30
Quinua	6	1145,20	806.48	0.94	758.09	7580.90
Olluco	6	2643,50	802.00	0.75	601.50	6015.00

Fuente: SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2013) – Elaboración propia.

ET_o : Evapotranspiración de referencia

K_c : Coeficiente de cultivo

ET_c : Evapotranspiración del cultivo

RAC : Requerimiento de agua del cultivo

El Cuadro 42, muestra la información sobre el periodo vegetativo de los cultivos, la superficie cultivada, el requerimiento de agua de los catorce tipos de cultivos y los rendimientos respectivos por hectárea cultivada; de acuerdo a esta información se puede mencionar que el cultivo de la papa abarca la mayor superficie sembrada de 22381,40 ha., con un periodo vegetativo de 5 meses, mientras que el ajo tiene la menor superficie cultivada con 265,10 ha. y 6 meses de periodo 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 (Cuadro 42) indican que el requerimiento de agua varía de acuerdo al tipo de cultivo. Así la cebada requiere 4353,30 metros cúbicos de agua para producir en promedio 1753,39 kilos por hectárea, mientras que la alcachofa requiere de 11918,90 metros cúbicos de agua para producir 17083,35 kilos por hectárea.

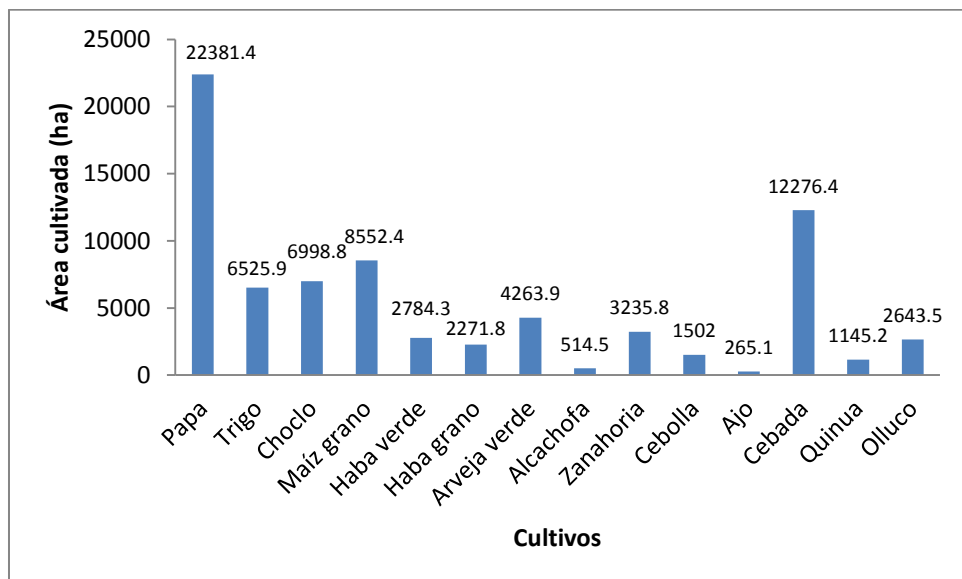


Figura 2. Área de cultivo de los productos considerados en el estudio.

Contenido de Agua Virtual

En el siguiente Cuadro, se observan para los catorce cultivos el contenido de agua virtual y el volumen de estos productos que se comercializan, en función al rendimiento de los cultivos por superficie de terreno cultivado.

Cuadro 43: Agua Virtual transferida en productos agrícolas desde la Sierra de la región Junín hacia el mercado de la ciudad de Lima

Cultivo	RC (kg/ha)	V = Vj (lt/kg)	Ej (kg)	VA _t (m ³)
Papa	16175.64	290.92	259616880	75527466.85
Trigo	1822.48	2421.37	298030	721641.16
Choclo	11218.88	436.75	36922670	16125825.26
Maíz grano	1740.55	3272.53	7185810	23515770.16
Haba verde	6766.32	672.91	5155430	3469121.82
Haba grano	1740.55	2791.88	373340	1042319.03
Arveja verde	6365.35	790.66	21495940	16995886.61
Alcachofa	17083.35	697.69	5482640	3825188.73
Zanahoria	21631.41	243.97	35619000	8689942.57
Cebolla	18954.93	256.01	34170	8747.95
Ajo	7759.33	871.08	1103720	961428.82
Cebada	1753.38	2482.80	3539720	8788433.24
Quinua	1334.19	5682.02	16390	93128.38
Olluco	6573.01	915.11	1660790	1519798.67
TOTAL				161284699.26

Fuente: Elaboración propia

RC : Rendimiento del cultivo

V : Contenido en agua virtual

Vj : Contenido de agua virtual del producto j

Ej : Comercialización del producto j

AV_t : Agua virtual transferida en productos agrícolas

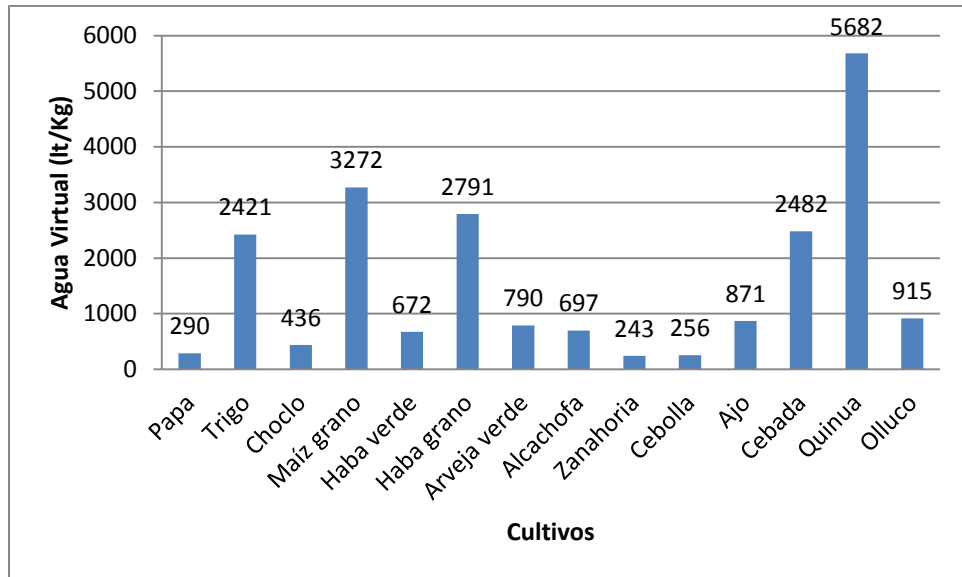


Figura 3. Volumen de Agua Virtual requerido para producir un kilo de producto en la Sierra de la región Junín.

En el Cuadro 43 se aprecia que el contenido de agua virtual más alto corresponde a la quinua con 5682,02 litros de agua por kilo y el más bajo a la zanahoria con 243,97 litros de agua por kilo.

El agua virtual transferida, también varía de acuerdo a la cantidad de productos comercializados que en este caso la papa viene a ser el producto con mayor volumen de agua virtual transferida seguido del maíz grano y en una menor cantidad es la cebolla. Siendo la huella hídrica de los 14 cultivos considerados en el estudio 161,28 Hm³/año, el mismo que se ve en la siguiente figura.



Figura 4. Flujo de la huella hídrica de productos comercializados de la Sierra de la región Junín al mercado Mayorista de Lima.

Distribución Porcentual de la Huella Hídrica Total de los Productos Agrícolas Comercializadas en el Mercado de la Ciudad de Lima

En la siguiente figura se observa la distribución porcentual de la huella hídrica de los 14 productos agrícolas que son comercializados desde la Sierra de la región Junín, hacia el mercado de la ciudad de Lima, correspondiendo a la papa el de mayor porcentaje el cual representa el 46,83%, seguido del maíz grano con un 14,58% y la menor es la cebolla con 0,01%., estos valores nos representan los porcentajes al año.

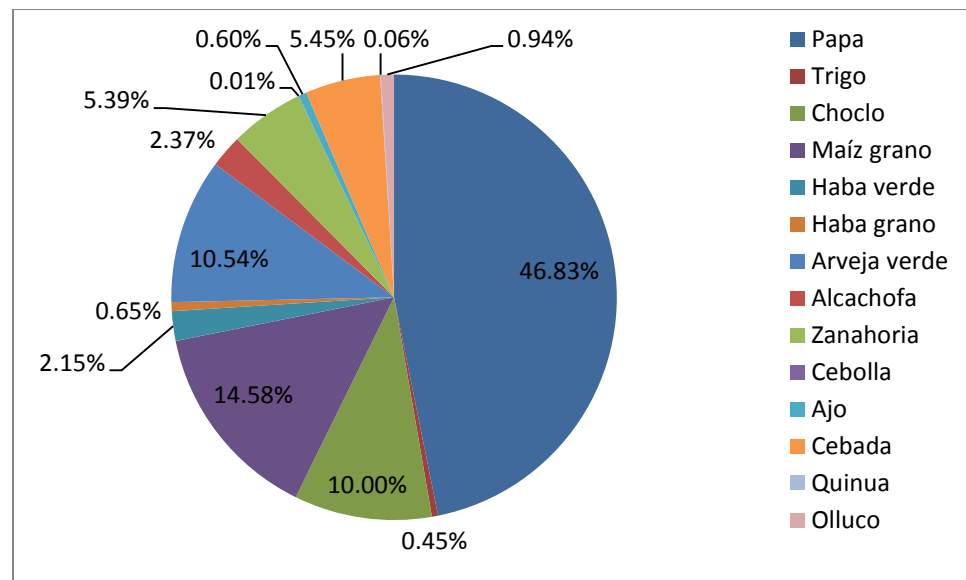


Figura 5. Distribución Porcentual de la Huella Hídrica Total de los Productos Agrícolas Comercializadas en el Mercado de la Ciudad de Lima.

4.12 VOLÚMENES DE AGUA VIRTUAL TOTAL, COMERCIALIZADA Y SOBRENTE

En el estudio se han obtenido el volumen de agua virtual comercializado desde la región Junín hacia el mercado de la ciudad de Lima, sin embargo también hay un volumen total de agua virtual que es utilizado al considerar la superficie total de terreno destinados para cada uno de los 14 cultivos, al sacar la diferencia se observa que existe en una buena cantidad de agua como sobrante, por lo que se puede deducir que en la zona de producción

aún no se presenta el problema de impacto negativo al utilizar el agua en forma no planificada.

El agua sobrante, puede disminuir en caso que se incrementa la cantidad de los 14 productos que se comercializa hacia la ciudad de Lima.

Cuadro 44: Volúmenes de agua virtual total, comercializada y sobrante

Cultivo	Volumen de agua virtual total (m ³ /año)	Volumen de agua virtual comercializada (m ³ /año)	Volumen de agua virtual sobrante (m ³ /año)
Papa	105322392.12	75527466.85	29794925.27
Trigo	28798144.11	721641.16	28076502.95
Choclo	34292720.24	16125825.26	18166894.98
Maíz grano	48714470.40	23515770.16	25198700.24
Haba verde	12677196.33	3469121.82	9208074.51
Haba grano	11039584.92	1042319.03	9997265.89
Arveja verde	21459355.92	16995886.61	4463469.31
Alcachofa	6132274.05	3825188.73	2307085.32
Zanahoria	17076610.92	8689942.57	8386668.35
Cebolla	7288755.40	8747.95	7280007.45
Ajo	1791810.90	961428.82	830382.08
Cebada	53442852.12	8788433.24	44654418.88
Quinua	8681646.68	93128.38	8588518.30
Olluco	15900652.50	1519798.67	14380853.83
Total	372618466.61	161284699.26	211333767.35

Fuente: Elaboración propia

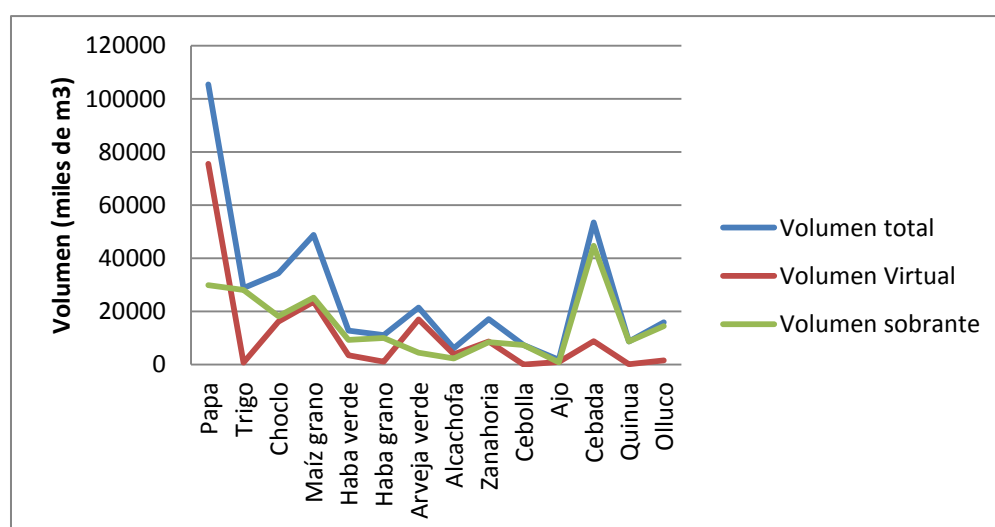


Figura 6. Volúmenes de agua virtual total, comercializada y sobrante

En el Cuadro 44, se tiene el agua virtual sobrante el cual resulta de la diferencia entre el total de agua virtual que viene a ser el requerimiento del agua del cultivo para la superficie total de terreno que se destina para dicho cultivo y el agua virtual que es transferido en productos agrícolas desde la región Junín al mercado de la ciudad de Lima.

El agua virtual sobrante, viene a ser el agua que aún no es comercializado, el mismo que es el agua que es usado para producir los cultivos cuyo producto son utilizados en la misma región Junín.

4.13 VALOR ECONÓMICO DEL AGUA DE LOS CULTIVOS COMERCIALIZADAS EN EL MERCADO DE LIMA

El valor del agua tiene una connotación cualitativa, para ello se debe tener presente como se usa el término, pues el agua tiene un alto significado como un componente del conjunto de recursos naturales como valores ambientales, como función del ecosistema y los valores sociales, en cambio el valor económico del agua se puede cuantificar y se refiere a un valor económico el cual tiene que ser medido en un valor monetario.

Desde el punto de vista de la eficiencia, la ausencia del precio del agua ha conducido a un uso irracional que acentúa de forma creciente la escasez relativa del recurso.

Costo de los Productos en el Mercado de Lima

Los 14 principales productos agrícolas de procedencia de la Sierra de la región Junín, y que son comercializados en el mercado Mayorista y de Santa Anita cuentan con precios variables de acuerdo a las diferentes épocas del año, por tanto para el presente trabajo se han considerado los promedios de los precios de 10 años del 2004 al 2013, los cuales se presentan en el siguiente Cuadro:

Cuadro 45: Precios de los productos agrícolas por kilo en el Mercado de Lima

Cultivo	Precio Mínimo (S/.)	Precio Máximo (S/.)	Precio Promedio (S/.)
Papa	0,59	0,79	0,69
Trigo	1,45	3,73	2,59
Choclo	1,42	2,29	1,86
Maíz grano	1,52	2,06	1,79
Haba verde	0,69	1,24	0,97
Haba grano	2,02	3,38	2,70
Arveja verde	1,32	2,65	1,99
Alcachofa	2,21	3,58	2,89
Zanahoria	0,46	0,76	0,61
Cebolla	0,37	1,16	0,87
Ajo	2,23	4,10	3,16
Cebada	1,05	1,97	1,51
Quinua	2,63	10,07	6,35
Olluco	0,77	1,50	1,14

Fuente: SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2014)

El valor económico del agua empleado en el riego de los 14 cultivos procedentes de la región Junín hacia los mercados de Lima para su comercialización, han sido determinados tomándose en cuenta la producción, precio de los productos, costo de producción y el requerimiento de agua empleado en el riego por hectárea de terreno.

Del cuadro adjunto se puede analizar que a mayor producción el valor económico del agua es también alto, de la misma manera este valor también está en relación al precio de cada uno de los productos agrícolas en el mercado de Lima.

Cuadro 46: Valor económico del agua de los cultivos de la región Junín comercializadas en el Mercado de Lima

Cultivo 1	Producción (kg/ha) 2	Precio (S./kg) 3	Ingreso (S./ha) 4	Costo de producción (S./ha) 5	Rentabilidad (S./ha) 6	Requerimiento de agua (m3/ha) 7	Valor de agua (S./m3) 8
Maíz Choclo	11218.88	2.29	25691.24	3198.03	22493.21	4899.80	4.59
Alcachofa	17083.35	3.58	61158.39	13490.00	47668.39	11918.90	4.00
Cebolla	18954.93	1.16	21987.72	6289.63	15698.09	4852.70	3.23
Ajo	7759.33	4.10	31813.25	11895.21	19918.04	6759.00	2.95
Arveja verde	6365.35	2.65	16868.18	5025.80	11842.38	5032.80	2.35
Zanahoria	21631.41	0.76	16439.87	8481.56	7958.31	5277.40	1.51
Quinua	1334.19	10.07	13435.29	4146.20	9289.09	7580.90	1.23
Papa	16175.64	0.79	12778.76	7497.45	5281.31	4705.80	1.12
Trigo	1822.48	3.73	6797.85	2546.00	4251.85	4412.90	0.96
Haba verde	6766.32	1.24	8390.24	4120.94	4269.30	4553.10	0.94
Olluco	6573.01	1.50	9859.52	5546.91	4312.61	6015.00	0.72
Cebada	1753.38	1.97	3454.16	2140.17	1313.99	4353.30	0.30
Haba grano	1740.55	3.38	5883.06	4430.79	1452.27	4859.40	0.30
Maíz grano	1740.55	2.06	3585.53	3007.40	578.13	5696.00	0.10

Fuente: Elaboración propia

Referencias:

- (2) Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)
- (3) SISAP – Ministerio de Agricultura y Riego (2014)
- (4) Dirección Regional de Agricultura Junín (2014)

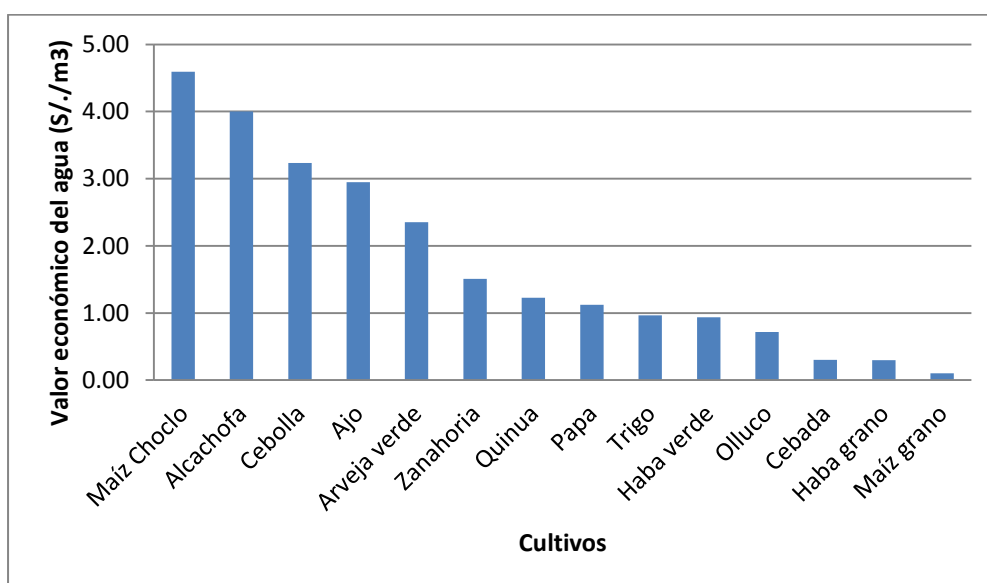


Figura 7. Valor económico del agua procedente de la región Junín al Mercado de Lima

4.14 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 también varían, utilizándose para ello los tomados directamente por el método del lisímetro.
- 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 registrado por el Ministerio de Agricultura y Riego.
- El presente procedimiento servirá para determinar de una manera práctico y consistente la huella hídrica para otros cultivos y para diferentes regiones, para ello se requiere contar con los valores del 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.
- El procedimiento seguido secuencialmente hasta llegar a determinar el volumen de agua empleado para producir un cierto producto agrícola, viene a ser el agua virtual comercializado en el mercado de la ciudad de Lima.
- Según la sistematización del problema, la comercialización de productos se efectúan desde muchos años atrás, desde los lugares donde por su característica climática producen dichos productos y desde las regiones donde cuentan con mayores superficies de cultivo hacia aquellas regiones que por su ubicación geográfica hay una mayor demanda de dichos productos agrícolas.
- Para determinar la huella hídrica se consideran variables a los que se le denominan de entrada los cuales son datos tomados directamente de los ya existentes, el operador que viene a ser el que convierte a dichas variables de entrada en variables de salida que en este caso es la huella hídrica.

Cuadro 47: Comparación de resultados del presente estudio con otras investigaciones

Cultivo	Tesis 2015	Allan 2003	CIAT 2000	CNIC 2012	Chouchane <i>et al</i> 2014	Mekonnen & Hoeskstra 2011	Mekonnen & Hoeskstra 2014	Madrid & Velázquez 2008
Papa	290	250	290	280				
Trigo	2421				2560	1828	1620	
Cebada	2482				1420		1292	
Ajo	871							201
Alcachofa	697							561
Cebolla	256							143
Zanahoria	243							149

Fuente: Elaboración propia de la revisión de literatura

- Del Cuadro anterior se pueden analizar que el agua virtual de la papa obtenido en el presente estudio es de 290,92 lt/kg., y la obtenida por estudios realizados por Anthony Allan (2003), CIAT (2000) y CNIC (2012), dan valores de agua virtual que son similares por lo que se puede afirmar que la metodología seguida se puede validar.
- El agua virtual del trigo obtenido en el presente estudio es de 2421,37 lt/kg., y la obtenida por estudios realizados por Chouchane *et al* (2014), Mekonnen & Hoeskstra (2011) y Mekonnen & Hoeskstra (2014), dan valores de agua virtual que se observan en el Cuadro anterior, observándose que hay una similitud entre dichos valores, afirmándose que la metodología seguida es aceptable.
- El agua virtual de la cebada obtenido en el presente estudio es de 2482,80 lt/kg., y la obtenida por estudios realizados por Chouchane *et al* (2014) y Mekonnen & Hoeskstra (2014), observándose que hay una diferencia ello se debe a la diferencia en las variedades de cebada entre lo estudiado y las obtenidas por los investigadores en el continente Europeo y además se debe a la variación de los aspectos climatológicos y la tecnología empleado en la producción.
- El agua virtual determinada en el presente estudio para los cultivos del ajo, alcachofa, cebolla y zanahoria, los cuales se observan en el Cuadro anterior, comparados con los obtenidos por Madrid & Velázquez (2008), los cuales

corresponden a diferentes estados de España, de donde se observa que hay una variación en los resultados, el cual se debe a las variaciones tecnológicas empleadas en la producción y a las diferencias climatológicas ya que inclusive existe también una gran diferencia entre los diferentes estados de España.

-El modelo conceptual planteado para determinar la huella hídrica, se ajusta a nuestra realidad y la metodología seguida consideran los descritos en la sistematización para al final obtener resultados válidos para el caso.

-El agua no sólo es un elemento vital para el medio ambiente, sino que también constituye un factor potencial o limitante para el desarrollo socioeconómico, debido a que es un recurso absolutamente necesario para satisfacer las necesidades básicas de la población y con una gran capacidad de generar trabajo.

V. CONCLUSIONES

Respecto al objetivo 01:

-Se ha llegado a obtener el modelo conceptual para determinar la huella hídrica en mismo que ha sido aplicado en el presente trabajo.

Respecto al objetivo 02:

-El modelo desarrollado fue aplicado en la determinación de la huella hídrica de cada uno de los cultivos en estudio, con los cuales se han obtenido los resultados requeridos.

-Los productos agrícolas como la papa, maíz grano, arveja verde, haba, choclo y zanahoria son los productos de mayor necesidad y que mayormente consume la población de Lima y por tanto dichos productos representan un mayor porcentaje de huella hídrica por año que son transferidos a la ciudad de Lima.

-El impacto de la huella hídrica depende enormemente del lugar de donde se extrae el agua, en este caso para la ciudad de Lima hay un gran impacto porque recibe un buen volumen de agua virtual en los productos comercializados sin embargo el impacto en la zona de producción no se hace notar porque se cuenta hasta el momento con una buena disponibilidad de agua para el consumo y para producir dichos productos agrícolas.

Respecto al objetivo 03:

-El contenido de agua virtual más alto corresponde a la quinua con 5 682,02 litros de agua por kilo y el más bajo a la zanahoria con un 259,70 litros de agua por kilo.

-El producto con el cual se transfiere la mayor cantidad de agua virtual es la papa con 75,52 Hm³/año, seguido del maíz grano con 23,51 Hm³/año y el producto que transfiere la menor cantidad de agua virtual es la cebolla con 8747,95 m³/año.

-Con los catorce productos agrícolas que se comercializan de la región Junín hacia la ciudad de Lima, para su consumo, se está transfiriendo un volumen total de 161,28 Hm³/año de agua virtual; lo que significa que se necesita este volumen de agua para producir igual cantidad de productos en áreas agrícolas de Lima, con el agravante de mayores costos, de producción, uso de extensas áreas agrícolas, entre otros.

-La adquisición de agua virtual en forma de productos agrícolas es una solución válida para los problemas de escasez del recurso hídrico, sobre todo en las regiones áridas donde el riego es indispensable para cultivar alimentos de gran valor y con importante cantidad de agua.

Respecto al objetivo 04:

-El valor económico del agua, tiene un gran significado en la valoración cuantitativa, siendo el valor alto en aquellos productos donde tienen un gran rendimiento por hectárea y al mismo tiempo tengan una gran rentabilidad por hectárea, como es en el caso del maíz choclo con un valor económico más alto siendo este S/4,59 por m³ de agua, por contar con una producción de 11218,88 kg/ha y una rentabilidad de S/.22 493,21por hectárea.

VI. RECOMENDACIONES

- Continuar en base al presente trabajo de investigación, con nuevas líneas de investigación de la huella hídrica, como en otros cultivos y para diferentes regiones productivas del Perú.
- Considerar los resultados obtenidos en la planificación y gestión del agua para afrontar en el futuro la escasez del agua, más aún en aquellas regiones donde, dado sus características geográficas el agua de lluvia es escasa.
- Divulgar los resultados, para que el poblador tome conciencia de la cantidad de agua que se gasta en obtener un kilo de cada producto agrícola y de esa manera optimizar el agua en las diferentes actividades.
- Plantear estrategias para seguir investigando frente a la vulnerabilidad causada por factores climatológicos, para evitar el desabastecimiento de los productos agrícolas al mercado de la ciudad de Lima.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldaya M. M., Allan J. A. & Hoekstra A. Y. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. *Journal of the International Society for Ecological Economics*. New York. 8 p.
- Allan J. A. 2003. Virtual water eliminates water wars. A case study from the Middle East. *Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Values of Water Research Report Series N° 12*. IHE, Delft, Holanda.
- Allen G., Pereira L., Raes D. & Smit M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. *Boletín FAO 56*. Roma. 322 p.
- Arévalo D., Lozano J. & Sabogal J. 2011. Estudio Nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad Tecnología y Humanismo N° 7*. Cataluña. España.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2012. *Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos en el Perú*. Lima.
- Begazo J. D. 2009. El Comercio del Agua Virtual. *Revista de investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas UNMSM*, vol. 12, N° 23. Lima. 59 p.
- Cardona M.C. & Congote O.B. 2013. Water footprint, an impact indicator in wáter use. *Journal Tecnogestion*. District University Francisco José de Caldas. Bogota. 6 p.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua. 2012. *Material didáctico sobre la Huella Hídrica*. Andalucía. 130 p.
- Centro Nacional de Información de la Calidad (CNIC). *La Huella Hídrica*. Asociación Española para la Calidad. 2012. Madrid, pp-5
- Chapagain A. K. & Hoekstra A. Y. 2004. Water footprints of Nations. *Value of Water Research Report Series. 16*. UNESCO: IHE, Institute for water education. Delf, the Netherlands.

- Chapagain A. K. & Hoekstra A. Y. 2010. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Journal of the International Society for Ecological Economics*. New York. 10 p.
- Chapagain A. K., Hoekstra A. Y. & Savenije H. G. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. *Journal Interactive of Hydrology and Earth System Sciences*. Berlín. 14 p.
- Chouchane H., Hoekstra A.Y., Krol M.S. & Mekonnen M.M. 2014. The water footprint of Tunisia from an economic perspective. *Ecological Indicators Journal*. 52: 311-319.
- Eguren F. 2013. *La Revista Agraria* 157. CEPES. Lima. 16 p.
- Ercin E.A. & Hoekstra A.Y. 2014. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. *Journal of the International Society for Ecological Economics*. New York. 12 p.
- Escobar J. L. & Gómez O. A. 2007. Valor Económico del agua para Riego un Estudio de Valoración Contingente. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad del Valle Colombia*. 18 p.
- Fader M., Gerten D., Thammer M., Heinke J., Lotze - Campen H., Lucht W. & Cramer W. 2010. Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. *Journal Interactive of Hydrology and Earth System Sciences*. Berlín. 20 p.
- Garay C. O. 2010. Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. INIA. Huancayo. 30 p.
- Grajales Q. A., Jaramillo R. A. & Cruz C. G. 2010. Los nuevos conceptos sobre agua virtual y huella hídrica aplicados al desarrollo sostenible, implicaciones de la agricultura en el consumo hídrico. *Universidad de Caldas. Manizales*. 26 p.
- Hoekstra A., Chapagain A., Aldaya M. & Mekonnen M. 2009. *Water Footprint Manual*. USA. 127 p.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2015. *Dirección Técnica de Demografía y estudios sociales*. Lima.

- Jiménez D. L. 2008. Costo de Oportunidad y Externalidades en el Valor Económico del Agua Superficial para Uso Agrícola en el Valle de Mala. Asamblea Nacional de Rectores. Lima. 200 p.
- Llamas M. R. 2005. Los Colores del Agua, El Agua Virtual y los conflictos Hídricos. Revista Académica de Ciencias Exactas de Física Natural, Madrid. 30 p.
- Madrid C. 2007. Hidratar el metabolismo Socioeconómico: Los Flujos de Agua Virtual y el Metabolismo. Instituto de Ciencia y Tecnología Andina, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Madrid C. & Velázquez E. 2008. El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al Sector hortofrutícola de Andalucía (España). Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. Vol. 8: 29-47. Barcelona.
- Matthews O. P., Brookshire D. S. & Campana M. E. 2001. El Valor económico del Agua, resultados de un taller celebrado en Caracas Venezuela. Programa de Recursos Hídricos Universidad de Nueva México. 31 p.
- Mekonnen M. M. & Hoekstra A. Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop Products. Journal Interactive of Hydrology and Earth System Sciences. Berlín. 24 p.
- Mekonnen M. M. & Hoekstra A. Y. 2014. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. Journal of the International Society for Ecological Economics. New York. 10 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2000. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). www.aclimatecolombia.org/download/sistemas-sostenibles/huella2.pdf. Bogotá.
- Ministerio de Agricultura y Riego. Sistema de Abastecimiento de Precios (SISAP). 2013. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección Regional de Agricultura Junín (DRAJ). 2014. Huancayo.
- Pengue W. A. 2004. Agua Virtual, Agronegocios Sojero y Cuestiones Económico Ambientales Futuras. GEPANA FADU UBA. Buenos Aires. 43 p.
- Pérez R. M. 2006. Comercio Exterior y Flujos Hídricos en la Agricultura Colombiana: Análisis para el periodo 1961 – 2004. Universidad del Valle. Cali. 16 p.

- Pontificia Universidad la Católica del Perú. 2010. Huella hídrica. Lima.
- Programa Global Andino PGA. 2012. Edición N° 3. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE. II Seminario Internacional de Huella Hídrica.
- Quispe R. J. 1986. Evapotranspiración Potencial en el Valle del Mantaro. Proyecto Especial de Pequeñas y Medianas Irrigaciones. Huancayo. 36 p.
- Riego Agrícola. Fundamentos de Riego. 2012. Necesidades del Agua de los Cultivos. (www.el Riego.com).
- Rodríguez C. R., Garrido A. & Varela C. 2008. La huella hidrológica en el Agricultura Española. Fundación Marcelino Botín. Madrid. 39 p.
- Salmoral G., Dumont A., Aldaya M. M., Rodríguez – Casado R., Garrido A. & Llamas M. H. 2011. Análisis de la Huella Hídrica extendida de la Cuenca del Guadalquivir. Revista Papeles de Seguridad Hídrica y Alimentaria y Cuidado de la Naturaleza N° 1. Madrid.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). 2014. Lima.
- UNESCO. 2011. Programa Mundial para la Evaluación de los Recursos Hídricos. Water Footprint. Paris.
- Van Hofwegen, P. 2004. Virtual Water Trade- Conscious Choices. Synthesis E-Conference. World water Council. 4th World Water Forum.
- Vázquez M. R. 2012. Introducción a la huella hídrica. Programa de formación Iberoamericano en materia de aguas. México. 63 p.
- Velásquez E. 2008. El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona. 47 p.
- Velásquez E., Madrid C. & Beltrán M. J. 2009. Repensando los conceptos de Agua Virtual y Huella Hídrica, una propuesta desde el doble binomio Producción-Consumo & Agua-Energía. Corporate water footprints. España.
- Wackernagel, M. & Rees, W. E. 1996. Our ecological footprint – Reducing human impact on the Earth. Environment and Urbanization 8(2): 216–216.

- Zhuo L., Mekonnen M. M. & Hoekstra A. Y. 2014. Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting: a case study for the Yellow River basin. *Journal Interactive of Hydrology and Earth System Sciences*. Berlin. 16 p.
- Zimmer, D. Y. & Renault, D. 2003. Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results. *Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water Research report Series N° 12*. IHE, Delft, Holanda.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Huella Hídrica Transferida Total y por Productos

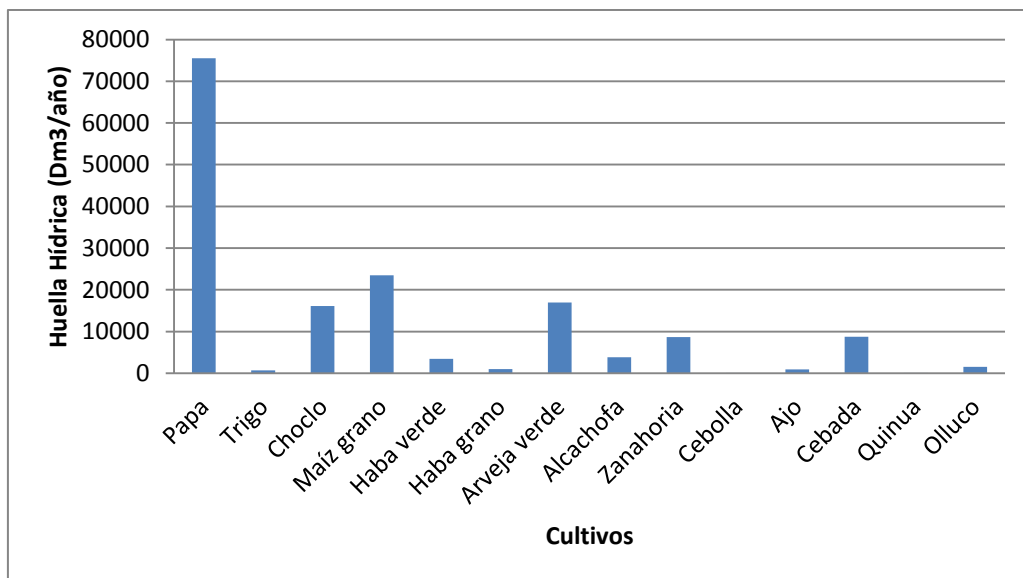


Figura 8. Huella Hídrica Total de productos agrícolas transferidos desde la Región Junín al Mercado de Lima

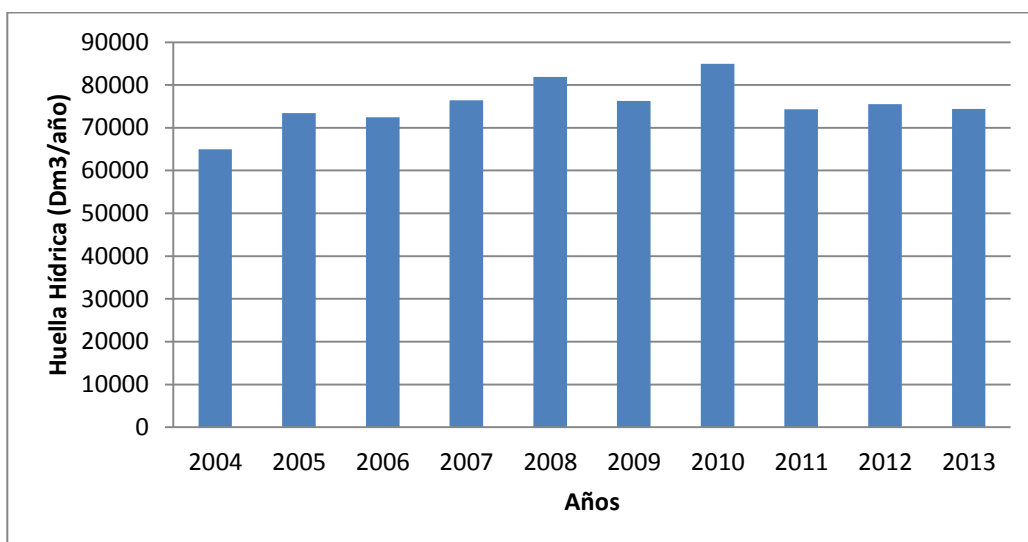


Figura 9. Huella Hídrica de la papa transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

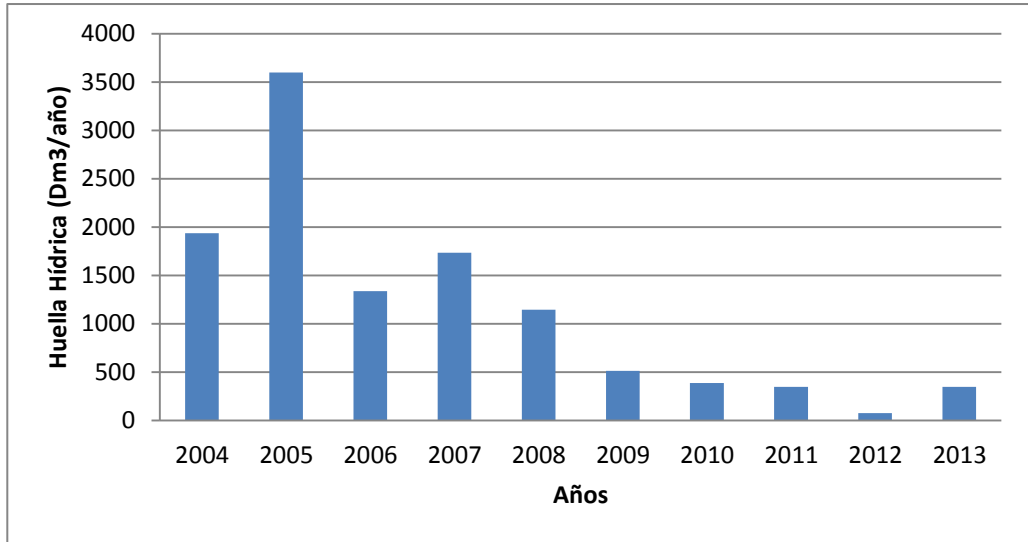


Figura 10. Huella Hídrica del trigo transferido desde la Región Junín al Mercado de Lima

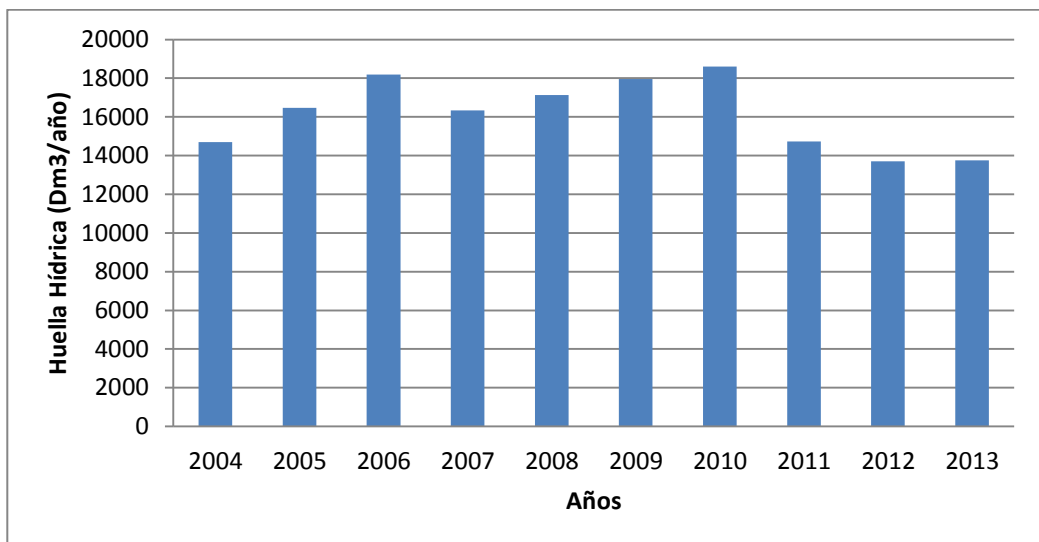


Figura 11. Huella hídrica del choclo transferido desde la Región Junín al Mercado de Lima

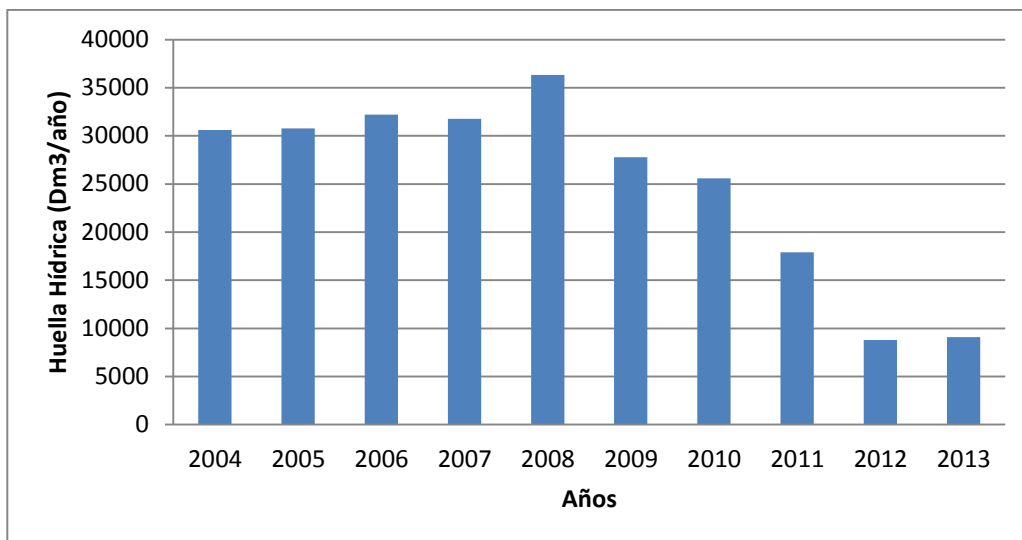


Figura 12. Huella Hídrica del maíz grano transferido desde la Región Junín al Mercado de Lima

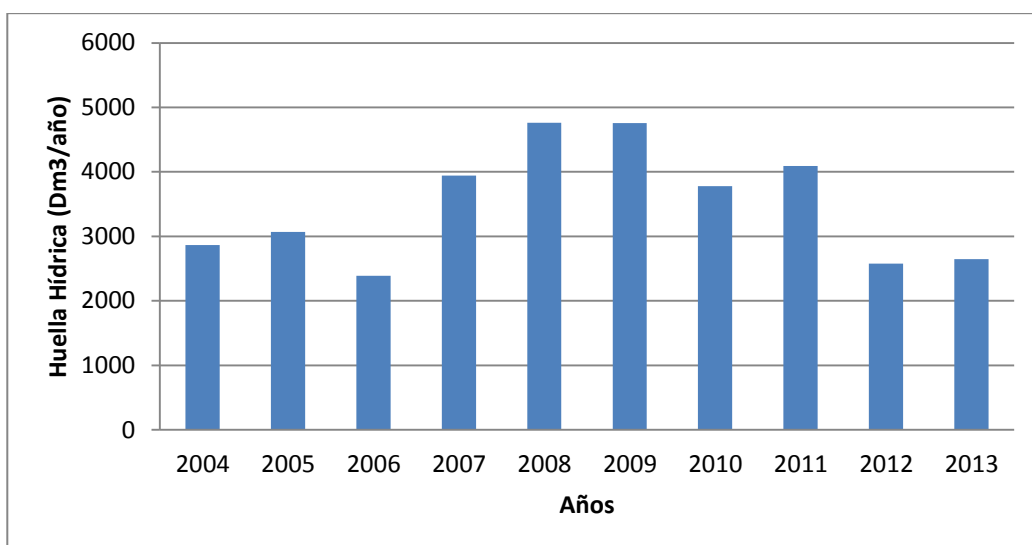


Figura 13. Huella Hídrica de la haba verde transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

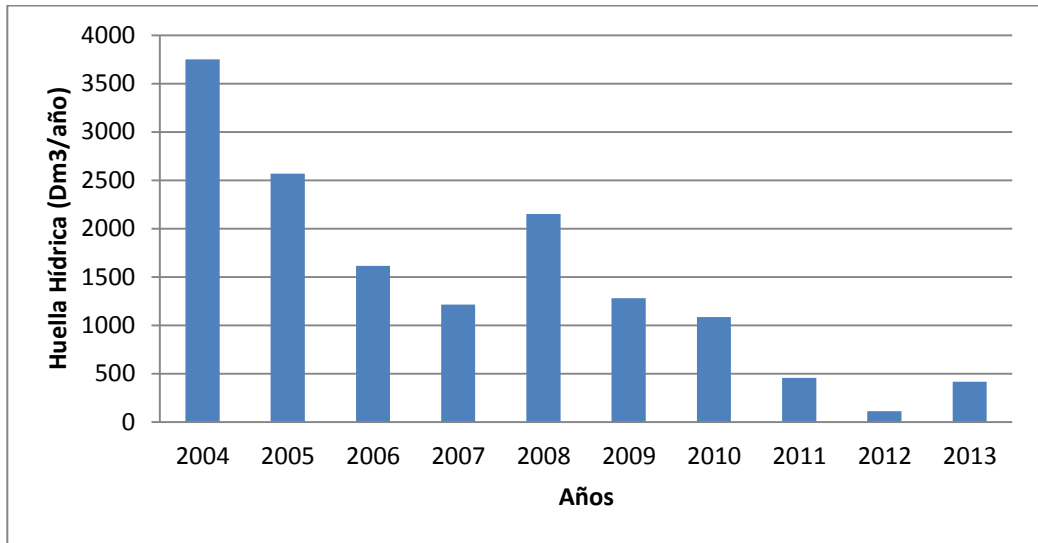


Figura 14. Huella Hídrica del haba grano transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

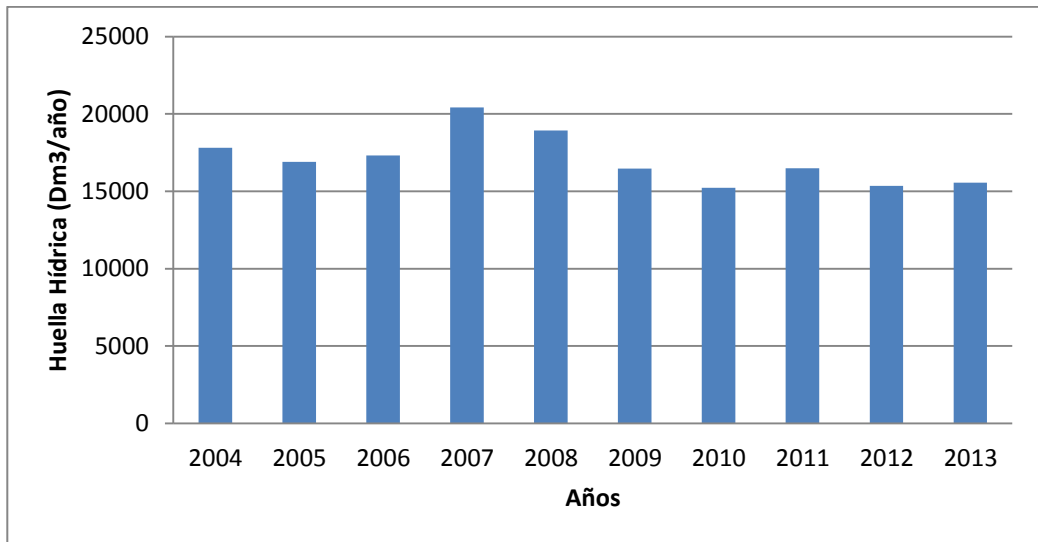


Figura 15. Huella Hídrica de la arveja verde transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

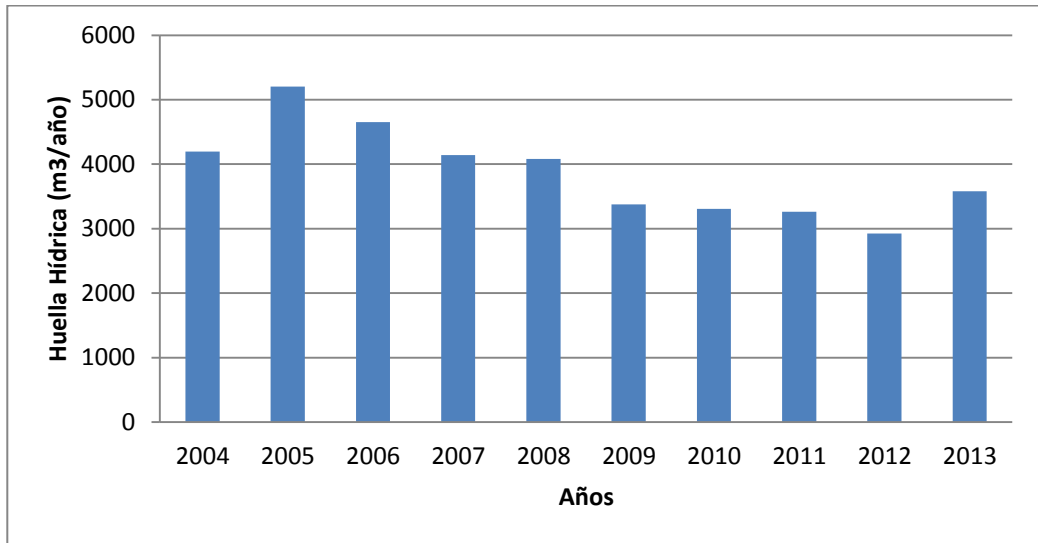


Figura 16. Huella Hídrica de la alcachofa transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

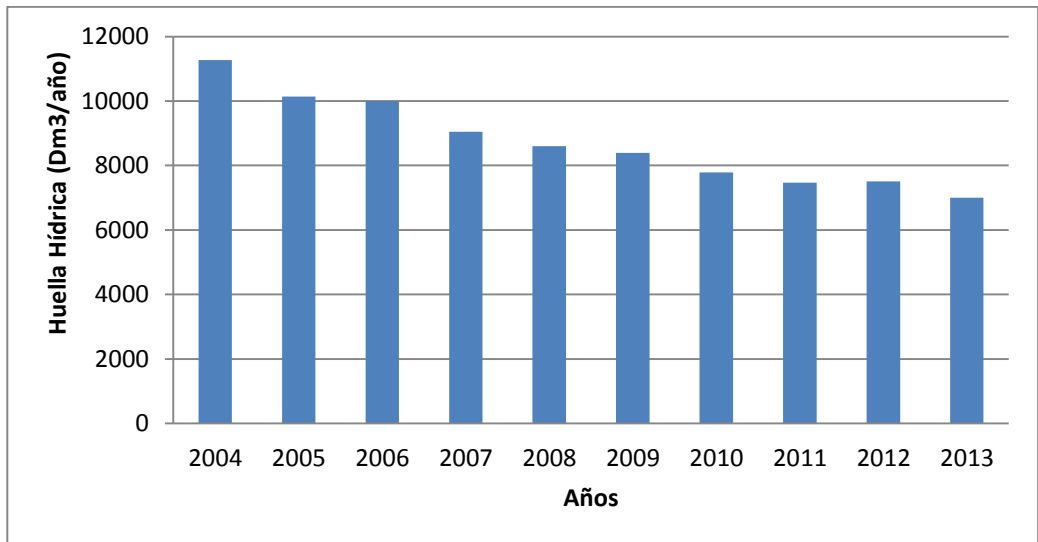


Figura 17. Huella Hídrica de la zanahoria transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

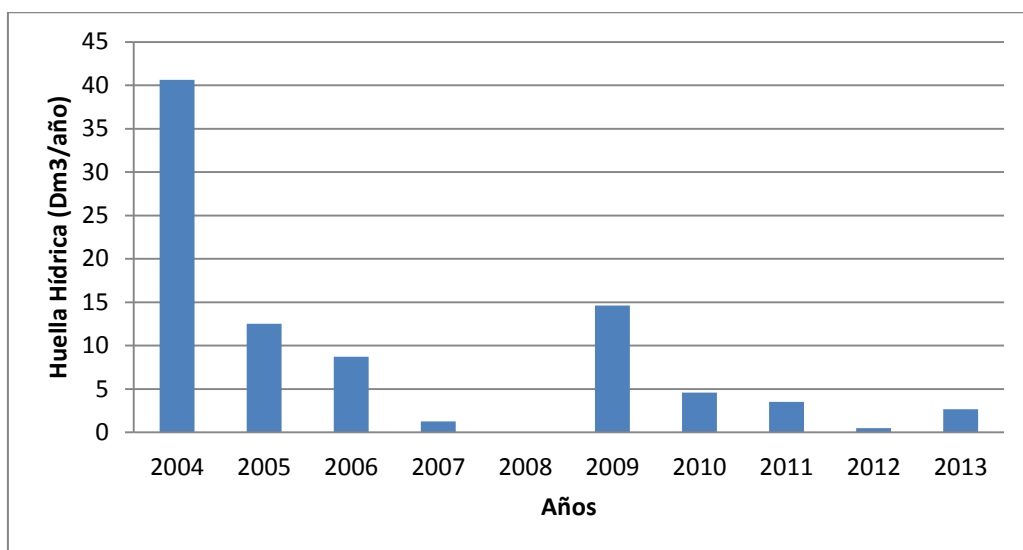


Figura 18. Huella Hídrica de la cebolla transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

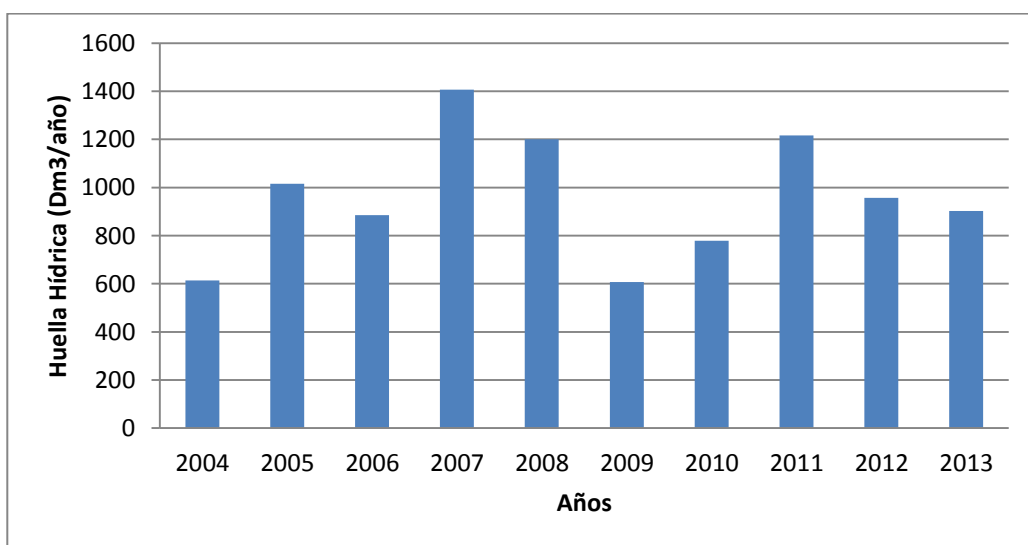


Figura 19. Huella Hídrica del ajo transferido desde la Región Junín al Mercado de Lima

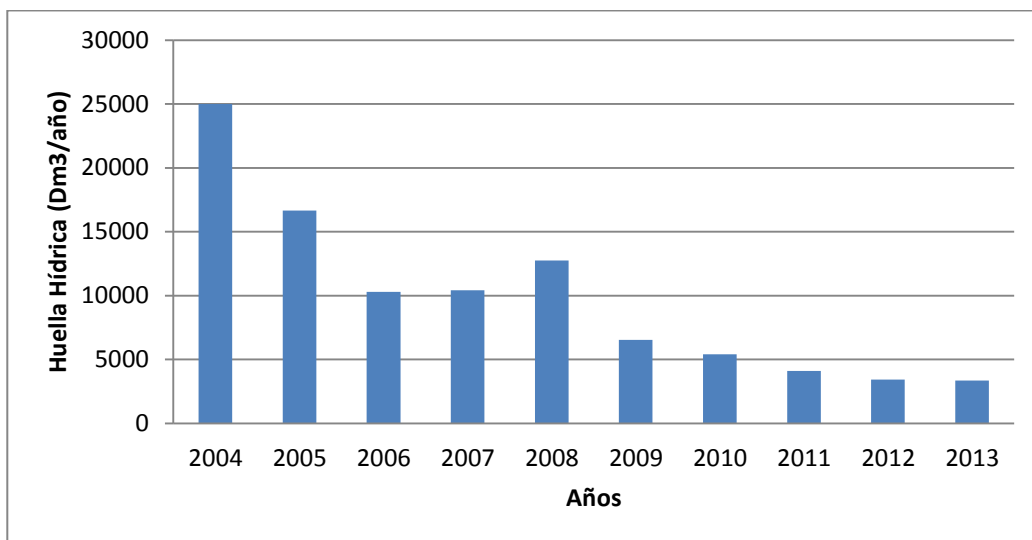


Figura 20. Huella Hídrica de la cebada transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

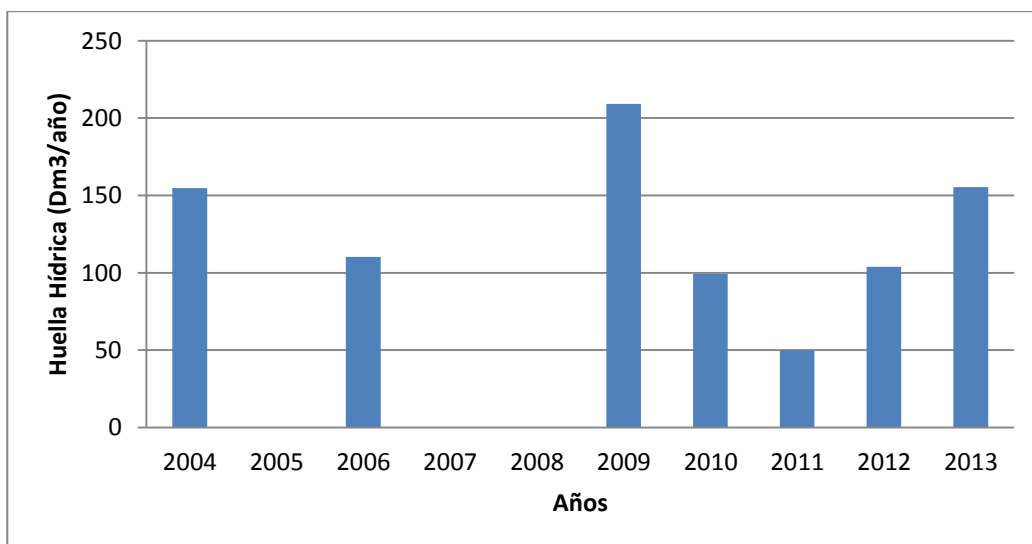


Figura 21. Huella Hídrica de la quinua transferida desde la Región Junín al Mercado de Lima

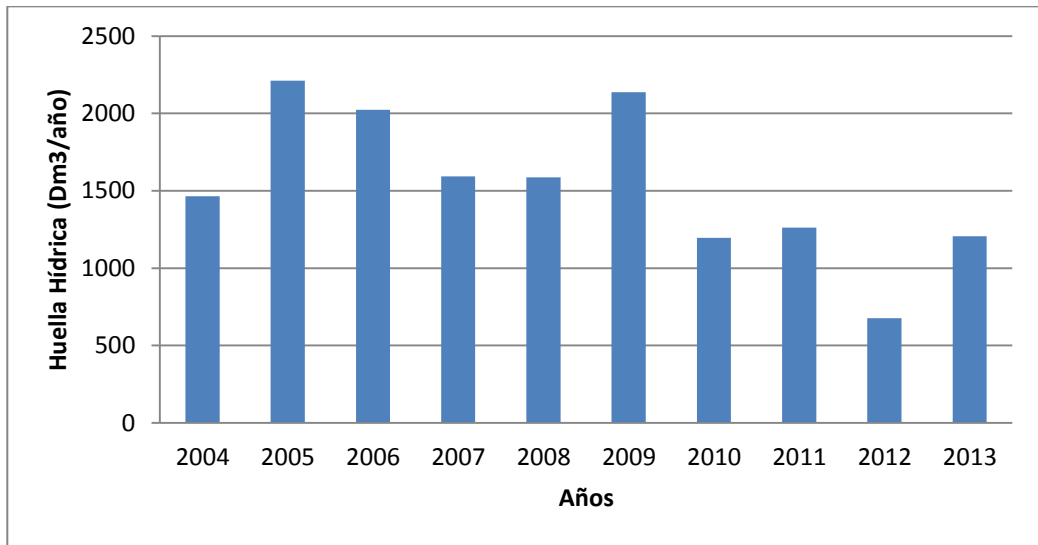


Figura 22. Huella Hídrica del olluco transferido desde la Región Junín al Mercado de Lima

Anexo 2: Programa del Modelo Conceptual de Huella Hídrica en MATLAB

```
% PROGRAMA PARA DETERMINAR LA HUELLA HIDRICA AGRICOLA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Elaborado por: Ing. Tito Mallma Capcha
% Lima mayo del 2015.
clear; clc
format longg
%Paso No 1.- %Ingrese valor de Evapotranspiración de referencia
disp('Si desea Modificar el valor de ET0=682.00 ingrese -->1 de lo
contrario-->0')
I = input('Ingrese 1 o 0: ');
if I == 1
ET0 = input('Ingrese valor de Evapotranspiración de referencia en mm: ');
else
    ET0=682.00;
end
%Paso No 2.- Coeficiente de cultivo
disp('Si desea Modificar el Valor de Kc = 0.69 Presione-->1 de lo contrario
-->0');
I = input('Ingrese 1 o 0: ');
if I == 1
    Kc = input('Ingrese el valor de Kc: ');
else
    Kc = 0.69;
end
%Paso No 3.- Evapotranspiración del cultivo
ETC = ET0*Kc;
%Paso No 4.- Superficie de terreno
disp('Si desea modificar el valor de (ST = 1 Ha)presione-->1 de contrario 0'
);
I = input('Ingrese 1 o 0: ');
if I==1
    ST = input('Ingrese Superficie de Terreno en Ha: '    );
else
    ST = 1; % 1 Ha.
end
%Paso No 5.- Requerimiento del agua de cultivo
RAC = ETC*ST*10;
%Paso No 6.- Rendimiento del cultivo
disp('Si desea modificar el valor de (RC = 16175.64 kg presione -->1 de lo
contrario 0')
I = input('Ingrese 1 o 0: ');
if I == 1
    RC = input('rendimiento del cultivo en (kg/ha): ');
else
    RC = 16175.64; %kg/Ha
end
% Paso No 7: Contenido del agua virtual
V = RAC/RC*1000;
%Paso No 8.- Comercialización del producto
disp('Si desea modificar el valor de E = 259616.88 kg presione-->1 de lo
contrario 0')
I = input('Ingrese 1 o 0: ');
if I == 1
    E = input('Ingrese valor de E: ');
else
    E = 259616.88; %Kg.
end
%Paso No 9.- Agua Virtual Trasferida
AVT = V*E;
clc;
fprintf('\n      PARAMÉTROS DE LA HUELLA HIDRICA AGRICOLA \n')
```

```

%PASO 1:
formatSpec = 'Evapotranspiración de Referencia :ET0 =%12.2f mm\n';
fprintf(formatSpec,ET0);
% Paso 2:
formatSpec = 'Coeficiente de Cultivo           :KC =%12.2f\n';
fprintf(formatSpec,Kc);
%Paso 3:
formatSpec = 'Evapotranspiración del Cultivo   :ETC =%12.2f mm\n';
fprintf(formatSpec,ETC)
%Paso 4:
formatSpec = 'Superficie de Terreno           :ST =%12.2f Ha.\n';
fprintf(formatSpec,ST);
%Paso 5:
formatSpec = 'Requerimiento del Agua de Cultivo:RAC =%12.2f M3/Ha \n';
fprintf(formatSpec,RAC)
%Paso 6:
formatSpec = 'Rendimiento de Cultivo          :RC =%12.2f kg/Ha.\n';
fprintf(formatSpec,RC);
%Paso 7:
formatSpec = 'Contenido de Agua Virtual       :V =%12.2f lt/kg\n';
fprintf(formatSpec,V)
%Paso 8:
formatSpec = 'Comercialización del Producto   :E =%12.2f Tn. \n';
fprintf(formatSpec,E);
%Paso 9:
formatSpec = 'Agua Virtual Transferida        :AVT =%12.2f m3\n';
fprintf(formatSpec,AVT)

```