

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA AZUL EN LA PRODUCCION DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) y CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) EN CONDICIONES DEL C.E. ILLPA, PUNO

DETERMINATION OF THE BLUE WATER FOOTPRINT IN THE PRODUCTION OF QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd) and CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) IN CONDITIONS OF C.E. ILLPA, PUNO

Elisban Uriel Huanca Quiroz^{1*}

¹ Universidad Nacional del Altiplano, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Puno, Perú

 <https://orcid.org/0000-0003-0814-0035>

*Autor de correspondencia, email: elisbanhuanca@unap.edu.pe

Resumen

La quinua y cañihua son los principales granos alto andinos de consumo de los pobladores de la Región Puno, proyectándose a ser alimentos potenciales de carácter nutracéutico y funcional para la humanidad en el presente y futuro. Sin embargo, la producción y la productividad actual no son los adecuados. El presente trabajo se desarrolló en condiciones del C.E. Illpa, Puno a 3823 msnm. Siendo los objetivos: Obtener la evapotranspiración, precisar el rendimiento de los cultivos de quinua y cañihua en grano; determinar la huella hídrica azul de los cultivos. La metodología para obtener la evapotranspiración y el rendimiento de los cultivos de quinua y cañihua fueron vía lisímetro NFC. La huella hídrica azul se determinó de acuerdo al procedimiento de evaluación de HH propuesta por Hoekstra *et al.* (2011) donde: $HHa = RAC / Y$ (HHa: Huella hídrica azul; RAC: Requerimiento de agua del cultivo; Y: rendimiento del cultivo). Para el experimento sistema LNFC, la evapotranspiración de los cultivos de quinua Var. "Salcedo INIA" y cañihua Var. "Illpa-INIA 406" fueron de 574,7 y 445,3 mm de lámina de agua respectivamente. Los rendimientos de los cultivos de quinua y cañihua en grano deducido a $kg\ ha^{-1}$ fueron de 10150,7 y 4485, atribuible en especial a la dotación adecuada de agua de riego; por lo que la huella hídrica azul de los cultivos de quinua y cañihua para la producción en grano fueron de 0,566 y 0,993 $m^3\ kg^{-1}$ respectivamente en condiciones sin déficit de humedad del suelo.

Palabras clave: evapotranspiración, cañihua, quinua, huella hídrica, rendimiento.

Abstract

Quinoa and cañihua are the main high Andean grains for consumption by the inhabitants of the Puno Region, projecting themselves to be potential foods of a nutraceutical and functional nature for present and future humanity. However, current production and productivity are not adequate. The present work was developed in conditions of CIP-Illpa, Puno at 3823 msnm (2021). The objectives being: Obtain evapotranspiration, and specify the yield of quinoa and cañihua crops in grain; determine the blue water footprint of crops. The methodology to obtain the evapotranspiration and the yield of the quinoa and cañihua crops were via NFC lysimeter. The determination of the blue water footprint was according to the HH evaluation procedure proposed by Hoekstra *et al.* in 2011, where: $HHa = RAC / Y$ (HHa: blue water footprint; RAC: crop water requirement; Y: crop yield). For the LNFC system experiment, the evapotranspiration of the quinoa Var. "Salcedo INIA" and cañihua Var. "Illpa-INIA 406" were 574.7 and 445.3 mm of water surface respectively. The yields of the crops of quinoa and cañihua in grain deducted from $kg\ ha^{-1}$ were 10150.7 and 4485, attributable especially to the adequate provision of irrigation water; Therefore, the blue water footprint of the quinoa and cañihua crops for grain production were 0.566 and 0.993 $m^3\ kg^{-1}$ respectively in conditions without soil moisture deficit.

Keywords: evapotranspiration, cañihua, quinoa, water footprint, yield.

Introducción

En la Región Puno, y en condiciones del Centro Experimental (C.E.) Illpa los granos andinos como la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) son considerados alimentos básicos de sus habitantes; sin embargo, por ser cultivos conducidos en secano; la persistencia de la adversidad climática (ocurrencia de sequías, heladas, granizadas), además la no adopción aun de tecnologías adecuadas son causas de los indicadores no adecuados de producción, productividad, eficiencia de uso del agua, huella hídrica, etc. Evidenciándose la demanda insatisfecha de los granos indicados.

El crecimiento demográfico en la actualidad acelera una mayor demanda de alimentos, y se requiere con urgencia producir cultivos de calidad, altamente nutritivos y sanos como es la quinua y cañihua Mujica *et al* (2001); por lo que, es de necesidad darse una especial atención en el campo de la investigación en los cultivos en referencia a fin de no sólo asegurar cosechas sino obtener buenos rendimientos sea en grano y en broza. Se remarca, la necesidad de conocer en la agricultura del altiplano peruano indicadores claves en el contexto de uso eficiente del agua en los granos andinos para plantear estrategias adecuadas vía conocimiento de la huella hídrica azul en la producción de quinua y cañihua en la región Puno; ámbitos de gran potencial de producción de quenopodiáceas vía agricultura de riego complementario tecnificado.

La quinua y la cañihua, son los granos andinos más nutritivos del altiplano Perú y Bolivia, debido a su contenido y calidad proteica. En particular, “la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ha ganado prominencia en todo el mundo en los últimos años y por ello, el Perú se ha convertido en un actor importante en el mercado mundial de la quinua” (Bedoya-Perales *et al.*, 2018); probablemente, también la cañihua en un tiempo no lejano esté en condiciones similares.

También se afirma, que la cañihua y la kiwicha tienen usos múltiples, los cuales debidamente aprovechados y transformados pueden cambiar radicalmente su situación actual de sub-utilizados. En la cañihua habría que aprovechar mejor sus cualidades excepcionales de alto contenido de hierro tanto en sus hojas como granos, alta cantidad y calidad de su fibra, usos forrajeros, y cualidades harineras para obtener el mejor pan integral, sobre todo para aquellas personas que no toleran el gluten del trigo. Su cultivo ahora está aislado a zonas agrestes y frías (Jacobsen *et al.*, 2003).

Por otro lado, Chirinos (2018) en el estudio de un ecotipo local de quinua en Ccaje-Juli empleando lisímetros de drenaje bajo tres dosis de riego con el fin de determinar la evapotranspiración mediante un balance hídrico (método

de Thornthwaite y Mather), reporta que el consumo de agua del cultivo fue de 446, 290 y 166 mm con un rendimiento de 5.47; 2.9 y 1.51 t ha⁻¹ respectivamente; siendo la eficiencia del uso de agua de 1.23; 1.00 y 1.20 kg m⁻³.

Al respecto, Huanca y Quispe (2011); en los primeros experimentos realizados en C.E. Illpa, “Determinación de la evapotranspiración bajo el sistema lisímetro NFC” obtuvieron que la Eficiencia de Uso del cultivo de quinua y cañihua para la producción en grano, fueron de 1.77 y 1.18 kg m⁻³ respectivamente; valores que son coherentes por estar en condiciones sin déficit de humedad en la zona de raíces de los cultivos.

De las investigaciones sobre productividad del agua en el cultivo de quinua en Bolivia, “De los resultados de campo, estudios y observaciones anteriores en los campos de los agricultores, se derivaron valores indicativos para el requisito de riego neto, rendimientos esperados y eficiencias de uso del agua para diversas condiciones de gestión, aplicaciones de riego y para diferentes tipos de años. Se cree que los rendimientos de quinua se pueden estabilizar en 1.2 hasta 2 Mg ha⁻¹ con la ayuda de DI (riego deficitario) aplicando solo la mitad del agua de riego requerida para el riego completo” (Geerts *et al.*, 2008). Para cañihua una alternativa similar puede ser factible en Puno.

Las cantidades de agua virtual entre los productos varían por las cantidades comercializadas y están de acuerdo a las cosechas agrícolas que a su vez depende de factores como el clima, requerimiento del consumidor y de la tecnología empleada en la producción. Así, el uso de un kilo de quinua en la ciudad metropolitana implica la transferencia de 5689.92 litros de “agua virtual” desde el departamento de Junín, en donde se produce las cosechas (Malma y Mejía, 2015).

En tanto, en el trabajo “Huella hídrica de Cultivos Andinos de la Región Puno comercializados en la Región Arequipa” (Vilca y Aranibar, 2018), en particular para cañihua se calculó un contenido de agua virtual de 6906.57 L kg⁻¹, valor relativamente alto por considerar muy probable en el proceso de obtención de la huella hídrica al agua azul, a pesar de que en la región Puno en la actualidad el cultivo es practicado aún bajo un sistema “secano” (agricultura pluvial).

Para contabilizar la huella hídrica en el trabajo “Estimación de la Huella hídrica y de Carbono en los cultivos comunitarios de Quínoa (*Chenopodium quinoa* wild) correspondientes a la zona central de los andes ecuatorianos”, se aplicó la metodología del Manual de Evaluación de Water Footprint Network y el procedimiento de cálculo del Manual de Evaporación de cultivo, FAO. Los datos fueron procesados en el programa Cropwat 8.0. Los resultados reportaron una Huella hídrica de 356.49 y 98.49 m³/t en Pucara y

Mijipamba respectivamente. La importancia de este tipo de estimaciones radica en contribuir con un desarrollo sostenible e impulsar al eco-etiquetado de productos andinos ligados a la certificación orgánica (Ramírez-Cando *et al.*, 2017).

El indicador “Huella hídrica” es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos; es útil para cuantificar los flujos de agua virtual, de las importaciones y de las exportaciones. La metodología aplicada fue por lo desarrollado por Chapagain y Hoekstra, adaptada a las condiciones de Comarca del Poniente Almeriense-España. Como conclusiones se cita que existe un alto valor de Agua Virtual exportada, por lo que la huella hídrica es muy pequeña. Este hecho, junto a la alta eficiencia hídrica y el alto rendimiento monetario, justifican el uso intensivo del agua y los aportes externos necesarios en condiciones de invernadero (Tolón *et al.*, 2013).

En la investigación denominada “Aplicación de biol y riego por goteo en diferentes cultivares de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la estación experimental Choquenaira” (UMSA, La Paz); donde los

Materiales y métodos

El lugar del presente estudio, está ubicado en el Sur del país, políticamente en el distrito de Paucarcolla, provincia y departamento de Puno. El campo experimental se encuentra a una altitud de 3823 msnm, y su posición geográfica corresponde a 15° 42' 38" Latitud Sur y 70° 04' 54" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Cuenca del Río Illpa.

Información meteorológica

Las informaciones meteorológicas necesarias fueron proporcionadas por SENAMHI, DZ Puno, y por el Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA, Illpa. Al respecto, Mujica *et al.* (2001), indica que la temperatura media adecuada para el cultivo de quinua está alrededor de 15 a 20 °C; sin embargo, se ha observado que con temperaturas medias de 10 °C se desarrolla de manera normal el cultivo, así mismo con temperaturas máximas medias de hasta 25 °C prospera adecuadamente. Además, se ha determinado que esta planta también posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas, pudiendo soportar hasta menos 8 °C en determinadas fases fenológicas, siendo la más tolerante en ramificación y las más susceptibles en floración y grano lechoso. En tanto el cultivo de cañihua soporta aún condiciones más adversas. Las temperaturas registradas en la campaña agrícola 2018/2019; 2019/2020 comparados con el promedio de 10 años (2008-2016), se observan que los promedios mensuales de máxima, mínima y media durante las campañas agrícolas son relativamente superiores a las

factores en estudio fueron el fertirriego en tres cultivares de cañahua, siendo uno de los variables en consideración el rendimiento; los resultados básicos mostraron, que las familias de la región pueden incrementar sus ingresos económicos con el uso de materiales locales para la obtención de biol, el cual permite obtener mayores rendimientos en menor tiempo (2096.3 kg ha⁻¹ en promedio), que sumado a la aplicación de riego por goteo se puede alcanzar un uso eficiente del agua de riego que es tan escasa en la Región (Ramírez *et al.*, 2016).

En la investigación “Evaluación de la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo - planta bajo condiciones de riego por goteo y secano en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* willd), en el altiplano central de Bolivia”; el mayor rendimiento en grano fue obtenido con una dosis de 120 kg de N ha⁻¹ y con aplicación de riego por goteo, un rendimiento en grano de 2707 kg ha⁻¹ (Caballero, 2015).

En el presente estudio, los objetivos fueron: obtener la evapotranspiración, y precisar el rendimiento de los cultivos de quinua y determinar la huella hídrica azul de la producción de quinua y cañihua en grano para las condiciones de C.E.-Illpa, Puno.

normales, y una menor oscilación térmica; mostrándose como las primeras evidencias del calentamiento global en la zona. La temperatura mínima ocurrida en el mes de octubre con 1,9 °C durante 2018/2019, no dificultó el desarrollo normal del cultivo de quinua. Asimismo, para 2009/2010 la T^{mín} de 3,7 °C (Mar) tampoco afectó para un desarrollo normal del cultivo de cañihua.

En cuanto de las precipitaciones pluviales ocurridas en la campaña agrícola para quinua 2018/2019 (Oct-Mar) fue de 593 mm de lámina de agua, que es superior al promedio de 37 años (507.4 mm), siendo el mes de diciembre con mayor precipitación pluvial de 193,2 mm. En cambio, en el mes de enero las precipitaciones pluviales bajaron a 85,9 mm de lámina hídrica, siendo menor a la precipitación promedio de 37 años (128,4 mm); tales ocurrencias no han influido en el normal desarrollo del cultivo de quinua en el experimento por estar en Sistema LNFC. En tanto, para cañihua en 2019/2020 (Nov-Mar) la ocurrencia de precipitaciones pluviales fue de 447,6 mm de lámina de agua, humedad relativamente suficiente al requerimiento del cultivo, aunque aún en forma irregular en su distribución.

Se subraya que en la región del Altiplano de Puno, las precipitaciones pluviales de mayor ocurrencia se da en los meses de enero a marzo, mas no así en los meses de setiembre á ≈ mediados de diciembre, de allí la necesidad de funcionamiento y/o establecimiento de sistemas de riego tecnificado complementario para suministrar agua de riego a los cultivos de quinua y cañihua de manera oportuna y lo necesario; a fin de no sólo asegurar cosechas medianas, sino rendimientos adecuados como ocurrió en las campañas agrícolas en referencia vía lisímetro.

Lisímetro

Para determinar la evapotranspiración de los cultivos de quinua y cañihua, se utilizó el lisímetro del tipo nivel freático constante (LNFC), conformado por tres tanques de fierro galvanizado: tanque alimentador de agua con limnómetro (TA), tanque controlador del nivel freático con válvula de cierre automático (TCNF) y tanque de cultivo (TC), que se ubicó en ambos cultivos en el medio del campo experimental simulando en perfil los horizontes del suelo, siendo sus dimensiones de 1.2 m de lado y una profundidad de 1,1 m. El tanque alimentador y el tanque de control tienen dimensiones similares siendo éstas de 0,25 * 0,40 * 0,50 m. Se dispuso en el TC de un techo móvil de plástico transparente de agrofilm de 250 micras, con el fin de proteger de las precipitaciones pluviales para que ésta no se considere en el balance hídrico del sistema. De acuerdo a los análisis físico-químico del suelo y análisis de agua de riego para los experimentos, los resultados estuvieron dentro de lo recomendable; por lo que los cultivos de quinua y cañihua no tuvieron limitantes en su crecimiento y desarrollo vegetativo. Se utilizaron semillas Var. “Salcedo-INIA” para quinua y “INIA, ILLPA 406” para cañihua proporcionados por INIA-Salcedo, Puno; cuyos análisis de semillas demostraron ser apta para la siembra.

Evapotranspiración del cultivo de quinua y cañihua por el método de lisímetro NFC

El requerimiento de agua de los cultivos en el tiempo y espacio son diferentes, ya que varían en sus diferentes fases de desarrollo de los cultivos en su periodo vegetativo y relación suelo-agua-planta-atmósfera. Para determinar estos requerimientos en las distintas etapas de desarrollo, se realizó directamente totalizando las lecturas diarias del lisímetro con el limnómetro instalado en el tanque de agua (TA); luego una vez determinados los requerimientos en cada etapa, la necesidad hídrica total del cultivo se obtuvo sumando los obtenidos en cada fase fenológica. En sí, el procedimiento fue realizar la lectura del limnómetro todos los días a hr 7,00, y luego incrementar el agua necesario al TA durante todo el periodo vegetativo.

Precisión del rendimiento del cultivo de quinua y cañihua por unidad de superficie

La cantidad de productos que un agricultor obtiene por cada unidad de superficie que cosecha se le llama rendimiento, y se expresa en kilogramos por hectárea en los países que usan el sistema métrico decimal. El rendimiento es una medida sencilla de los frutos que producen múltiples factores naturales y humanos combinados en un determinado cultivo.

Para la presente investigación experimental en ambos cultivos en grano, se consideraron los resultados de las cosechas de tanque de cultivo por gravimetría, una vez

terminado la fase de maduración de los cultivos (sistema LNFC).

Determinación de la huella hídrica azul del cultivo quinua y cañihua

Los materiales e instrumentos empleados fueron: Registro de resultados del procesado de evapotranspiración (mm), requerimiento de agua ($m^3 ha^{-1}$) y rendimiento de los cultivos ($kg ha^{-1}$). Además, el equipo de cómputo y el Software para el modelo de evaluación de huella hídrica azul agrícola (HHa) que se optaron Excel, SPSS versión 2018.

El método para cuantificar la HHa fue de acuerdo al Manual de evaluación de la huella hídrica agropecuaria propuesta por Hoekstra *et al.* (2011) (ecuación 1). Se remarca de la situación experimental de lisimetría (cultivos bajo riego) en C.E. Illpa, que está considerado como huella hídrica azul, por cuanto se hace referencia al uso consuntivo del agua de riego proveniente de fuente de agua de origen subterráneo, para los casos en referencia fue manantial:

$$HHa = RAC / Y \quad (1)$$

Donde:

HHa : huella hídrica azul ($m^3 kg^{-1}$).

RAC : componente azul en el uso del agua ($m^3 ha^{-1}$)

Y : rendimiento del cultivo ($kg ha^{-1}$)

La secuencia seguida de acuerdo al Manual de evaluación de la huella hídrica propuesta por Hoekstra *et al.* (2011), es de importancia en la actualidad, definiendo como una norma global en el entendido que tales indicadores son de impacto en el uso del agua en la agricultura, para luego diseñar políticas adecuadas para el uso eficiente del agua en los cultivos, aquí en particular granos andinos.

Los análisis estadísticos para el trabajo de investigación fueron de acuerdo a los objetivos establecidos, siendo principalmente la estadística descriptiva (prom., σ , CV), y la estadística inferencial necesaria en el procesado del trabajo.

Resultados y discusión

Evapotranspiración de los cultivos de quinua y cañihua

La duración de las fases fenológicas observadas del cultivo de quinua en el Sistema Lisímetro Nivel Freático Constante (LNFC) instalado en CIP-Illpa campaña agrícola 2018/2019, registro el periodo vegetativo de 157 días, para la variedad “Salcedo-INIA” una especie relativamente precoz remarcado por Apaza (2010). Tabla 1.

La evapotranspiración para las fases del periodo vegetativo del cultivo de quinua Var. Salcedo INIA; se

obtuvieron por lecturas directas y diarias del consumo de agua en el tanque alimentador (TA) que se ha instalado como parte del Sistema LNFC. En la tabla 1, se presentan los resultados consolidados de ETc por fases fenológicas, en la cual, la variación de la evapotranspiración del cultivo está en función directa al estado de desarrollo de las plantas. En efecto, la evapotranspiración del cultivo de quinua determinado por el lisímetro NFC fue de 574,8 mm de lámina hídrica (3,66 mm/d promedio), siendo las fases de mayor consumo el de floración y grano lechoso con 97,5 y 87,4 mm, ocurridos durante los meses de enero y febrero; donde las plantas alcanzaron los mayores crecimientos en altura y longitud de panoja, desarrollándose allí una mayor actividad fisiológica de las plantas.

En cambio, la evapotranspiración del cultivo de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) variedad “ILLPA-INIA 406”, (PV: 146 días), alcanzó 445,4 mm de lámina de agua, bajo el sistema lisímetro NFC (3,05 mm/día en promedio). En todo el ciclo vegetativo, las fases fenológicas que mostraron mayor consumo de agua fueron: floración, grano lechoso y grano pastoso con un 53% del total (234,8 mm) ocurrido entre los meses de enero y febrero. Tal resultado es imputable a la mayor actividad fisiológica de las plantas, evidenciándose en un incremento mayor de longitud de altura de planta, máxima cobertura vegetal.

Tabla 1. Evapotranspiración de los cultivos para quinua y cañihua, método lisímetro NFC, C.E. Illpa, Puno

Quinua (2018/2019)			Cañihua (2019/2020)		
Fases fenológicas	Nº de días	ETc (mm)	Fases fenológicas	Nº de días	ETc (mm)
Emergencia	9	19,5	Emergencia	10	18,2
Dos hojas verdaderas	10	28,2			
Cuatro hojas verdaderas	7	21,3			
Seis hojas verdaderas	5	16,2	Hojas verdaderas	10	39,7
Ramificación	15	53,4	Ramificación	17	47,0
Inicio de floración	8	31,8	Formación inflorescencia	18	56,6
Floración	14	56,6			
Inicio de floración	7	30,0			
Floración o antesis	21	97,5	Floración	19	70,6
Grano lechoso	20	87,4	Grano lechoso	20	88,2
Grano pastoso	21	79,6	Grano pastoso	23	76,0
Madurez fisiológica	20	53,3	Madurez fisiológica	22	49,1
Total	157	574,8		146	445,4

Prom.: 3,66 mm/d

Prom.: 3,05 mm/d

La evapotranspiración obtenida para los cultivos en los experimentos en referencia puede considerarse de confiabilidad, no sólo por el carácter de conducción adecuada de los cultivos, sino también por integrar “in situ” las condiciones locales reales de todos los factores influyentes en la evapotranspiración de los cultivos.

En cuanto de la cantidad necesaria de agua azul en los primeros estadios de los cultivos (octubre noviembre), si bien la cuantía es relativamente menor; sin embargo, la oportunidad podría ser clave en el momento de establecimiento ya que en muchas oportunidades se han fracasado en la germinación de los granos andinos (en especial cañihua), y han sido re-sembradas las parcelas para forrajes. Luego, implementar una agricultura de riego localizado complementario a los granos andinos en Puno sería una alternativa viable, por cuanto al respecto

ya se han iniciado algunos trabajos de investigación (Ramirez *et al.*, 2016).

Rendimiento de los cultivos de quinua y cañihua en grano

En el Sistema LNFC el peso promedio de grano de quinua por panoja fue de 27,1 g lo que resultó al final una producción de 1461,7 g en 1,44 m² (TC), deduciéndose luego, que el rendimiento fue de 10150,7 kg ha⁻¹ de grano de quinua. El logro de un rendimiento relativamente mayor, se atribuye a las condiciones de tiempo (meteorológicos) que fueron favorables en la campaña agrícola, como también el aprovisionamiento de agua adecuado en la zona radicular de las plantas (\approx CC), además, las labores culturales oportunas y una exigua presentación del ataque de plagas y enfermedades. Al respecto, Chirinos (2018) reporta que para un ecotipo local de quinua en Ccaje-Juli empleando lisímetros de

drenaje, bajo tres dosis de riego; con el de mayor consumo de agua del cultivo (446 mm) el rendimiento obtenido fue de 5.5 t ha⁻¹ corroborándose así una buena respuesta de producción a la dotación adecuada de agua al cultivo.

Garrido *et al.* (2013) en su trabajo “Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo” da a conocer que se observaron la influencia de mega-ambientes (parcelas regadas y con déficit hídrico) separados por los años en estudio, y desde el punto de vista de genotipos destacó a BAERII como el de mayor rendimiento con 2837 kg ha⁻¹. Así, en ausencia de estrés los genotipos de quinua evaluados mostraron las mayores diferencias de rendimiento. Por consiguiente, una disponibilidad adecuada de humedad en el suelo las buenas cosechas se incrementan positivamente.

En la actualidad, la producción y productividad del cultivo de quinua en la región altiplano de Puno bajo una agricultura de “secano” existe una tendencia de crecimiento positivo (promedio 1083 kg ha⁻¹: ANA-WWF-Perú, 2015). Así, Mujica *et al.* (2001) señala que, en situaciones controladas, el potencial de rendimiento de grano de quinua alcanza de 8 a 9 t ha⁻¹, cuando todos los factores de crecimiento se dan simultánea y constantemente en su valor óptimo en el curso de las diversas fases del desarrollo vegetativo.

En cambio, se revela que el rendimiento obtenido en el C.E. Illpa, para el cultivo de cañihua variedad “ILLPA-INIA-406” bajo condiciones de lisímetro NFC deducido a kg ha⁻¹ fue de 4485, valor que es superior a otros resultados que se reportan a nivel experimental en la región del altiplano de Puno como es de 3,5 t ha⁻¹ (Condori 1970; Callohuanca *et al.* 2019). El logro de un rendimiento relativamente mayor en el sistema lisímetro, se atribuye a que las condiciones del tiempo también fueron favorables en la campaña agrícola (2019/2020), como también el aprovisionamiento adecuado de agua de riego en la zona radicular de las plantas (aprox. a capacidad de campo); es decir, las condiciones favorables durante el proceso de cultivo en el sistema lisímetro. Se corrige que la potencialidad es aún mayor.

Por otro lado, reportes desde Bolivia se tiene que los agricultores cosechan y logran obtener en promedio 550 kg ha⁻¹, en otras zonas cosechan 750 kg ha⁻¹; estos resultados son de campo a nivel agricultor con manejo tradicional. Mientras se informa en las parcelas donde se realizan investigaciones con diferentes fines hasta 3000 kg ha⁻¹. Los rendimientos adecuados son posibles de

lograr con la aplicación de técnicas y prácticas mejoradas a nivel agricultor y con la atención necesaria del uso de tecnología adecuada, como resultado de las investigaciones académicas (Mamani, 2016). En tanto, en Puno para el sistema con “tecnología intermedia” se logró una productividad de alrededor 1375 kg ha⁻¹ (Tapia, 2017).

Así, la potencialidad de mejorar los indicadores de producción y productividad en el futuro es posible vía una planificación y tecnología más adecuada; especificando puede citarse: la inclusión de los granos andinos a sistemas de riego tecnificado complementario, uso de semillas certificadas, un manejo agronómico adecuado de los cultivos. Es decir, una producción convencional u orgánica con criterio empresarial sostenible y con seguridad hídrica (uso eficiente del agua en los cultivos).

Determinación de la huella hídrica azul de los cultivos de quinua y cañihua

En el escenario actual de la necesidad de uso eficiente del agua en los cultivos y gestión integrada de recursos hídricos, es que en el presente trabajo está considerado como el principal objetivo, la evaluación del consumo de agua que se requiere en la producción de los granos andinos quinua y cañihua (HH) en condiciones de C.E. Illpa, Puno; zonas de gran potencial de producción. En efecto, para el futuro los resultados obtenidos en conjunto serán base importante para emprender estudios que permitan darles una mirada distinta a los procesos de gestión del recurso hídrico destinado para el riego tecnificado complementario.

Se remarca, que la huella hídrica en sí, es un indicador biofísico, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes superficiales y/o subterráneas, sumados al volumen de agua requerida para diluir los contaminantes generados en la actividad productiva (Hoekstra *et al.*, 2011). En el presente trabajo tal consideración sólo es a un nivel de agua azul; es decir función al agua de riego, sin considerar agua gris por no emplearse en los experimentos, fertilizantes ni biocidas en ambos cultivos.

Los resultados de la huella hídrica azul en la producción de quinua y cañihua en grano en las condiciones de C.E. Illpa Puno (Tabla 2); conducido a un nivel experimental (Lisímetro NFC). Para quinua, el valor de huella hídrica azul que se observa en la tabla es de 566,1 L/kg (0,566 m³/kg), valor relativamente referencial al momento, lo cual es atribuible a los factores de producción que en cierta forma fueron controlados, en especial la variación de la humedad del suelo aproximadamente a condiciones de capacidad de campo.

Tabla 2. Huella hídrica azul (HHa) en la producción de quinua y cañihua en grano, vía lisímetro NFC en el de C.E. Illpa

Cultivo	Rendimiento en grano (kg/ha)	ETc (mm)	HHa (m ³ / kg)	HHa (L/kg)
Quinua Var. Salcedo INIA	10150,7	574,8	0,566	566
Cañihua Var. Illpa INIA 406	4485	445,4	0,993	993

ETc: Evapotranspiración del cultivo

Al respecto, ANA-WWF-PERÚ (2015) realizó un estudio de la Huella Hídrica de la quinua en el Perú (2014) en el marco de las actividades del Año Internacional de la Quinua ejecutado en un ámbito de 13 departamentos, donde Puno representa los mayores volúmenes de producción, utilizando características de campo y de las estadísticas agrarias; así como la época de siembra en el mes de diciembre y un periodo de 150 días que corresponde al tiempo mínimo del periodo vegetativo.

El resultado se corrobora cuando se manifiesta que en muchas de las zonas analizadas, la cantidad de agua almacenada en el suelo proveniente de las lluvias, es suficiente para cubrir las demandas hídricas de la quinua, lo que define una vulnerabilidad a cambios en los patrones de precipitación, como consecuencia de la variabilidad climática; el estudio muestra que la Huella Hídrica del cultivo es menor en zonas de mayor rendimiento (promedio 3852 L kg⁻¹), por lo que las políticas sectoriales deberían incentivar la producción a través de programas enfocados principalmente a mejoramiento genético incluida la producción de semillas, así como también tecnológico principalmente de riego y de abonamiento.

En tanto, para la producción de cañihua en grano la huella hídrica azul correspondiente fue de 993 L kg⁻¹ (0,993 m³ kg⁻¹), valor muy bueno al momento, comparado con otros sistemas de producción a nivel región del altiplano de Puno. El resultado puede ser referente, en tanto se mejore los niveles de producción, productividad y calidad del producto (producción orgánica) mejor aún en irrigaciones, sugiriéndose entonces la instalación de cultivos con riego localizado en las condiciones de zonas de gran potencialidad del cultivo de cañihua como es en las zonas agroecológica “Suní altiplánica”.

En fin, si la idea es mejorar el uso eficiente del agua en el cultivo de granos andinos, para ello, la estimación de huella hídrica y su reducción puede ayudar a perfilar el impacto en el consumo y reducción del agua, generado por las actividades en los sectores que ejercen presión al recurso hídrico como lo es en el altiplano peruano, donde la tendencia es cada vez la ocurrencia de la adversidad climática por el cambio climático cada vez también evidente.

De acuerdo con las propuestas de INIA-IICA (2015), y a efectos de elevar los rendimientos de los cultivos de quinua y cañihua en la actualidad a fin de reducir la huella hídrica en general; las estrategias de respuesta prioritarios serían:

- La implementación de sistemas de riego tecnificado complementario por la presentación recurrente de sequías, heladas y granizadas. Además, el desarrollo y uso de variedades tolerantes es urgente.
- Sobre la Proliferación de plagas por intensificación del cultivo y agotamiento del suelo, se debe considerar el sistema de rotación de cultivos, abonamiento correspondiente, el calendario de siembras y evitar el monocultivo. Un manejo integrado de plagas y enfermedades es una alternativa viable.
- Frente al uso urgente de semillas certificadas, se debe implementar bancos de germoplasma y semilleros para producción de semillas de calidad. El INIA, las Universidades deberían promover el desarrollo de un mercado de semillas y apoyar en la formación de semilleras para una producción cada vez orgánica.
- A mediano y largo plazo para la región y el país, un manejo integral de cuencas hidrográficas con énfasis en la siembra y cosecha de agua son recomendaciones clave como estrategias de respuesta.

Conclusiones

La evapotranspiración del cultivo (ETc) de quinua Var. “Salcedo-INIA” en condiciones de C.E. Illpa está en función directa al estado de desarrollo y periodo vegetativo (157 días), donde con el método de lisímetro NFC fue de 574,8 mm de lámina hídrica. En cambio, la ETc para cañihua Var. “ILLPA-INIA 406” fue de 445,4 mm.

El rendimiento del cultivo de quinua en grano obtenido en el sistema lisímetro NFC, deducido a kg ha⁻¹ fue de 10150,7. El buen rendimiento es atribuible a las condiciones adecuadas de los factores de producción que se dieron en la campaña agrícola, en especial al contenido

de humedad adecuada en el suelo. Mientras para cañihua, el rendimiento fue de 4485 kg ha⁻¹, en especial por la dotación adecuada de agua de riego.

La Huella hídrica azul para el cultivo de quinua Var. "Salcedo-INIA" para la producción en grano obtenido, fue de 0,566 m³ kg⁻¹ bajo el sistema de lisímetro NFC en condiciones sin déficit de humedad en la zona de raíces. En cambio, la huella hídrica azul para el cultivo de cañihua en grano Var. "ILLPA-INIA- 406" a nivel experimental conducido en C.E. Illpa, fue de 0,993 m³ kg⁻¹ también en condiciones sin déficit de humedad del suelo.

Referencias

- ANA-WWF-PERÚ. (2015). *Huella Hídrica del Perú Sector Agropecuario-Perú* (p. 115). <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/197>
- Apaza, V. (2010). *Manejo y mejoramiento de kañiwa* (INIA- Puno & CIRNMA. (eds.). http://www.nuscommunity.org/uploads/tx_news/Libro_Manejo_y_Mejoramiento_Kañiwa.pdf
- Bedoya-Perales, N., Mujica, A., Talamini, E., Pumi, G., Padula, A., & Alegre, P. (2018). *Quinoa Expansion in Peru and Its Implications for Land Use Management*. Sustainability - MDPI, i. <https://doi.org/10.3390/su10020532>
- Caballero, A. (2015). *Evaluación de la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta bajo condiciones de riego por goteo y secano en el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa willd.), en altiplano central de Bolivia*. file:///C:/Users/hp/Documents/Riego_por_goteo_quinua_UMSA.pdf
- Chirinos Ortiz, T. (2018). *Efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en Ccaje, 2015 – 2016*. 051, 631–644. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2018.3.87>
- Garrido et al. (2013). *Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo*. Idesia vol.31 no.2 Arica-Chile. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292013000200010
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Vacher, R., M., & C, T. (2008). *Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa*. European Journal of Agronomy, 28(3), 6–8. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010042505>
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. <http://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/key/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf%0Ahttp://www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf>
- Huanca, E., y Quispe, E. (2011). *Determinación de ET y eficiencias de uso del agua en el cultivo de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. Revista Ciencias Agrarias, UNA-PUNO, 1(2225–5176), 7.
- Jacobsen, S., Mujica, A., & Ortiz, R. (2003). *La importancia de los cultivos andinos*. Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología, 13(36), 14–24. <https://www.redalyc.org/pdf/705/70503603.pdf>
- Mallma, T. y Mejía, J. (2015). *Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la sierra central y comercializados en Lima*. Apuntes de Ciencia & Sociedad, 05(01), 128–134. <https://doi.org/10.18259/acs.2015020>
- Mujica, A., Jacobsen, S.-E., J., I., y Pierre, J. (2001). *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) ancestral cultivo andino, alimento del presente y de futuro*. In FAO, Cultivos Andinos (Ed.Primer). http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_Fao/Rlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contento/libro03/home03.htm
- Ramírez-Cando, L. J., Vilches, R., Lizano, R. X., Pinzón, I., Colmenares, P., y Sandoval, E. (2017). *Estimación de la Huella Hídrica y de Carbono en los cultivos comunitarios de Quinoa (Chenopodium quinoa wild) correspondientes a la zona central de los andes ecuatorianos*. 78(2), 173–182. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1054>
- Ramirez, D., Chipana, R. & Echenique, M. (2016). *Aplicación de biol y riego por goteo en diferentes cultivares de cañahua*. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz. 3, 30–38. http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n1/v3n1_a05.pdf
- Tolón, A., Lastra, X. & Fernández, V. (2013). *Water footprint and sustainability of water resources use*. Moa, 56–86. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4814567>
- Vilca, J. y Aranibar, M. (2018). *Huella hídrica de cultivos andinos de la Región Puno comercializados en la Región Arequipa*. Riepg. <http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/1310>