

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Estimación de la huella hídrica en tres variedades del cultivo
de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) Canaán**

INIA, Ayacucho, 2024

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Fredy FLORES GALINDO

ASESOR:

Ing. Efraín CHUCHÓN PRADO

AYACUCHO - PERÚ

2024

Si bien esta tesis requirió un gran esfuerzo y dedicación, no hubiera sido posible completarla sin la cooperación de todos quienes me han acompañado durante todo el arduo camino de este trabajo, específicamente:

Dios, por ser mi guía y permitirme haber llegado hasta este hermoso momento tan importante de mi formación profesional.

Con todo mi cariño y agradecimiento hacia mis padres Domingo y Juaquina, quienes han luchado por hacerme persona de bien con su amor, apoyo, paciencia y exigencia en mi formación, de igual manera a mis familiares por impulsarme para seguir adelante y lograr mis objetivos.

A mis amigos(as) entrañables, me complace expresar mi gratitud por su incondicional respaldo, respaldo en momentos de inquietud y tristeza.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, cuna de conocimiento y aprendizaje, que me brindó la oportunidad y permitió alcanzar mi desarrollo académico.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y a mi prestigiosa Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme formado como un profesional preparado para enfrentar los desafíos tanto en el ámbito académico como laboral.

A mi asesor de tesis, el Ing. Efraín Chuchón Prado, por su paciencia y respaldo académico, quién me brindó con entusiasmo el asesoramiento necesario para llevar a cabo el estudio de este proyecto.

Al ingeniero que dirige la Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria, José Velásquez Mantari, por brindarme la oportunidad de emplear las instalaciones y facilitar la realización de este trabajo de investigación.

Al Doc. Richard Solorsano Acosta, coordinador del Proyecto Suelos y Aguas y a la Ing. Tatiana Condori Ataupillco, responsable del proyecto, por compartir sus conocimientos y haberme brindado siempre la posibilidad de llevar a cabo todas las acciones planteadas durante el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
INDICE DE ACRÓNIMOS.....	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
CAPÍTULO I	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.1.1 Antecedentes en América	3
1.1.2 A nivel nacional	4
1.2 QUINUA (<i>Chenopodium Quinoa Wild</i>)	6
1.2.1 Clasificación botánica y taxonomía.....	6
1.2.2 Cultivo de quinua	6
1.2.3 Variedad de cultivo	6
1.2.4 Manejo agronómico.....	7
1.2.5 Fenología del cultivo de quinua.....	8
1.2.6 Altura del cultivo y profundidad radicular	8
1.3 FACTORES CLIMATOLÓGICOS.....	9
1.3.1 Temperatura	9
1.3.2 Humedad.....	9
1.3.3 Velocidad del viento	9
1.3.4 Insolación	9
1.3.5 Precipitación	9
1.4 NECESIDADES DEL AGUA EN EL CULTIVO.....	10
1.4.1 Evaporación.....	10

1.4.2	Transpiración	10
1.4.3	Evapotranspiración	10
1.4.4	Coeficiente del cultivo (Kc)	12
1.4.5	Fracción de agotamiento hídrico	13
1.4.6	Factor de respuesta del rendimiento del cultivo (Ky).....	13
1.5	PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	13
1.5.1	Textura de suelo.....	13
1.5.2	Densidad aparente.....	13
1.5.3	Disponibilidad del agua en el suelo	13
1.6	HUELLA HÍDRICA.....	16
1.6.1	Unidades de medición de la huella hídrica.....	16
1.6.2	Huella hídrica de un cultivo.....	16
1.6.3	Componentes de la huella hídrica.....	17
1.6.4	Agua virtual	19
1.7	RENDIMIENTO DEL CULTIVO	19
1.8	CropWat 8.0.....	20
	CAPÍTULO II.....	21
	METODOLOGÍA.....	21
2.1	UBICACIÓN DEL ESTUDIO	21
2.1.1	Ubicación política.....	21
2.2	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	25
2.3	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	25
2.3.1	Análisis físico del suelo.....	25
2.4	MATERIALES Y EQUIPOS.....	26
2.5	UNIDAD EXPERIMENTAL	27
2.5.1	Unidad experimental (UE).....	27
2.5.2	Instalación y conducción de la parcela	29
2.6	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	36
2.6.1	Prueba de infiltración.....	36
2.6.2	Profundidad radicular	37
2.6.3	Altura máxima	38
2.6.4	Rendimiento	39
	CAPÍTULO III.....	41
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41

3.1	Caracterización del clima, suelo y las tres variedades del cultivo de quinua.....	41
3.1.1	Información meteorológica	41
3.1.2	Información del cultivo de las tres variedades	44
3.1.3	Información del suelo	49
3.2	Estimación la huella hídrica azul, verde y gris para las tres variedades del cultivo de quinua, usando el programa CropWat 8.0.	54
3.2.1	Cuantificación de la huella hídrica azul	57
3.2.2	Cuantificación de la huella hídrica verde	57
3.2.3	Huella hídrica del cultivo	59
3.2.4	Cuantificación de la huella hídrica gris	60
3.2.5	Huella hídrica total	63
3.3	Programación del riego por gravedad en las tres variedades del cultivo empleando el programa CropWat 8.0.	65
3.3.1	Programación de riego para el cultivo de quinua variedad Pasakalla	65
3.3.2	Programación de riego para el cultivo de quinua variedad Negra Ccollana	67
3.3.3	Programación de riego para el cultivo de quinua variedad Señor de Huerto	69
	CONCLUSIONES	72
	RECOMENDACIONES.....	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 <i>Ubicación y delimitación del proyecto de investigación</i>	22
Figura 2.2 <i>Balance hídrico correspondiente a los años 2023-2024, de la Estación Meteorológica INIA – Ayacucho.....</i>	24
Figura 2.3 <i>Croquis de parcela de investigación</i>	28
Figura 2.4 <i>Croquis de la parcela de estudio con distribución para la evaluación.....</i>	29
Figura 2.5 <i>Preparación del suelo utilizando un tractor.....</i>	29
Figura 2.6 <i>Surcado con maquinaria agrícola</i>	30
Figura 2.7 <i>Delimitación de las parcelas de investigación</i>	30
Figura 2.8 <i>Pesado y la aplicación de fertilizantes</i>	31
Figura 2.9 <i>Siembra de cultivo de quinua de las tres variedades</i>	31
Figura 2.10 <i>Riego por gravedad (por surcos).....</i>	32
Figura 2.11 <i>Deshierbo de cultivo de quinua en las tres variedades</i>	32
Figura 2.12 <i>Aporque del cultivo</i>	33
Figura 2.13 <i>Control fitosanitario de la unidad experimental</i>	34
Figura 2.14 <i>Cosecha del cultivo variedad Pasankalla</i>	34
Figura 2.15 <i>Cosecha del cultivo variedad Negra Ccollana.....</i>	35
Figura 2.16 <i>Cosecha del cultivo variedad Señor de Huerto</i>	35
Figura 2.17 <i>Trillado y venteado de quinua de las tres variedades</i>	36
Figura 2.18 <i>Prueba de infiltración por método de doble anillo</i>	37
Figura 2.19 <i>Longitud de raíz de las tres variedades en la etapa fenológica de dos hojas verdaderas</i>	38
Figura 2.20 <i>Altura máxima tomados de 10 plantas en las tres variedades</i>	39
Figura 2.21 <i>Trillado y venteado de quinua de las tres variedades</i>	40
Figura 3.1 <i>Evapotranspiración de referencia (mm) y la precipitación efectiva (mm) durante la campaña de producción del cultivo.</i>	44
Figura 3.2 <i>Etapas de desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo, media y final) de las tres variedades.....</i>	45
Figura 3.3 <i>Longitud de la raíz inicial, longitud de raíz final y la altura máxima aérea</i>	47
Figura 3.4 <i>Rendimiento de las tres variedades del cultivo de quinua</i>	49
Figura 3.5 <i>La velocidad de infiltración cm/h.....</i>	52
Figura 3.6 <i>Humedad total disponible en el suelo en (mm/m)</i>	53

Figura 3.7	<i>Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva cada 10 días de periodo vegetativo del cultivo de quinua variedad Pasankalla.....</i>	<i>55</i>
Figura 3.8	<i>Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva cada 10 días de periodo vegetativo del cultivo de quinua variedad Negra Ccollana</i>	<i>55</i>
Figura 3.9	<i>Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva cada 10 días de periodo vegetativo del cultivo de quinua variedad Señor de Huerto</i>	<i>56</i>
Figura 3.10	<i>Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva acumulado de todo el periodo vegetativo del cultivo de las tres variedades</i>	<i>56</i>
Figura 3.11	<i>Huella hídrica azul y verde (m³/ton)</i>	<i>58</i>
Figura 3.12	<i>Huella hídrica del cultivo (m³/ton) de las tres variedades</i>	<i>59</i>
Figura 3.13	<i>Resultados de la huella hídrica gris (m³/ton).....</i>	<i>63</i>
Figura 3.14	<i>Resultados de huella hídrica azul, verde y gris (m³/ton).....</i>	<i>64</i>
Figura 3.15	<i>Resultados de huella hídrica total (m³/ton).....</i>	<i>64</i>

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 <i>Balance hídrico correspondiente a los años 2023-2024, Estación Meteorológica INIA – Ayacucho</i>	23
Tabla 2.2 <i>Características físicas y químicas del suelo</i>	26
Tabla 3.1 <i>Datos meteorológicos de estación INIA - Canaán.....</i>	41
Tabla 3.2 <i>Radiación solar y evapotranspiración de referencia calculado en programa CropWat 8.0</i>	42
Tabla 3.3 <i>Precipitación real y efectiva calculado en programa CropWat 8.0.....</i>	43
Tabla 3.4 <i>Etapas (días) de desarrollo del cultivo de quinua de las tres variedades ...</i>	45
Tabla 3.5 <i>Valores del coeficiente del cultivo (promedio temporal)</i>	46
Tabla 3.6 <i>La profundidad radicular inicial y final, altura del cultivo de las tres variedades</i>	46
Tabla 3.7 <i>Factor de agotamiento hídrico (p) para cultivo de quinua</i>	48
Tabla 3.8 <i>El (Ky) para el cultivo de quinua.....</i>	48
Tabla 3.9 <i>Rendimiento de las tres variedades del cultivo de quinua.....</i>	48
Tabla 3.10 <i>Clase textural de la unidad experimental</i>	50
Tabla 3.11 <i>Registro de datos de campo</i>	51
Tabla 3.12 <i>Humedad de suelo disponible total.....</i>	53
Tabla 3.13 <i>El agotamiento inicial de la humedad del suelo (como % de ADT)</i>	54
Tabla 3.14 <i>Requerimiento de agua disponible para las tres variedades del cultivo</i>	54
Tabla 3.15 <i>CWU azul y HH azul.....</i>	57
Tabla 3.16 <i>CWU verde y HH verde.....</i>	58
Tabla 3.17 <i>Huella hídrica del cultivo (m³/ton)</i>	59
Tabla 3.18 <i>Cantidad de fertilizantes aplicados en el Cultivo de quinua</i>	60
Tabla 3.19 <i>Cantidad de índice NPK aplicados en el Cultivo de quinua</i>	61
Tabla 3.20 <i>Concentración máxima permisible</i>	61
Tabla 3.21 <i>Volumen de contaminantes.....</i>	62
Tabla 3.22 <i>HH gris del cultivo de quinua.....</i>	62
Tabla 3.23 <i>Valores de huella hídrica total por variedad</i>	63
Tabla 3.24 <i>Determinación de requerimiento hídrico del cultivo de quinua “Pasankalla”</i>	66
Tabla 3.25 <i>Calendario para el riego del cultivo de quinua “Pasankalla”</i>	66

Tabla 3.26 <i>Determinación de requerimiento hídrico del cultivo de quinua “Negra Ccollana”</i>	68
Tabla 3.27 <i>Calendario para el riego del cultivo de quinua “Negra Ccollana”</i>	68
Tabla 3.28 <i>Determinación de requerimiento hídrico del cultivo de quinua “Señor de Huerto”</i>	70
Tabla 3.29 <i>Calendario para el riego del cultivo de quinua “Señor de Huerto”</i>	70

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Plano de la parcela de investigación</i>	79
Anexo 2. <i>Registro de datos meteorológicos promedio mensual en el periodo de la investigación (octubre de 2023 – marzo de 2024)</i>	80
Anexo 3. <i>Cálculos realizados en programa CropWat 8.0</i>	82
Anexo 4. <i>Panel fotográfico</i>	89
Anexo 5. <i>Resultados y recomendaciones de fertilización del análisis del suelo.....</i>	95

INDICE DE ACRÓNIMOS

FAO	: Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.
INIA	: Instituto Nacional de Innovación Agraria
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
ANA	: Autoridad Nacional del Agua.
LABSAF	: Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare.
EEA	: Estación Experimental Agraria.
UNALM	: Universidad Nacional Agraria La Molina.
Ec	: Ecuación
HH	: Huella hídrica.
ETo	: Evapotranspiración de referencia.
ETc	: Evapotranspiración de referencia del cultivo.
RAC	: Requerimiento de agua del cultivo.
RC	: Rendimiento del cultivo.
Kc	: Coeficiente del cultivo Ton: Toneladas.
Ks	: Estrés hídrico.
AV	: Agua virtual.
AVt	: Agua virtual transferida.
CWU	: Uso de agua de cultivo.
ADT	: Agua disponible en el suelo.
CC	: Capacidad de campo.
PMP	: Punto de marchitez.
La	: Lámina de agua.
Pss	: Peso seco de la muestra.
Da	: densidad aparente.
Pr	: Profundidad radicular.
Ky	: Factor de respuesta del rendimiento del cultivo.
Pef	: Precipitación efectiva.
Lb	: Lámina bruta.
Ln	: Lámina neta.
MR	: Módulo de riego.
NR	: Necesidad de riego.
FR	: Frecuencia de riego.

GI	: Guano de isla.
FDA	: Fosfato Diamónico.
KCl	: Cloruro de Potasio.
NPK	: Nitrógeno, fosforo y potasio
Ha	: Hectárea.
mm	: Milímetros.
m	: Metros.
m ²	: Metros cuadrados.
m ³	: Metros cúbicos.
gr	: Gramos.
Kgr	: Kilo gramos.
kPa	: Kilo Pascales.
MJ/m ² /día	: Megajulios por metro cuadrado por día.

RESUMEN

El proyecto actual se llevó a cabo en la parcela de Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA situada a 2735 msnm, entre octubre del 2023 y marzo del 2024. Como objetivo primordial fue estimar la huella hídrica del cultivo de quinua, de tres variedades: variedad Pasankalla, variedad Negra Ccollana y variedad Señor de Huerto, en un suelo franco arenoso con riego por gravedad. El estudio en campo se delimitó en un diseño de bloque dividido en parcelas completas para cada variedad del cultivo. Para la determinación de la huella hídrica (HH) del cultivo en las tres variedades, se utilizó el programa CropWat 8.0, desde un esquema de cálculo fundamentado en la metodología explicada en los manuales de la (FAO). De las parcelas delimitadas se obtuvieron rendimientos del cultivo; Pasankalla 3.69 ton/ha, Negra Ccollana 3.42 ton/ha y Señor de Huerto 4.42 ton/ha; permitiendo calcular la estimación de la HH azul, verde y gris. Finalmente, los datos se tradujeron en HH total promedio de 919.17 m³/ton, 727.18 m³/ton y 141.06 m³/ton, para HH azul, verde y gris respectivamente; mostrando uso más elevado de agua azul que el verde; y, además, la sumatoria HH azul y verde resulta 1646.35 m³/ton, siendo un dato de HH del cultivo y HH total del cultivo es de 1787.41 m³/ton. Perú destaca como uno de los principales productores de quinua a nivel mundial, debido a su alto valor nutricional ha crecido la demanda en el mercado. Sin embargo, la investigación sobre los componentes de la HH de la quinua en esta región no ha sido abordada hasta ahora.

Palabras clave: Cultivo de quinua, CropWat, Huella hídrica.

ABSTRACT

The current project was carried out on the plot of the Canaán Agrarian Experimental Station of the National Institute of Agrarian Innovation-INIA located at 2735 meters above sea level, between October 2023 and March 2024. The primary objective was to estimate the water footprint of quinoa cultivation, of three varieties: Pasankalla variety, Negra Ccollana variety and Señor de Huerto variety, in a sandy loam soil with gravity irrigation. The field study was delimited in a block design divided into complete plots for each variety of the crop. To determine the water footprint (HH) of the crop in the three varieties, the CropWat 8.0 programa was used, from a calculation scheme based on the methodology explained in the (FAO) manuals. Crop yields were obtained from the delimited plots; Pasankalla 3.69 ton/ha, Negra Ccollana 3.42 ton/ha and Señor de Huerto 4.42 ton/ha; allowing to calculate the estimate of the blue, green and grey HH. Finally, the data were translated into average total HH of 919.17 m³/ton, 727.18 m³/ton and 141.06 m³/ton, for blue, green and grey WF respectively; showing higher use of blue water than green; and, in addition, the sum of blue and green HH is 1646.35 m³/ton, being a HH data of the crop and total HH of the crop is 1787.41 m³/ton. Peru stands out as one of the main quinoa producers worldwide, due to its high nutritional value, demand has grown in the market. However, research on the HH components of quinoa in this region has not been addressed until now.

Keywords: Quinoa cultivation, CropWat, Water footprint.

INTRODUCCIÓN

El agua, siendo el recurso vital por excelencia, abarca aproximadamente el 75% de la superficie terrestre. No obstante, menos del 1% de esta invaluable fuente es verdaderamente adecuada para sostener la vida humana en un mundo, donde hay desequilibrios entre la oferta y la demanda de este recurso, surgen debido al incremento de la población (Iglesias y Madina, 2009).

El Perú es considerado un país favorecido, ya que posee casi el 1.8% de las reservas del agua dulce del planeta, a razón de ello, tenemos el deber de cuidarla y gestionarla con justicia e igualdad para asegurar el cumplimiento del derecho universal del acceso al agua de todas las personas (Autoridad Nacional del Agua, s.f.).

En Perú, referente a la producción del cultivo de quinua según Midagri (2023), dio a conocer que registró 113.4 mil toneladas con rendimiento de 1.83 ton/ha para el año 2023. En este año, la quinua se cultivó en 17 de los 24 departamentos del país; sin embargo, el porcentaje de 93,7% de la producción anual, se concentra en los siguientes siete departamentos, Puno (41.1%), Ayacucho (22.2%), Apurímac (11.3%), Cusco (7.8%), Arequipa (6.8%), Junín (4.5%), Huancavelica (2.2%) y otros (4.0%); en caso del departamento de Ayacucho, se tiene un rendimiento de 2.40 ton/ha con un área de producción de 13,952.0 ha.

Asimismo, alrededor del 90 % de la huella hídrica total de la actividad productiva corresponde al sector agropecuario, el cual es el único sector que utiliza la huella hídrica verde y es también el mayor consumidor de agua azul. Por tanto, el 10 % de la huella hídrica total del sector representa el agua gris. Debido al uso de agroquímicos que contaminan las aguas de escorrentía y necesitan grandes cantidades de agua para su dilución, el estudio detallado de la huella hídrica de este sector proporciona valiosa

información para una planificación efectiva en la administración del recurso acuífero. (ANA, 2015).

Por consiguiente, en el presente estudio, se plantea la estimación del valor de la huella hídrica azul, verde y gris y sus componentes para la producción del cultivo de quinua en las tres variedades, a través de la modelación empleando el programa CropWat 8.0, considerando data climática, aplicaciones de fertilizantes y rendimientos de los cultivos. Así mismo, se busca evaluar el efecto del Fenómeno del Niño en la zona de estudio y determinar el nivel de presión aplicado a la fuente de agua en el área de investigación, para aportar a una utilización más eficiente y sostenible del agua para producción agrícola.

Durante la campaña agrícola, se llevó a cabo un estudio que abarcó alrededor de 165 días, centrándose en la evaluación de los parámetros previamente señalados.

Motivo por el cual se realizó el presente estudio de investigación, con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar la huella hídrica en tres variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Wild*) en el contexto del Fenómeno del Niño 2023 -2024 Canaán INIA, Ayacucho – 2024.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el clima, suelo y las tres variedades del cultivo de quinua en la zona de estudio Canaán INIA, Ayacucho – 2024.
2. Estimar la huella hídrica verde y azul en las tres variedades del cultivo de quinua empleando el programa CropWat, y la huella hídrica gris a partir de la fertilización aplicada.
3. Evaluar la programación del riego por gravedad en las tres variedades del cultivo de quinua empleando el programa CropWat, Canaán INIA, Ayacucho – 2024.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Antecedentes en América

Según Cabello y Sagastume (2016), en su trabajo de investigación determinó la huella hídrica de los cultivos de papa en Cuba de 2009 a 2012 utilizando el programa CropWat. Se determinaron datos de clima, fertilizantes y rendimiento para cada región de cosecha y los resultados se compararon con estudios previos realizados en otros países del Caribe y América Latina. En el caso de Cuba, los resultados basados en datos de clima nacional y cosecha promedio mostraron una diferencia del 25% respecto a los datos obtenidos en informes internacionales. En contraste con otras naciones de la región, estos países cumplen con los requisitos a pesar de tener niveles más bajos de contenido gris y mayor contenido verde. Comparó también la huella hídrica de la producción de papa con otros cultivos en este país, mostrando que este cultivo tiene la cuarta mayor demanda de agua en Cuba.

Sandoval (2017) en su tesis se propuso como objetivo principal estimar la huella hídrica de la quinua en los estados de Cayamba y Riobamba, este cálculo fundamentado en la metodología explicada en la guía de la (FAO), utilizando el programa CropWat 8.0. Muestra diversas formas de proporcionar agua mediante riego y lluvia, y cuenta con semillas certificadas orgánicamente; la producción en Cayamba es de 15,13 toneladas/ha de 0,59 hectáreas y en Riobamba de 6,92 toneladas/ha de 0,26 hectáreas; nos permite calcular los valores de la huella hídrica azul y verde para cada ubicación y estado. Finalmente, los resultados totales promedio de los hogares alcanzados fueron de 356,49 m³/ton y 98,49 m³/ton para Cayambe y Riobamba, respectivamente; esto indica un alto consumo de agua verde en comparación con el agua azul; Además su total tiene un valor de 454,98 m³/ton, lo que se considera dato de HH para la quinua a nivel nacional del Ecuador.

Higuera y Jaimes (2019) en su artículo de investigación “Evaluación de indicadores de huella hídrica en la producción de cebolla y papa en los municipios de Samaca Boyacá y Duitama” plantearon como objetivo principal el análisis comparativo de los indicadores de huella hídrica en el departamento de Boyacá aplicados al sector sector agrícola, obteniendo así información detallada que permitirá determinar la situación de contaminación, demanda, disponibilidad y alternativas de solución para el uso eficiente de los recursos hídricos, todo ello utilizó la metodología de huella hídrica de la FAO, que mediante el programa CropWat 8.0 puede evaluar la huella hídrica azul y verde de la cebolla y cultivo de papa en los municipios de Duitama y Samaca. Los resultados de la investigación determinaron que, en el caso de papa y cebolla con ciclo de crecimiento de mayo a septiembre, el índice de huella hídrica fue de 494,93 m³/ton y 591,32 m³/ton, respectivamente, en el componente gris que tiene mayor impacto tiene en cuenta los resultados generales de un índice en particular. De una comparación realizada con los resultados obtenidos en el estudio de la Investigación Nacional del Agua (ENA) del año 2014, se puede concluir que en el caso de la papa los datos obtenidos son bastantes cercanos, mientras que al examinar y comparar los resultados obtenidos en el cultivo de cebolla existen divergencias de relevancia significativa. Entre ellos se encontraron y se elaboraron soluciones correspondientes a los problemas identificados en este estudio, con enfoque en los aspectos relacionados con la agricultura y el manejo del agua.

1.1.2 A nivel nacional

Según Rendón (2015), el estudio se valió de datos provenientes de 122 estaciones meteorológicas del SENAMHI. El campo de estudio se enfoca principalmente en 14 departamentos, 96 provincias y 808 distritos, con un promedio de 3,841. 47 m³/ton de cultivo de quinua en el país entre (2001 y 2012). A demás, la producción media nacional es de 1,19 ton/ha. La huella hídrica incluye los siguientes factores: la HH verde alcanza el 80% y alcanza los 3.067 m³/ton; gris - 14% y 535 m³/ton, azul - 6% y 211 m³/ton. El efecto de la altitud sobre el rendimiento se puede ver en los resultados: el requerimiento mínimo de agua está entre 2.500 y 4.100 metros sobre el nivel del mar, lo cual es apropiado porque la quinua suele ser cultivada en temporadas de estiaje. Esto se debe a que la escasez de agua en el suelo debido a las lluvias suele ser suficiente para satisfacer las demandas hídricas de la planta de quinua. No obstante, esto contribuye a que el cultivo de quinua sea sumamente sensible a cambios en las precipitaciones.

En un estudio, Mallma y Mejía (2015) recopilaron información climática, estimaron la evapotranspiración de referencia (ET_o) con base en estos datos y luego identificaron cultivos a los que se les asignaron valores de coeficiente del cultivo (K_c) según la investigación realizado en esta área. De esta forma se calcula la evapotranspiración del cultivo (ET_c la cual, en combinación con la extensión de terreno por hectárea, se utiliza para determinar la necesidad de agua del cultivo (RAC). Teniendo en cuenta la producción de cada cultivo (RC) y el resultado (RAC), se determinó para cada producto agrícola el contenido de agua virtual (AV), expresado en litros de agua virtual por kilogramo (l/kg). Con base en este valor y la cantidad de productos vendidos (E_j), se calculó la cantidad de agua virtual transferida (AV_t) al mercado limeño. El valor virtual del agua de productos agrícolas como papa, grano de maíz, ejote, trigo, maíz, arveja, ejote, cebolla, quinua ajo, alcachofa, zanahoria, cebada y olluco fluctúa entre 0,008 y 75,52 Hm³, con un volumen total de aguas residuales de 161,28 m³/ton/año para todos cultivos estudiados.

Cauna (2019) su investigación estuvo orientado a la estimación de la huella hídrica verde del cultivo de la quinua y papa en la provincia de Puno para el periodo de años 2008 al 2017. En esta investigación se concluyó que la huella hídrica verde para los productos agrícolas de la quinua y papa son: 4822.96 m³/ton y 586.41 m³/ton, respetivamente; concluyendo también que la eficiencia de dichos cultivos es elevada en comparación con otros cultivos tanto en términos productivos como socio económicos.

El principal objetivo del estudio de Vizcarra (2022) fue evaluar la huella hídrica total de los cultivos de papa y arroz en la región de Uraca. Se utilizó el método desarrollado por Hoeskstra, Chapain Aldaya y Mekonnen, desarrollado como parte de las directrices para la evaluación de la Huella Hídrica. Para adquirir estos datos, se llevó a cabo un proceso de recolección, muestreo en terreno y modelado de datos en CropWat 8.0 para calcular las necesidades hídricas de ambos cultivos. Según el análisis realizado sobre la situación actual de uso de recurso hídrico en el distrito de Uraca, son necesarias, ya que el sistema de riego en todo el distrito no está administrado de manera eficiente para los usuarios, así como de la cantidad de agua gestionada por el gobierno local de Camaná-Majes, el agua para el distrito de Uraca. La superficie total cultivada con arroz es de 178,35 hm³ y la de patatas, de 55,36 hm³. Los resultados de la huella hídrica total y los componentes como la huella hídrica "azul", "verde" y "gris" se determinaron

utilizando el programa CropWat 8.0. El valor obtenido del cultivo de arroz y papa es de 1069,52 m³/ton y 136,73 m³/ton, respectivamente. En el cultivo de arroz, la presión sobre la demanda de agua es alta, mientras que en el cultivo de papa la presión es moderada.

1.2 QUINUA (*Chenopodium Quinoa Wild*)

1.2.1 Clasificación botánica y taxonomía

La clasificación según (Mujica, 1993).

Reino	: <i>Plantae</i>
División	: <i>Magnoliophyta</i>
Clase	: <i>Magnoliopsida</i>
Orden	: <i>Caryophyllales</i>
Familia	: <i>Amaranthaceae</i>
Género	: <i>Chenopodium</i>
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i> Wild

1.2.2 Cultivo de quinua

El cultivo de quinua son cultivos de los andes que ha estado presente desde tiempos anteriores de los incas, siendo los primeros domesticadores los Puquinas, amplificando tecnologías ancestrales locales como los waru warus y las cochas, sistemas como este labor permitieron incrementar su rendimiento; las cuales luego fueron adoptadas con éxito por los pueblos aymaras kollas que vivían en otras áreas, hacia la región de Puno; por último, fueron los incas quienes expandieron el cultivo de quinua por todo el extenso territorio de su imperio, tradición que perdura hasta nuestros días (Calla, 2012).

1.2.3 Variedad de cultivo

La alta diversidad genética de la quinua le otorga la habilidad de adecuarse a distintos pisos ecológicos con variados niveles de humedad, alturas que van desde el nivel del mar hasta los 4. 000 metros, y es capaz de enfrentar a variaciones bruscas de temperatura. Según datos proporcionados por la (INIA), se cuenta con aproximadamente 100 variedades de quinua, las cuales son empleadas de diversas formas para su consumo directo y se convierten en diversos productos derivados. Alrededor de 3 mil variedades ecológicas de quinua se encuentran en Perú, de las cuales, 2 mil ecotipos aproximadamente es conserva por la INIA.

1.2.4 Manejo agronómico

1.2.4.1 Preparación de terreno

Es el primer paso en la planificación del cultivo a instalar en el campo, que se basa en modificar las características del suelo, de otra manera es el removimiento inicial de la capa de crecimiento radicular (capa arable). El propósito principal es posibilitar la emergencia de plántulas, asegurar la germinación de la semilla, y posterior crecimiento y desarrollo de la raíz pivotante del cultivo (Calla, 2012).

1.2.4.2 Siembra

Es el acto de colocar semillas de quinua en la tierra para que germinen y desarrollen plantas nuevas; se tiene que tener en cuenta la densidad de la siembra en cual es recomendado por metro lineal de 10 a 15 plantas o 10 a 12 kg/ha, si no es caso es recomendable hacer el raleo correspondiente; la época para sembrar el cultivo de quinua variará según la variedad, de la disponibilidad de agua y de la altitud (Calla, 2012).

1.2.4.3 Abonamiento y fertilización

Esta labor se realiza para mejorar el suelo y así tener una buena producción, cultivo de quinua de nutrientes, se recomienda aplicar abonos orgánicos así tener huella hídrica gris en menor porcentaje, estos minerales, como magnesio, potasio, fósforo, nitrógeno y calcio (NPK), son de gran importancia para las plantas, ya que son absorbidos del suelo mediante la raíz en cantidades que se requiera (Calla, 2012, p. 21).

1.2.4.4 Deshierbo

Según Calla (2012) menciona que; “el cultivo de quinua como cualquier otro cultivo es muy susceptible al ataque de malezas, esta actividad se realiza cuando el cultivo tiene una altura de 25 a 30 cm, si no fuera el caso provocarían competencia con las plantas de quinua quitándole nutrientes, agua, luz haciéndolos más indefenso al ataque de plagas y enfermedades” (p. 22).

1.2.4.5 Control de plagas y enfermedades

Esta actividad es de suma importancia que debe tenerse en consideración la integración de la quinua en la conducción, es un método de conocimiento sobre el insecto o plaga en campo, su forma, su comportamiento, los daños causados y características ecológicas. Con objetivo final de eliminar definitivamente que afectan al cultivo. Las

principales plagas son: Kona Kona, panojero, pulguilla, pulgón, kuti y guano medidor (Calla, 2012).

Calla, (2012) señala que, “la principal enfermedad de la quinua es el Mildiu, que generalmente ataca a las hojas volviéndolas cloróticas más o menos en forma circular para luego extenderse más hasta desecarla por completo” (p. 27).

1.2.4.6 Aporque

Se trata de una actividad cultural significativo en el proceso de productivo del cultivo para generar buena producción y buenos rendimientos, las ventajas de esta labor es obtener el buen sostenimiento del cultivo y por ende evitar el tumbado (acame) de las plantas, la facilidad para llevar a cabo las tareas culturales (agrícolas) como: control de malezas, evaluación de plagas y aireación de radicular del cultivo (UNALM, 2016, p. 53).

1.2.4.7 Cosecha

Esta actividad se realiza cuando el cultivo haya alcanzado la etapa fenológica de grano seco y que evitaren que la uña penetre y, además, el cultivo empiece a secarse, es cuando se comienza la cosecha de la quinua, esto se puede observar por la caída de área foliar y cuando los granos están duros (secos) (Calla, 2012, p. 30).

1.2.5 Fenología del cultivo de quinua

La quinua, al igual que cualquier otro cultivo, presenta estados fenológicos, las cuales será importante para saber las situaciones críticas, realizar tareas culturales, evaluar, controlar plagas y enfermedades. Existen 12 las etapas fenológicas: pre emergencia, emergencia, dos hojas verdaderas, cuatro hojas verdaderas, ramificación, inicio de panoja, panojamiento, inicio de floración, floración, grano lechoso, grano pastoso y grano seco o madurez fisiológica (UNALM, 2016).

1.2.6 Altura del cultivo y profundidad radicular

Vásquez et al., (2017) “afirma que, la altura y las raíces del cultivo son evaluados desde fondo de la maceta hasta la copa de la panta, de acuerdo al patrón de distribución de tallo y raíces. Este varía según la edad, la variedad del cultivo, las condiciones de humedad a las que ha sido sometido durante su período vegetativo, la naturaleza física del suelo y las características esenciales del perfil del suelo” (p. 57).

1.3 FACTORES CLIMATOLÓGICOS

1.3.1 Temperatura

Las temperaturas ideales para el crecimiento y desarrollo oscilan entre 5 °C a 25 °C, dependiendo de la variedad. Tienen la capacidad de resistir las altas temperaturas y heladas durante las etapas de desarrollo vegetativo y formación de las inflorescencias, pero no desde la etapa de floración hasta la etapa de grano blando (UNALM, 2016).

1.3.2 Humedad

La falta de agua afecta el crecimiento de las plantas, es decir, el proceso de germinación, crecimiento y fructificación, lo que determina el rendimiento. Dependiendo del tipo de suelo y la humedad mantenida, se considera suficiente una precipitación de 60 a 100 mm para un buen saneamiento del campo (UNALM, 2016).

1.3.3 Velocidad del viento

Hay que evitar sembrar quinua en zonas con fuertes vientos superiores a 20km/h, para prevenir que las plantas sufran caídas y efectos nocivos en el rendimiento.

1.3.4 Insolación

Según la FAO (2006), la luz solar es la cantidad máxima de tiempo disponible en un día. Para condiciones sin nubes, su valor es mayor, lo que significa que la cantidad de insolación es mayor de lo posible, del mismo modo que la cantidad de insolación en días nublados tiende a ser de cero horas.

1.3.4.1.1 Radiación

La radiación es la energía que viaja en forma de ondas y se mide en megajoules por metro cuadrado por día ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). Por general estos datos no están disponibles directamente, pero pueden obtenerse a través de la medición de la radiación solar de onda corta o del registro diario promedio de la duración real de la insolación mediante un heliógrafo (FAO, 2006).

1.3.5 Precipitación

Según la UNALM (2016), la quinua es resistente a la sequía gracias a muchos mecanismos diferentes, como la estructura de raíces profundas y la alta ramificación. En el caso del cultivo de quinua se tienen en cuenta precipitaciones desde 300 mm hasta 1000

mm. Se considera que la precipitación media óptima para una buena producción es de 500 a 800 mm.

1.3.5.1.1 Precipitación efectiva

También se le conoce como la precipitación aprovechable, es la porción de la precipitación total disponible para las plantas, esta se calcula por diferentes métodos, el programa CropWat utiliza la fórmula de (FAO/AGLW).

$$P_{ef} = 0.6 * P - 10 \quad \text{para } P_{month} \leq 70 \text{ mm}$$

$$P_{ef} = 0.8 * P - 24 \quad \text{para } P_{month} > 70 \text{ mm} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

P: precipitación mensual en mm

P_{ef}: precipitación efectiva en mm

1.4 NECESIDADES DEL AGUA EN EL CULTIVO

1.4.1 Evaporación

Según Vásquez et al. (2017). La evaporación es la pérdida de agua superficial bajo la influencia de diversos factores climáticos. El proceso de cambio del agua de líquido a vapor se denomina "fenómeno físico". La evaporación está influenciada por muchos factores diferentes que forman parte de una etapa del ciclo del agua. Entre ellos: velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, radiación, composición y color del suelo, etc. (p. 174).

1.4.2 Transpiración

Se trata de un fenómeno fisiológico en el que el agua en forma de vapor se escapa de la pulpa de las hojas de una planta a la atmósfera. Esto significa que el agua circula desde la planta hacia la atmósfera mediante estomas y otras células epidérmicas, atravesando la membrana de la planta. Esto se considera una fuga de agua desde el tejido vegetal porque también tiene una función de enfriamiento para la planta. La principal vía de drenaje de las plantas es las estomas, que también permiten que el CO₂ entre y el O₂ salga (Vásquez et al., 2017).

1.4.3 Evapotranspiración

Se caracteriza que el agua se pierde de la superficie causado por la evaporación directa, a la par con la transpiración del cultivo. Estos procesos ocurren simultáneamente,

aunque en proporciones distintas a lo largo del crecimiento de la planta. En la etapa inicial, debido al escasez de follaje, la mayor parte de agua que se evapora provienen del suelo. No obstante, en la etapa de desarrollo, la transpiración se convierte en el proceso predominante (FAO, 2006).

1.4.3.1 Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Lambien llamado como evapotranspiración de superficie de referencia, se refiere a la velocidad de evapotranspiración de una superficie fuera de límite de agua. La superficie de referencia es un campo imaginario con una altura supuesta de 0,12 m y un albedo de 0,23, presentando condiciones que se asemejan mucho al pasto verde, con riego eficiente y la misma altura (FAO, 2006).

1.4.3.1.1 Método de Penman-Monteith

Este enfoque fue propuesto por Charles Penman y John Monteith, y fue incorporado por la FAO en el año 1989 para calcular la evapotranspiración de referencia. Este método fusiona un balance energético con un enfoque de transferencia de masa utilizando datos climáticos comunes como la duración de horas de sol, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento (FAO, 2006).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T - 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.3 u_2)} \quad Ec. (1.2)$$

Donde:

- ET_o : evapotranspiración de referencia (mm/día)
- R_n : radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²*día)
- R_a : radiación extraterrestre (mm/día)
- G : flujo del calor de suelo (MJ/m²*día)
- T : temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u₂ : velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)
- 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)
- Δ : pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
- γ : constante psicrométrica (kPa/°C)

1.4.3.2 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc)

Hace alusión a la evapotranspiración de un cultivo saludable que crece en grandes extensiones de parcelas bajo condiciones óptimas del suelo, con agua disponible y nutrición adecuada, sin enfermedades, alcanzando su máxima producción conforme a las condiciones climáticas predominantes (FAO, 2006).

La ecuación para el cálculo de ETc implica multiplicar la ETo (mm/día) por el factor del cultivo Kc (adimensional), este parámetro expresa la disparidad en la entre la evaporación y la transpiración, al tiempo que incorpora las características del cultivo que evolucionan a lo largo de cada etapa.

$$ETc = Kc * ETo \left(\frac{mm}{día} \right) \quad Ec. (1.3)$$

1.4.3.3 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj)

“Esta evapotranspiración de cultivos se desarrolla todo su periodo vegetativo sin control de labores agrícolas como: sin riego eficiente, sin control de malezas y plagas, etc. es decir, cultivos que crecen; bajo circunstancias medioambientales” (FAO, 2006, p. 9).

Para su cálculo; según Terán C. (2015) “se multiplica la evapotranspiración de referencia ETo (mm/día), el coeficiente del cultivo Kc (adimensional) y el coeficiente de estrés hídrico Ks (adimensional)” (p. 61).

$$ETc aj = Ks * Kc * ETo \left(\frac{mm}{día} \right) \quad Ec. (1.4)$$

1.4.4 Coeficiente del cultivo (Kc)

“Es un coeficiente de cambio en el estado vegetativo de la planta, que indica el nivel de cobertura del suelo de la planta, este valor en las etapas inicial y final del desarrollo del cultivo es menor que en las etapas media o tardía del desarrollo de la planta. este coeficiente estima la cantidad de agua consumida por la planta” (Vázquez et al., 2017, página 210).

Según la FAO (2006) “Este valor depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del cultivo, por lo tanto, cambia dependiendo del estado vegetativo del cultivo y de un clima determinado” (p. 91).

1.4.5 Fracción de agotamiento hídrico

La fracción de agotamiento hídrico (p) es el agua de riego que aprovecha al máximo, representando un porcentaje de la cantidad media de agua total disponible en el suelo (ADT) que podrían agotarse en la zona radicular antes de que el cultivo experimente estrés hídrico (FAO, 2006).

1.4.6 Factor de respuesta del rendimiento del cultivo (Ky)

Este factor indica cómo la productividad del cultivo decrece la ETc disminuye debido a carencia de agua. Esta disminución relativa del rendimiento es menor durante las etapas de desarrollo y maduración, la cual aumenta notablemente en las fases de floración y formación del fruto (FAO, 2006).

1.5 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

1.5.1 Textura de suelo

Se caracteriza por la disposición granulométrica o estructura mecánica del suelo y muestra la compatibilidad que existe entre las diversas fracciones de partículas sólidas o granulométricas como: arena, limo y arcilla; que se enmarcan en los diversos intervalos de tamaño de partículas según su clasificación internacional (Vásquez et al., 2017).

1.5.2 Densidad aparente

Vásquez et al., (2017) define “como la relación de la masa de suelo respecto a una unidad de volumen (ton/m³ o g/cm³). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre los sólidos y el espacio poroso” (p. 17).

$$Da \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{Pss}{Vt} \quad Ec. (1.5)$$

Donde:

Da : Densidad aparente (gr/cm³)

Pss : Peso seco de la muestra (gr)

Vt : Volumen de total (cm³)

1.5.3 Disponibilidad del agua en el suelo

La cantidad de agua disponible en el suelo utilizada por el cultivo se sitúa entre la capacidad de retención de humedad (CC) a un (0,33 bar) y punto en el que la planta comienza a marchitarse permanentemente (PMP) a un (15 bar). Si la humedad presente

en el suelo se mantiene en el nivel máximo en comparación con la capacidad de retención de humedad, hay una posibilidad de riesgo de que falta oxígeno pueda afectar el crecimiento normal de la planta. Esto sucede en suelos con poca capacidad de drenaje o con altos índices de humedad cercanos al punto de marchitez, y provoca daños permanentes a la planta en su estructura fisiológica. Realmente, si persiste esta humedad, el árbol morirá (Vázquez et al., 2017).

La ecuación que se utiliza a continuación establecida por (Miranda, 2009).

$$La \left(\frac{mm}{m} \right) = \frac{(CC - PMP)}{100} * Da * Pr \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde:

- La : Lámina de agua almacenable (mm/m)
- CC : capacidad de campo (%)
- PMP : Punto de marchitez permanente (%)
- Da : Densidad aparente (gr/cm³)
- Pr : Profundidad radicular (mm)

1.5.3.1 Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo (CC) es la cantidad de agua que retiene el suelo después de un riego intensivo. La retención de humedad en el suelo se estima considerando el porcentaje agua presente en el suelo en términos volumétricos en relación con el suelo seco. Adaptado de Vázquez et al., p. 52, (2017). “En síntesis, la capacidad de campo se refiere a la fuerza con la que el suelo retiene una molécula de agua, aproximadamente 0,10 bar en suelos de textura gruesa (arena) y presión de 0,33 bar para suelo de uso intensivo (arcilla)”.

La ecuación del cálculo de (CC) propuesta por Bodman y Mahmud (1996):

$$CC(\% \text{ peso}) = 0.023(\% \text{ arena}) + 0.25(\% \text{ limo}) + 0.61(\% \text{ arcilla}) \quad \text{Ec. (1.7)}$$

1.5.3.2 Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el índice de humedad en el suelo en la que el cultivo comienza a mostrar signos de estrés, disminución de área foliar (hojas), desarrollo deficiente, causado a una circulación muy lento de agua desde el suelo hacia la planta; lo cual equivale, en términos

generales, a una energía de 15 bares, próximo a este resultado el cultivo no está apto a asimilar el agua (Vásquez et al., 2017).

La ecuación planteada por Máximov:

$$PMP(\% \text{ peso}) = 0.001(\% \text{ arena}) + 0.12(\% \text{ limo}) + 0.57(\% \text{ arcilla}) \quad \text{Ec. (1.8)}$$

1.5.3.3 Tasa máxima de infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua hace el ingreso al suelo desde la superficie terrestre en un en un cierto lapso de tiempo. El índice de infiltración en la estructura del suelo, consiste en evaluar la rapidez con la que el suelo puede absorber la lluvia o el riego. La medida se expresa en milímetros por hora (mm/hr). Las reducciones en las tasas provocan saturaciones en el suelo. Si la cantidad de lluvia es mayor que la capacidad de absorción del suelo, podría generar escorrentía a menos haya algún obstáculo físico (Vásquez et al., 2017).

La ecuación planteada de la infiltración básica por Abelardo Villavicencio P. en el año 2020:

$$I_b = k(-600 * n)^n \quad \text{Ec. (1.9)}$$

Donde:

I_b : Infiltración básica

k : Factor adimensional numérico que representa la velocidad de infiltración en (cm/h) durante el primer intervalo, se calcula de manera analítica o gráficamente y es parámetro para ajustar los datos de campo al modelo.

n : es la variación del exponente entre 0 y -1 .

1.5.3.4 Agua disponible en el suelo (ADT)

La capacidad de un suelo para retener agua disponible para las plantas es lo que se conoce el (ADT). Tras una intensa lluvia o riego, el suelo va liberando el exceso de agua hasta llegar a su capacidad óptima. Cuando no extraen suficiente agua, las plantas eventualmente se habrá llegado al punto en que se marchitan de forma permanente (FAO, 2006).

1.6 HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica es un índice ambiental que mide el volumen de agua dulce, centrándose no solo en el uso directo del agua por parte de los usuarios o productores sino también en el uso indirecto del agua. También se considera la cantidad de agua dulce usada en la elaboración de un producto, siendo medida a lo largo de toda la cadena de suministro. Es un indicador polifacético que revela la cantidad total de agua necesaria para obtener el producto final. (Hoekstra, et al., 2011).

Parada-Puig (2012), afirma que, “la huella hídrica es un instrumento muy útil para presentar a las personas los efectos negativos que generan sus hábitos de consumo sobre el medio ambiente, los ecosistemas y especialmente sobre las fuentes de abastecimiento de agua dulce” (p. 74).

1.6.1 Unidades de medición de la huella hídrica

La huella hídrica se mide en unidad de volumen por unidad de servicio. También es posible expresarla como el volumen de agua que se utiliza para producir un producto, en el caso se divide entre la cantidad del producto que genera el proceso (Hoekstra et al., 2011).

En el caso específico de agricultura se expresa de la siguiente forma: volumen de agua por unidad de masa. Usualmente en m^3/ton .

1.6.2 Huella hídrica de un cultivo

Se refiere a aquella cantidad de agua indispensable para la producción de un cultivo, se considera la cantidad requerida desde la etapa de siembra hasta la etapa de cosecha, dicho cultivo posteriormente será comercializado (Hoekstra et al., 2002).

Para poder determinar la huella hídrica de un cultivo se toman en cuenta diferentes factores como las variables climáticas, datos del cultivo, datos del suelo y rendimiento de los cultivos. La manera más frecuente de determinar esto es siguiendo la recomendación de Hoekstra et al., (2011), en la cual la huella hídrica total es “la suma de los componentes azul, gris y verde”.

Además, por el informe de la Autoridad Nacional de Agua (2009), el sector agrícola es considerado como el único usuario de la denominada agua verde y el principal

del agua azul, por lo que realizar un estudio profundo y determinación de la huella hídrica del sector brinda importante y valiosa información para realizar una adecuada planificación para la gestión del recurso hídrico en el país.

1.6.3 Componentes de la huella hídrica

1.6.3.1 Huella verde

La huella hídrica verde se refiere a la cantidad de agua que proviene de las precipitaciones almacenada en el suelo y disponible para las plantas, siempre en cuando que no se convierta en escorrentía. También alude a la disminución de agua verde en su volumen disponible por uso humano para desarrollar diversas actividades (Cauna, 2019).

Según indica Hoekstra et al. (2011) la huella hídrica hace referencia a las precipitaciones que se dan a nivel continental las cuales no se convierten en flujos de escorrentía y tampoco en aguas subterráneas, en cambio estas se acumulan en los suelos o pueden quedarse de manera provisional en la parte superficial de los suelos o de las plantas. La denominada agua verde se considera beneficiosa para el desarrollo de los productos agrícolas, a pesar que no la totalidad del agua verde es capaz de ser absorbida por los cultivos, debido a que constantemente se da la evaporación de la misma desde el suelo y además a causa de que influyen las épocas del año, así como las zonas de ubicación de los cultivos para el correcto desarrollo del cultivo.

En conclusión, la huella hídrica verde representa la cantidad de agua aprovechado de precipitación que es utilizado en la producción de cultivos. Por lo cual, es esencial para la producción de los cultivos forestales y agrícolas, donde se considera la evapotranspiración total del agua proveniente de las precipitaciones y el agua incorporada a los procesos agrícolas.

Su cálculo procede de la siguiente manera propuesta por Hoekstra et al., (2011).

$$HH_{verde} = \frac{CWU_{verde}(\frac{m^3}{ha})}{Y(\frac{ton}{ha})} \quad Ec. (1.10)$$

Donde:

HHverde : Huella hídrica verde (m³/ton)

CWUverde : Utilización de agua de cultivo (m³/ha).

Y : Rendimiento de cultivo (ton/ha)

El cálculo del valor de CWUverde se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$CWU_{verde} = 10 * \sum_{d=1}^n ET_{verde} \quad Ec. (1.11)$$

Donde:

10: Factor de conversión de mm a m³/ha.

d: Día de siembra (día 1)

n: Duración del periodo de crecimiento de cultivo (días)

ETverde: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

1.6.3.2 Huella azul

La huella hídrica azul se refiere a la cantidad de agua dulce extraída de una fuente superficial o subterránea y que ha sido utilizado para elaborar un producto, como resultado final se obtiene la producción de un bien o servicio (Hoekstra et al., 2011).

Según ANA (2015), la huella hídrica azul es el uso de agua de fuentes naturales, fuentes de agua superficiales o fuentes de agua subterránea, que en ciertos casos requiere la provisión de instalaciones de almacenamiento (depósito) y distribución a los consumidores, incluidos los costos de almacenamiento (depósito) y distribución a los consumidores.

Se estima de mediante la siguiente ecuación matemática propuesta por Hoekstra et al., (2011).

$$HH_{Azul} = \frac{CWU_{Azul}(\frac{m^3}{ha})}{Y(\frac{ton}{ha})} \quad Ec. (1.12)$$

Donde:

HHazul: Huella hídrica azul (m³/ton)

CWUazul: Utilización de agua para riego de los cultivos (m³/Ha).

Y= Rendimiento de cultivo (ton/ha)

El cálculo del valor de CWUverde se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$CWU_{azul} = 10 * \sum_{d=1}^n ET_{azul} \quad Ec. (1.13)$$

Donde:

10: Factor de conversión de mm a m³/ha.

d: Día de siembra (día 1)

n: Duración del periodo de crecimiento de cultivo (días)

ETazul: Evapotranspiración del del cultivo (mm/día).

1.6.3.3 Huella hídrica gris

La huella hídrica gris es cantidad de agua requerida para neutralizar los contaminantes que se introducen en los cuerpos de agua, con fin de cumplir los estándares de calidad establecidos. Se calcula específicamente para los contaminantes más significativos durante el periodo vegetativo del cultivo. Los fertilizantes y las plaguicidas son las contaminantes tomados para la huella hídrica gris, como: pesticidas e insecticidas, nitrógeno, fosforo y potasio (NPK). Entonces, la huella hídrica gris es el índice del nivel de contaminación del agua vinculado a un proceso (Bolaños, 2011)

El agua gris proceso que se calcula para cada uno de los contaminantes o fertilizantes aplicados durante la etapa fenológica del cultivo y debe tomarse en cuenta aquel que tenga el impacto más significativo, ya que es el más crítico.

Se calcula a través de la siguiente ecuación matemática.

$$HH_{proc,gris} = \frac{(\alpha * AR)}{Y * (C_{max} - C_{nat})} \left(\frac{m^3}{ton} \right) \quad Ec. (1.14)$$

Donde:

HHGris: Huella hídrica gris (m^3/ton)

α : es la fracción de lixiviación

AR: es la aplicación estimada de productos químicos (Kg/m^2)

Y: Rendimiento del cultivo (ton/ha)

Cmax: Concentración máxima permitida del contaminante (kg/m^3)

Cnat: Concentración natural permitida del contaminante (kg/m^3), refiriéndose a la concentración del contaminante en el cuerpo de agua que podría ocurrir sin intervención humana.

1.6.4 Agua virtual

“Se refiere a la cantidad de agua necesaria para producir un bien o servicio. “Es el consumo total directo e indirecto de la cantidad total de agua utilizada para producir el producto” (ANA, 2015, p. 15).

1.7 RENDIMIENTO DEL CULTIVO

El rendimiento productivo de un cultivo (Y) se refiere a la cantidad de producción obtenida de un área; expresada en unidades de masa por superficie. Son múltiples factores

que indican la eficiencia mínima y máxima de la productividad; siendo uno de ellos el rendimiento físico por una unidad de superficie, expresado en kilogramos o toneladas por hectárea.

1.8 CropWat 8.0

CropWat (Crop: cultivo; Wat: agua) es una herramienta de la FAO que emplea el modelo de Penman-Monteith para calcular la cantidad de agua que evapotranspira los cultivos (ET_c), es una herramienta informática que permite determinar las cantidades necesarias de agua y riego para los cultivos basándose en datos climáticos, tanto los actuales como los nuevos. Asimismo, este programa posibilita la creación de programaciones de riego adaptadas a diversas modalidades de manejo, así como el cálculo de suministro de agua para distintos tipos de cultivos (FAO, 2006).

El programa CropWat 8.0 funciona a partir de diversos modelos para calcular la evapotranspiración tomando como datos de entrada la data climática diaria, decenal o mensual, las demandas de agua y las necesidades de riego de los cultivos se determina considerando la información climática, características del cultivo y del suelo, así como los planes de suministro de agua para diferentes tipos de cultivo (Rojas & Hernandez, 2018).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El actual estudio investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria - Ayacucho, desde el mes de octubre de 2023 hasta el mes de marzo de 2024.

2.1.1 Ubicación política

Políticamente el área de estudio se encuentra ubicado en:

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Andrés Avelino Mariscal Cáceres Dorregaray

Lugar : Parcela experimental de la EEA de INIA Canaán

Figura 2.1

Ubicación y delimitación del proyecto de investigación



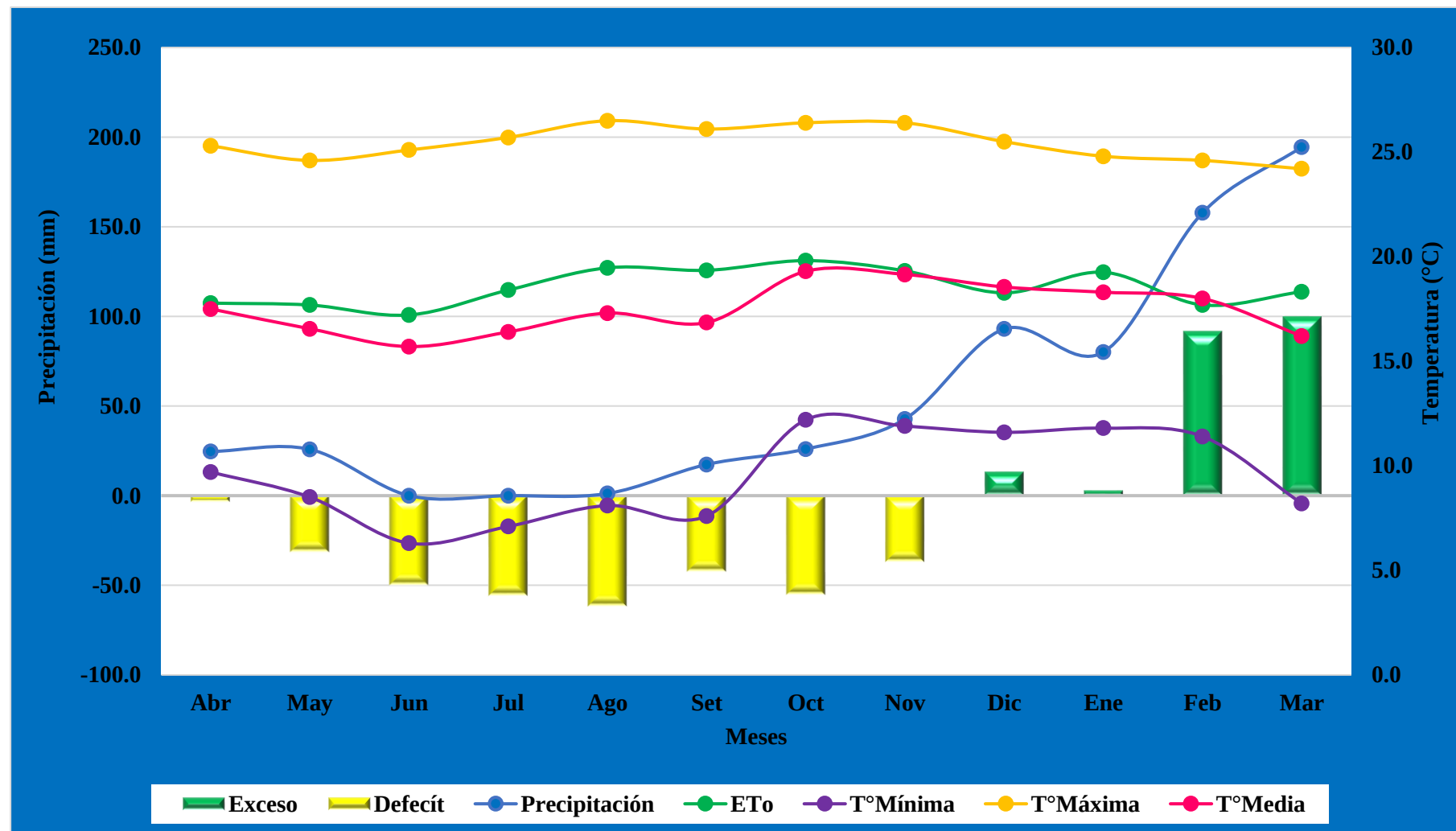
Tabla 2.1

Balance hídrico correspondiente a los años 2023-2024, Estación Meteorológica INIA – Ayacucho

Año		2023										2024		Total	Promedio
Meses	Unid	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar		
T° Mínima	°C	9.7	8.5	6.3	7.1	8.1	7.6	12.2	11.9	11.6	11.8	11.4	8.2		9.5
T° Máxima	°C	25.3	24.6	25.1	25.7	26.5	26.1	26.4	26.4	25.5	24.8	24.6	24.2		25.4
T° Media	°C	17.5	16.6	15.7	16.4	17.3	16.9	19.3	19.2	18.6	18.3	18.0	16.2		17.5
Factor		1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1		
ETo	mm	107.4	106.3	100.8	114.7	127.1	125.7	131.1	125.4	113.2	124.6	106.4	113.8	1396.5	116.4
Precipitación	mm	24.6	25.8	0.0	0.0	1.2	17.4	26.0	42.8	93.0	80.1	157.8	194.5	663.2	
H del suelo	mm	-3.8	-31.9	-50.2	-56.2	-62.0	-42.7	-55.6	-37.4	13.7	3.2	91.8	100.0		
Exceso	mm	---	---	---	---	---	---	---	---	13.7	3.2	91.8	100.0		
Déficit	mm	-3.8	-31.9	-50.2	-56.2	-62.0	-42.7	-55.6	-37.4	---	---	---	---		

Figura 2.2

Balance hídrico correspondiente a los años 2023-2024, de la Estación Meteorológica INIA – Ayacucho



2.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

En la Tabla 2.1 se presentan los datos mensuales sobre: las temperaturas mínimas, máximas y promedio; las precipitaciones medias mensuales y el total anual; registrados en la estación meteorológica INIA, los cuales fueron utilizados para crear el balance hídrico.

El clima de esta región se caracteriza por ser semiárido, con una temperatura máxima promedio de 25.43 °C, y una mínima 9.53 °C, dando como resultado una temperatura media de 17.48 °C. Además, la precipitación anual alcanza un total de 663.2 mm.

Exhibe dos estaciones distintas: la primera, lluviosa, que comienza en diciembre, se prolonga hasta abril; la segunda, seca, abarca mayo y finaliza en octubre. (ver Tabla 2.1 y Figura 2.2).

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Se analizaron las propiedades físicas y químicas del suelo antes de proceder con la siembra de del cultivo de quinua. El análisis implicó la extracción de una muestra compuesta de 5 submuestras recolectadas utilizando un método de muestreo zigzag que refleja el área seleccionada para la toma de muestras. Posteriormente, esta muestra se transportó al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares (LABSAF) para su análisis. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2. 2.

2.3.1 Análisis físico del suelo

La evaluación fisicoquímica de un suelo constituye un aspecto esencial para determinar el nivel de fertilidad presente en el área de estudio. Con este propósito, se ha recolectado una muestra in situ a una profundidad de 30 cm.

Un peso promedio de 1.0 kg fue sometido a análisis en el laboratorio, dando lugar a los resultados mostrados en la Tabla 2. 2.

Se llevó a cabo el análisis de fisicoquímico del suelo en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares. (LABSAF).

Tabla 2.2*Características físicas y químicas del suelo*

Características		Resultados		Interpretación
		Contenido	Método	
Características físicas del suelo				
Arena	(%)	48	Bouyuocos	
Limo	(%)	40	Bouyuocos	
Arcilla	(%)	12	Bouyuocos	
Clase Textural		Fr-Ao		Franco Arenoso
Capacidad de campo (%)		18.42	Bodman y Mahmud	
Punto de marchitez (%)		11.69	Máximov	
Densidad aparente (g/cm ³)		1.47		
Características químicas del suelo				
Porcentaje Nen MO (%)		5.00		
Porcentaje mineraliz. N (%)		1.50		
pH		7.90	Potenciómetro	Ligeramente alcalino
C.E	mS/cm	10.12	Technical Corrigendum 1	Suelo libre de sales
MO	%	2.10	Walkley-black	Contenido moderado
Fósforo	ppm	27.80	Olsen	Contenido Alto
Potasio	ppm	359.86	Turbimetria	Contenido Alto
Ca ⁺⁺	meq/100 g	18.30	Acetato de amonio	
Mg ⁺⁺	meq/100 g	2.52	Acetato de amonio	
K ⁺	meq/100 g	0.37	Acetato de amonio	
Na ⁺	meq/100 g	0.12	Acetato de amonio	
Al ³⁺	meq/100 g	0.00	Yuan	
H ⁺	meq/100 g	0.00	Yuan	
CIC	meq/100 g	21.30	Saturación	Nivel medio

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Foliares (LABSAF) – 2024

2.4 MATERIALES Y EQUIPOS

Delimitación de las unidades experimentales

- ✓ 12 estacas
- ✓ 1/2 bolsa de yeso
- ✓ Cinta métrica de 50 m

Cultivo de quinua

- ✓ Se tomo la densidad de siembra de 12 Kg/ha gr de semilla para cada variedad (INIA 415 – Pasankalla, INIA 420 - Negra Ccollana y INIA 441 - Señor del Huerto).

Fertilizantes

- ✓ 72.0 kg guano de isla (GI)
- ✓ 7.2 kg de urea (U)
- ✓ 3.6 kg de fosfato diamónico (FDA)
- ✓ 5.4 kg de cloruro de potasio (KCl)

Muestreo de suelo

- ✓ Bolsa
- ✓ Regla, libreta de campo y lápiz
- ✓ Balde
- ✓ Pico y pala

Equipos

- ✓ 01 balanza gramera con dos decimales digital.
- ✓ 01 mochila de fumigar capacidad 20 L
- ✓ 01 estufa eléctrica
- ✓ Cámara Fotográfica
- ✓ Laptop, impresora

Programas

- ✓ ArcGIS Versión 10.8
- ✓ Google Earth
- ✓ CropWat 8.0

2.5 UNIDAD EXPERIMENTAL

2.5.1 Unidad experimental (UE)

La unidad experimental se conformó con tres parcelas, cada una instalada con diferentes variedades de quinua: Señor de Huerto, Pasankalla y Negra Ccollana. Cada una tenía 10 surcos de 15 metros de longitud, con un espaciamiento de 0.80 metros entre ellos, y la siembra se llevó a cabo mediante chorro continuo.

Se realizó un sorteo al azar de los 3 tratamientos para asignarles su ubicación correspondiente en cada parcela. La evaluación fue llevada a cabo debido a un efecto de borde.

Características de la unidad experimental

Parcelas

- ✓ Ancho de la parcela : 8.0 m
- ✓ Largo de la parcela : 15.0 m
- ✓ Área de la parcela : 120.0 m²
- ✓ N° de surcos por parcela : 10
- ✓ N° de plantas / 1 metro lineal : 12-17 plantas
- ✓ Largo de surco : 15.0 m
- ✓ Distancia entre surcos : 0.80 m

De las calles

- ✓ Largo de la calle : 15.0 m
- ✓ Ancho de la calle : 1.6 m
- ✓ Área de la calle : 24.0 m²

Bloque

- ✓ Numero de bloques : 1.0 m
- ✓ Largo del bloque : 15.0 m
- ✓ Ancho del bloque : 27.2 m
- ✓ Área del bloque : 408.0 m²

Figura 2.3

Croquis de parcela de investigación

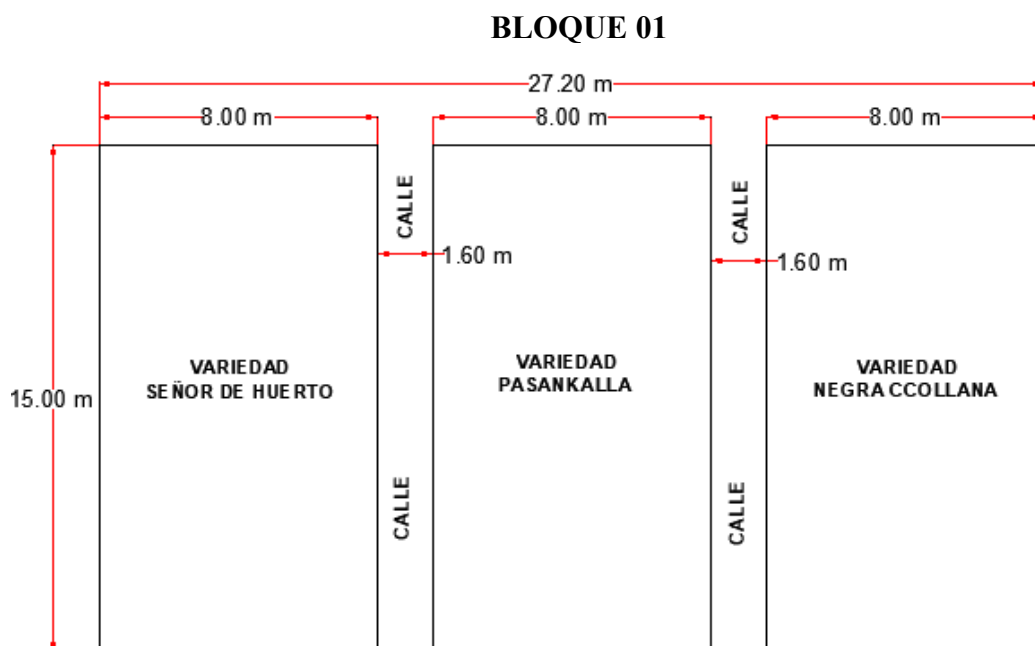
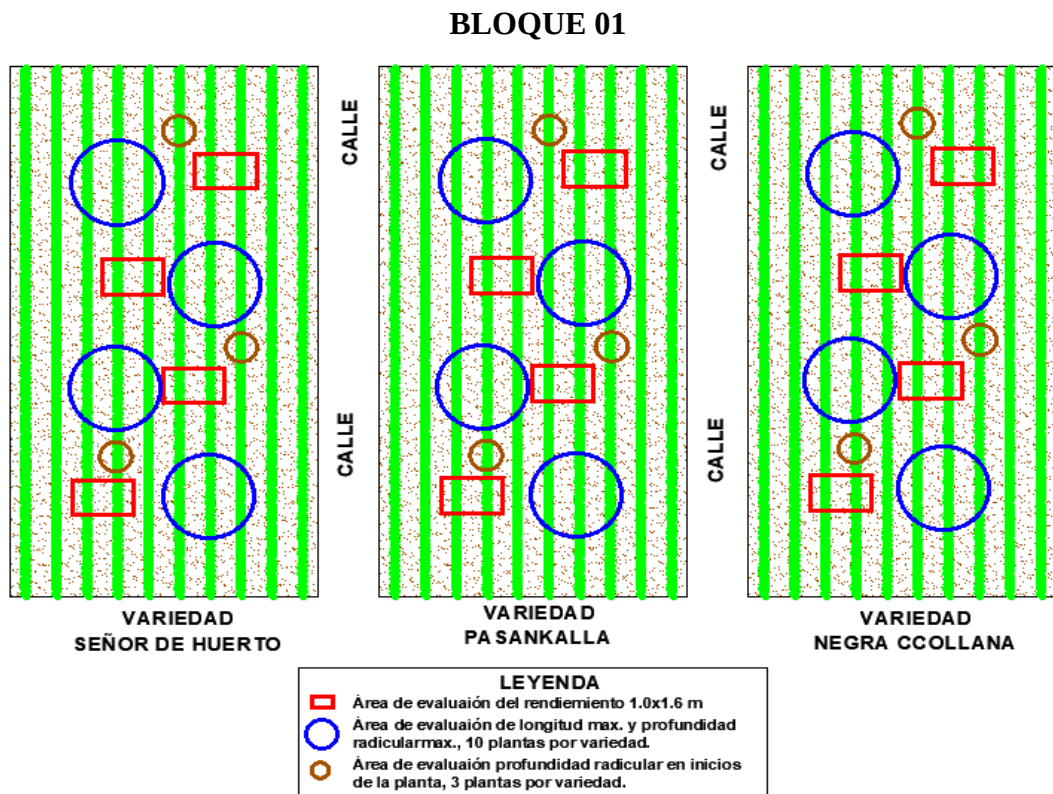


Figura 2.4

Croquis de la parcela de estudio con distribución para la evaluación



2.5.2 Instalación y conducción de la parcela

a) Preparación de terreno

Esta actividad se llevó a cabo el 27 de setiembre de 2023 utilizando la maquinaria agrícola con arado de discos y rastra, en una labor de forma cruzada, logrando dejar la tierra suelta, mullida y nivelada.

Figura 2.5

Preparación del suelo utilizando un tractor



b) Surcado

En la Figura 2.6 se aprecia el surcado del terreno tras la preparación realizada. La tarea de realizar surcos se llevó a cabo el 27 de septiembre de 2023 utilizando una surcadora, siguiendo las distancias de 0.80 m entre surcos y de 1.60 m para las calles, tal como se detalla en el esquema del campo experimental (ver Figura 2.3).

Figura 2.6

Surcado con maquinaria agrícola



c) Delimitación del campo experimental

Terminada la labor de surcar el terreno, se procedió a definir las tres parcelas mediante estacas y señalizaciones, siguiendo el diseño del campo experimental.

Figura 2.7

Delimitación de las parcelas de investigación



d) Pesado y aplicación de fertilizantes

El pesado de los fertilizantes se realizó de acuerdo con el análisis del suelo y la recomendación por el laboratorio LABSAF para el cultivo de quinua, guano de isla 2000 kg/ha, urea 200 kg/ha, fosfato di amónico 100 kg/ha y cloruro de potasio 150 kg/ha. La fertilización se realizó el 11 de octubre del 2023 al mismo día de la siembra, se distribuyó por chorro continuo y después se ha realizado tapado de 2 cm con fin de no tener contacto con la semilla.

Figura 2.8

Pesado y la aplicación de fertilizantes



e) Siembra

Esta actividad se realizó en el mismo día de la fertilización, el 11 de octubre del 2023, para las tres variedades del cultivo. Se aplicó la siembra por chorro continuo, depositándose las semillas de forma equitativa, cubriendo las semillas a una medida de 3 cm profundidad. De acuerdo a las sugerencias, la semilla no debe tener contacto con las fertilizantes; por tanto, se realiza un tapado superficial a los fertilizantes después de su aplicación.

Figura 2.9

Siembra de cultivo de quinua de las tres variedades



f) Riego

Se aplicó riego por gravedad (por surcos), en donde se suministra el intervalo de riego es de 4 días en mes de octubre, 5 días en mes de noviembre, 6 días en los meses de diciembre y enero, finalmente 7 días en los meses de febrero y marzo, en las tres variedades del cultivo, hasta llegar a un punto aproximado a la capacidad de campo.

Figura 2.10

Riego por gravedad (por surcos)



g) Control de malezas

Esta actividad se realizó el 7 de noviembre del 2023 (26 días después de la siembra) en las tres variedades del cultivo. El tipo de control se efectuó manualmente y se aprovechó el deshije a las plantas pequeñas o enfermas, dejando un aproximado de 15 plantas por 1 metro lineal.

Figura 2.11

Deshierbo de cultivo de quinua en las tres variedades



h) Aporque

El trabajo se llevó a cabo el 23 de noviembre de 2023, cuando las plantas tenían una altura media de 25 cm (41 días después de sembradas). En esta ocasión, se realizó un aporque elevado, utilizando azadones, a fin de fortalecer las plantas y prevenir que se doblaran por el viento, además de mejorar la sujeción de las raíces. Asimismo, se aprovechó esta tarea para completar la fertilización de nitrógeno.

Figura 2.12

Aporque del cultivo



i) Control enfermedades y plagas

Durante el crecimiento vegetativo de la quinua, se detectaron las principales enfermedades siguientes: la chupadera fungosa en la fase vegetativa de emergencia se aplicó Vitavax-300 con una dosis de 1000 gr por cilindro, mildiu (*Perenospora variabilis*) se controló con Ridomil Gold MZ 68 WP a 3 kg ha⁻¹ que apareció en el periodo de ramificación. Para diabrotica (*Diabrotica speciosa*), áfidos y Kcona Kcona (*Eurysacca quinoae*) se utilizó dos aplicaciones de Cyperklin 25 CE con una dosis de 200 cc por cilindro en el estado fenológico de cuatro hojas verdaderas y grano pastoso, respectivamente. Las principales plagas que atacan al cultivo en la etapa final del cultivo son los pájaros.

Figura 2.13

Control fitosanitario de la unidad experimental



j) Cosecha

La cosecha se realizó en diferentes fechas de acuerdo con las variedades.

La cosecha de la variedad (INIA 415 – Pasankalla) tuvo lugar el 5 de marzo de 2024, tomando en cuenta la madurez de la planta y de los granos. Fue elaborado de forma manual, utilizando una segadera y un costal, ordenando por repeticiones para poder comparar adecuadamente el rendimiento de la cosecha.

Figura 2.14

Cosecha del cultivo variedad Pasankalla



La cosecha de la variedad (INIA 420 - Negra Ccollana) tuvo lugar el 11 de marzo de 2024, tomando en cuenta la madurez de la planta y de los granos. Fue elaborado de forma manual, utilizando una segadera y un costal, ordenando por repeticiones para poder comparar adecuadamente el rendimiento de la cosecha.

Figura 2.15

Cosecha del cultivo variedad Negra Ccollana



La cosecha de la variedad (INIA 441 - Señor del Huerto) tuvo lugar el 26 de marzo de 2024, tomando en cuenta la madurez de la planta y de los granos. Fue elaborado de forma manual, utilizando una segadera y un costal, ordenando por repeticiones para poder comparar adecuadamente el rendimiento de la cosecha.

Figura 2.16

Cosecha del cultivo variedad Señor de Huerto



k) Trillado y venteado

Esta actividad se realizó el 4 de abril del 2024 para las tres variedades del cultivo de quinua con el apoyo de la máquina agrícola trilladora y venteadura de la institución INIA-Canaán.

Figura 2.17

Trillado y venteado de quinua de las tres variedades



2.6 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

2.6.1 Prueba de infiltración

Se realizó la prueba de infiltración por el método de doble anillo, de acuerdo con el capítulo 4 de “Frambueso: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo” (Abelardo Villavicencio, 2020, p. 54-68).

Se colocaron los anillos a la mitad de la parcela previamente nivelada, comprobando que no queden ni piedras ni raíces bajo el filo de ninguno de los ellos; se centró el anillo interior y se introdujo al suelo un aproximado de 10 cm con apoyo de una comba de 10 libras.

Pasamos a nivelar los cilindros con nivel de mano y se colocó una regla de 30 cm en la pared del cilindro, dejando un borde libre de los 5 cm.

Tapizando con plástico el anillo interior, se llenó el agua hasta la altura de la regla. Inmediatamente, se llenó el anillo exterior a la misma altura del anillo central, luego de

ello se retira el plástico, al mismo tiempo, inicia las lecturas del tiempo en (min) y la infiltración en (cm).

La infiltración constante se alcanzó en 120 min con 18 datos anotados de infiltración. Con los datos obtenidos se realizan los cálculos en gabinete mediante el método de Abelardo Villavicencio, 2020, p. 54-68.

Figura 2.18

Prueba de infiltración por método de doble anillo



2.6.2 Profundidad radicular

Esta evaluación fue llevada a cabo de acuerdo al manual de programa CropWat, en donde se evaluó en dos etapas fenológicas del cultivo: el primero en la etapa fenológica de dos hojas verdaderas y el segundo en la etapa fenológica de grano pastoso.

Para la variedad Pasankalla; la primera evaluación se realizó el 26 de octubre del 2023, se extrajo 3 plantas, la ubicación se indica en el croquis de la Figura 2.4; la segunda evaluación se realizó el 16 de febrero del 2024, se extrajo 10 plantas, la ubicación se indica en el croquis de la Figura 2.4.

Para la variedad Negra Ccollana; la primera evaluación se realizó el 23 de octubre del 2023, se extrajo 3 plantas, la ubicación se indica en el croquis de la Figura 2.4; la segunda evaluación se realizó el 26 de febrero del 2024, se extrajo 10 plantas, la ubicación se indica en el croquis de la Figura 2.4.

Para la variedad Señor de Huerto; la primera evaluación se realizó el 18 de octubre del 2023, se extrajo 3 plantas, la ubicación se indica en el croquis de la Figura 2.4; la segunda evaluación se realizó el 3 de marzo del 2024, se extrajo 10 plantas, la ubicación se indica en el croquis de la Figura 2.4.

Figura 2.19

Longitud de raíz de las tres variedades en la etapa fenológica de dos hojas verdaderas



2.6.3 Altura máxima

Esta evaluación se realizó en la etapa fenológica (grano pastoso).

Para la variedad Pasankalla, la evaluación se realizó el 16 de febrero del 2024. Se extrajeron 10 plantas. La ubicación indica en el croquis de la Figura 2.4 se midió con un flexómetro.

Para la variedad Negra Ccollana, la evaluación se realizó el 26 de febrero del 2024. Se extrajeron 10 plantas. La ubicación indica en el croquis de la Figura 2.4 se midió con un flexómetro.

Para la variedad Señor de Huerto, la evaluación se realizó el 3 de marzo del 2024. Se extrajeron 10 plantas. La ubicación indica en el croquis de la Figura 2.4 se midió con un flexómetro.

Figura 2.20

Altura máxima tomados de 10 plantas en las tres variedades



2.6.4 Rendimiento

Se evaluó el rendimiento para cada variedad de cultivo.

Se realizó la cosecha de un metro lineal por dos surcos (1 m por 1.6 m en total de un área de 1.60 m²), como se indica el croquis de evaluación que muestra en la Figura 2.4. Este proceso se realizó cuatro repeticiones para cada variedad.

La muestra de quinua se llevó al acondicionamiento (secadero) identificado en un costal. El tiempo de secado para cada variedad fue de 15 días después de la cosecha.

Después del secado, se procede al trillado y venteado de manera manual, luego el grano se deposita a una bolsa con sus respectivas identificaciones.

Finalmente, se pesó cada bolsa de evaluación, por variedad, 4 muestras evaluadas, de las tres variedades, un total de 12 muestras.

Figura 2.21

Trillado y venteado de quinua de las tres variedades



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del clima, suelo y las tres variedades del cultivo de quinua

3.1.1 Información meteorológica

Desde los datos meteorológicos de la estación INIA, proveídos por Senamhi y Gobierno Regional de Ayacucho, se tomó los datos de interés para el estudio (temperatura máxima temperatura mínima, porcentaje de humedad, velocidad de viento e insolación); los cuales se detallan en la Tabla 3.1. Los datos mensuales del año 2023 (meses de abril a diciembre) y 2024 (meses de enero a marzo).

Tabla 3.1

Datos meteorológicos de estación INIA - Canaán

Mes	Temp. Min °C	Temp. Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas
Enero	11.8	24.8	86	199	6.7
Febrero	11.4	24.6	90	173	6.3
Marzo	8.2	24.2	89	216	6.8
Abril	9.7	25.3	84	130	7.5
Mayo	8.5	24.6	84	259	8.3
Junio	6.3	25.1	80	173	9.6
Julio	7.1	25.7	78	233	9.8
Agosto	8.1	26.5	76	173	9.8
Septiembre	7.6	26.1	77	216	7.8
Octubre	12.2	26.4	78	173	7.0
Noviembre	11.9	26.4	80	216	6.0
Diciembre	11.6	25.5	85	173	4.7
Promedio	9.5	25.4	82	194	7.5

Fuente: Estación Meteorológica INIA – Ayacucho (Senamhi - OPEMAN – Gobierno Regional de Ayacucho)

En la Tabla 3.1, representan las variables climáticas promedio de la zona EEA – INIA Canaán Ayacucho. Por ejemplo, en el mes de junio, la temperatura mínima alcanza los 6.3 °C, indicando la época de heladas meteorológicas. Por otro lado, durante los meses

propicios para el cultivo de quinua, las temperaturas mínimas son más altas, facilitando su desarrollo fenológico. En cuanto a la temperatura más alta, se registra un máximo de 26.4 °C en los meses de octubre y noviembre. La humedad relativa alcanza su punto más alto en febrero, llegando al 90 % debido a las lluvias que predominan en la región durante ese mes. Durante los meses de julio y agosto, es cuando se registra la mayor insolación, con una duración de 9.8 horas por día.

Tabla 3.2

Radiación solar y evapotranspiración de referencia calculado en programa CropWat 8.0

Mes	Rad MJ/m²/día	ET_o mm/día
Enero	20.70	4.02
Febrero	20.00	3.80
Marzo	19.90	3.67
Abril	19.10	3.58
Mayo	18.20	3.43
Junio	18.70	3.36
Julio	19.50	3.70
Agosto	21.40	4.10
Septiembre	20.60	4.19
Octubre	20.70	4.23
Noviembre	19.50	4.18
Diciembre	17.50	3.65
Promedio	19.7	3.83

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3. 2, se aprecia la radiación solar estimada para las características de la región de Ayacucho usando el programa CropWat 8.0. Durante el mes de agosto, se alcanza el máximo valor de 21. 40 MJ/m²/día. Igualmente, durante los meses de desarrollo del cultivo de la quinua (de octubre a marzo), se registra una alta cantidad de energía solar promedio mensual que llega a la superficie horizontal. En nuestra situación, dicha energía posibilita el desarrollo de la fotosíntesis, lo que conlleva a una mayor productividad en el cultivo de la quinua.

Igualmente se observa la evapotranspiración determinada mediante el método de Penman-Monteith por Ec (1.2), el cual facilita la representación de la disminución de la humedad en una superficie debido a la evaporación directa y la transpiración de las

plantas. Destaca el pico más pronunciado en octubre con 4.23 mm, siendo este coincidente con los periodos de escasez de lluvia.

Tabla 3.3

Precipitación real y efectiva calculado en programa CropWat 8.0

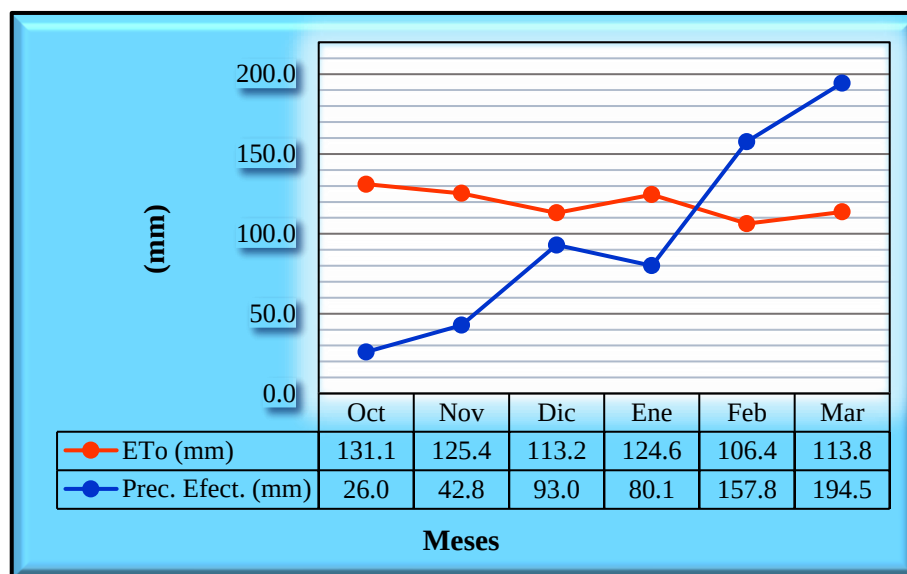
Mes	Precipitación mm	Precipitación efectiva mm
Enero	80.1	40.10
Febrero	157.8	102.20
Marzo	194.5	131.60
Abril	24.6	4.80
Mayo	25.8	5.50
Junio	0	0.00
Julio	0	0.00
Agosto	1.2	0.00
Septiembre	17.4	0.40
Octubre	26	5.60
Noviembre	42.8	15.70
Diciembre	93	50.40
Total	663.2	356.30

Fuente: Estación Meteorológica INIA – Ayacucho (Senamhi - OPEMAN – Gobierno Regional de Ayacucho)

En la Tabla 3. 3, se muestran los valores de precipitación real (mm) calculados mediante el programa CropWat 8. 0 utilizando la Ec (1. 1), la cual será útil más adelante para calcular la huella hídrica verde. Se destaca que la mayor cantidad de lluvia corresponde al mes de marzo, con un total de 194. 5 mm, mientras que los registros más bajos se observan en mes de junio y julio, con una precipitación nula de 0 mm. Igualmente, se exhiben los registros de precipitación efectiva, la cual constituye la precipitación que el cultivo aprovecha como una parte del agua verde. Por otra parte, los meses de periodo vegetativo del cultivo (de octubre a marzo) muestran una distribución con niveles que respaldan, a diferencia de los meses extremos (junio a agosto) en los que no hay agua disponible para aprovechar.

Figura 3.1

Evapotranspiración de referencia (mm) y la precipitación efectiva (mm) durante la campaña de producción del cultivo



Desde la Figura 3.1, se muestran los datos recopilados sobre las condiciones meteorológicas durante el período de crecimiento del cultivo, representados por números y líneas que indican los valores de ciertos parámetros en milímetros (mm). Estos parámetros incluyen: (1) la evapotranspiración de referencia (línea roja), y (2) la precipitación efectiva (línea azul).

De acuerdo con Bolaños (2011), el siguiente paso para calcular la huella hídrica involucra considerar la precipitación efectiva, que corresponde a la porción de lluvia que es absorbida por el suelo y aprovechada por las plantas. No toda la lluvia es disponible para el cultivo, ya que parte se pierde por escorrentía y percolación, lo cual explica la situación encontrada en nuestro análisis de cultivos.

3.1.2 Información del cultivo de las tres variedades

3.1.2.1 Fecha de siembra y cosecha

Este dato, junto con el periodo vegetativo del cultivo, posibilitó la realización de cálculos en el programa CropWat 8. 0 y determinar la fecha de la cosecha.

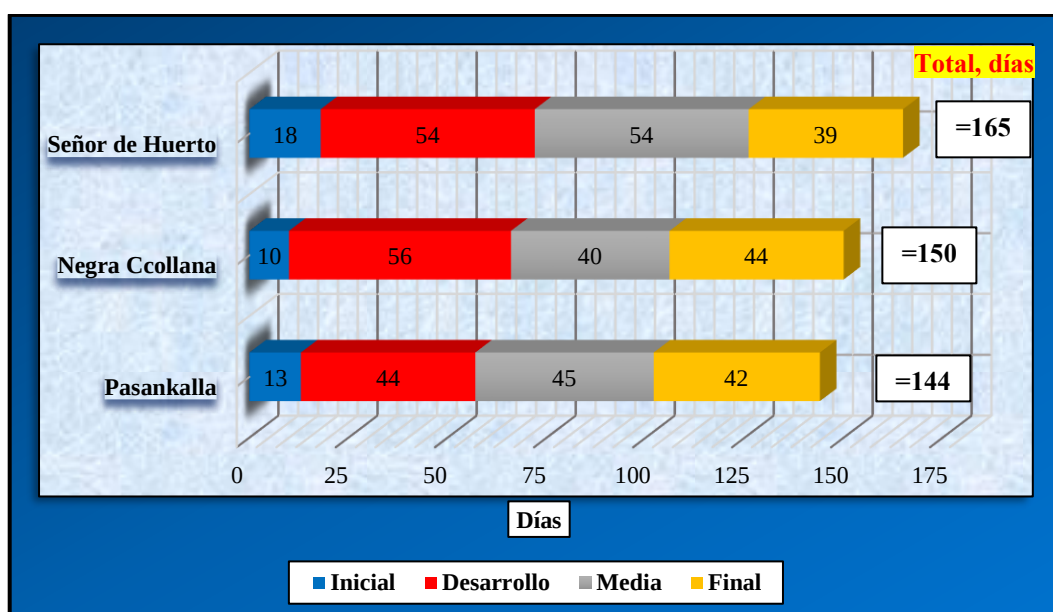
Para este modelado, se tomó como dato la fecha de siembra el mes de octubre para las tres variedades, donde cada variedad tiene diferentes etapas de desarrollo; por lo tanto, cada variedad tiene diferente fecha de cosecha.

Tabla 3.4*Etapas (días) de desarrollo del cultivo de quinua de las tres variedades*

Variedad	Inicial Días	Desarrollo Días	Media Días	Final Días	Total Días	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Pasankalla	13	44	45	42	144	13/10/2023	05/03/2024
Negra Ccollana	10	56	40	44	150	13/10/2023	11/03/2024
Señor de Huerto	18	54	54	39	165	13/10/2023	26/03/2024

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.4 muestra los valores de las etapas de desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo, media y final), que son variables para cada variedad. Estos datos son necesarios para insertar la información al programa CropWat; la variedad de Pasankalla tiene un periodo vegetativo de 144 días, lo cual es más precoz a comparación de las otras dos variedades, la variedad de Negra Ccollana tiene un periodo vegetativo de 150 días y la variedad de Señor de Huerto de 165 días, esta última tiene mayor duración a comparación de las dos variedades de evaluación. Estos resultados son de manera similar encontrados en los estudios realizados por la UNALM (2016); en donde la duración en días es: 140 días para Pasankalla, 145 días para Negra Ccollana y 170 días para Señor de Huerto.

Figura 3.2*Etapas de desarrollo del cultivo (inicial, desarrollo, media y final) de las tres variedades*

De la Figura 3.2, se muestran los resultados de evaluación realizada en el campo; los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros en unidad de día, siendo los siguientes: (1) etapa inicial del cultivo (barra azul), (2) etapa desarrollo del cultivo (barra roja) y (3) etapa media del cultivo (barra gris) y etapa inicial del cultivo (barra naranja).

3.1.2.2 Coeficiente del cultivo

En la Tabla 3.5 se detallan los datos clave utilizados en el proceso de modelado, que comprenden tres fases distintas: un Kc inicial de 0.58, un Kc medio de 1.20 y un Kc final de 0.78.

Tabla 3.5

Valores del coeficiente del cultivo (promedio temporal)

Cultivo	Kc Inicial	Kc Medio	Kc Final
Quinua	0.58	1.20	0.78

Fuente: Choquecallata et al. (1991)

3.1.2.3 Profundidad radicular y altura máxima

La profundidad radicular inicial y final son diferentes para cada variedad, de igual forma la altura máxima.

Tabla 3.6

La profundidad radicular inicial y final, altura del cultivo de las tres variedades

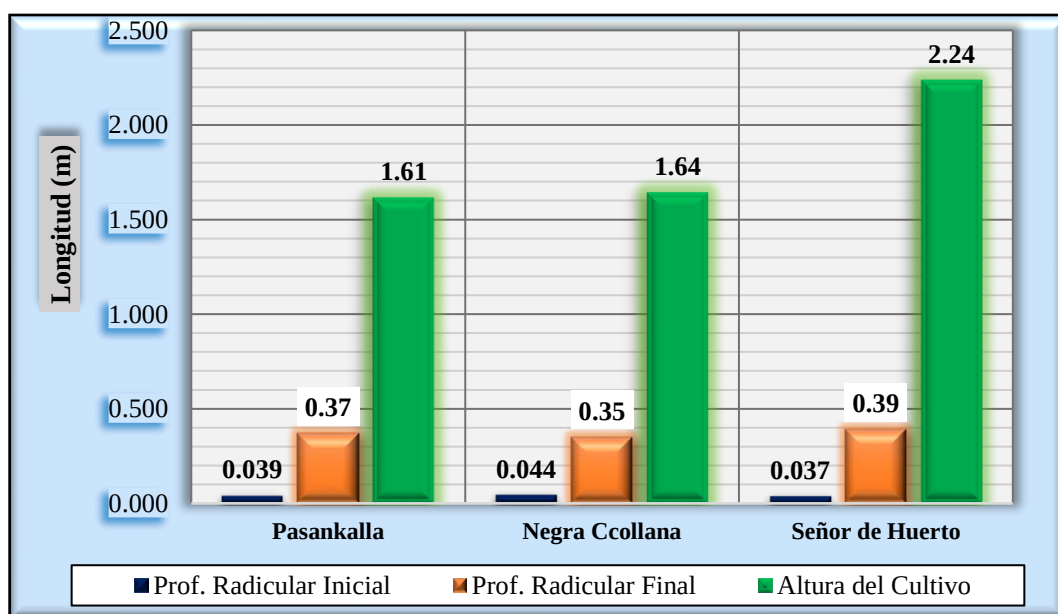
Variedad	Prof. Radicular inicial (m)	Prof. Radicular final (m)	Altura máxima (m)
Pasankalla	0.039	0.37	1.61
Negra Ccollana	0.044	0.35	1.64
Señor de Huerto	0.037	0.39	2.24

Según la Tabla 3.6, los valores de profundidad radicular son variables para cada variedad, la variedad Pasankalla tiene 0.039 m de profundidad radicular inicial y 0.37 m de profundidad radicular final, la variedad Negra Ccollana tiene 0.044 m de profundidad radicular inicial y 0.35 m de profundidad radicular final, la variedad Señor de Huerto tiene 0.037 m de profundidad inicial y 0.39 m de profundidad radicular final. De igual manera en la altura máxima para cada variedad es diferente, la variedad Pasankalla tiene

una altura de cultivo 1.61 m, es la variedad con la altura mínima, la variedad Negra Ccollana tiene una altura de cultivo 1.64 m, la variedad Señor de Huerto tiene una altura de cultivo 2.24 m, es la variedad más alto a comparación de las otras. Existen estudios realizados por la UNALM (2016) de la altura de la planta que varía para Negra Ccollana de 90 a 110 cm. De igual forma, estudios realizados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (2018) de la altura de la planta que varían para Pasankalla de 90 a 120 cm y para Señor de Huerto de 165 a 170 cm.

Figura 3.3

Longitud de la raíz inicial, longitud de raíz final y la altura máxima aérea



De la Figura 3.3, los resultados obtenidos de la evaluación en campo; los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros en unidad de metro (m), siendo los siguientes: (1) longitud de la raíz en la etapa inicial del cultivo (barra azul), (2) longitud de la raíz en la etapa final del cultivo (barra naranja) y (3) altura máxima aérea del cultivo (barra verde).

3.1.2.4 Fracción de agotamiento hídrico

La Tabla 3.7 muestra los datos tomados de la tesis presentado por Huertas, M. (2016) en la página 77, en donde se realizó la intersección teniendo como variables del factor (P) como profundidad radicular en metros y evapotranspiración del cultivo ETc en diferentes etapas del cultivo; obteniendo como el resultado en la etapa inicial, media y

final de 0.40 mm, estos datos son necesarios para realizar la modelación en programa CropWat 8.0.

Tabla 3.7

Factor de agotamiento hídrico (p) para cultivo de quinua

Cultivo	Inicial	Medio	Final
Quinua	0.40	0.40	0.40

Fuente: Huertas, M. (2016)

3.1.2.5 Factor de respuesta del rendimiento del cultivo (Ky)

Se consideró la publicación número 66 de la FAO, publicada en 2009, en la que se establece que el valor de Ky para el cultivo de la quinua es de 1.0.

Tabla 3.8

El (Ky) para el cultivo de quinua

f1	f2	f3	f4	f(promedio)
0.9	1.0	1.1	1.0	1.0

Fuente: FAO, (2009)

En la Tabla 3.8, se muestra los valores de Ky; donde Ky inicial se tomó como valor de 0.9, en esta etapa del cultivo el requerimiento de agua por el cultivo no es directo para desarrollo de los granos, el cual no afecta de manera directa a la producción; para esta etapa media (floración a grano pastoso) el Ky se consideró el valor de 1.1, por que el cultivo tiene mayor requerimiento hídrico para el desarrollo del grano, por tanto, afecta de manera directa al rendimiento; Ky de desarrollo y final se tomó el valor de 1.0, en estas etapas el requerimiento hídrico es parcial para el desarrollo de los granos.

3.1.2.6 Rendimiento del cultivo

En rendimiento del cultivo de quinua varía de acuerdo a la variedad del cultivo.

Tabla 3.9

Rendimiento de las tres variedades del cultivo de quinua

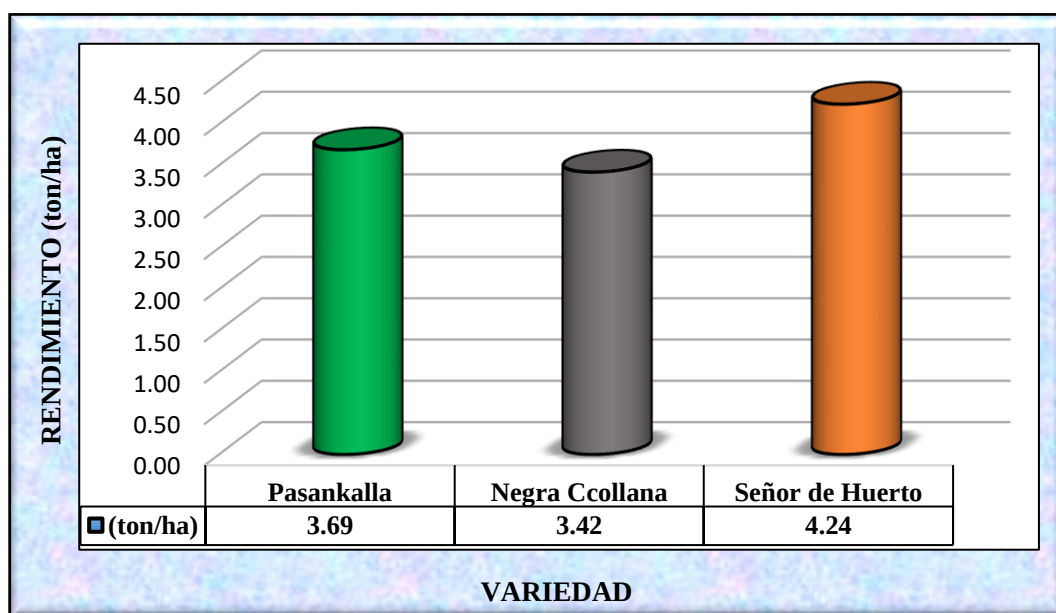
Variedad	Rendimiento kg/Ha	Rendimiento ton/ha
Pasankalla	3689.28	3.69
Negra Ccollana	3418.94	3.42
Señor de Huerto	4240.70	4.24

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3.9, muestra los rendimientos del cultivo de las tres variedades. La variedad que tuvo mayor rendimiento es el Señor de Huerto con 4.24 ton/ha; con menor rendimiento, la variedad Negra Ccollana con 3.42 ton/ha; finalmente, 3.69 ton/ha para la variedad Pasankalla. Estos resultados son similares a los que se encontraron en los estudios realizados por la UNALM (2016); en donde en rendimiento es 3.0 ton/ha para pasankalla y de igual manera para Negra Ccollana. De igual forma, los resultados realizados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (2018) son: 3.50 ton/ha para Pasakalla, 3.01 ton/ha para Negra Ccollana y 3.20 ton/ha para Señor de Huerto. Estos resultados varían por diferentes factores: la altitud, labores culturales, aplicación de riego, tipo de suelo, etc.

Figura 3.4

Rendimiento de las tres variedades del cultivo de quinua



De la Figura 3.4, los resultados obtenidos de la evaluación en campo; los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros en unidad de (ton/ha), siendo los siguientes: (1) variedad Pasankalla (barra verde), (2) variedad Negra Ccollana (barra gris) y (3) variedad Señor de Huerto (barra naranja).

3.1.3 Información del suelo

La descripción y estudio del suelo de la parcela experimental se llevó a cabo mediante los datos recopilados de fuentes como la FAO y el Laboratorio de Suelos Aguas y Foliares (LABSAF), los cuales se presentan a continuación.

3.1.3.1 Textura del suelo

En la Tabla 3.10, se han registrado los datos facilitados por el Laboratorio de Suelos Aguas y Foliare (LABSAF), que incluyen información sobre la textura y la densidad aparente del suelo de la unidad experimental; ubicados dentro de la EEA – INIA Canaán.

Tabla 3.10

Clase textural de la unidad experimental

Muestra	Textura (%)			Clase textural	Densidad aparente (gr/cm ³)
	Arena	Limo	Arcilla		
Bloque 01	48	40	12	Fr-Ao	1.47

Fuente: Laboratorio de Suelos Aguas y Foliare (LABSAF) – INIA Canaán

3.1.3.2 Capacidad de campo (CC)

Considerando la textura del suelo como Franco – Arenoso (Tabla 3.10) en el área de estudio, se procedió a determinar la capacidad de campo (CC) a partir de los datos de granulometría obtenidos, mediante el cálculo establecido en la Ec. (1.6) de Bodman y Mahmud (1996).

$$CC(\% \text{ peso}) = 0.023(48\%) + 0.25(40\%) + 0.61(12\%)$$

$$CC(\% \text{ peso}) = 18.42\%$$

3.1.3.3 Punto de marchitez permanente (PMP)

Tras determinar la capacidad de campo, se procedió al cálculo del punto de marchitez permanente (PMP) utilizando la Ec (1.7) propuesta por Máximov,

$$PMP(\% \text{ peso}) = 0.001(48\%) + 0.12(40\%) + 0.57(12\%)$$

$$PMP(\% \text{ peso}) = 11.69\%$$

3.1.3.4 Tasa máxima de infiltración

Tabla 3.11

Registro de datos de campo

Lectura	Lámina parcial	Tiempo parcial	Tiempo Acum.	Infiltración Instantánea	Velocidad Infiltración	Lam. Infilt. Acumulada
cm	cm	min	min	cm/min	cm/hr	cm
0.0						
0.6	0.6	1.0	1.0	0.6	36.0	0.6
1.1	0.5	1.0	2.0	0.5	30.0	1.1
1.4	0.3	1.0	3.0	0.3	18.0	1.4
1.7	0.3	1.0	4.0	0.3	18.0	1.7
1.9	0.2	1.0	5.0	0.2	12.0	1.9
2.4	0.5	2.0	7.0	0.3	15.0	2.4
2.9	0.5	3.0	10.0	0.2	10.0	2.9
3.4	0.5	3.0	13.0	0.2	10.0	3.4
3.8	0.4	3.0	16.0	0.1	8.0	3.8
4.3	0.5	4.0	20.0	0.1	7.5	4.3
4.9	0.6	5.0	25.0	0.1	7.2	4.9
5.4	0.5	5.0	30.0	0.1	6.0	5.4
6.4	1.0	10.0	40.0	0.1	6.0	6.4
7.8	1.4	15.0	55.0	0.1	5.6	7.8
9.1	1.3	15.0	70.0	0.1	5.2	9.1
10.9	1.8	20.0	90.0	0.1	5.4	10.9
13.5	2.6	30.0	120.0	0.1	5.2	13.5

Fuente: Elaboración propia

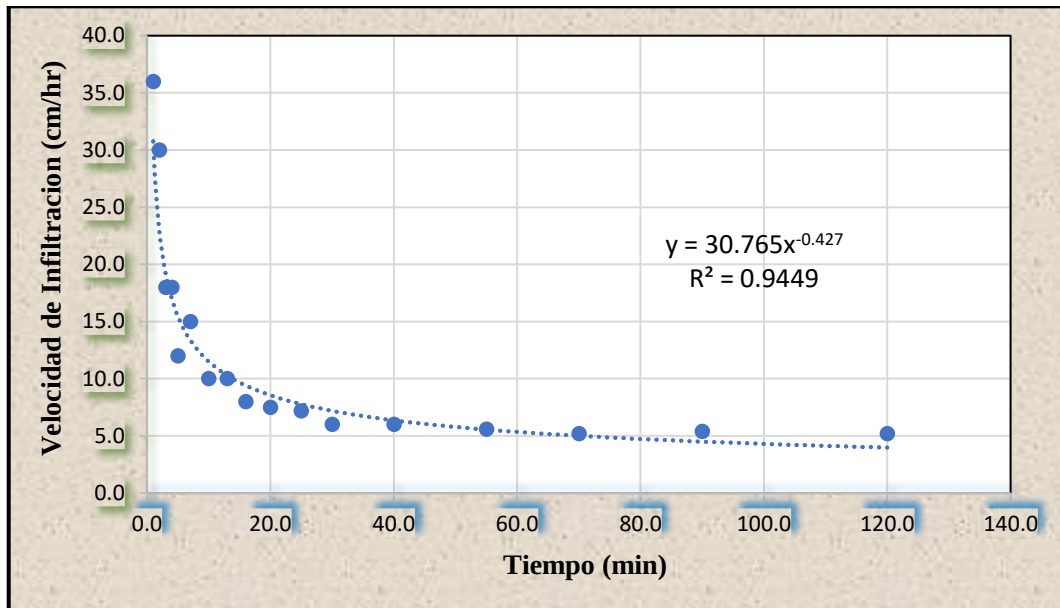
La tasa de infiltración máxima se determinó de acuerdo al capítulo 04 de boletín “Frambueso planteado por (Villavicencio, 2020, p. 53–70) del: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo” (Alcayaga, 2020).

La Tabla 3.11, el registro de la lectura de infiltración (cm) y el tiempo en (min) son los datos tomados de la prueba de infiltración por el método de doble anillo en el campo, la infiltración instantánea (cm/min) es la relación de la lectura de infiltración y el tiempo, la velocidad de infiltración (cm/hr) es la conversión de la infiltración instantánea.

Una vez obtenido los datos de campo, se seleccionó la columna “tiempo acumulado” como variable independiente. Estos los valores de “x” en la primera columna y luego la columna de “velocidad de infiltración” como variable dependiente esto los valores de “y”.

Figura 3.5

La velocidad de infiltración cm/h



Fuente: Elaboración propia

Los cálculos de infiltración básica se realizó con la Ec (1.8) planteada por (Villavicencio, 2020).

$$I_b = k(-600 * n)^n$$

$$I_b = 30.765 * (-600 * -0.427)^{-0.427}$$

$$I_b = 2.88 \text{ cm/h}$$

Por lo tanto, I_b en (mm/día): $I_b = 2.88 * \frac{24}{10} = \mathbf{69.15 \text{ mm/día}}$

Finalmente, se obtuvo el resultado de tasa máxima de infiltración 69.15 mm/día, el cual pertenece a una textura de suelo de franco arenoso. Este cálculo de infiltración es necesario para el modelamiento de en el programa CropWat 8.0.

3.1.3.5 Determinación de humedad del suelo

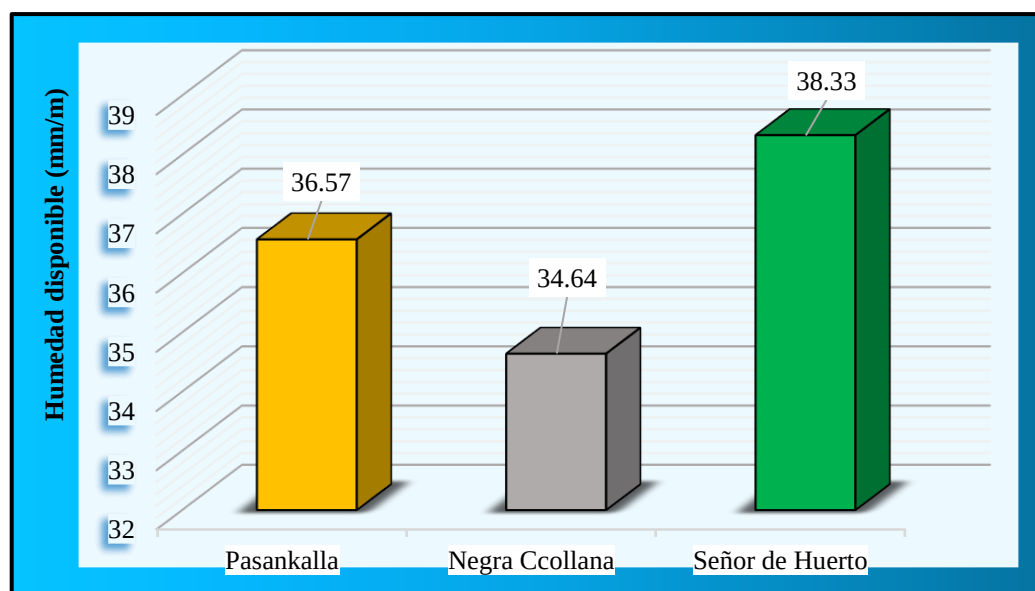
Para calcular la cantidad total de humedad disponible en el suelo, se determinó la lámina de agua almacenada por metro de profundidad utilizando la Ec (1.5) propuesta por Miranda (2009).

Tabla 3.12*Humedad de suelo disponible total*

Variedad	Profundidad radicular mm	Humedad disponible mm/m
Pasankalla	369.30	36.57
Negra Ccollana	349.80	34.64
Señor de Huerto	387.10	38.33

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 3.12, la humedad del suelo disponible total varía para cada variedad del cultivo, esto se debe por profundidad de la raíz que es diferente para cada variedad, reemplazando en la Ec (1.5); el valor máximo de humedad de suelo disponible es de 38.33 mm/m que pertenece a la variedad de Señor de Huerto, el valor mínimo de humedad de suelo disponible es de 34.64 mm/m que pertenece a la variedad de Negra Ccollana y la variedad de Pasankalla tiene el valor de 36.57 mm/m de humedad disponible en el suelo.

Figura 3.6*Humedad total disponible en el suelo en (mm/m)*

De la Figura 3.6, los resultados obtenidos de los cálculos mediante a ecuación planteada por Miranda (2009); los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros en unidad de (mm/m), siendo los siguientes: (1) variedad Pasankalla (barra naranja), (2) variedad Negra Ccollana (barra gris) y (3) variedad Señor de Huerto (barra verde).

3.1.3.6 Determinación del agua disponible en el suelo (ADT)

En la Tabla 3.13, se muestra los valores de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). La diferencia radica en la cantidad de agua disponible en el suelo, la cual asciende a un 6.74 %, la publicación N° 56 de la FAO (2006) p. 161.

Tabla 3.13

El agotamiento inicial de la humedad del suelo (como % de ADT)

Cultivo	ADT (%)
Bloque 01	6.74

Fuente: Elaboración propia

3.2 Estimación la huella hídrica azul, verde y gris para las tres variedades del cultivo de quinua, usando el programa CropWat 8.0.

Los resultados acumulados de las tres variedades de quinua, de acuerdo con la Tabla 3.14, se observan los componentes para los cálculos para HH verde y HH azul. Estos datos de evapotranspiración del cultivo (ETc), el requerimiento de riego y precipitación efectiva en unidad de (mm/periodo) fueron obtenidos de programa CropWat 8.0.

Tabla 3.14

Requerimiento de agua disponible para las tres variedades del cultivo

Variedad	ETc mm/periodo	Prec. Efec mm/periodo	Req. Riego mm/periodo
Pasankalla	563.00	235.30	347.10
Negra Ccollana	581.80	263.20	347.80
Señor de Huerto	636.30	328.20	339.00

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 3.14, la evapotranspiración del cultivo es mayor en la variedad de Señor de Huerto con 636.30 mm/periodo, esto se debe que esta variedad tiene mayor periodo vegetativo; de igual manera la precipitación recae en mayor cantidad para esta variedad con 328.20 mm/periodo y el requerimiento de riego es menor con 339.00 mm/periodo, esto se debe que en los últimos días de tu etapa fenológica hubo mayores precipitaciones. Evapotranspiración del cultivo es menor en la variedad de Pasankalla con 563.00 mm/periodo, eso se debe a que esta variedad tiene menor periodo vegetativo; de igual manera, la precipitación recae en menor cantidad con 235.30 mm/periodo, con un

requerimiento de riego 347.10 mm/periodo. Evapotranspiración del cultivo para la variedad de Negra Ccollana es 581.80 mm/periodo, con un requerimiento de riego de 347.80 mm/periodo y agua aprovechado por las precipitaciones es 263.20 mm/periodo, esto se debe a que durante el período vegetativo del cultivo no hubo mayores precipitaciones.

Figura 3.7

Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva cada 10 días de periodo vegetativo del cultivo de quinua variedad Pasankalla

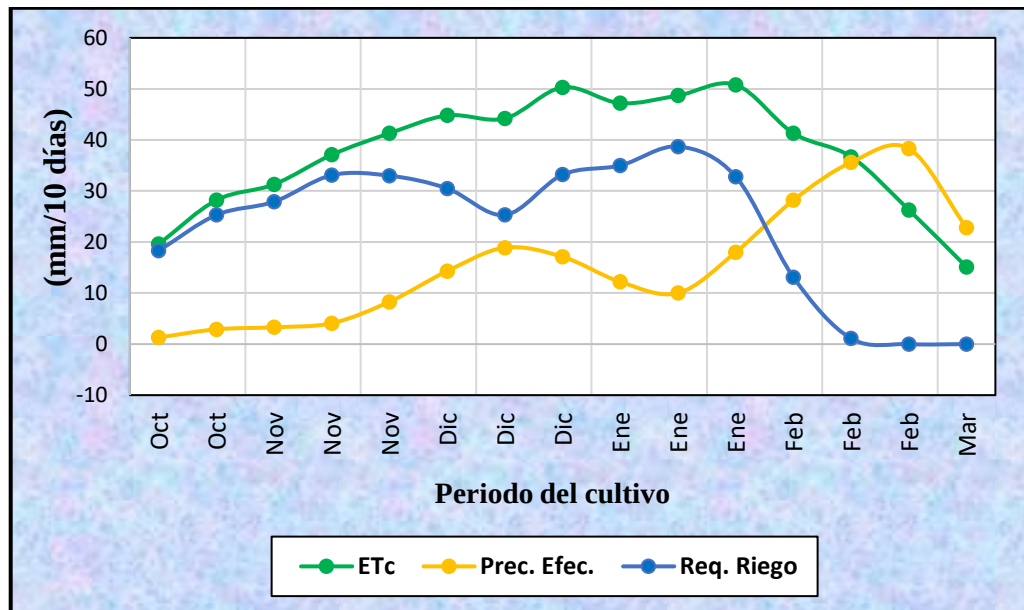


Figura 3.8

Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva cada 10 días de periodo vegetativo del cultivo de quinua variedad Negra Ccollana

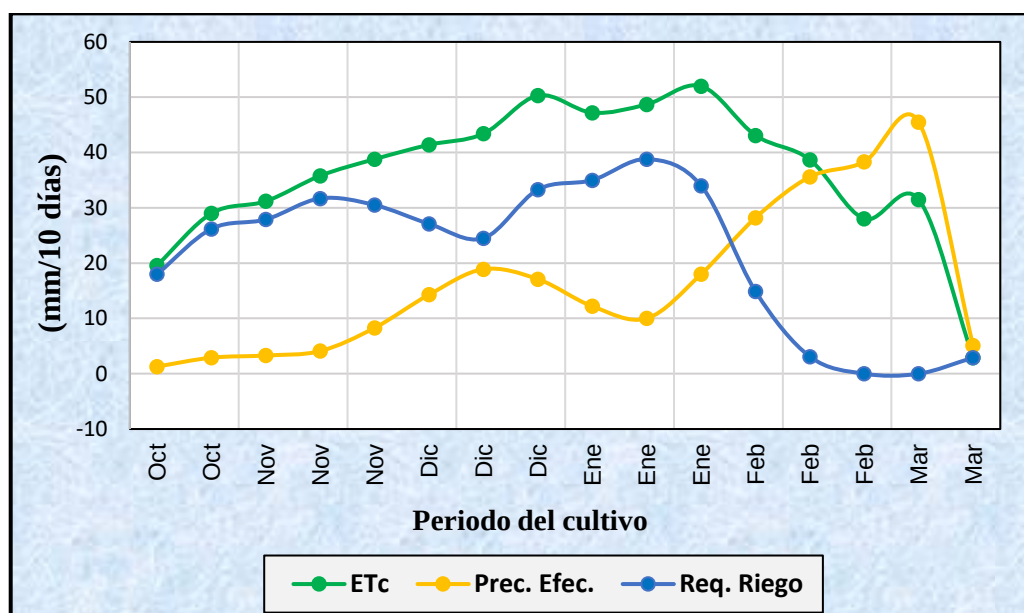
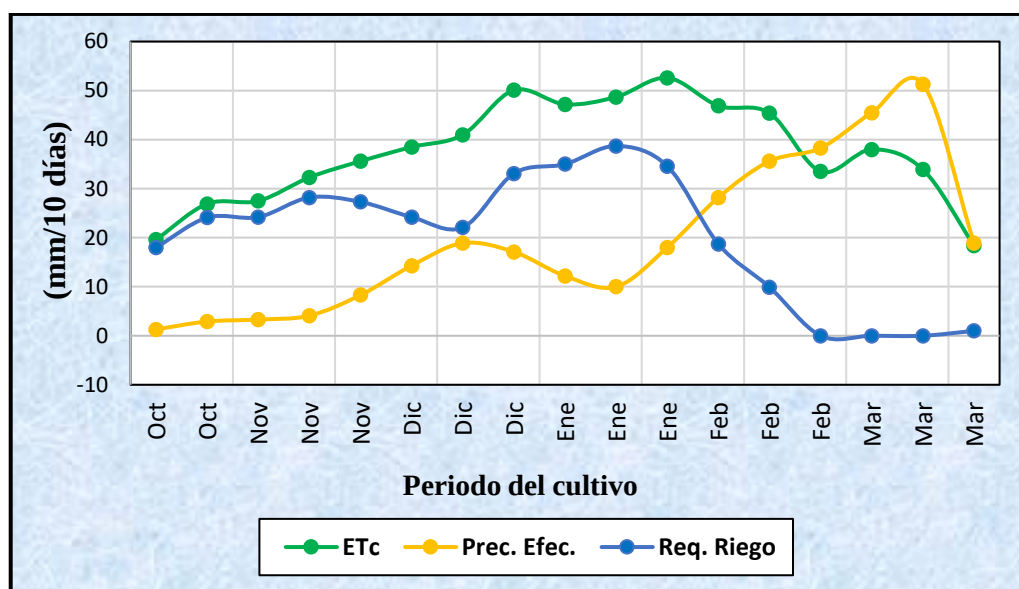


Figura 3.9

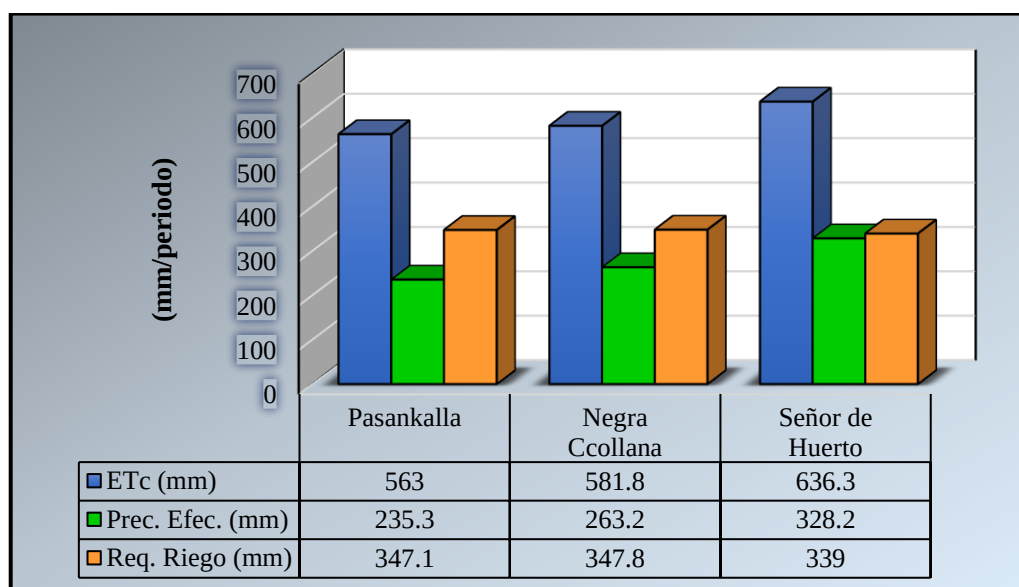
Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva cada 10 días de periodo vegetativo del cultivo de quinua variedad Señor de Huerto



De la Figura 3.7, Figura 3.8 y Figura 3.9; los resultados obtenidos del análisis en programa CropWat 8.0; los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros en unidad de (mm/10 días), siendo los siguientes: (1) evapotranspiración del cultivo (línea verde), (2) precipitación efectiva (línea amarilla) y (3) requerimiento de riego (línea azul).

Figura 3.10

Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva acumulado de todo el periodo vegetativo del cultivo de las tres variedades



De la Figura 3.10; los resultados obtenidos del procesamiento en CropWat 8.0; los dígitos y barras describen las cifras acumuladas de todo el ciclo de desarrollo del cultivo de las tres variedades en unidades de (mm/periodo), siendo los siguientes: (1) ETc (barra azul), (2) precipitación efectiva (barra verde) y (3) requerimiento de riego (barra naranja).

3.2.1 Cuantificación de la huella hídrica azul

Considerando, los resultados del requerimiento de agua del cultivo, el cual se muestra en la Tabla 3.14, se calculó CWU azul y HH azul teniendo la Ec (1.13) y Ec (1.12) respectivamente.

$$\text{Donde: } 1\text{mm} = 1 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$$

Haciendo la conversión y reemplazando en la Ec (1.13), se calculó CWU azul, y utilizando la Ec (1.12), reemplazamos los datos de rendimiento como se muestra en la Tabla 3.9, se calculó la HH azul para las tres variedades del cultivo, tal como se muestran los resultados en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15

CWU azul y HH azul

Variedad	CWU azul m³/ha	Rendimiento ton/ha	HH azul m³/ton
Pasankalla	3471	3.69	940.83
Negra Ccollana	3478	3.42	1017.28
Señor de Huerto	3390	4.24	799.40

Los resultados que se presentan en la Tabla 3.15 de la HH azul. El mayor valor fue para la variedad Negra Ccollana con 1017.28 m³/ton, el menor valor fue para la variedad Señor de Huerto con 799.40 m³/ton, y para la variedad Pasankalla fue un valor de 940.83 m³/ton. Esta variación de los resultados se debe al uso de agua bajo riego durante el periodo vegetativo que es directamente proporcional al HH azul y al rendimiento del cultivo que es inversamente proporcional al HH azul.

3.2.2 Cuantificación de la huella hídrica verde

Teniendo en cuenta los valores de la precipitación efectiva (Pef) detallados en la Tabla 3.14, se calculó la cantidad de agua de la lluvia que el cultivo aprovechó (CWU verde) y huella hídrica verde (HH verde), teniendo la Ec (1.11) y Ec (1.10) respectivamente:

$$\text{Donde: } 1\text{mm} = 1 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}$$

Haciendo la conversión y reemplazando en la Ec (1.11) se calculó CWU verde, y utilizando la Ec (1.10), reemplazamos los datos de rendimiento, como se muestra en la Tabla 3.9, se calculó la HH verde para las tres variedades del cultivo, tal como se muestran los resultados en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16

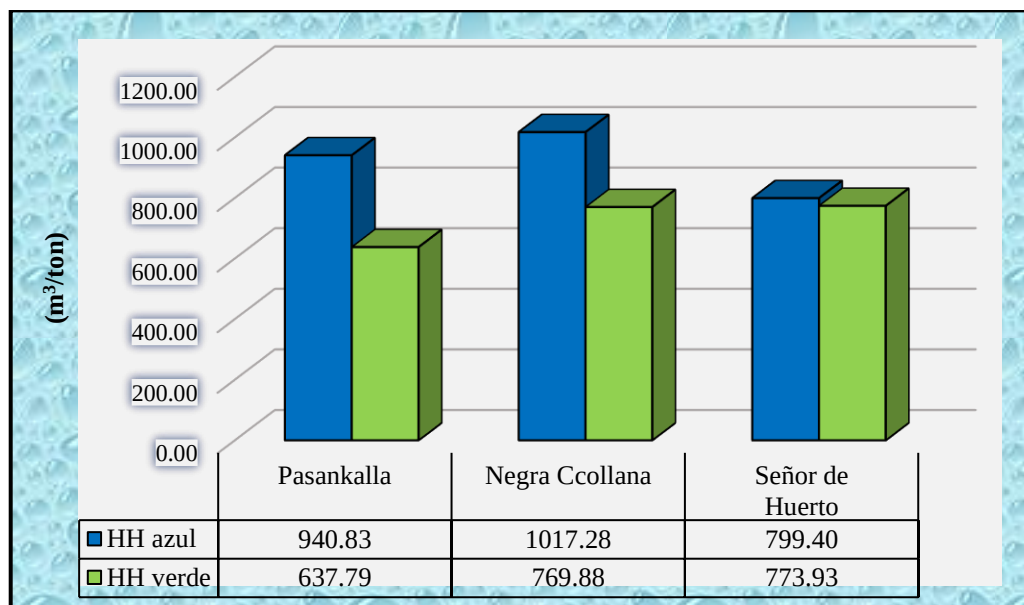
CWU verde y HH verde

Variedad	CWU verde m ³ /ha	Rendimiento ton/ha	HH verde m ³ /ton
Pasankalla	2353	3.69	637.79
Negra Ccollana	2632	3.42	769.83
Señor de Huerto	3282	4.24	773.93

Los resultados que se presentan en la Tabla 3.16 de la HH verde. El mayor valor fue para la variedad Señor de Huerto con 773.93 m³/ton, el menor valor fue para la variedad de Pasankalla con 637.79 m³/ton; para la variedad Negra Ccollana fue un valor de 769.83 m³/ton. Esta variación de los resultados se debe al uso de agua verde (precipitación) durante el periodo vegetativo; la huella hídrica verde es directamente proporcional al CWU verde e inversamente proporcional al rendimiento.

Figura 3.11

Huella hídrica azul y verde (m³/ton)



Los resultados que se presentan en la Figura 3.11 son obtenidos de los cálculos mediante la Ec (1.10) y Ec (1.12); los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros de la HH azul y verde de las tres variedades en unidades de (m^3/ton), siendo lo siguiente: (1) HH azul (barra azul) y (2) HH verde (barra verde).

3.2.3 Huella hídrica del cultivo

La determinación de la huella hídrica del cultivo es la sumatoria de la huella hídrica azul y verde, como se muestra en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17

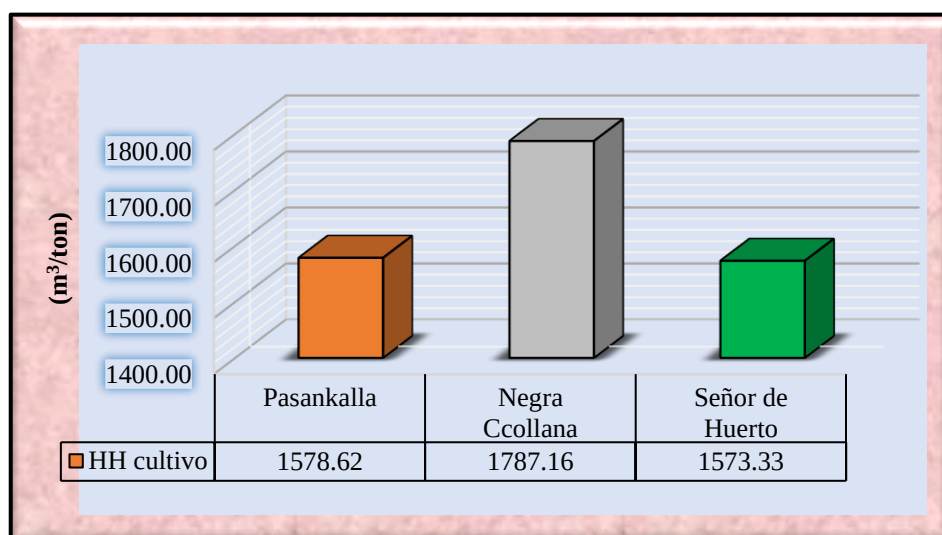
Hella hídrica del cultivo (m^3/ton)

Variedad	HH azul m^3/ton	HH verde m^3/ton	HH cultivo m^3/ton
Pasankalla	940.83	637.79	1578.62
Negra Ccollana	1017.28	769.88	1787.16
Señor de Huerto	799.40	773.93	1573.33

Los resultados que se presentan en la Tabla 3.17 de la HH del cultivo. El mayor valor fue para la variedad Negra Ccollana con 1,787.16 m^3/ton , el menor valor fue para la variedad Señor de Huerto con 1,573.33 m^3/ton ; para la variedad Pasankalla fue un valor de 1,578.62 m^3/ton ; esta variación de los resultados se debe al rendimiento del cultivo que es inversamente proporcional al HH del cultivo. De igual manera, en su tesis Sandoval (2017), obtuvo datos similares al resultado de HH del cultivo de 1,425.97 m^3/ton .

Figura 3.12

Huella hídrica del cultivo (m^3/ton) de las tres variedades



De Figura 3.12; presenta resultados derivados de los cálculos mediante la sumatoria de la HH azul y verde; los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros de la HH del cultivo de las tres variedades en unidades de (m^3/ton), siendo: (1) HH cultivo variedad Pasankalla (barra naranja), (2) HH cultivo variedad Negra Ccollana (barra gris) y (3) HH cultivo variedad Señor de Huerto (barra verde).

3.2.4 Cuantificación de la huella hídrica gris

La huella hídrica gris se determinó utilizando la Ec (1.14). Para ello, fue necesario calcular la dosis de fertilización que se aplicó al cultivo de quinua en las tres variedades, datos obtenidos a través de las recomendaciones del análisis que se realizó al suelo por el (LABSAF), ver la Tabla 2.2.

Tabla 3.188

Cantidad de fertilizantes aplicados en el Cultivo de quinua

Fertilizante	GI	Urea	FDA	KCl
	kg/ha			
	2000	200	100	150

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 3.18, muestra los datos de acuerdo con el análisis del suelo. Guano de Isla (GI) 2000 kg/ha, Urea (U) 200 kg/ha, Fosfato Diamónico (FDA) 100 kg/ha y Cloruro de Potasio (KCl) 150 kg/ha. El contenido de (índice NPK) de los fertilizantes utilizados en la siembra son los siguientes:

- Guano de Isla contiene 12 % de Nitrógeno (N), 11 % de Fósforo (P_2O_5) y 2 % a 3 % de Potasio (K_2O).
- Urea contiene el 46 % de Nitrógeno (N), 0 % de Fósforo (P_2O_5) y 0 % de Potasio (K_2O).
- Fosfato Diamónico (FDA) contiene el 18 % de Nitrógeno (N), 46 % de Fósforo (P_2O_5) y 0 % de Potasio (K_2O).
- Cloruro de Potasio (KCl) contiene el 0 % de Nitrógeno (N), 0 % de Fósforo (P_2O_5) y 60 % de Potasio (K_2O).

Tabla 3.19*Cantidad de índice NPK aplicados en el Cultivo de quinua*

Fertilizante	Nitrógeno (N)	Potasio (P₂O₅)	Fósforo (K₂O)
		kg/ha	
GI (12%-2.5%-11%)	240	50	220
Urea (46%-0%-0%)	92	0	0
FDA (18%-0%-46%)	18	0	46
KCl (0%-60%-0%)	0	90	0
Total	350	140	266

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 3.19; muestra la dosis de (índice de NPK) aplicados en el cultivo de quinua en las tres variedades en unidad de kg/ha.

Tabla 3.20*Concentración máxima permisible*

Parámetro	Concentración máxima (mg/L)	Norma/Guía técnica
Nitratos	100	Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM/Categoría 3: Riego de vegetales
Fosfatos	*	*
Potasio	78	Manual de FAO de la calidad del agua en la agricultura

Fuente: Elaboración propia

Tomando los rendimientos que se muestran de la Tabla 3.9, cantidad de aplicación de fertilizantes de la Tabla 3.18, concentración máxima de la Tabla 3.19 y tomando en cuenta un 10 por ciento de lixiviación de los fertilizantes totales aplicados en el campo, conforme lo establecido en las indicaciones del manual (Hoekstra et al. 2011), se reemplazó en la Ec (1.14).

Puesto que se desconoce la información sobre la calidad de agua de los datos de concentraciones naturales de los contaminantes, se supone, según Hoekstra, que "la concentración natural en un cuerpo de agua receptor que se produciría si no hubiera alteraciones humanas en la cuenca". Para consiguiente, las sustancias artificiales que no producen de forma natural en el agua se representan con $C_{nat}=0$. Si no se conocen con precisión las concentraciones naturales, pero se aprecia que son bajas, por su simplicidad, se puede asumir que estas se aproximan a 0.

Tabla 3.21*Volumen de contaminantes*

Fertilizantes	Tasa de fertilización kg/Ha	Fracción de lixiviación %	Concentración máxima mg/L	Volumen de contaminantes m³/ha
Nitratos	350	0.1	100	350.00
Fosfatos	266	0.1	0	0.00
Potasio	140	0.1	78	179.49
Total				529.49

Fuente: Elaboración propia

El volumen de contaminantes es la relación de carga de contaminantes entre la concentración máxima permitida, según la Tabla 3.21, y el total del volumen de contaminantes aplicados según la tasa de fertilización es 529.49 m³/ha.

Tabla 3.22*HH gris del cultivo de quinua*

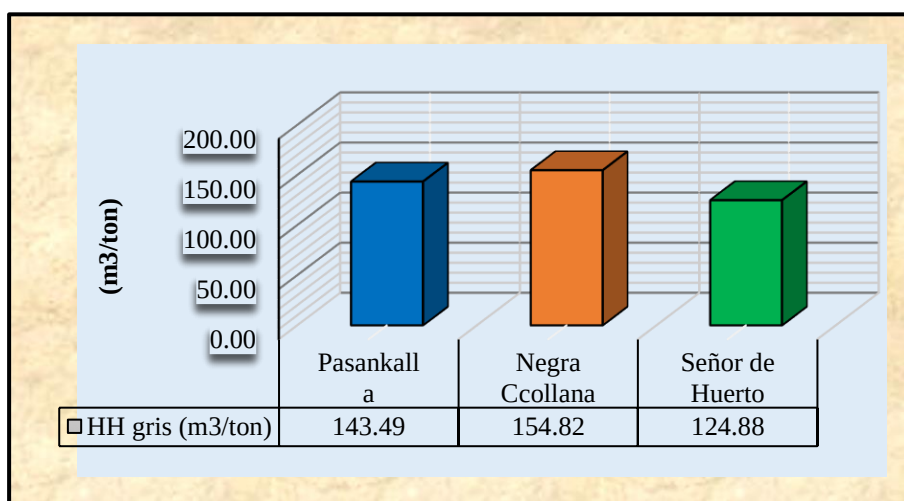
Variedad	Volumen de contaminantes m³/ha	Y ton/ha	HH gris m³/ton
Pasankalla	529.49	3.69	143.49
Negra Ccollana	529.49	3.42	154.82
Señor de Huerto	529.49	4.24	124.88

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.22 se muestra la huella hídrica gris de las tres variedades; el resultado en mayor cantidad fue en la variedad Negra Ccollana con 154.82 m³/ton, en menor cantidad fue en la variedad Señor de Huerto con 124.88 m³/ton y en la variedad Pasankalla se obtuvo 143.49 m³/ton de HH gris. Estos datos son indirectamente proporcionales al rendimiento.

Figura 3.13

Resultados de la huella hídrica gris (m^3/ton)



De la Figura 3.13; los resultados derivados de los cálculos mediante la Ec (1.14); los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros de la HH gris de las tres variedades en unidades de (m^3/ton), siendo: (1) HH gris variedad Pasankalla (barra azul), (2) HH gris variedad Negra Ccollana (barra naranja) y (3) HH gris variedad Señor de Huerto (barra verde).

Sandoval (2017), en su tesis, tuvo como resultado de la HH azul y verde, 992.05 m^3/ton y 433.92 m^3/ton , respectivamente, en el cultivo de quinua. De igual manera, Vizcarra (2022), en su tesis, obtuvo datos de HH gris para el cultivo arroz y papa con resultados de 97.51 y 30.94 m^3/ton respectivamente.

3.2.5 Huella hídrica total

Para la determinación de la huella hídrica total de las tres variedades del cultivo, se obtuvo al sumar la huella hídrica azul, verde y gris. Estos resultados se muestran en la Tabla 3.23 que se presenta a continuación:

Tabla 3.23

Valores de huella hídrica total por variedad

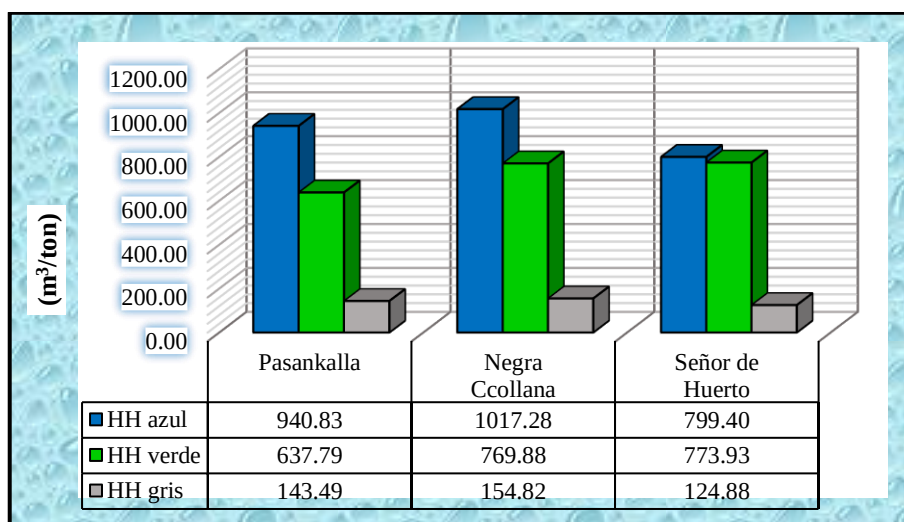
Variedad	HH azul m^3/ton	HH verde m^3/ton	HH gris m^3/ton	HH Total m^3/ton
Pasankalla	940.83	637.79	143.49	1722.11
Negra Ccollana	1017.28	769.88	154.82	1941.98
Señor de Huerto	799.40	773.93	124.88	1698.21

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 3.23 se obtiene que la HH total para la variedad Pasankalla resultó un valor de 1722.11 m³/ton, para la variedad Negra Ccollana resultó con un mayor valor de 1941.98 m³/ton y para el caso de la variedad Señor de Huerto resultó un menor valor de 1698.21 m³/ton a comparación de las otras variedades.

Figura 3.14

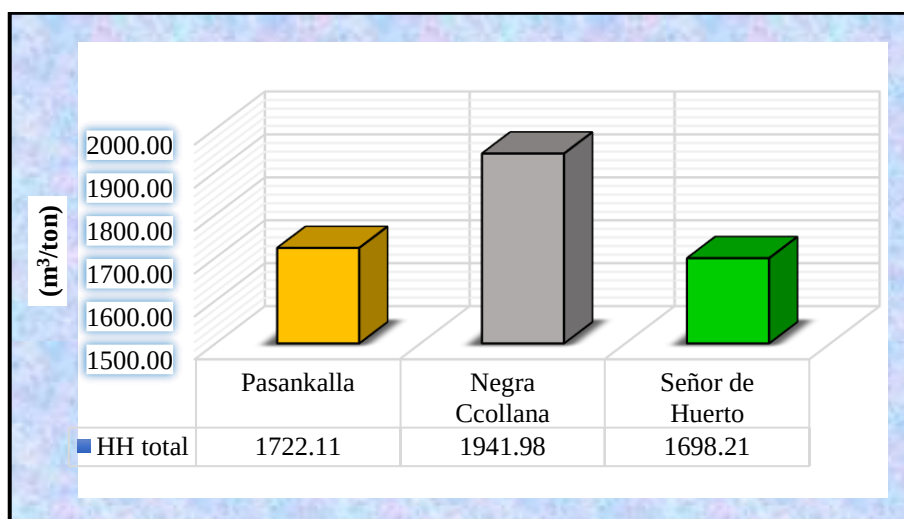
Resultados de huella hídrica azul, verde y gris (m³/ton)



De la Figura 3.14; los resultados derivados de los cálculos mediante la Ec (1.10), Ec (1.12) y Ec (1.14); los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros de la HH azul, verde y gris de las tres variedades en unidades de (m³/ton), siendo: (1) HH azul (barra azul) y (2) HH verde (barra verde) y (2) HH gris (barra gris).

Figura 3.15

Resultados de huella hídrica total (m³/ton)



Los resultados que presenta la Figura 3.15; son derivados de la sumatoria de la huella hídrica azul, verde y gris; los dígitos y barras describen las cifras del resultado de los parámetros de la HH total de las tres variedades en unidades de (m^3/ton), siendo: (1) HH total variedad Pasankalla (barra naranja) y (2) HH total Negra Ccollana (barra gris) y (2) HH total variedad Señor de Huerto (barra verde).

3.3 Programación del riego por gravedad en las tres variedades del cultivo empleando el programa CropWat 8.0.

Al principio, la planta consume menos agua ya que tiene raíces de longitud menor. Conforme avanza el proceso de crecimiento, se observa el aumento gradual en el uso de agua, alcanzando su punto máximo durante la etapa de madurez, momento en el que se reduce el consumo de agua y la necesidad de riego. Los datos son obtenidos del programa CropWat 8.0, tales como: lámina neta (L_n), lámina bruta (L_b), evapotranspiración de referencia (E_{To}), necesidades de riego ($N.R$) y módulo de riego ($M.R$). La eficiencia de riego es del 50% porque se utilizó riego por gravedad sugerido por Santayana, S. (2003). La fuente de agua para el riego es proveniente del río Huatatas el cual abastece a EEA - Canaán.

3.3.1 Programación de riego para el cultivo de quinua variedad Pasakalla

En las siguientes tablas se mostrarán los cálculos, obtenidos de los datos del programa CropWat 8.0; las necesidades de riego se detallarán en la Tabla 3.24 y el calendario para el riego del cultivo variedad “Pasankalla” en la Tabla 3.25.

Tabla 3.24

Determinación de requerimiento hídrico del cultivo de quinua “Pasankalla”

Año	Meses	N° días	Ln mm	Ef. Riego %	Lb mm	Kc	ETo mm/día	N. R mm	N.R.n m³/ha	N.R.b m³/ha	M. R L/s/ha
2023	Oct	18	3.51	0.5	7.02	0.60	4.23	45.68	456.8	913.68	0.59
	Nov	30	7.11	0.5	14.22	0.89	4.18	111.61	1116.1	2232.12	0.86
	Dic	31	10.94	0.5	21.88	1.20	3.65	135.78	1357.8	2715.60	1.01
2024	Ene	31	10.89	0.5	21.78	1.20	4.02	149.54	1495.4	2990.88	1.12
	Feb	29	10.92	0.5	21.84	0.97	3.8	106.89	1068.9	2137.88	0.85
	Mar	5	10.8	0.5	21.60	0.81	3.67	14.86	148.6	297.27	0.69

Tabla 3.25

Calendario para el riego del cultivo de quinua “Pasankalla”

Descripción	Año	2023				2024		Total, campana
	Unidad	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
N° de días	días	18	30	31	31	29	5	
Eto	(mm/día)	4.23	4.18	3.65	4.02	3.8	3.67	
ETc	(mm/mes)	45.68	111.61	135.78	149.54	106.89	14.86	564.37
ETc	(mm/día)	2.54	3.72	4.38	4.82	3.69	2.97	
Litros/día/m²		5.08	7.44	8.76	9.65	7.37	5.95	
Tiempo de riego	(h)	00:14	00:29	00:45	00:45	00:45	00:44	
Intervalo de riego	(días)	3	4	5	5	6	7	
Frecuencia de riego	N° veces/mes	7	8	6	7	5	1	33

En la Tabla 3.24 se presentan los requerimientos hídricos del cultivo de quinua variedad Pasankalla de octubre de 2023 a marzo de 2024; se estableció una necesidad de riego con 564.37 mm o 5643.70 m³/ha y módulo de riego de 1. 12 l/seg/ha.

De la Tabla 3.25, el intervalo de riego varía, siendo de 3 días en (octubre), 4 días en (noviembre), 5 días en (diciembre) y (enero), 6 días en (febrero) y finalmente 7 días en (marzo). Las frecuencias de riego comienzan, 7 veces en (octubre), 8 veces en (noviembre), 6 veces en (diciembre), 7 veces (enero), 5 veces en (febrero) y finalmente 1 vez en (marzo).

Dado que el uso consuntivo del cultivo variedad Pasankalla es 5643.70 m³/ha/campaña (ver Tabla 3.25), que tiene un periodo vegetativo de 144 días (ver Tabla 3.4). Hay experiencias en la región de Arequipa, donde se ha determinado la evapotranspiración del cultivo de quinua bajo tipo de riego por surcos, considerando las condiciones del suelo y el clima de Huambo un 5934.39 m³/ha/campaña. Huertas, M. (2016) p. 77. También en el departamento de Huaráz, la cantidad de agua que se evapora y se transpira en el cultivo de quinua variedad Salcedo INIA, determinada mediante el método lisimétrico alcanzó 900.4 mm/campaña, de lámina de agua 9004.0 m³/ha/campaña. Tarazona, N. (2017) p.79.

3.3.2 Programación de riego para el cultivo de quinua variedad Negra Ccollana

En las siguientes tablas se mostrarán los cálculos, obtenidos de los datos del programa CropWat 8.0; las necesidades de riego se detallarán en la Tabla 3.26 y el calendario para el riego del cultivo variedad “Negra Ccollana” en la Tabla 3.27.

Tabla 3.26

Determinación de requerimiento hídrico del cultivo de quinua “Negra Ccollana”

Año	Meses	N° días	Ln mm	Ef. Riego %	Lb mm	Kc	ETo mm/día	N. R mm	N.R.n m³/ha	N.R.b m³/ha	M. R L/s/ha
2023	Oct	18	3.22	0.5	6.44	0.61	4.23	46.06	460.6	921.29	0.59
	Nov	30	6.95	0.5	13.90	0.86	4.18	107.84	1078.4	2156.88	0.83
	Dic	31	9.83	0.5	19.66	1.16	3.65	131.25	1312.5	2625.08	0.98
2024	Ene	31	9.93	0.5	19.86	1.21	4.02	150.79	1507.9	3015.80	1.13
	Feb	29	8.82	0.5	17.64	1.02	3.8	112.40	1124.0	2248.08	0.90
	Mar	11	9.80	0.5	19.60	0.83	3.67	33.31	333.1	666.11	0.70

Tabla 3.27

Calendario para el riego del cultivo de quinua “Negra Ccollana”

Descripción	Año	2023				2024		Total, campana
	Unidad	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
N° de días	días	18	30	31	31	29	11	
Eto	(mm/día)	4.23	4.18	3.65	4.02	3.8	3.67	
ETc	(mm/mes)	46.06	107.84	131.25	150.79	112.40	33.31	581.66
ETc	(mm/día)	2.56	3.59	4.23	4.86	3.88	3.03	
Litros/día/m²		5.12	7.19	8.47	9.73	7.75	6.06	
Tiempo de riego	(h)	00:13	00:28	00:40	00:41	00:36	00:40	
Intervalo de riego	(días)	3	4	5	4	5	6	
Frecuencia de riego	N° veces/mes	7	8	7	8	6	2	37

En la Tabla 3.26 se presentan los requerimientos hídricos del cultivo de quinua variedad Negra Ccollana de octubre de 2023 a marzo de 2024; se estableció una necesidad de riego con 581.66 mm o 5816.60 m³/ha y módulo de riego de 1. 13 l/seg/ha.

De la **Tabla 3.27** el intervalo de riego varía, siendo de 3 días en (octubre), 4 días en (noviembre), 5 días en (diciembre) y (febrero), 4 días en (enero) y finalmente 6 días en (marzo). Las frecuencias de riego comienzan, 7 veces en (octubre), 8 veces en (noviembre), 7 veces en (diciembre), 8 veces (enero), 6 veces en (febrero) y finalmente 2 veces en (marzo).

Dado que el uso consuntivo del cultivo variedad Negra Ccollana es 5816.60 m³/ha/campaña (ver Tabla 3.27), que tiene un periodo vegetativo de 144 días (ver Tabla 3.4). Hay experiencias en la región de Arequipa, donde se ha determinado la evapotranspiración del cultivo de quinua bajo tipo de riego por surcos, considerando las condiciones del suelo y el clima de Huambo un 5934.39 m³/ha/campaña. Huertas, M. (2016) p. 77. También en el departamento de Huaráz, la cantidad de agua que se evapora y se transpira en el cultivo de quinua variedad Salcedo INIA, determinada mediante el método lisimétrico alcanzó 900.4 mm/campaña, de lámina de agua 9004.0 m³/ha/campaña. Tarazona, N. (2017) p.79.

3.3.3 Programación de riego para el cultivo de quinua variedad Señor de Huerto

En las siguientes tablas se mostrarán los cálculos, obtenidos de los datos del programa CropWat 8.0; las necesidades de riego se detallarán en la Tabla 3.28 y el calendario para el riego del cultivo variedad “Señor de Huerto” en la Tabla 3.29.

Tabla 3.28

Determinación de requerimiento hídrico del cultivo de quinua “Señor de Huerto”

Año	Meses	N° días	Ln mm	Ef. Riego %	Lb mm	Kc	Eto mm/día	N. R mm	N.R.n m³/ha	N.R.b m³/ha	M. R L/s/ha
2023	Oct	18	3.31	0.5	6.62	0.58	4.23	44.16	441.6	883.22	0.57
	Nov	30	5.01	0.5	10.02	0.77	4.18	96.93	969.3	1938.68	0.75
	Dic	31	9.38	0.5	18.76	1.11	3.65	125.94	1259.4	2518.72	0.94
2024	Ene	31	12.66	0.5	25.32	1.21	4.02	150.79	1507.9	3015.80	1.13
	Feb	29	9.97	0.5	19.94	1.17	3.8	129.26	1292.6	2585.29	1.03
	Mar	26	9.16	0.5	18.32	0.93	3.67	88.45	884.5	1769.09	0.79

Tabla 3.29

Calendario para el riego del cultivo de quinua “Señor de Huerto”

Descripción	Año	2023				2024		Total, campana
	Unidad	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
N° de días	días	18	30	31	31	29	26	
Eto	(mm/día)	4.23	4.18	3.65	4.02	3.80	3.67	
ETc	(mm/mes)	44.16	96.93	125.94	150.79	129.26	88.45	635.54
ETc	(mm/día)	2.45	3.23	4.06	4.86	4.46	3.40	
Litros/día/m²		4.91	6.46	8.12	9.73	8.91	6.80	
Tiempo de riego	(h)	00:13	00:20	00:39	00:52	00:41	00:38	
Intervalo de riego	(días)	3	3	5	5	4	5	
Frecuencia de riego	N° veces/mes	7	10	7	6	6	5	40

En la Tabla 3.28 se presentan los requerimientos hídricos del cultivo de quinua variedad Señor de Huerto de octubre de 2023 a marzo de 2024; se estableció una necesidad de riego con 635.54 mm o 6355.40 m³/ha y módulo de riego de 1.13 l/seg/ha.

De la **Tabla 3.29** el intervalo de riego varía, siendo de 3 días en (octubre) y (noviembre), 5 días en (diciembre) y (enero), 4 días en (febrero) y finalmente 5 días en (marzo). Las frecuencias de riego comienzan, 7 veces en (octubre), 10 veces en (noviembre), 7 veces en (diciembre), 6 veces (enero) y (febrero), finalmente 5 veces en (marzo).

Dado que el uso consuntivo del cultivo variedad Señor de Huerto es 6355.40 m³/ha/campaña (ver Tabla 3.29), que tiene un periodo vegetativo de 165 días (ver Tabla 3.4). Hay experiencias en la región de Arequipa, donde se ha determinado la evapotranspiración del cultivo de quinua bajo tipo de riego por surcos, considerando las condiciones del suelo y el clima de Huambo un 5934.39 m³/ha/campaña. Huertas, M. (2016) p. 77. También en el departamento de Huaráz, la cantidad de agua que se evapora y se transpira en el cultivo de quinua variedad Salcedo INIA, determinada mediante el método lisimétrico alcanzó 900.4 mm/campaña, de lámina de agua 9004.0 m³/ha/campaña. Tarazona, N. (2017) p.79.

Existen experiencias de Jerónimo et. al, (2017), donde determinaron por el método del lisímetro de nivel freático constante la evapotranspiración del cultivo, teniendo como resultado la demanda hídrica (Em) del cultivo de quinua 957.3 m³/ha en la etapa de media temporada y 2623 m³/ha durante la campaña agrícola, los cuales utilizaron riego por goteo en condiciones climáticas sin precipitación en la costa peruana específicamente costa limeña; se utilizó como fuente de agua el agua del río.

Es importante tener en cuenta que los resultados de la evapotranspiración del cultivo de quinua pueden considerarse fiables, ya que se basan en las condiciones locales específicas de la zona y la variedad. Esto se debe a que incorporan de manera directa las condiciones reales del entorno que afectan a la evapotranspiración, como es el caso de la temperatura media, que influye en la mayor transpiración del cultivo de quinua.

CONCLUSIONES

Basándonos en las respuestas obtenidas en esta investigación, se evaluó al cultivo de quinua de las tres variedades para la estimación de HH (m^3/ton); teniendo tres parcelas para cada variedad con sistema de riego por gravedad (superficie) en época de estiaje, meses de octubre a diciembre y por la lluvia (precipitación) en meses de diciembre a marzo.

1. Con respecto a la caracterización del clima; representa el estado climático de un clima semiárido durante la estación invernal con ETo 714.5 (mm/campaña) y precipitación moderada 594.2 (mm/campaña); con textura del suelo arena (48%), limo (40%) y arcilla (12%), densidad aparente de $1.47 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ y clase textural de Franco Arenoso (Fr-Ao); de las características del cultivo: se mostró un crecimiento vegetativo diferente en las tres variedades, obteniendo rendimientos de 3.69 ton/ha para la variedad Pasakalla, 3.42 ton/ha variedad Negra Ccollana y 4.42 ton/ha para la variedad Señor de Huerto. Se determinó que las plantas evaluadas de las tres variedades no tienen una diferencia significativa en la profundidad radicular y en la altura máxima tienen una ligera diferencia; estas diferencias se deben por la variedad y cada variedad tiene diferente adaptación a los pisos ecológicos o las zonas altitudinales.
2. La huella hídrica total para la variedad Pasankalla se estableció un valor de 1722.12 m^3/ton , se encontraron que los resultados para los componentes azul, verde y gris fueron 940.83, 637.79 y 143.49 m^3/ton respectivamente; para la variedad Negra Ccollana se obtuvo un valor de 1941.93 m^3/ton , encontrándose los resultados para los componentes azul, verde y gris de 1017.28, 769.83 y 154.82 m^3/ton respectivamente; para la variedad Señor de Huerto se estableció un valor de 1698.20 m^3/ton , obteniendo los resultados para los componentes azul, verde y gris de 799.40, 773.93 y 124.88 m^3/ton respectivamente.

3. Según la evaluación de la programación para el riego, a medida que aumenta el periodo vegetativo del cultivo, existe una mayor frecuencia de riego (40 veces/campaña), de igual manera, la necesidad de riego es mayor de 6355.40 m³/ha/campaña; en comparación con las otras dos variedades, la frecuencia de riego planteada (33 a 37 veces/campaña) y las necesidades de riego de 5816.60 y 5 643.70 m³/ha/campaña respectivamente.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos y habiendo sido logrado los objetivos de la investigación, se encomienda lo siguiente:

1. Desarrollar nuevas investigaciones empleando riego por goteo en la zona probando con diferentes cultivos sostenidas al mercado con el objetivo de intensificar la presión del estrés hídrico que experimenta la planta y disminuir la huella hídrica del cultivo.
2. Replicar la investigación en la época de estiaje del año para tener resultados concluyentes en cuanto a la huella hídrica del cultivo; además de esto es importante que se controle la calidad de agua usada para riego.
3. Se recomienda llevar a cabo un análisis de suelo con el propósito de establecer la cantidad exacta de fertilización necesaria, con el objetivo de proporcionar al cultivo lo que requiere según sus necesidades. Esto permite ahorrar costos y reducir la cantidad de agua requerida para absorber la concentración del contaminante, lo que a su vez disminuye la huella hídrica gris.
4. Socializar los resultados de la investigación con los agricultores entidades pertinentes, desarrollar un estudio más profundo en zonas y áreas con menor acceso al agua y precipitaciones.
5. Es necesario que los administrativos de la Facultad de Ciencias Agrarias otorguen posibilidades a la Escuela de Ingeniería Agrícola para llevar a cabo investigaciones en las áreas de instalaciones de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

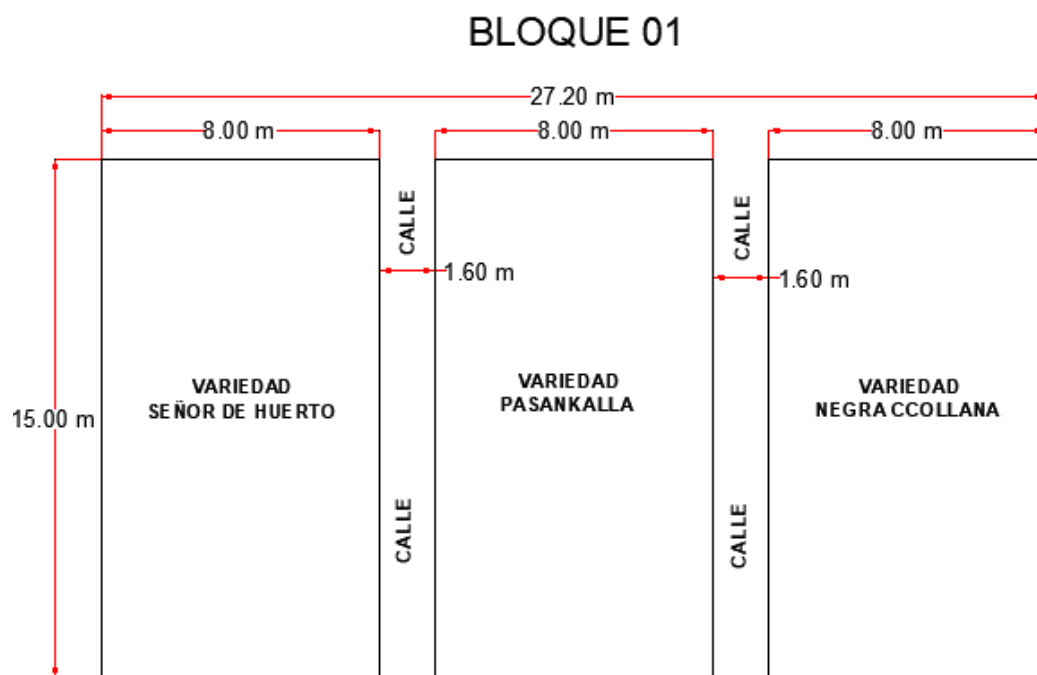
- Alcayaga, M. C. (2020). *Frambueso: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo*. En M. C. Alcayaga, BOLETÍN INIA / N° 432 (pág. 75). Villa Alegre.
- ANA. (2015). *Huella Hídrica del Perú-Sector Agropecuario*. Biblioteca Nacional del Perú.
- Arévalo, D. (2012). *Una mirada a la Agricultura de Colombia desde su Huella Hidrica*. Huella Hidrica Colombia.
https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/hh_colombia_6b.pdf
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *El agua en cifras*. Recuperado el 03 de enero de 2024, de ANA: <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Bolaños, M. (2011). *Determinación de la huella hídrica y comercio de agua virtual de los principales productos agrícolas de Honduras*. (Tesis de pregrado, Universidad Zamorano). <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/75/1/AGN-2011-T009.pdf>
- Cabello, J. J., & Sagastume, A. (2016). *Huella hídrica del cultivo de la papa en Cuba*. sCielo. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000100107&lang=es
- Cabello, J. J., Sagastume, A., López-Bastida, E., Vandecasteele, C., & Hens, L. (2016). *Huella hídrica de la cosecha de la papa en Cuba entre los años 2009 y 2012*. Tecnología y ciencias del agua, 107-116.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222016000100107&script=sci_abstract
- Calla, J. (2012). *Manejo del cultivo de quinua*. Manual Técnico, 1-40.
<https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-c-quinua.pdf>
- Cauna, M. D. (2019). *Huella hídrica verde para producción de la papa y quinua para el periodo 2008 – 2017 en la provincia de Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Choquecalla, J., Vacher, J., Fellman, T., & Imaña, E. (1991). *Evapotranspiración máxima del cultivo de quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el Altiplano boliviano*. Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, 63-76.

- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 1-323.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/ab525b78-3af9-48ed-9dd4-233a8251db13>
- Higuera, C., & Jaimes, O. (2019). *Evaluación de indicadores de huella hídrica en la producción de un cultivo de cebolla de bulbo y papa en los municipios de Duitama y Samacá Boyacá*. Evaluación de indicadores de huella hídrica, 15.
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/00e9b367-c30b-4e17-8364-db3a91c48037/content>
- Hoekstra, A., & Hung, P. (2002). *Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. IHE Delf.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*.
<https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/glossary/>
- Huertas, M. C. (2016). *Evaluación de rendimiento de quinua orgánica (chenopodium quinoa l.) c.v. real, bajo sistemas de riego por gravedad y goteo en las condiciones edafoclimáticas de Huambo, provincia de Caylloma, región Arequipa – 2015*. Tesis Universidad Católica de Santa María.
- Iglesias, A., & Madina, F. (2009). *Consecuencias del cambio climático para la agricultura. ¿Un problema de hoy o del futuro?* Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, 45-70.
- INEI. (junio de 2021). *Plataforma del Estado Peruano*. Producción de quinua creció 75,2% durante junio de 2021: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-quinua-crecio-752-durante-junio-de-2021-13075/>
- Jerónimo, G. V., Jhon, H., & Leonel, S. (2017). *Demanda hídrica en cultivo de quinua*. Determinación de la demanda hídrica del cultivo de quinua QML01 en la Molina, 10.
- Mallma, T., & Mejia, J. (2015). *Huella hídrica de los productos agrícolas de la región Junín comercializadas en la ciudad de Lima*. Tesis, 128-134.
<https://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/308>
- Midagri. (febrero de 2023). *Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA)*. Dirección General de Estadística, Seguimiento y Evaluación de Políticas.
<https://siea.midagri.gob.pe/portal/>
- Mujica, A. (1993). *Cultivo de quinua*. Lima: INIA.
- Parada-Puig, G. (2012). *El agua virtual: conceptos e implicaciones*. Redalyc, 69-76.

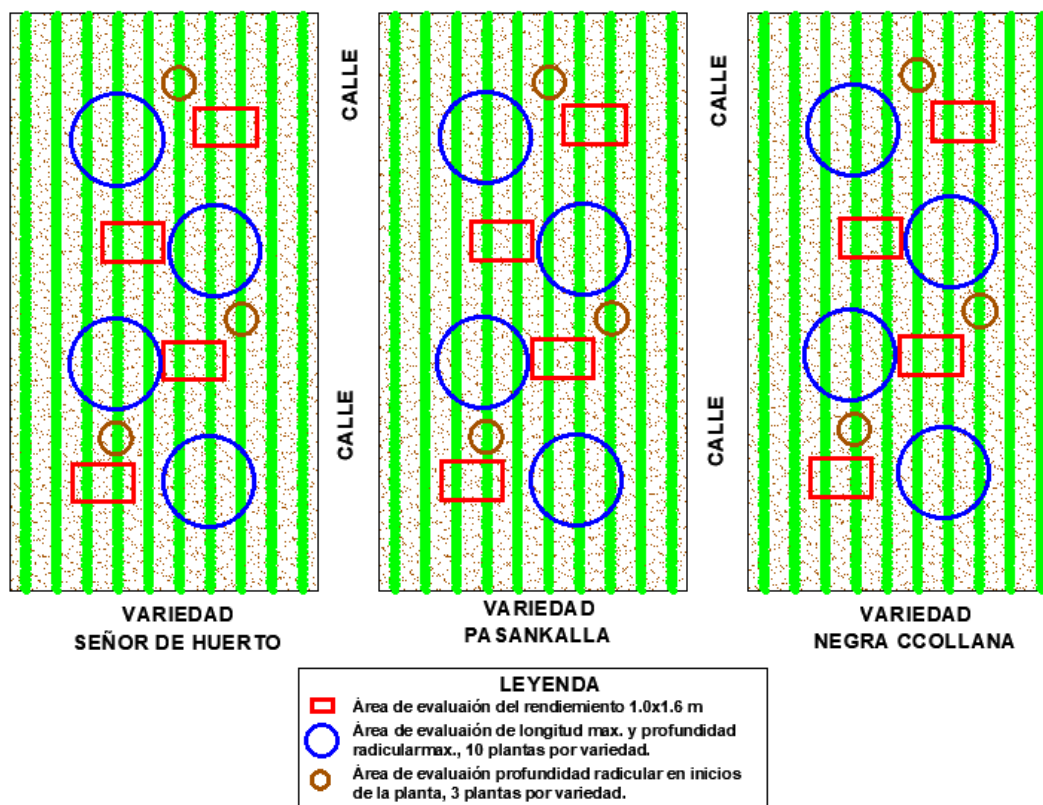
- Rendón, E. (2015). *La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina, 34-47. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/40>
- Rojas, M., & Hernandez, C. (2018). *Cálculo comparativo de la huella hídrica del sistema productivo de arroz de riego en cuatro zonas arroceras de Colombia por medio del software cropwat*. Universidad de la Salle.
- Sandoval, E. (2017). *Estimación de la huella hídrica en los cultivos de quinua (Chenopodium quinoa) de los cantones Cayambe y Riobamba ubicados en los Andes Ecuatorianos*. Tesis, 1-96. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14109>
- Tarazona, N. Y. (2017). *Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa willd), mediante el método del lisímetro*. Tesis Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Terán C, C. A. (2015). *Determinación de la huella hídrica y modelación de la producción de biomasa de cultivos forrajeros a partir del agua en la Sabana de Bogotá (Colombia)*. Tesis. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/54133>
- UNALM. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vásquez, A., R., I. V., R., C. V., & K, M. C. (2017). *Fundamentos de la Ingeniería de Riego*. Lima, peru. <https://infoagronomo.net/fundamentos-ingenieria-de-riego-pdf/>
- Villavicencio, A. (2020). *Metodología para determinar la velocidad de infiltración en suelos al establecimiento*. (C. G. Alcayaga, Ed.) consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo, 54-70. <https://bibliotecadigital.fia.cl/items/d072fe2e-9a42-4304-859f-16b2e7b5d2b6>
- Vizcarra, M., & Allison, V. (2022). *Determinación de la huella hídrica de los productos agrícolas de arroz y papa en la comisión de regantes del distrito de Uraca, provincia de Castilla, departamento Arequipa*. Tesis.

ANEXOS

Anexo 1. Plano de la parcela de investigación



Croquis de la unidad experimental con medidas de las parcelas y calles

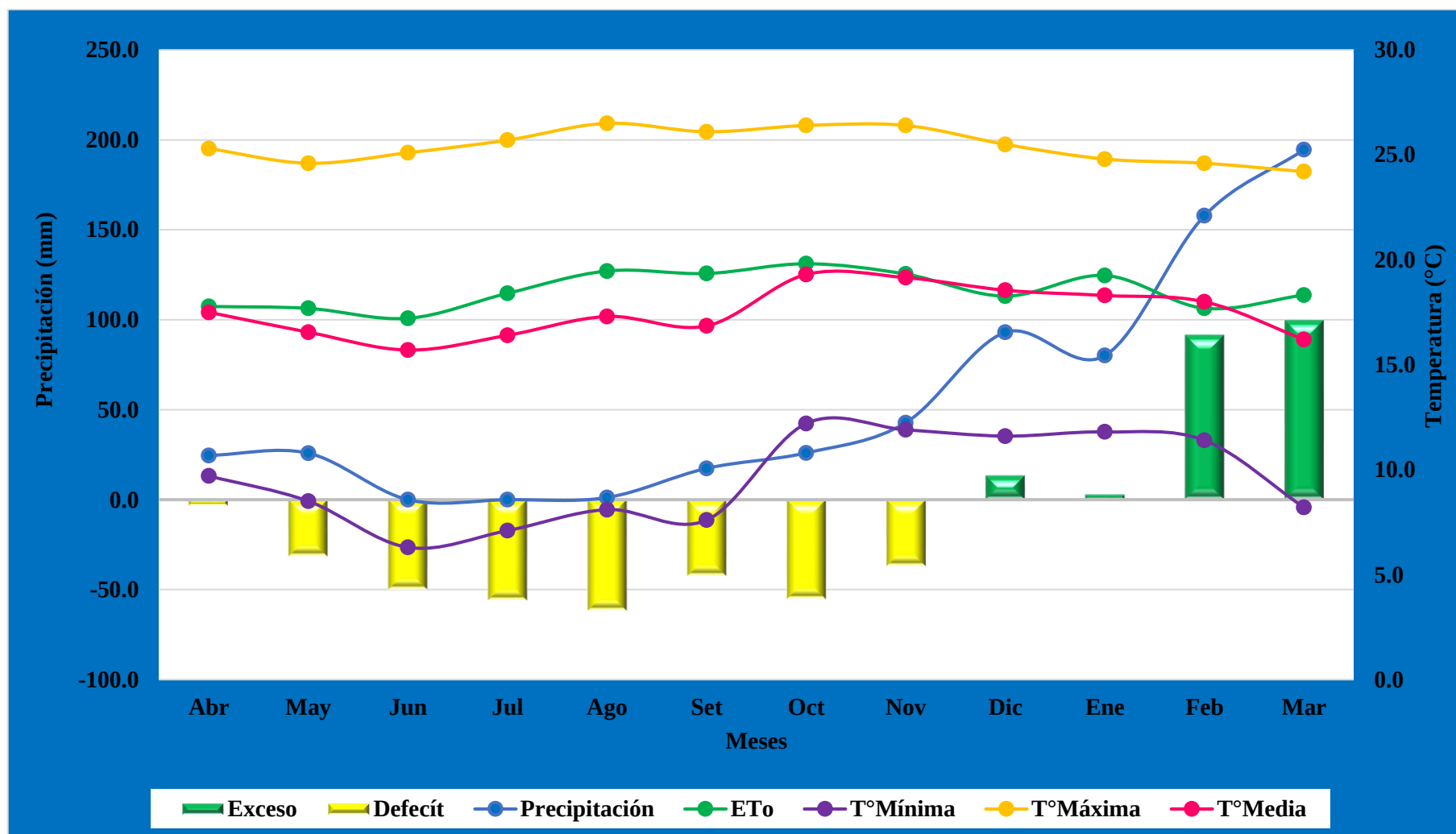


Croquis de la unidad experimental con distribución para la evaluación

Anexo 2. Registro de datos meteorológicos promedio mensual en el periodo de la investigación (octubre de 2023 – marzo de 2024)

Año		2023										2024		Total	Promedio
Meses	Unid	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar		
T° Mínima	°C	9.7	8.5	6.3	7.1	8.1	7.6	12.2	11.9	11.6	11.8	11.4	8.2		9.5
T° Máxima	°C	25.3	24.6	25.1	25.7	26.5	26.1	26.4	26.4	25.5	24.8	24.6	24.2		25.4
T° Media	°C	17.5	16.6	15.7	16.4	17.3	16.9	19.3	19.2	18.6	18.3	18.0	16.2		17.5
Factor		1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1		
ETo	mm	107.4	106.3	100.8	114.7	127.1	125.7	131.1	125.4	113.2	124.6	106.4	113.8	1396.5	116.4
Precipitación	mm	24.6	25.8	0.0	0.0	1.2	17.4	26.0	42.8	93.0	80.1	157.8	194.5	663.2	
H del suelo	mm	-3.8	-31.9	-50.2	-56.2	-62.0	-42.7	-55.6	-37.4	13.7	3.2	91.8	100.0		
Exceso	mm	---	---	---	---	---	---	---	---	13.7	3.2	91.8	100.0		
Déficit	mm	-3.8	-31.9	-50.2	-56.2	-62.0	-42.7	-55.6	-37.4	---	---	---	---		

Fuente: Estación Meteorológica INIA – Ayacucho (Senamhi - OPEMAN – Gobierno Regional de Ayacucho)



Temperatura máxima, mínima, media, precipitación y balance hídrico correspondiente a los años 2023-2024, de la Estación Meteorológica INIA – Ayacucho

Anexo 3. Cálculos realizados en programa CropWat 8.0

ETo Penman-Monteith Mensual - F:\INIA\DATOS DE TESIS\CROPWAT\1. CLIMA\CLIMA.PEM

País Estación

Altitud m. Latitud °S Longitud °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	11.8	24.8	86	2.3	6.7	20.7	4.02
Febrero	11.4	24.6	90	2.0	6.3	20.0	3.80
Marzo	8.2	24.2	89	2.5	6.8	19.9	3.67
Abril	9.7	25.3	84	1.5	7.5	19.1	3.58
Mayo	8.5	24.6	84	3.0	8.3	18.2	3.43
Junio	6.3	25.1	80	2.0	9.6	18.7	3.36
Julio	7.1	25.7	78	2.7	9.8	19.5	3.70
Agosto	8.1	26.5	76	2.0	9.8	21.4	4.10
Septiembre	7.6	26.1	77	2.5	7.8	20.6	4.19
Octubre	12.2	26.4	78	2.0	7.0	20.7	4.23
Noviembre	11.9	26.4	80	2.5	6.0	19.5	4.18
Diciembre	11.6	25.5	85	2.0	4.7	17.5	3.65
Promedio	9.5	25.4	82	2.3	7.5	19.7	3.83

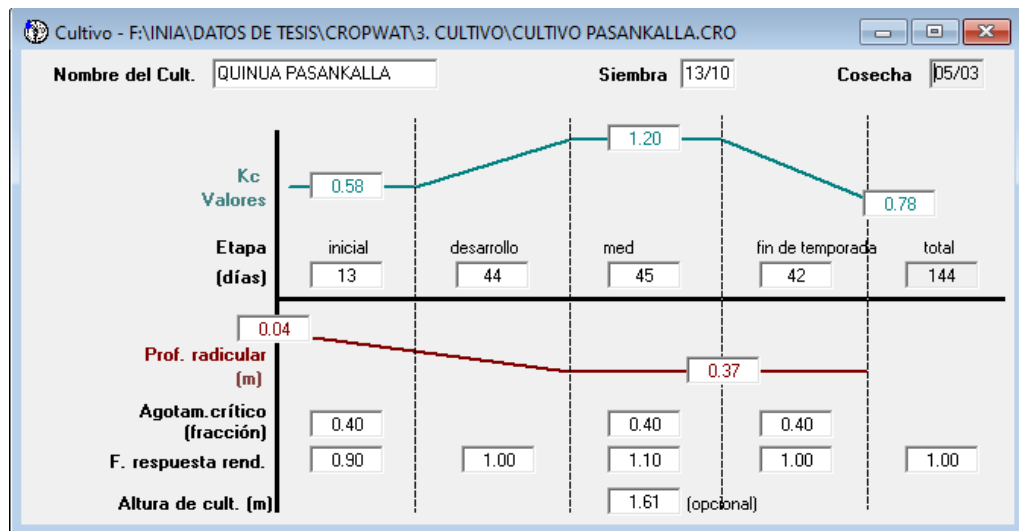
Evapotranspiración de referencia - CropWat 8.0

Precipitación mensual - F:\INIA\DATOS DE TESIS\CROPWAT\2. PRECIPITACIO...

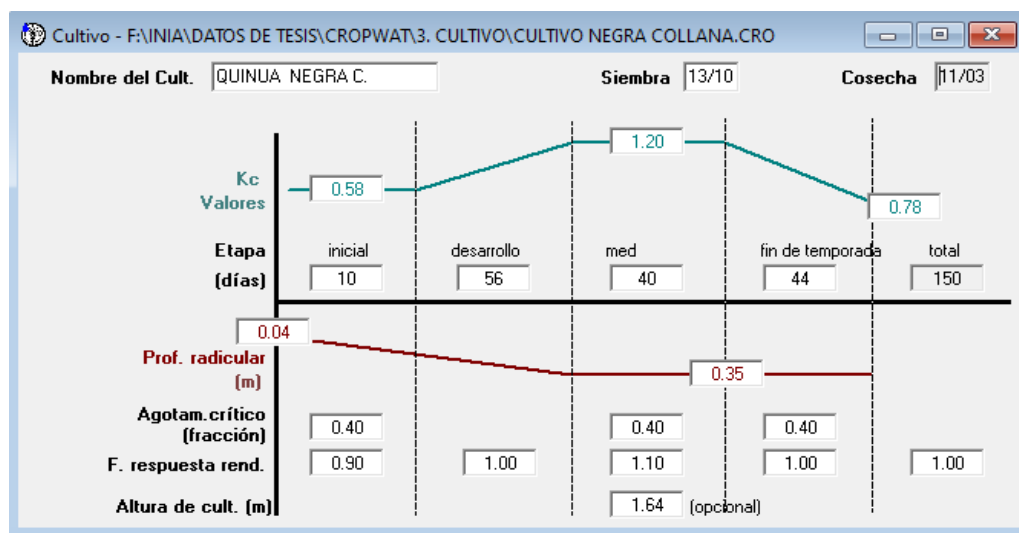
Estación Método Prec. Ef

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	80.1	40.1
Febrero	157.8	102.2
Marzo	194.5	131.6
Abril	24.6	4.8
Mayo	25.8	5.5
Junio	0.0	0.0
Julio	0.0	0.0
Agosto	1.2	0.0
Septiembre	17.4	0.4
Octubre	26.0	5.6
Noviembre	42.8	15.7
Diciembre	93.0	50.4
Total	663.2	356.3

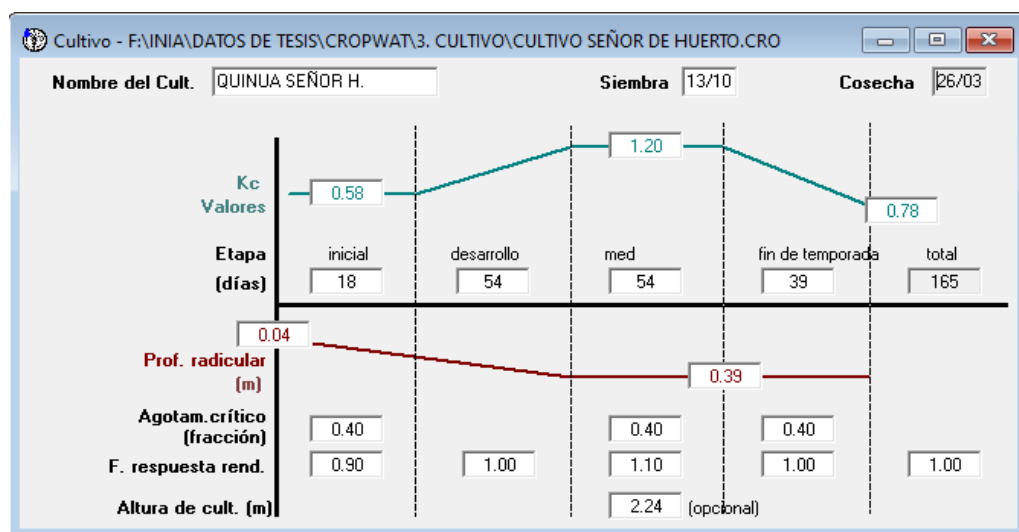
Precipitación efectiva - CropWat 8.0



Datos del cultivo variedad Pasankalla - CropWat 8.0



Datos del cultivo variedad Negra Ccollana - CropWat 8.0



Datos del cultivo variedad Señor de Huerto - CropWat 8.0

Suelo - F:\INIA\DATOS DE TESIS\CROPWAT\4. SUELO\SUELO_PASANKALLA.SOI

Nombre del suelo FRANCO ARENOSA

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	37.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	69	mm/día
Profundidad radicular máxima	37	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	7	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	34.4	mm/metro

Datos del suelo variedad Pasankalla - CropWat 8.0

Suelo - F:\INIA\DATOS DE TESIS\CROPWAT\4. SUELO\SUELO_NEGRACOLLANA.SOI

Nombre del suelo FRANCO ARENOSA

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	35.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	69	mm/día
Profundidad radicular máxima	35	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	7	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	32.5	mm/metro

Datos del suelo variedad Negra Ccollana - CropWat 8.0

Suelo - F:\INIA\DATOS DE TESIS\CROPWAT\4. SUELO\SUELO_SEÑORDEHUERTO.SOI

Nombre del suelo FRANCO ARENOSA

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	38.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precipitación	69	mm/día
Profundidad radicular máxima	39	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	7	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	35.3	mm/metro

Datos del suelo variedad Señor de Huerto - CropWat 8.0

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ET0 CANAAN				Cultivo QUINUA PASANKALLA			
Est. de lluvia CANAAN				Fecha de siembra 13/10			
Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	2	Inic	0.58	2.46	19.6	1.3	18.0
Oct	3	Des	0.61	2.56	28.2	2.9	25.3
Nov	1	Des	0.75	3.13	31.3	3.3	27.9
Nov	2	Des	0.89	3.71	37.1	4.1	33.1
Nov	3	Des	1.03	4.13	41.3	8.3	33.0
Dic	1	Med	1.17	4.48	44.8	14.3	30.5
Dic	2	Med	1.21	4.42	44.2	18.9	25.3
Dic	3	Med	1.21	4.57	50.3	17.1	33.2
Ene	1	Med	1.21	4.72	47.2	12.2	35.0
Ene	2	Med	1.21	4.87	48.7	10.0	38.7
Ene	3	Fin	1.17	4.62	50.8	18.0	32.8
Feb	1	Fin	1.07	4.13	41.3	28.2	13.1
Feb	2	Fin	0.97	3.67	36.7	35.6	1.1
Feb	3	Fin	0.88	3.29	26.3	38.3	0.0
Mar	1	Fin	0.81	3.01	15.1	22.8	0.0
					563.0	235.3	347.1

Requerimiento de agua del cultivo variedad Pasankalla - CropWat 8.0

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ET0 CANAAN				Cultivo QUINUA NEGRA C.			
Est. de lluvia CANAAN				Fecha de siembra 13/10			
Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	2	Inic	0.58	2.46	19.6	1.3	18.0
Oct	3	Des	0.63	2.64	29.0	2.9	26.2
Nov	1	Des	0.74	3.12	31.2	3.3	27.9
Nov	2	Des	0.86	3.58	35.8	4.1	31.7
Nov	3	Des	0.97	3.88	38.8	8.3	30.5
Dic	1	Des	1.08	4.14	41.4	14.3	27.1
Dic	2	Med	1.19	4.34	43.4	18.9	24.5
Dic	3	Med	1.21	4.57	50.3	17.1	33.3
Ene	1	Med	1.21	4.72	47.2	12.2	35.0
Ene	2	Med	1.21	4.87	48.7	10.0	38.8
Ene	3	Fin	1.20	4.73	52.0	18.0	34.0
Feb	1	Fin	1.11	4.31	43.1	28.2	14.9
Feb	2	Fin	1.02	3.87	38.7	35.6	3.1
Feb	3	Fin	0.93	3.51	28.0	38.3	0.0
Mar	1	Fin	0.85	3.15	31.5	45.5	0.0
Mar	2	Fin	0.80	2.92	2.9	5.1	2.9
					581.8	263.2	347.8

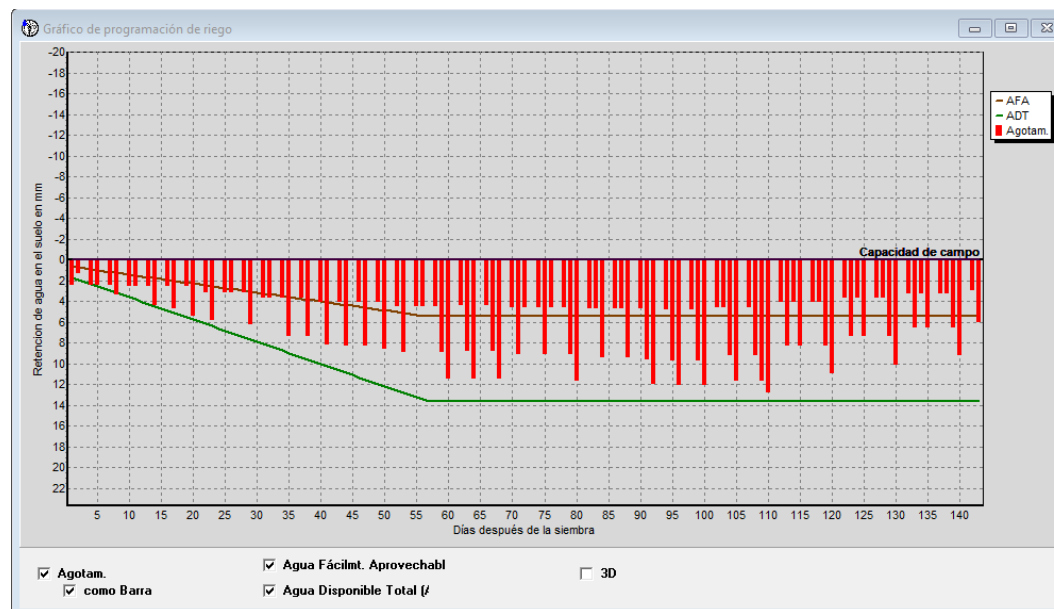
Requerimiento de agua del cultivo variedad Negra Ccollana - CropWat 8.0

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ET0 CANAAN				Cultivo QUINUA SEÑOR H.			
Est. de lluvia CANAAN				Fecha de siembra 13/10			
Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Oct	2	Inic	0.58	2.46	19.6	1.3	18.0
Oct	3	Des	0.58	2.45	26.9	2.9	24.1
Nov	1	Des	0.66	2.75	27.5	3.3	24.2
Nov	2	Des	0.77	3.23	32.3	4.1	28.2
Nov	3	Des	0.89	3.56	35.6	8.3	27.3
Dic	1	Des	1.01	3.85	38.5	14.3	24.2
Dic	2	Des	1.12	4.10	41.0	18.9	22.1
Dic	3	Med	1.21	4.56	50.1	17.1	33.1
Ene	1	Med	1.21	4.72	47.2	12.2	35.0
Ene	2	Med	1.21	4.87	48.7	10.0	38.7
Ene	3	Med	1.21	4.78	52.6	18.0	34.6
Feb	1	Med	1.21	4.69	46.9	28.2	18.7
Feb	2	Fin	1.20	4.54	45.4	35.6	9.9
Feb	3	Fin	1.11	4.19	33.5	38.3	0.0
Mar	1	Fin	1.02	3.80	38.0	45.5	0.0
Mar	2	Fin	0.92	3.39	33.9	51.3	0.0
Mar	3	Fin	0.84	3.06	18.4	18.9	1.0
					636.3	328.2	339.0

Requerimiento de agua del cultivo variedad Señor de Huerto - CropWat 8.0.

Descripción	Año	2023						2024		Total, campana
	Unidad	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar			
N° de días	días	18	30	31	31	29	5			
Eto	(mm/día)	4.23	4.18	3.65	4.02	3.8	3.67			
ETc	(mm/mes)	45.68	111.61	135.78	149.54	106.89	14.86			564.37
ETc	(mm/día)	2.54	3.72	4.38	4.82	3.69	2.97			
Litros/día/m ²		5.08	7.44	8.76	9.65	7.37	5.95			
Tiempo de riego	h	00:14	00:29	00:45	00:45	00:45	00:44			
Intervalo de riego	días	3	4	5	5	6	7			
Frecuencia de riego	N° veces/mes	7	8	6	7	5	1			33

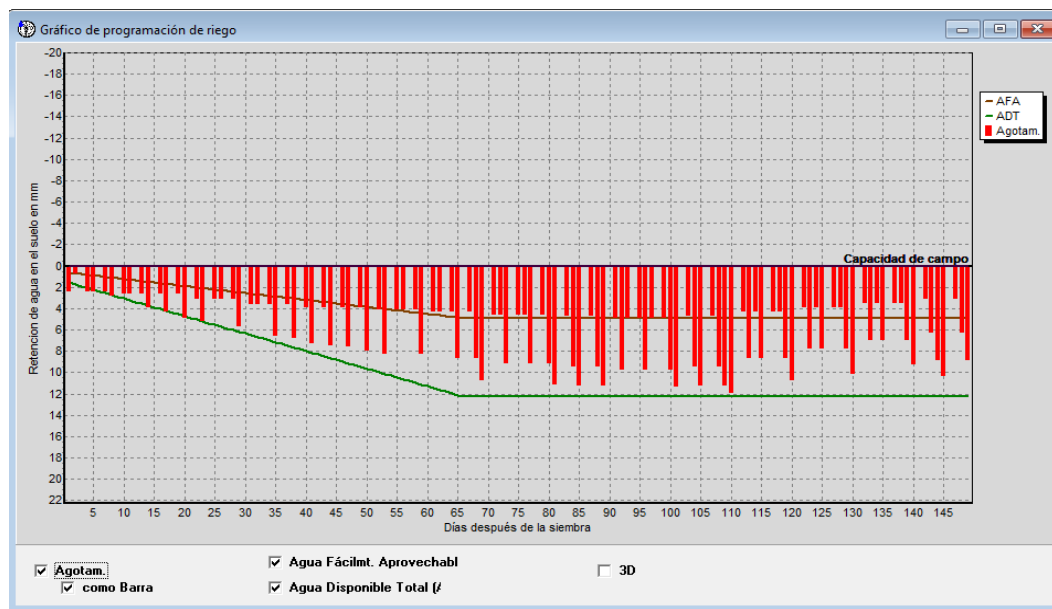
Calendario de riego para el cultivo de quinua “Pasankalla”



Gráfica de programación de riego para la variedad Pasankalla - CropWat 8.0

Descripción	Año	2023				2024		Total, campaña
	Unidad	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
N° de días	días	18	30	31	31	29	11	
Eto	(mm/día)	4.23	4.18	3.65	4.02	3.8	3.67	
ETc	(mm/mes)	46.06	107.84	131.25	150.79	112.40	33.31	581.66
ETc	(mm/día)	2.56	3.59	4.23	4.86	3.88	3.03	
Litros/día/m ²		5.12	7.19	8.47	9.73	7.75	6.06	
Tiempo de riego	h	00:13	00:28	00:40	00:41	00:36	00:40	
Intervalo de riego	días	3	4	5	4	5	6	
Frecuencia de riego	N° veces/mes	7	8	7	8	6	2	37

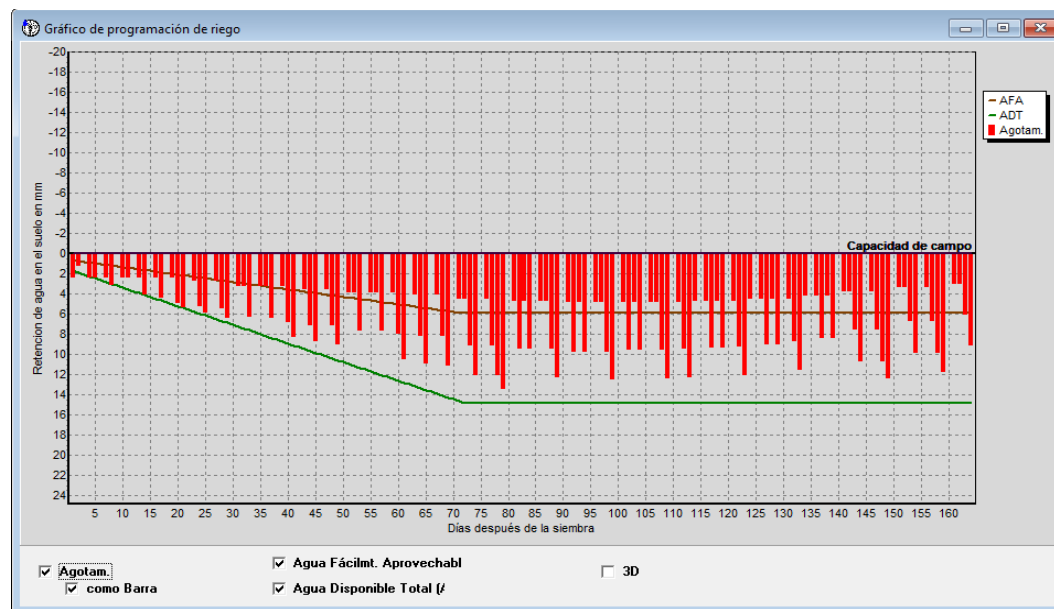
Calendario de riego para el cultivo de quinua “Negra Ccollana”



Gráfica de programación de riego para la variedad Negra Ccollana - CropWat 8.0

Descripción	Año	2023			2024			Total, campaña
	Unidad	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
N° de días	días	18	30	31	31	29	26	
Eto	(mm/día)	4.23	4.18	3.65	4.02	3.80	3.67	
ETc	(mm/mes)	44.16	96.93	125.94	150.79	129.26	88.45	635.54
ETc	(mm/día)	2.45	3.23	4.06	4.86	4.46	3.40	
Litros/día/m ²		4.91	6.46	8.12	9.73	8.91	6.80	
Tiempo de riego	h	00:13	00:20	00:39	00:52	00:41	00:38	
Intervalo de riego	días	3	3	5	5	4	5	
Frecuencia de riego	N° veces/mes	7	10	7	6	6	5	40

Calendario de riego para el cultivo de quinua “Señor de Huerto”



Gráfica de programación de riego para la variedad Señor de Huerto - CropWat 8.0

Anexo 4. Panel fotográfico



Fotografía 1: Muestreo de suelo para el análisis



Fotografía 2: Prueba de infiltración por método de doble anillo



Fotografía 3: Preparación de terreno con la maquinaria



Fotografía 4: Delimitación de las parcelas



Fotografía 5: Fertilización del suelo para la siembra del cultivo



Fotografía 6: Suministro de agua a los cultivos (riego por gravedad)



Fotografía 7: Aporque del cultivo



Fotografía 7: Control fitosanitario



Fotografía 8: Control de los pájaros



Fotografía 8: Muestra de quinua para la evaluación de altura ya profundidad de raíz



Fotografía 9: Cosecha de quinua de las tres variedades por tratamientos



Fotografía 10: Evaluación de la altura y profundidad radicular máxima



Fotografía 11: Evaluación de la altura y profundidad radicular máxima



Fotografía 12: Trillado y venteado de los tratamientos de manera manual



Fotografía 13: Evaluación del rendimiento para las tres variedades del cultivo por tratamientos

Anexo 5. *Resultados y recomendaciones de fertilización del análisis del suelo*

INFORME DE ENSAYO

N° 10265-23/SU/ LABSAF - CANAAN

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Pro Suelos y Aguas
 Propietario / Productor : EEA Canaán
 Dirección del cliente : Av. Abancay N° 299
 Solicitado por : Fredy Flores Galindo
 Muestreado por : Cliente
 Número de muestra(s) : 01 muestra
 Producto declarado : Suelo Agrícola
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico transparente
 Referencia del muestreo : Reservado por el Cliente
 Procedencia de muestra(s) : Ayacucho - Huamanga - Ayacucho
 Fecha(s) de muestreo : 22/09/2023 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2023-09-25
 Lugar de ensayo : Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliarés - LABSAF Canaán
 Fecha(s) de análisis : 2023-09-27 al 2023-10-03
 Cotización del servicio : 066-23-CA
 Fecha de emisión : 2023-10-04

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6
Código de Laboratorio	SU1430-CA-23					
Matriz Analizada	Suelo					
Fecha de Muestreo	22/09/2023(*)					
Hora de Inicio de Muestreo (h)	16:10 (*)					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	--					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	0.1	7.9			
Conductividad Eléctrica	mS/m	1.0	10.1			
Materia Orgánica (**)	%	0.2	2.1			
Nitrógeno (**)	%	--	0.11			
Fósforo disponible (**)	mg/kg	--	27.84			
Potasio disponible (**)	mg/kg	--	359.86			
Acidez Intercambiable(**)	cmol (+)/Kg	--	--			
Textura (**)						
Arena	%	--	48			
Limo	%	--	40			
Arcilla	%	--	12			
Clase Textural	---	--	Franco Arenoso			
Bases Intercambiables (**)						
Calcio Intercambiable (**)	cmol (+)/Kg	0.20	18.30			
Magnesio Intercambiable(**)	cmol (+)/Kg	0.10	2.52			
Potasio Intercambiable(**)	cmol (+)/Kg	0.10	0.37			
Sodio Intercambiable (**)	cmol (+)/Kg	0.10	0.12			
CIC (**)	cmol (+)/Kg	--	21.30			

INFORME DE ENSAYO

N° 10265-23/SU/ LABSAF - CANAAN

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994/Cor.1:1996. Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity - Technical Corrigendum 1.
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.9 AS-09. Determinación de la textura del suelo (AS-09 Método de Bouyoucos).
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de materia orgánica del suelo (AS-07 Método de Walkley y Black).
Nitrogeno	ISO 11261: 1995. First edition. Soil quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method.
Fósforo Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10 AS-10. Determinación de Fosforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos (AS-10 Metodo de Olsen y colaboradores).
Potasio disponible	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego-INIA Ed. 1era. 2017. ítem 4.9.1. Pag. 62. Potasio extractable.
Acidez Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.29 AS-33. Determinación de la acidez y el Aluminio intercambiable por el procedimiento de Cloruro de potasio.
Carbonato de Calcio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.25 AS-29. Determinación de los Carbonatos de Calcio Equivalente (AS-29 Metodo de Neutralizacion acida).
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12 AS-12. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases intercambiables de suelo con acetato de amonio.
Calcio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12, AS-12. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo (AS-12 Método de acetato de amonio para calcio intercambiable).
Magnesio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12, AS-12. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo (AS-12 Método de acetato de amonio para magnesio intercambiable).
Sodio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12, AS-12. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo (AS-12 Método de acetato de amonio para sodio intercambiable).
Potasio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12, AS-12. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo (AS-12 Método de acetato de amonio para potasio intercambiable).

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C
- Medición de C.E realizada a 25 °C

(*) Este dato ha sido proporcionado por el cliente, por lo que el laboratorio no es responsable de dicha información.

(**) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

- El presente Informe de ensayo ha sido autorizado por: Katia Mendoza Dávalos - Responsable del laboratorio del LABSAF Canaan



INST. NAC. INNOV. AGRARIA - INIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA CANAAN
Dirección
Ing. José Velásquez Mantari
DIRECTOR

Firma
Director de la EEA Canaán

FIN DE INFORME DE ENSAYO



REFERENCIAS					
NOMBRE AGRICULTOR	Fredy Flores Galindo	SIST. PRODUCCIÓN	Convencional	MUESTRA N°	1430
DIRECCIÓN	Av. Abancay N° 299 - Ayacucho	RDTO ESTIMADO (t/ha)	3		3
NOMBRE PARCELA	Lote 24	EDAD / PLANTAS	-		3
CULTIVO	Quinua	PLANTAS /HA (6 x 4 m)			

ANÁLISIS DE SUELOS - EFICIENCIA DE FERTILIZANTES - EXTRACCIÓN NUTRIENTES CULTIVO DE PALTO

ANÁLISIS DE SUELOS		
CARACTERIZACIÓN	UNIDAD	VALOR
Profundidad	m	0.20
Densidad aparente	ton/m3	1.47
Peso del suelo	ton	2948
Porcentaje N en MO	%	5.00
Porcentaje mineraliz. N	%	1.50
pH	(1:2.5)	7.90
CE	mS/cm	10.12
MO	%	2.10
Fósforo	ppm	27.84
Potasio	ppm	359.86
Ca++	meq/100 g suelo	18.30
Mg ++	meq/100 g suelo	2.52
K+	meq/100 g suelo	0.37
Na+	meq/100 g suelo	0.12
Al3+ + H+	meq/100 g suelo	0.00
Azufre	ppm	0.00

EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES CULTIVO:			9	QUINUA
Nutriente	Requerimiento (kg/ton)	Requerimiento Rdto Estimado (3 ton)	FC para pasar a forma de fertilizante	Necesidad en forma de fertilizante
N	37.00	111.0	1.00	111
P2O5	9.00	27.0	2.29	62
K2O	43.00	129.0	1.21	155
CaO	23.00	69.0	1.40	97
MgO	20.00	60.0	1.66	100
S	20.00	60.0	1.00	60

EFICIENCIA FERTILIZANTES	
Nutriente	Eficiencia (%)
N	50
P	20
K	70
Ca	70
Mg	70
S	50

NECESIDADES DE FERTILIZANTES DE ACUERDO A LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES (QUINUA - 3 ton)

OFERTA DE NUTRIENTES DEL SUELO			NECESIDAD DE NUTRIENTES (20 TON FRUTO)		DEFICIT DE NUTRIENTES (20 TON FRUTO)		REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES DEL CULTIVO	
Nutriente	Cantidad en forma elemental (kg/ha)	Cantidad en forma de fertilizante (kg/ha)	Nutriente	Necesidad en forma de fertilizante (kg/ha)	Nutrientes	Deficit en forma de fertilizante (kg/ha)	Nutriente	Requerimiento en forma de fertilizante (kg/ha)
Nitrogeno kg/ha de N	12	12	Nitrogeno	111	Nitrogeno N	199	Nitrogeno N	308
Fósforo kg/ha de P	82	47	Fósforo	62	Fósforo P2O5	74	Fósforo P2O5	115
Potasio kg/ha de K	425	205	Potasio	155	Potasio K2O	-71	Potasio K2O	-110
Calcio kg/ha de Ca	10789	6797	Calcio	97	Calcio CaO	-9572	Calcio CaO	-14836
Magnesio kg/ha de Mg	891	296	Magnesio	100	Magnesio MgO	-280	Magnesio MgO	-435
Azufre kg/ha de S	0	0	Azufre	60	Azufre S	120	Azufre S	186

CALCULO (CAL EN CASO DE ACIDEZ)

VNRT CAL para diferentes tipos de cal	Aluminio meq/100 g suelo	Suma de bases	ClCe	% de Saturación de Bases	% de Saturación de Acides Suelo	% de Saturación Necesaria	Necesidades de Cal (ton/ha)	Necesidades de Cal (kg/ha)
110	0.00	21.31	21.31	100	0	70	-5.81	-5811.82
120	0.00	21.31	21.31	100	0	70	-5.33	-5327.50
275	0.00	21.31	21.31	100	0	70	-2.32	-2324.73

Si este valor es negativo no es necesario aplicar

CUADRO PARA BALANCEO DE FERTILIZANTES

	Enmienda y/o Fertilizante	Dosis Fertilizantes (kg/ha)	Dosis Fertilizantes (sacos/ha)	Formula del Fertilizante					
				N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S
6	Guano de islas (GI)	2000	40.0	10.00	10.00	2.00	8.00	0.80	1.60
12	Urea (U)	200	4.0	46.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Fosfato Diamónico (FDA)	100	2.0	18.00	46.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Cloruro de Potasio (KCl)	150	3.0	0.00	0.00	60.00	0.00	0.00	0.00
	Sulfato de Potasio y Magnes			Aporte de Nutrientes del Fertilizante					
				N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S
				200.00	200.00	40.00	160.00	16.00	32.00
				92.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				18.00	46.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	90.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SUMA DE NUTRIENTES	2450	49.0	310	246	130	160	16	32
	Requerimiento del cultivo (kg/ha)			308	115	-110	-14836	-435	186
	Diferencia (Si es negativa existe deficit del fertilizante)			2	131	240	14996	451	-154



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. FREDY FLORES GALINDO
R.D. N° 298-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los treinta días del mes de octubre del año dos mil veinticuatro, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Rolando Bautista Gómez Decano (e) de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. Rolando Bautista Gómez, Ing. Efraín Chuchón Prado como asesor y Ing. Hoover Núñez Alfaro; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Estimación de la huella hídrica en tres variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) Canaán INIA, Ayacucho, 2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola presentado por el Bachiller **FREDY FLORES GALINDO**.

El señor Decano (e) previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Rolando Bautista Gómez	15	15	16	15
Ing. Efraín Chuchón Prado	16	16	16	16
Ing. Hoover Núñez Alfaro	17	15	17	16
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.


.....
Dr. Rolando Bautista Gómez
Presidente


.....
Ing. Efraín Chuchón Prado
Asesor


.....
Ing. Hoover Núñez Alfaro
Jurado


.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Estimación de la huella hídrica en tres variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) Canaán INIA, Ayacucho, 2024

Autor : Fredy Flores Galindo
Asesor : Efraín Chuchón Prado

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **trece (13 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2515888425

Ayacucho, 21 de noviembre de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Ing. Edgar Tenorio Mancilla
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de Investigación y tesis - FCA

Estimación de la huella hídrica en tres variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) Canaán INIA, Ayacucho, 2024

por Fredy Flores Galindo

Fecha de entrega: 22-nov-2024 09:25a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2528585748

Nombre del archivo: TESIS_2024_FREDY_FLORES_GALINDO_ok.pdf (5.43M)

Total de palabras: 24841

Total de caracteres: 125904

Estimación de la huella hídrica en tres variedades del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Wild) Canaán INIA, Ayacucho, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	14%	4%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	3%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.unap.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.upsc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	repositorio.unasam.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
7	ciencia.lasalle.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.uptc.edu.co	<1%
	Fuente de Internet	

9	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	fdocuments.ec Fuente de Internet	<1 %
13	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
14	revistas.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
16	zaguan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
17	pdffox.com Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	www.ridaa.unicen.edu.ar Fuente de Internet	<1 %

21

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

22

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

uvadoc.uva.es

Fuente de Internet

<1 %

24

www.tandfonline.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN TRES VARIEDADES DEL CULTIVO DE QUINUA (*CHENOPODIUM QUINOA* WILD) CANAÁN INIA, AYACUCHO, 2024

ESTIMATION OF THE WATER FOOTPRINT IN THREE VARIETIES OF QUINOA (*CHENOPODIUM* *QUINOA* WILD) CANAÁN INIA, AYACUCHO, 2024

Fredy Flores Galindo¹, Efraín Chuchón Prado²

RESUMEN

El cambio climático origina nuevas metodologías de estudio de los componentes de la huella hídrica en la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). El objetivo principal es determinar la huella hídrica del cultivo de quinua de tres variedades (Pasankalla, Negra Ccollana y Señor de Huerto) en un suelo franco arenoso con riego por gravedad. Se utilizó el diseño de bloques divididos en parcelas completos. Las variables evaluadas fueron: la evapotranspiración (mm/mes), precipitación efectiva (mm), longitud radicular (cm), altura de la planta (cm), rendimiento (t/ha), infiltración básica (mm/h), % PMP, % CC y % ADT. De la investigación se obtuvo rendimientos del cultivo: Pasankalla 3.69 t/ha, Negra Ccollana 3.42 t/ha y Señor de Huerto 4.42 t/ha, además a través del software CropWat 8.0 se obtuvo el RAC: requerimiento de riego 344.63 mm/periodo para el cálculo de la HH azul y la precipitación efectiva 275.57 mm/periodo para el cálculo de la HH verde. Finalmente, se tradujeron en resultados promedios de HH azul y verde 919.17 m³/t y 727.18 m³/t, respectivamente. Este valor fue importante para conocer la cantidad de agua requerida todo el periodo vegetativo del cultivo.

Palabras Clave: Cultivo de quinua, CropWat, Huella hídrica.

ABSTRACT

Climate change has led to new methodologies for studying the components of the water footprint in quinoa production (*Chenopodium quinoa* W.). The main objective is to determine the water footprint of quinoa cultivation of three varieties (Pasankalla, Negra Ccollana and Señor de Huerto) in a sandy loam soil with gravity irrigation. The design of blocks divided into complete plots was used. The variables evaluated were: evapotranspiration (mm/month), effective precipitation (mm), root length (cm), plant height (cm), yield (t/ha), basic infiltration (mm/h), % PMP, % CC and % ADT. From the research, the following crop yields were obtained: Pasankalla 3.69 t/ha, Negra Ccollana 3.42 t/ha and Señor de Huerto 4.42 t/ha. In addition, the RAC was obtained through the CropWat 8.0 software: irrigation requirement 344.63 mm/period for the calculation of the blue HH and the effective precipitation 275.57 mm/period for the calculation of the green HH. Finally, they were translated into average results of blue and green WF 919.17 m³/t and 727.18 m³/t, respectively. This value was important to know the amount of water required throughout the vegetative period of the crop.

Keywords: Quinoa cultivation, CropWat, Water footprint.

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más importante para la vida y ocupa cerca de un 75% de la superficie del globo; pero, menos del 1% es apta para sostener la vida humana en un planeta donde existen desequilibrios entre la oferta y la demanda del recurso según indica Iglesias y Madina, (2009). De los reportes de ANA, el Perú es considerado un país favorecido, ya que posee casi el 1.8% de las reservas del agua dulce del planeta, a razón de ello, tenemos el deber de cuidarla y gestionarla tanto en la agricultura, industria y consumo humano. En Perú, referente a uso del agua en la agricultura es 87.7 % en el cual para la producción del cultivo de quinua se estima una demanda de 38.6 %. Según, Midagri (2023), dio a conocer que registró 113.4 mil toneladas de producción con rendimiento de 1.83 ton/ha para el año 2023. Asimismo, del 100 %, aproximadamente el 90 % de la huella hídrica de la productividad del sector agropecuario es denominada huella hídrica verde y el alto en agua azul. Por tanto, el 10 % de la huella hídrica total del sector representa el agua gris, esto se debe por el uso de agroquímicos que contaminan las aguas de escorrentía y que requieren de altos volúmenes de agua para ser diluidos. Por consiguiente, en el presente estudio, se plantea la estimación del valor de la huella hídrica azul, verde y gris para la producción del cultivo de quinua en las tres variedades, a través de la modelación empleando el software CropWat 8.0, considerando data climática, aplicaciones de fertilizantes y rendimientos de los cultivos. Así mismo, se busca evaluar el efecto del Fenómeno del Niño en la zona de estudio y determinar el grado de presión ejercida sobre la fuente de abastecimiento de agua en el área de estudio, para aportar a una utilización más eficiente y sostenible del agua para producción agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño experimental

La unidad experimental se conformó con tres parcelas, cada una instalada con diferentes variedades de quinua: Señor de Huerto, Pasankalla y Negra Ccollana. Con 10 surcos de 15 metros de longitud, de un espaciamiento de 0.80 metros entre ellos, y la siembra se llevó a cabo mediante chorro continuo.

Instalación y conducción de la parcela

Las actividades que se manejaron en la siguiente son de suma importancia para tener una buena producción. Las labores iniciales antes de la siembra son: preparación del terreno, surcado, delimitación del campo experimental, presado y aplicación de fertilizantes y la siembra; las labores después de la siembra son: riego, control de malezas, aporque, control de plagas y enfermedades, cosecha y trillado y venteado.

Prueba de infiltración

- Se colocó los anillos a la mitad de la parcela previamente nivelado y se procedió a introducir al suelo un aproximado de 10 cm con apoyo de una comba.
- Se pasó a nivelar los cilindros con nivel de mano y se colocó una regla de 30 cm en la pared del cilindro central dejando un borde libre del 5 cm.
- Tapizando con plástico el anillo interior se llenó con agua hasta la altura de la regla, inmediatamente se llenó el anillo exterior a la misma altura de anillo central, retirando el plástico se inicia la lectura.
- La infiltración constante se alcanzó en 120 min con 18 datos anotados.

Longitud de la raíz

Se evaluó en dos etapas fenológicas del cultivo: el primero etapa fenológica de dos hojas verdaderas y segundo en la etapa fenológica de grano pastoso.

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú

- Se midió con una regla desde el cuello de la planta hacia la profundidad que esta introducido en el suelo.
- Se evaluó 3 plantas de manera aleatoria para las 3 variedades en etapa fenológica de dos hojas verdaderas.
- Se evaluó 10 plantas de manera aleatoria para las 3 variedades en etapa fenológica grano pastoso.

Altura máxima

Esta evaluación se realizó en la etapa fenológica (grano pastoso).

- Se midió la parte aérea, desde el cuello de la planta hasta la parte superior del dosel o la copa.
- Se extrajo 10 plantas de manera aleatoria para las tres variedades en la etapa fenológica de grano pastoso.

Rendimiento

Se evaluó el rendimiento para cada variedad de cultivo.

- Se realizó la cosecha de un metro lineal por dos surcos (1m por 1.6 m en total de un área de 1.60 m², este proceso se realizó 4 repeticiones para cada variedad.
- Después del secado se procede al trillado y venteado de manera manual, luego el grano se deposita a una bolsa con sus respectivas identificaciones.
- Finalmente se pesó cada bolsa de evaluación.

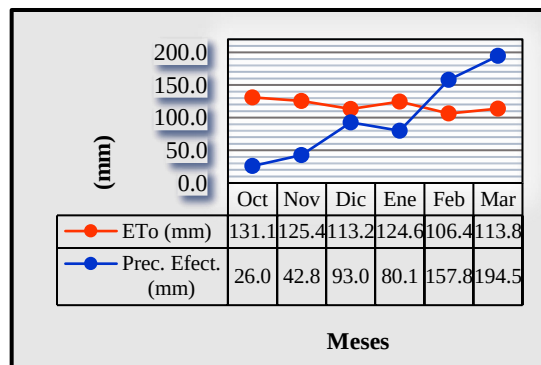
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Información de meteorología

Datos meteorológicos obtenidos de estación INIA – Canaán, son datos mensuales de año 2023 (meses de abril a diciembre) y 2024 (meses de enero a marzo), los cuales sirvieron para los cálculos de evapotranspiración (ET_o) y la precipitación efectiva. Los cálculos fueron realizados en el programa CropWat 8.0.

Figura 1

Evapotranspiración de referencia E_{to} y precipitación efectiva (mm)



Nota. Los resultados obtenidos para este indicador, fueron de los calculo mediante el programa CropWat. Tomando en consideración los datos de los meses de la campaña.

Información del cultivo

Este dato, junto con el periodo vegetativo del cultivo, posibilitó la realización de cálculos en el programa CropWat 8. 0 y determinar la fecha de la cosecha.

a) Fecha de siembra y cosecha

Tabla 1 *Etapas (días) de desarrollo del cultivo de quinua de las tres variedades*

Variedad	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
	Días	Días	Días	Días	Días		
Pasankalla	13	44	45	42	144	13/10/2023	05/03/2024
Negra Ccollana	10	56	40	44	150	13/10/2023	11/03/2024
Señor de Huerto	18	54	54	39	165	13/10/2023	26/03/2024

Nota. Los valores de las etapas de crecimiento del cultivo (inicial, desarrollo, media y final), son variables para cada variedad.

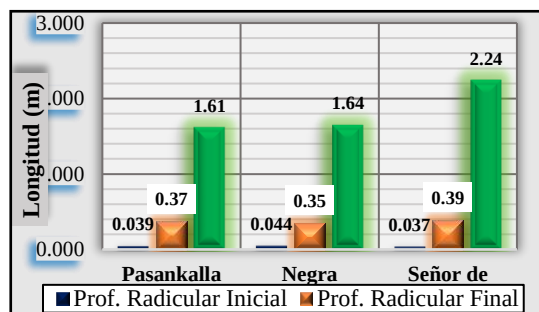
En la Tabla 1, muestran los datos que son necesarios para insertar la información al programa CropWat; la variedad de Pasankalla tiene un periodo vegetativo de 144 días, lo cual es más precoz a comparación de las otras dos variedades, la variedad de Negra Ccollana tiene un periodo vegetativo de 150 días y la variedad de Señor de Huerto de 165 días, esta última tiene mayor duración a comparación de las dos variedades de evaluación.

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú

b) Profundidad radicular y altura máxima

Figura 2

Longitud de la raíz inicial, longitud de raíz final y la altura máxima aérea



Nota. La profundidad radicular inicial y final son diferentes para cada variedad, de igual forma la altura máxima.

En la Tabla 2, muestran los valores para cada variedad, la variedad Pasankalla tiene 0.039 m de profundidad radicular inicial y 0.37 m de profundidad radicular final, la variedad Negra Ccollana tiene 0.044 m de profundidad radicular inicial y 0.35 m de profundidad radicular final, la variedad Señor de Huerto tiene 0.037 m de profundidad inicial y 0.39 m de profundidad radicular final. De igual manera en la altura máxima para cada variedad es diferente, la variedad Pasankalla tiene una altura de cultivo 1.61 m, es la variedad con la menor altura, la variedad Negra Ccollana tiene una altura de cultivo 1.64 m, la variedad Señor de Huerto tiene una altura de cultivo 2.24 m, es la variedad más alto a comparación de las otras.

c) Coeficiente del cultivo

Los datos son extraídos de Choquecallata et al., (1991), desglosando los elementos esenciales empleados en el proceso de modelado, los cuales incluyen tres etapas diferentes: un Kc inicial de 0.58, un Kc intermedio de 1.20 y un Kc definitivo de 0.78.

d) Fracción de agotamiento hídrico

Los datos tomados de la tesis presentado por Huertas, M. (2016) en la página 77, en donde se realizó la intersección teniendo

como variables del factor (P) como profundidad radicular en metros y evapotranspiración del cultivo ETc en diferentes etapas del cultivo; obteniendo como el resultado en la etapa inicial, media y final de 0.40 mm, estos datos son necesarios para realizar la modelación en programa CropWat 8.0.

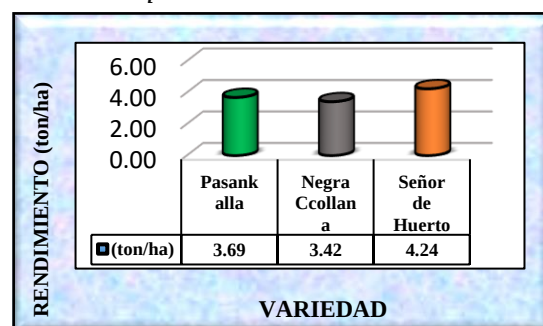
e) Factor de respuesta del rendimiento del cultivo (Ky)

Se consideró de acuerdo a la publicación número 66 de la FAO (2009), en la que se establece que el valor de Ky para el cultivo de la quinua es 1.0, en toda la etapa fenológica del cultivo.

f) Rendimiento del cultivo

Figura 3

Rendimiento de las tres variedades del cultivo de quinua



Nota. En rendimiento del cultivo de quinua varía de acuerdo a la variedad del cultivo.

La Figura 3, muestra los rendimientos del cultivo de las tres variedades. La variedad que tuvo mayor rendimiento es el Señor de Huerto con 4.24 ton/ha; con menor rendimiento, la variedad Negra Ccollana con 3.42 ton/ha; finalmente, 3.69 ton/ha para la variedad Pasankalla.

Información del suelo

a) Textura del suelo

Tabla 2 Resultados del análisis del suelo de la unidad experimental

Muestra	Textura (%)			Clase textural	Densidad aparente (gr/cm ³)
	Arena	Limo	Arcilla		
Bloque 01	48	40	12	Fr-Ao	1.47

Fuente: Laboratorio de Suelos Aguas y Foliare (LABSAF) – INIA Canaán

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú

Nota. Los datos facilitados por el Laboratorio de Suelos Aguas y Foliare (LABSAF), que incluyen información sobre la textura, clase textural y la densidad aparente del suelo de la unidad experimental.

b) Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo (CC) se calculó mediante la ecuación de Bodman y Mahmud (1996).

$$CC(\%) = 0.023(\% \text{ arena}) + 0.25(\% \text{ limo}) + 0.61(\% \text{ arcilla})$$

Reemplazando los datos:

$$CC(\% \text{ peso}) = 0.023(48\%) + 0.25(40\%) + 0.61(12\%)$$

$$CC(\% \text{ peso}) = 18.42\%$$

c) Punto de marchitez permanente (PMP)

Punto de marchitez permanente (PMP) se determinó mediante la ecuación propuesta por Máximov.

$$PMP(\%) = 0.001(\% \text{ arena}) + 0.12(\% \text{ limo}) + 0.57(\% \text{ arcilla})$$

Reemplazando los datos:

$$PMP(\%) = 0.001(48\%) + 0.12(40\%) + 0.57(12\%)$$

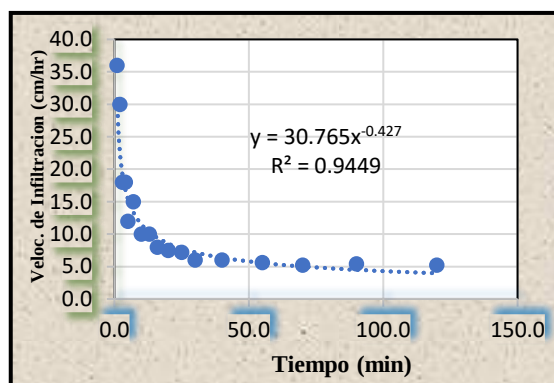
$$PMP(\% \text{ peso}) = 11.69\%$$

d) Tasa máxima de infiltración

La tasa de infiltración máxima se determinó de acuerdo al capítulo 04 de boletín “Frambueso planteado por (Villavicencio, 2020, p. 53–70) del: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo” (Alcayaga, 2020).

Figura 4

La velocidad de infiltración cm/h



Nota. Los cálculos de infiltración básica se realizó con la ecuación planteada por (Villavicencio, 2020).

$$I_b = k(-600 * n)^n$$

Donde:

I_b : Infiltración básica

k : Factor adimensional numérico que representa la velocidad de infiltración en (cm/h) durante el primer intervalo, se calcula de manera analítica o gráficamente y es parámetro para ajustar los datos de campo al modelo.

n : es la variación del exponente entre 0 y -1 .

Reemplazando los datos:

$$I_b = 30.765 * (-600 * -0.427)^{-0.427}$$

$$I_b = 2.88 \text{ cm/h}$$

Por lo tanto, I_b en (mm/día):

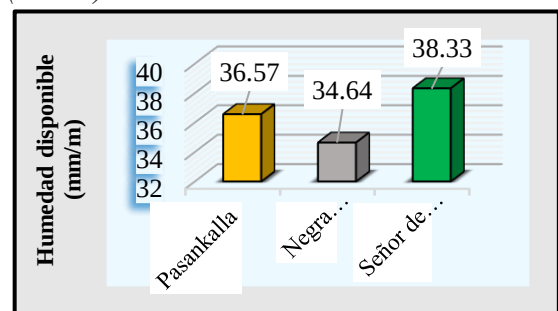
$$I_b = 2.88 * \frac{24}{10} = 69.15 \text{ mm/día}$$

e) Determinación de humedad del suelo

Se determinó la lámina de agua almacenada por metro de profundidad utilizando la ecuación propuesta por Miranda (2009).

Figura 5

Humedad total disponible en el suelo en (mm/m)



Nota. La humedad del suelo disponible total varía para cada variedad del cultivo, esto se debe por profundidad de la raíz que es diferente para cada variedad.

De la Figura 4, se observa que el valor máximo de humedad de suelo disponible es de 38.33 mm/m que pertenece a la variedad de Señor de Huerto, el valor mínimo de humedad de suelo disponible es de 34.64 mm/m que pertenece a la variedad de Negra Ccollana y la variedad de Pasankalla tiene el valor de 36.57 mm/m de humedad disponible en el suelo.

f) Determinación del agua disponible en el suelo (ADT)

Se tomó la diferencia de los datos de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), de acuerdo a la publicación N° 56 de la FAO (2006) p.161.

Teniendo como resultado de (ADT).

$$ADT(\%) = 6.74\%$$

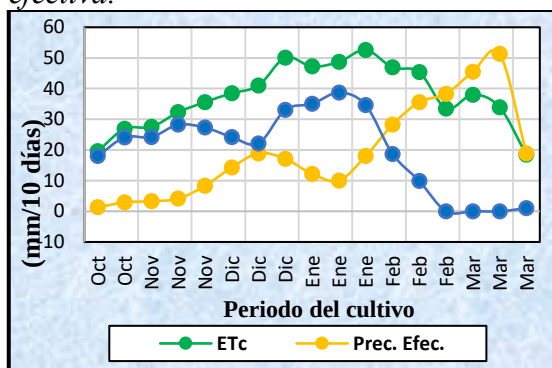
¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú

Calculo de la huella hídrica (HH)

Para los cálculos de la HH azul y HH verde, se requiere los datos de evapotranspiración del cultivo, precipitación efectiva y el requerimiento de riego en unidad de (mm/periodo) fueron obtenidos de programa CropWat 8.0.

Figura 6

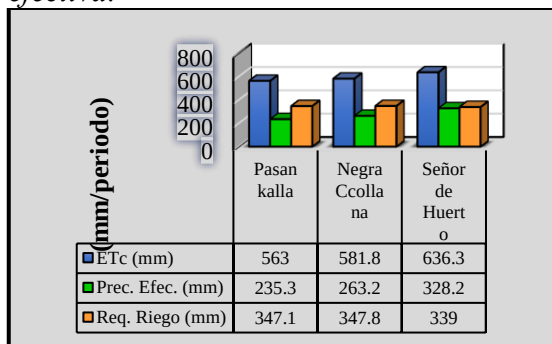
Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva.



Nota. Estos datos de evapotranspiración del cultivo (ETc), el requerimiento de riego y precipitación efectiva en unidad de (mm/10 días) fueron obtenidos de programa CropWat 8.0.

Figura 7

Evapotranspiración del cultivo (ETc), requerimiento de riego y precipitación efectiva.



Nota. Estos datos de evapotranspiración del cultivo (ETc), el requerimiento de riego y precipitación efectiva en unidad de (mm/periodo) fueron obtenidos de programa CropWat 8.0.

De la Figura 7, la evapotranspiración del cultivo es mayor en la variedad de Señor de Huerto con 636.30 mm/periodo, esto se debe que esta variedad tiene mayor periodo vegetativo; de igual manera la precipitación recae en mayor cantidad para esta variedad con 328.20 mm/periodo y el requerimiento de riego es menor con 339.00 mm/periodo, esto se debe que en los

últimos días de tu etapa fenológica hubo mayores precipitaciones.

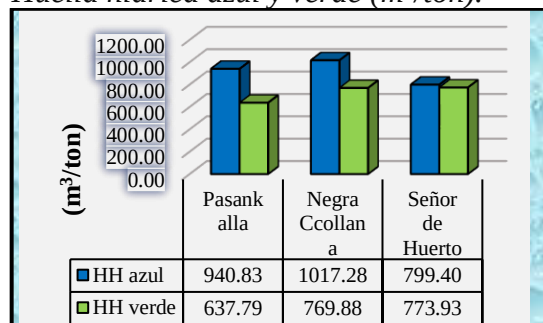
Evapotranspiración del cultivo es menor en la variedad de Pasankalla con 563.00 mm/periodo, eso se debe a que esta variedad tiene menor periodo vegetativo; de igual manera, la precipitación recae en menor cantidad con 235.30 mm/periodo, con un requerimiento de riego 347.10 mm/periodo. Evapotranspiración del cultivo para la variedad de Negra Ccollana es 581.80 mm/periodo, con un requerimiento de riego de 347.80 mm/periodo y agua aprovechado por las precipitaciones es 263.20 mm/periodo, esto se debe a que durante el período vegetativo del cultivo no hubo mayores precipitaciones.

a) Huella hídrica azul y verde

Para este cálculo se utilizó la ecuación propuesta por Hoekstra et al., (2011).

Figura 8

Huella hídrica azul y verde (m³/ton).



Nota. Estos datos HH azul y verde, considerando, los resultados del requerimiento de agua del cultivo, se calculó agua aprovechable por el cultivo y HH azul y verde en unidad de (m³/ton).

La Figura 8, muestra los valores de HH azul y verde. De la HH azul: el mayor valor fue para la variedad Negra Ccollana con 1017.28 m³/ton, el menor valor fue para la variedad Señor de Huerto con 799.40 m³/ton, y para la variedad Pasankalla fue un valor de 940.83 m³/ton. De la HH verde: el mayor valor fue para la variedad Señor de Huerto con 773.93 m³/ton, el menor valor fue para la variedad de Pasankalla con 637.79 m³/ton; para la variedad Negra Ccollana fue un valor de 769.83 m³/ton. Esta variación de los resultados se debe que la huella hídrica verde y azul es directamente proporcional al agua

aprovechable por el cultivo ya sea de la precipitación o del riego e inversamente proporcional al rendimiento.

b) Huella hídrica gris

Para este cálculo fue necesario determinar la dosis de fertilización que se aplicó al cultivo de quinua en las tres variedades, datos obtenidos a través de las recomendaciones del análisis que se realizó al suelo por el (LABSAF). Se utilizó la ecuación propuesta por Hoekstra et al., (2011).

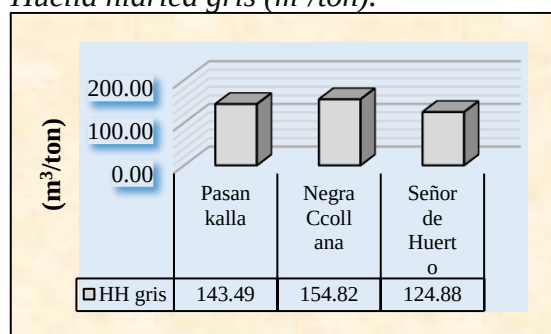
Tabla 2 Cantidad de fertilizantes aplicados en el Cultivo de quinua

Fertilizante	GI	Urea	FDA	KCl
	kg/ha			
	2000	200	100	150

Nota. Los datos obtenidos a través de las recomendaciones por (LABSAF) para el cultivo de quinua, mediante el análisis del suelo de la unidad experimental.

Figura 9

Huella hídrica gris (m^3/ton).



Nota. Los datos del volumen de contaminantes obtenidos a través de lixiviado de fertilizantes aplicados al cultivo, según la recomendación por (LABSAF) del análisis del suelo mediante de la unidad experimental.

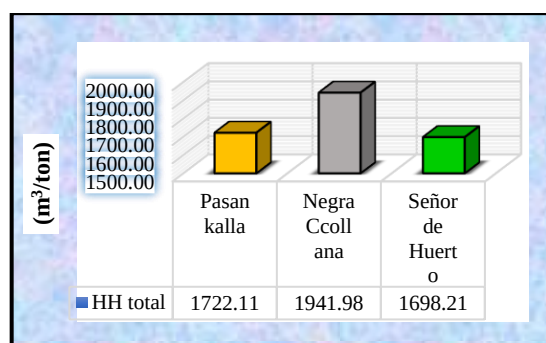
De la Figura 9, se discute que el resultado mayor fue en la variedad Negra Ccollana con 154.82 m^3/ton , en menor cantidad fue en la variedad Señor de Huerto con 124.88 m^3/ton y en la variedad Pasankalla se obtuvo 143.49 m^3/ton . La HH gris es directamente proporcional a volumen de contaminantes e inversamente proporcionales al rendimiento.

c) Huella hídrica total

Para la determinación de la huella hídrica total de las tres variedades del cultivo, se obtuvo al sumar la huella hídrica azul, verde y gris.

Figura 10

Huella hídrica total (m^3/ton).



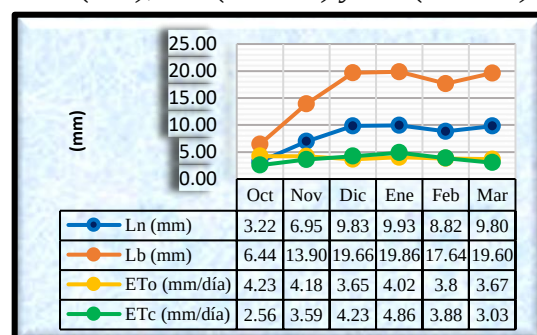
Nota. Estos datos HH total, se obtiene mediante la sumatoria de los componentes de la huella hídrica (azul, verde y gris) en unidad de (m^3/ton).

De la Figura 10, se muestran los valores de la HH total; para lo cual, la variedad Pasankalla resultó un valor de 1722.11 m^3/ton , para la variedad Negra Ccollana resultó con un mayor valor de 1941.98 m^3/ton y para el caso de la variedad Señor de Huerto resultó un menor valor de 1698.21 m^3/ton a comparación de las otras variedades.

Programación de riego para las tres variedades del cultivo

Figura 10

Lamina neta de riego (mm), lamina de bruta (mm), Eto (mm/día) y Etc (mm/día).



Nota. Los datos obtenidos de la Lamina neta (mm) fue del software CropWat 8.0. La eficiencia de 50% de aplicación mediante el riego por gravedad de sugerida por Santayana, S. (2003).

Al principio, la planta consume menos agua ya que tiene raíces de longitud menor. Conforme avanza el proceso de crecimiento, se observa el aumento gradual en el uso de agua, alcanzando su punto máximo durante la etapa de madurez, momento en el que se reduce el consumo de agua y la necesidad de riego. Los datos son obtenidos del software CropWat 8.0,

tales como: lámina neta (Ln), lámina bruta (Lb), evapotranspiración de referencia (ET_o), necesidades de riego (N.R) y módulo de riego (M.R).

Figura 10

Calendario de riego para el cultivo de quinua de las tres variedades.



Nota. Los datos obtenidos de los cálculos realizados de acuerdo al requerimiento hídrico del cultivo de las tres variedades.

Dado que el uso consuntivo del cultivo variedad Pasankalla es 5643.70 m³/ha/campaña, que tiene un periodo vegetativo de 144 días; para variedad Negra Collana es 5816.60 m³/ha/campaña, que tiene un periodo vegetativo de 144 días; para variedad Señor de Huerto es 6355.40 m³/ha/campaña, que tiene un periodo vegetativo de 165 días.

CONCLUSIONES

Con respecto a la caracterización del clima; representa el estado climático de un clima semiárido durante la estación invernal con precipitación moderada; de las características del suelo, se describe: con densidad aparente de 1.47 (g/cm³) y clase textural de Franco Arenoso (Fr-Ao); de las características del cultivo: se mostró un crecimiento vegetativo diferente en las tres variedades, obteniendo rendimientos de 3.69 ton/ha para la variedad Pasakalla, 3.42 ton/ha variedad Negra Collana y 4.42 ton/ha variedad Señor de Huerto. Estas diferencias de caracterización varían de acuerdo a la zona de estudio y las altitudes. La huella hídrica total para la variedad Pasankalla se estableció un valor de 1722.12 m³/ton, se encontraron que los resultados para los componentes azul, verde y gris fueron 940.83, 637.79 y 143.49 m³/ton respectivamente; para la

variedad Negra Ccollana se obtuvo un valor de 1941.93 m³/ton, encontrándose los resultados para los componentes azul, verde y gris de 1017.28, 769.83 y 154.82 m³/ton respectivamente; para la variedad Señor de Huerto se estableció un valor de 1698.20 m³/ton, obteniendo los resultados para los componentes azul, verde y gris de 799.40, 773.93 y 124.88 m³/ton respectivamente.

Según la evaluación de la programación para el riego, a medida que aumenta el periodo vegetativo del cultivo, existe una mayor frecuencia de riego (40 veces/campaña), de igual manera, la necesidad de riego es mayor de 6355.40 m³/ha/campaña; en comparación con las otras dos variedades, la frecuencia de riego planteada (33 a 37 veces/campaña) y las necesidades de riego de 5816.60 y 5 643.70 m³/ha/campaña respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcayaga, M. C. (2020). *Frambueso: consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo*. En M. C. Alcayaga, BOLETÍN INIA / N° 432 (pág. 75). Villa Alegre.
- ANA. (2015). *Huella Hídrica del Perú- Sector Agropecuario*. Biblioteca Nacional del Perú.
- Arévalo, D. (2012). *Una mirada a la Agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica*. Huella Hídrica Colombia.
https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/hh_colombia_6b.pdf
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *El agua en cifras*. Recuperado el 03 de enero de 2024, de ANA: <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Cauna, M. D. (2019). *Huella hídrica verde para producción de la papa y quinua para el periodo 2008 – 2017 en la*

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú

- provincia de Puno. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Choquecalla, J., Vacher, J., Fellman, T., & Imaña, E. (1991). *Evapotranspiración máxima del cultivo de quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el Altiplano boliviano*. Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos, 63-76.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 1-323. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/ab525b78-3af9-48ed-9dd4-233a8251db13>
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. <https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/glossary/>
- Rendón, E. (2015). *La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú*. Universidad Nacional Agraria La Molina, 34-47. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/40>
- Sandoval, E. (2017). *Estimación de la huella hídrica en los cultivos de quinua (Chenopodium quinoa) de los cantones Cayambe y Riobamba ubicados en los Andes Ecuatorianos*. Tesis, 1-96. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14109>
- Tarazona, N. Y. (2017). *Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa willd), mediante el método del lisímetro*. Tesis Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Villavicencio, A. (2020). *Metodología para determinar la velocidad de infiltración en suelos al establecimiento*. (C. G. Alcayaga, Ed.) consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo, 54-70. <https://bibliotecadigital.fia.cl/items/d072fe2e-9a42-4304-859f-16b2e7b5d2b6>
- Vizcarra, M., & Allison, V. (2022). *Determinación de la huella hídrica de los productos agrícolas de arroz y papa en la comisión de regantes del distrito de Uraca, provincia de Castilla, departamento Arequipa*. Tesis.

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga- Perú