

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Efecto de tres dosis de usos consuntivos de agua en el
rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa* Willd. en
Ayacucho, 2024**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:
Bach. Ricky Rodny REGINALDO QUISPE

ASESOR:
Ing. Orlando Fidel SULCA CASTILLA

AYACUCHO - PERÚ

2026

La culminación de este trabajo representa no solo un esfuerzo académico, sino también el reflejo del apoyo incondicional y la guía de seres invaluable en mi vida. A ellos, mi más profunda gratitud:

A mi querido padre Roque, por sus sabios consejos y su infinita paciencia. Su esfuerzo y sacrificio han sido la base sobre la que he construido mis sueños. Y a mi amada madre María, quien, aunque ya no esté físicamente a mi lado, su recuerdo, su amor eterno y su espíritu luchador han sido y seguirán siendo mi mayor inspiración; este logro es también un tributo a su memoria.

También extendo mi sincero agradecimiento a mis familiares y amigos; sus palabras de ánimo, su escucha atenta y su presencia en los momentos de alegría y dificultad fueron fundamentales para mantener mi motivación. Gracias por creer en mí y por ser parte esencial de este viaje.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, institución que ha contribuido decisivamente en mi formación profesional, y de manera especial a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Agronomía, por los conocimientos y herramientas académicas brindados a lo largo de mi carrera.

Mi gratitud también va dirigida al Mtro. Jaime Villar Rodríguez y al Ing. Orlando F. Sulca Castilla, docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, quienes con dedicación y profesionalismo orientaron el planteamiento, desarrollo y conclusión del presente trabajo de investigación.

De igual manera, agradezco a la Ing. Leivi Tatiana Condori Ataupillco, especialista del Proyecto Suelos y Aguas, quien desempeñó un papel importante como co-asesora en la ejecución y culminación de este estudio.

Al ing. José Velásquez Mantari, ex director de la Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria, por haberme facilitado el acceso a las instalaciones necesarias para la realización de esta investigación.

Finalmente, al Dr. Richard Solorzano Acosta, coordinador del Proyecto Suelos y Aguas, y a los demás integrantes del equipo: ing. Susan M. Alarcón Romaní, ing. Fredy Flores Galindo e ing. Claudio Palomino Espinoza por compartir su experiencia y respaldar permanentemente el desarrollo de todas las actividades planteadas en este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
1.1. Antecedentes.....	15
1.1.1. Antecedentes internacionales	15
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	15
1.1.3. Antecedentes locales.....	16
1.2. Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	17
1.2.1. Clasificación taxonómica	17
1.2.2. Origen y distribución.....	17
1.2.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de quinua	18
1.2.4. Descripción botánica.....	20
1.2.5. Fenología del cultivo.....	21
1.3. Producción del cultivo de Quinua.....	22
1.3.1. Labores culturales	22
1.3.2. Cosecha, trilla, selección, envasado y almacenamiento	25
1.3.3. Rendimiento.....	26
1.4. Relación agua, suelo y planta.....	26
1.5. Necesidades netas del cultivo de quinua.....	27
1.5.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o).....	27
1.5.2. Coeficiente del cultivo (K _c)	28
1.5.3. Evapotranspiración (ET _c)	28
1.5.4. Uso consuntivo y volumen de riego.....	29
1.5.5. Precipitación efectiva	30
1.5.6. Volumen bruto de aplicación	30
1.5.7. Pluviometría	30
1.5.8. Frecuencia de riego.....	31
1.5.9. Tiempo de riego	31
1.6. Riego por goteo.....	31
1.6.1. Eficiencia de riego por goteo	33
1.6.2. Eficiencia de uso del agua (EUA)	33

1.7.	<i>Calidad de grano de quinua.....</i>	<i>34</i>
1.8.	<i>Métodos para identificación y cuantificación de Saponinas.....</i>	<i>34</i>
CAPÍTULO II.....		37
METODOLOGÍA		37
2.	<i>Ubicación</i>	<i>37</i>
2.1.	<i>Ubicación.....</i>	<i>37</i>
2.2.	<i>Análisis físico y químico del suelo.....</i>	<i>39</i>
2.3.	<i>Material biológico</i>	<i>39</i>
2.4.	<i>Materiales y equipos.....</i>	<i>40</i>
2.5.	<i>Condiciones climáticas</i>	<i>41</i>
2.6.	<i>Variables evaluadas.....</i>	<i>44</i>
2.6.1.	<i>Variables independientes</i>	<i>44</i>
2.6.2.	<i>Variables dependientes</i>	<i>44</i>
2.7.	<i>Descripción de los tratamientos.....</i>	<i>44</i>
2.8.	<i>Diseño experimental</i>	<i>45</i>
2.9.	<i>Descripción del campo experimental</i>	<i>45</i>
2.10.	<i>Proceso de instalación y conducción del experimento.....</i>	<i>47</i>
2.10.1.	<i>Limpieza de terreno</i>	<i>47</i>
2.10.2.	<i>Preparación de terreno.....</i>	<i>47</i>
2.10.3.	<i>Estacado y demarcación del terreno</i>	<i>47</i>
2.10.4.	<i>Siembra.....</i>	<i>47</i>
2.10.5.	<i>Riego.....</i>	<i>48</i>
2.10.6.	<i>Desahije o raleo de plantas</i>	<i>48</i>
2.10.7.	<i>Aporque y control de malezas.....</i>	<i>48</i>
2.10.8.	<i>Control fitosanitario</i>	<i>48</i>
2.10.9.	<i>Cosecha</i>	<i>49</i>
2.11.	<i>Parámetros evaluados</i>	<i>49</i>
2.11.1.	<i>Volumen de riego (m³)</i>	<i>49</i>
2.11.2.	<i>Rendimiento por hectárea (t/ha).....</i>	<i>49</i>
2.11.3.	<i>Rendimiento de panoja por planta (g).....</i>	<i>50</i>
2.11.4.	<i>Peso de mil semillas (g).....</i>	<i>50</i>
2.11.5.	<i>Peso fresco y seco de la raíz (g)</i>	<i>50</i>
2.11.6.	<i>Longitud de la raíz (cm)</i>	<i>50</i>
2.11.7.	<i>Peso fresco y seco de la planta (g)</i>	<i>50</i>
2.11.8.	<i>Altura de planta (cm).....</i>	<i>51</i>
2.11.9.	<i>Diámetro de tallo (mm)</i>	<i>51</i>
2.11.10.	<i>Longitud de panoja (cm).....</i>	<i>51</i>
2.11.11.	<i>Diámetro de panoja (g).....</i>	<i>51</i>
2.11.12.	<i>Dosel (%)</i>	<i>51</i>
2.11.13.	<i>Contenido de saponina (%)</i>	<i>51</i>

CAPÍTULO III.....	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1. Volumen de riego aplicado.....	53
3.2. Evaluación de rendimiento.....	54
3.2.1. Rendimiento por hectárea.....	54
3.2.2. Rendimiento por panoja por planta (g/planta).....	56
3.2.3. Peso de mil semillas	58
3.2.4. Longitud de panoja.....	60
3.2.5. Diámetro de panoja	62
3.3. Parámetros biométricos	64
3.3.1. Altura de planta.....	64
3.3.2. Peso fresco de la biomasa aérea	66
3.3.3. Peso seco de la biomasa aérea.....	68
3.3.4. Diámetro de tallo.....	70
3.3.5. Longitud de raíz.....	72
3.3.6. Peso fresco de la raíz.....	74
3.3.7. Peso seco de la raíz	76
3.3.8. Dosel.....	78
3.4. Evaluación de calidad de semilla	80
3.4.1. Contenido de saponina	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación taxonómica de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)</i>	17
Tabla 2. <i>Características físicas y químicas del suelo</i>	39
Tabla 3. <i>Balance hídrico correspondiente a los años 2023-2024, Estación Meteorológica INIA – Ayacucho</i>	42
Tabla 4. <i>Variables evaluadas</i>	44
Tabla 5. <i>Tratamientos aplicados</i>	44
Tabla 6. <i>Volumen de agua usado en cada etapa fenológica (mm)</i>	53
Tabla 7. <i>Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento de quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, INIA-Canaán 2735 msnm, Ayacucho</i>	55
Tabla 8. <i>Comparación de medias del rendimiento de quinua (t/ha) mediante la prueba de LSD, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en la localidad INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	55
Tabla 9. <i>Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en la localidad INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	56
Tabla 10. <i>Comparación de medias del rendimiento por panoja en quinua mediante la prueba de Tukey, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en la localidad INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	57
Tabla 11. <i>Análisis de varianza (ANOVA) del peso de mil semillas en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	58
Tabla 12. <i>Comparación de medias del peso de mil semillas (g) en quinua mediante la prueba de Tukey, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	58
Tabla 13. <i>Resultados del análisis no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis aplicada a la longitud de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	60
Tabla 14. <i>Comparación de medias de la longitud de panoja en quinua según prueba de post hoc, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de rangos no paramétrica, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	60
Tabla 15. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al diámetro de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	62
Tabla 16. <i>Comparación de medias del diámetro de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	62
Tabla 17. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a variables fenológicas del cultivo de quinua, correspondiente a la variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), ubicado en la región Ayacucho.</i>	64
Tabla 18. <i>Comparación de medias de la altura de planta en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	64

Tabla 19. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al peso fresco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	66
Tabla 20. Comparación de medias del peso fresco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante la prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	66
Tabla 21. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al peso seco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	68
Tabla 22. Comparación de medias del peso seco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante la prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	69
Tabla 23. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al diámetro de tallo en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en cinco etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	71
Tabla 24. Comparación de medias del diámetro de tallo en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante la prueba de Tukey, evaluada en cinco etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	71
Tabla 25. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la longitud de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	73
Tabla 26. Comparación de medias de la longitud de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	73
Tabla 27. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al peso fresco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	75
Tabla 28. Comparación de medias del peso fresco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	75
Tabla 29. Resumen de los métodos de análisis de varianza (ANOVA) y pruebas no paramétricas aplicado al peso seco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	77
Tabla 30. Comparación de medias del peso seco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	77
Tabla 31. Resumen de los métodos de análisis de varianza (ANOVA) y pruebas no paramétricas aplicado al porcentaje de cobertura de dosel (%dosel) en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	79
Tabla 32. Comparación de medias del porcentaje de cobertura de dosel (%dosel) en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.	79

Tabla 33. <i>Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al porcentaje de saponina en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	81
Tabla 34. <i>Comparación de medias del porcentaje de saponina en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.</i>	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Fenología del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)</i>	22
Figura 2. <i>Mapa de ubicación</i>	38
Figura 3. <i>Balance hídrico correspondiente a los años 2024-2025, de la Estación Meteorológica INIA – Ayacucho</i>	43
Figura 4. <i>Dimensiones de las parcelas experimentales</i>	46
Figura 5. <i>Rendimiento del cultivo de quinua según las dosis de uso consuntivo</i>	55
Figura 6. <i>Rendimiento de panoja por planta según las dosis de uso consuntivo</i>	57
Figura 7. <i>Peso de mil semillas según las dosis de uso consuntivo</i>	59
Figura 8. <i>Altura de panoja según las dosis de uso consuntivo</i>	61
Figura 9. <i>Diámetro de panoja según las dosis de uso consuntivo</i>	63
Figura 10. <i>Altura de planta por etapa fenológica</i>	65
Figura 11. <i>Peso fresco de planta por etapa fenológica</i>	67
Figura 12. <i>Peso seco de la planta por etapa fenológica</i>	69
Figura 13. <i>Diámetro de tallo por etapa fenológica</i>	71
Figura 14. <i>Longitud de raíz por etapa fenológica</i>	73
Figura 15. <i>Peso fresco de la raíz por etapa fenológica</i>	75
Figura 16. <i>Peso seco de la raíz por etapa fenológica</i>	77
Figura 17. <i>Variación del % Dosel por etapa fenológica</i>	79
Figura 18. <i>% de saponina según el volumen de uso consuntivo de riego</i>	81

RESUMEN

La presente investigación analizó la influencia de tres volúmenes de agua aplicados por riego por goteo (100 %, 75 % y 50 % del requerimiento hídrico) sobre el rendimiento, desarrollo biométrico y calidad del grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad INIA-441 "Señor del Huerto". El propósito fue identificar el volumen de agua (m³/ha) que permite un manejo sostenible y eficiente del recurso hídrico en la Estación Experimental Agraria Canaán del INIA, Ayacucho, durante la campaña iniciada el 24 de julio de 2024. El experimento se condujo bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres tratamientos y tres repeticiones. Los volúmenes al 75 % y 100 % del uso consuntivo produjeron rendimientos de 4,44 y 4,43 t/ha, superando estadísticamente al tratamiento del 50 %, que alcanzó 3,58 t/ha. La altura de planta fluctuó entre 166,06 y 241,49 cm, y el diámetro de tallo varió de 10,37 a 12,73 mm. La longitud de panoja mostró variaciones significativas, entre 26,40 y 44,70 cm. El peso de mil semillas osciló entre 1,53 y 2,39 g, siendo el volumen al 75 % el superior. El contenido de saponina no presentó diferencias significativas en los tratamientos. Se concluye que el 75 % del requerimiento hídrico es la alternativa más eficiente para el manejo del agua en quinua en Ayacucho, sosteniendo altos rendimientos y calidad con menor consumo hídrico.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa* Willd.; riego por goteo; déficit hídrico; uso consuntivo; rendimiento de grano; INIA-441.

ABSTRACT

This research analyzed the influence of three water volumes applied through drip irrigation (100%, 75%, and 50% of the water requirement) on yield, biometric development, and grain quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) variety INIA-441 "Señor del Huerto." The objective was to identify the water volume (m³/ha) that allows for sustainable and efficient water resource management at the Canaán Agricultural Experiment Station of INIA, Ayacucho, during the growing season that began on July 24, 2024. The experiment was conducted under a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three treatments and three replications. The volumes at 75% and 100% of consumptive use produced yields of 4.44 and 4.43 t/ha, statistically outperforming the 50% treatment, which reached 3.58 t/ha. Plant height ranged from 166.06 to 241.49 cm, and stem diameter varied from 10.37 to 12.73 mm. Panicle length showed statistically significant variation, ranging from 26.40 to 44.70 cm. Thousand-seed weight ranged from 1.53 to 2.39 g, with the 75% volume being statistically superior. Saponin content showed no significant differences among treatments. It is concluded that 75% of the water requirement represents the most efficient alternative for water management in quinoa cultivation in Ayacucho, sustaining high yields and quality with lower water consumption.

Keywords: *Chenopodium quinoa* Willd.; drip irrigation; water deficit; consumptive use; grain yield; INIA-441.

INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria y la economía de las zonas altoandinas del Perú, especialmente en Ayacucho, donde representa una fuente principal de ingreso para los agricultores. En los últimos años, la producción nacional ha disminuido significativamente, pasando de 114,239 toneladas en 2022 a cerca de 72,480 toneladas en 2023. Esta reducción del 38% se atribuye principalmente a condiciones climáticas adversas y a la escasez hídrica que afectó a la sierra peruana, generando retrasos en las campañas y una reducción de la superficie cultivada (MIDAGRI, 2023). Ante este escenario, es urgente implementar tecnologías de riego que maximicen el rendimiento mediante un uso racional y cuantificable del agua.

El riego por goteo surge como una alternativa clave para mejorar la productividad en condiciones de estrés hídrico. Estudios previos han demostrado que el manejo adecuado del agua influye significativamente en el crecimiento y calidad del grano (Villafuerte, 2018; Mori, 2015). Sin embargo, persiste la necesidad de transitar de una gestión basada en láminas empíricas hacia la determinación de volúmenes precisos de uso consuntivo (m^3/ha) en zonas semiáridas como Ayacucho, donde la disponibilidad del recurso es cada vez más limitada.

Este estudio evalúa el efecto de tres volúmenes de uso consuntivo de agua (basados en el 100%, 75% y 50% del requerimiento hídrico) en el crecimiento, rendimiento y contenido de saponina de la quinua variedad INIA-441 "Señor del Huerto", bajo las condiciones edafoclimáticas de la Estación Canaán. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar, con un control volumétrico del riego, midiendo variables biométricas (altura de planta, diámetro de tallo), componentes de rendimiento (peso de grano, peso de mil semillas) y calidad industrial (saponina).

Los resultados permitirán generar recomendaciones técnicas basadas en evidencia para:

- Optimizar el volumen de agua (m^3/ha) aplicado en zonas con escasez hídrica.
- Mantener rendimientos competitivos con un menor consumo hídrico real.
- Fortalecer la resiliencia de los agricultores ante el cambio climático.

La investigación cobra especial relevancia ante la crisis hídrica actual, donde los productores de Ayacucho reportan retrasos en las siembras (Medina, 2023). Al generar datos locales sobre el uso consuntivo volumétrico, este estudio busca articular la ciencia agrícola con las necesidades del campo para garantizar la sostenibilidad de este cultivo

ancestral.

Objetivo general

Evaluar el efecto de tres dosis de uso consuntivo de agua (50 %, 75 % y 100 % de la evapotranspiración del cultivo) en el rendimiento en grano, la eficiencia de uso del agua, el desarrollo biométrico y el contenido de saponina de la quinua variedad INIA 441 - Señor del Huerto, bajo las condiciones edafoclimáticas de Ayacucho.

Objetivos específicos

- a. Determinar el rendimiento del cultivo y la Eficiencia de Uso del Agua (EUA) bajo tres dosis de uso consuntivo de agua (m^3/ha) aplicadas mediante riego por goteo.
- b. Analizar la respuesta biométrica del cultivo en cada etapa fenológica según los volúmenes de agua aplicados mediante riego por goteo.
- c. Determinar el contenido de saponina en el grano de quinua en función de los volúmenes de uso consuntivo de agua.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. *Antecedentes internacionales*

Fehire et al. (2015) analizaron cómo reacciona la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) cuando se le aplican distintas formas de manejo del agua, combinando pruebas en campo con simulaciones computacionales usando el modelo SALTMED. Sus hallazgos indicaron que este cultivo es bastante vulnerable cuando el agua escasea, ya que la producción de grano cae de manera considerable en situaciones de déficit hídrico. A pesar de ello, el modelo SALTMED resultó ser una herramienta confiable para representar el comportamiento de la quinua en escenarios con diferentes niveles de disponibilidad de agua.

Por su parte, Caballero M. A. R. (2015) estudió cómo se mueve el nitrógeno entre el suelo y la planta en la quinua, tanto en parcelas irrigadas como en las que dependen de la lluvia. Se observó que al añadir nitrógeno al suelo se generaron variaciones en el pH y en la conductividad eléctrica, además de que la cantidad aplicada tuvo influencia directa en el momento en que la planta comenzó a florecer. La mayor cosecha se logró aplicando 120 kg de N por hectárea junto con riego. En cuanto al aprovechamiento del nitrógeno, fue de 33,64 kg/kg en condiciones de riego y de 28,13 kg/kg en seco. Desde el punto de vista económico, la combinación de 120 kg N/ha con riego resultó ser la más rentable.

1.1.2. *Antecedentes nacionales.*

Mori (2015) investigó de qué manera distintas cantidades de agua aplicadas por goteo afectan el desarrollo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en instalaciones del INIA. Los datos recogidos demostraron que incrementar el volumen de riego se traduce en mejores rendimientos, siendo el tratamiento L5 el que produjo la mayor cosecha con 4,53 t/ha, mientras que el tratamiento D1 fue el de menor productividad con 3,32 t/ha. Además, se registraron cambios positivos en el tamaño de la planta, el grosor del tallo y las dimensiones de la panoja, aunque sin diferencias notables en las raíces ni en el contenido de saponina.

Villafuerte A. F. J. (2018) comparó cuatro variedades de quinua sometidas a tres regímenes de riego distintos, evaluando su crecimiento, rendimiento y calidad de grano. El régimen R1, con una lámina de 4,800 m³/ha, superó en rendimiento a los tratamientos R2 y R3. Entre las variedades, La Molina 89 fue la que mostró los mejores resultados. La relación entre la cantidad de agua y la variedad utilizada resultó relevante en varios aspectos agronómicos medidos.

Dioses F. F. N. & Zapata S. R. E. (2017) evaluaron el riego por goteo convencional frente al intermitente en quinua cultivada en Tauripampa, Lima. El sistema intermitente alcanzó 62,75 t/ha, superando las 57,16 t/ha del convencional, ambos por encima del promedio nacional de 40 t/ha. Adicionalmente, el goteo intermitente consumió un 60% menos de agua que el riego por gravedad.

Vargas F. G. (2022) evaluó tres frecuencias de riego por goteo (1, 3 y 5 días) en quinua cultivada en el Centro Agronómico K'ayra-San Jerónimo, Cusco. Los mejores rendimientos se obtuvieron con frecuencias de 3 y 5 días, alcanzando 40,57 g/planta y 38,80 g/planta respectivamente, frente a los 26,33 g/planta de la frecuencia diaria. La eficiencia del uso del agua fue de 1,75 kg de grano por cada m³ cuando se regó cada tres días.

Burin D. Y. (2016) estudió cuatro variedades de quinua (415-PASANKALLA, ALTIPLANO-INIA, SALCEDO-INIA y KANCOLLA) bajo tres láminas de riego programadas. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticas entre variedades según el régimen de riego aplicado, destacando la variedad ALTIPLANO con el mayor rendimiento comercial, llegando a 2,532 kg/ha.

1.1.3. Antecedentes locales

Urbano, (2019) examinó el efecto del ácido húmico en el rendimiento de quinua negra (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo fertirriego por goteo en Canaán, Ayacucho, en un área de 1884 m². Se probaron cinco dosis distintas (0, 25, 50, 75 y 100 kg/ha), y los resultados mostraron que la dosis más alta fue la más efectiva, produciendo 7992,67 kg/ha, en tanto que el testigo sin aplicación registró la producción más baja con 5085,67 kg/ha.

1.2. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

1.2.1. Clasificación taxonómica

Según Mujica (1993) clasifica a la Quinoa de la siguiente manera:

Tabla 1

*Clasificación taxonómica de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)*

Taxonomía de la Quinoa	
Reino	Vegetal
División	Fanerógamas
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Angiosperma
Orden	Centrospermas
Familia	Amarantácea
Subfamilia	Chenopodiodeae
Género	<i>Chenopodium</i>
Sección	Chenopodia
Subsección	Cellulata
Especie	<i>Chenopodium Quinoa</i> Willd.

1.2.2. Origen y distribución

La región andina es reconocida como uno de los principales centros donde se originó la domesticación de plantas cultivadas a nivel mundial, siendo cuna de sistemas agrícolas altamente sostenibles y con una extraordinaria riqueza genética. La quinoa, como especie nativa de los Andes, presenta una distribución muy amplia en cuanto a formas, genotipos y variedades silvestres, concentrándose principalmente en las zonas cercanas al lago Titicaca, tanto en territorio peruano como boliviano, con mayor presencia entre Potosí, Bolivia y la región cusqueña de Sicuani, en Perú (Mujica et al., 2001).

Sobre su historia, las evidencias arqueológicas, lingüísticas y etnográficas aún son escasas; sin embargo, los estudios botánicos y genéticos sugieren que su proceso de domesticación fue largo y gradual. Se cree que su uso comenzó aprovechando las hojas como alimento y luego se extendió hacia las semillas. Hoy en día, tanto la planta cultivada como sus parientes silvestres siguen siendo utilizados en comunidades andinas como el jataco o llipcha. Con el tiempo, la especie logró adaptarse a una enorme variedad de condiciones ambientales y culturales, pudiendo desarrollarse

desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm y siendo aprovechada de distintas maneras según las tradiciones alimentarias de cada comunidad étnica (Mujica et al., 2001).

1.2.3. *Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de quinua*

Las condiciones climáticas y del suelo ejercen una influencia significativa en la producción y productividad de la quinua. Entre los factores climáticos que afectan el cultivo se incluyen la altitud, precipitación, temperatura, latitud, vientos e iluminación. Dado que la quinua se cultiva en zonas marginales de los Andes altos, se enfrenta a riesgos ambientales considerables, como heladas, sequías prolongadas, granizo, vientos fuertes y suelos pobres y ácidos. (León, 2003).

Clima. La quinua es un cultivo notablemente versátil desde el punto de vista climático. Gracias a su alta variabilidad genética, puede desarrollarse en ambientes tan distintos como zonas desérticas, áridas, frías y húmedas, incluyendo valles interandinos, altiplanos, zonas de ceja de selva y áreas cordilleranas de gran altitud (Mujica et al., 2001).

Respecto a las temperaturas óptimas, aún no existe un consenso definitivo, aunque los investigadores coinciden en que el rango de 15 a 20°C es el más favorable. Se ha comprobado que con temperaturas de 10°C el cultivo se desarrolla sin problemas, y que también tolera temperaturas medias y altas de hasta 25°C, así como extremos de -1°C a 38°C, aunque en estos casos pueden producirse abortos de flores y daños en los órganos reproductivos (Mujica et al., 2001).

Temperatura: El cultivo se adapta bien entre 15 y 20°C, aunque soporta condiciones más extremas. Las heladas y el calor excesivo pueden afectar la floración y la formación del grano. Las etapas más delicadas frente a las bajas temperaturas son la ramificación y el llenado de granos, pudiendo resistir hasta -5°C en Bolivia (Mujica, 1997)

Sequías: La quinua puede tolerar períodos prolongados de sequía de hasta 60 días, salvo durante la germinación hasta que aparecen cuatro hojas verdaderas y la floración, etapas en las que el agua es indispensable.

Humedad: Un exceso de humedad resulta perjudicial principalmente durante la floración, ya que el polen pierde viabilidad, y también durante el grano pastoso, la

madurez fisiológica y la cosecha, esta última debido al encarecimiento del secado. A lo largo de todo el ciclo, el exceso de humedad combinado con altas temperaturas favorece la aparición de hongos.

Radiación: La quinua tolera bien las altas radiaciones propias de las zonas altoandinas, las cuales además contribuyen a compensar las horas de calor necesarias para su desarrollo vegetativo y productivo. Las zonas con mayor exposición solar son las más recomendables para este cultivo por su efecto en la fotosíntesis (Mujica et al., 2001).

Fotoperiodo: Gracias a su amplia base genética, la quinua cuenta con variedades adaptadas a días cortos, largos e incluso a condiciones de luz indiferente. En los Andes de Sudamérica prospera bien con 12 horas diarias de luz, mientras que en zonas del hemisferio norte y sur con hasta 14 horas de luz también se desarrolla correctamente. En latitudes de 15° sur, zona de alta producción, el promedio es de 12,19 horas diarias, sumando 146,3 horas al año (Mujica, 1993).

Agua: A pesar de ser una planta C3, la quinua cuenta con mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten sobrevivir con escasa humedad en el suelo. Puede producir de forma aceptable con precipitaciones mínimas de entre 200 y 250 mm anuales (Mujica, 1993).

Altitud: Este cultivo se desarrolla desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 4,000 metros de altitud. Las quinuas sembradas a baja altitud tienden a alargar su etapa vegetativa por efecto de la mayor humedad, a diferencia de las cultivadas en zonas andinas. El mayor potencial productivo se alcanza a nivel del mar, con rendimientos de hasta 6,000 kg/ha cuando se cuenta con riego y fertilización adecuada (Mujica, 1993).

Suelo: La quinua prefiere suelos francos, franco-arenosos y franco-arcillosos, con pendientes moderadas y buen contenido de materia orgánica. Requiere niveles adecuados de nitrógeno y calcio, con demandas moderadas de fósforo y bajas de potasio. También puede adaptarse a suelos con características variables, siempre que cuente con los nutrientes necesarios y no sufra encharcamiento, ya que es muy sensible al exceso de humedad en sus primeras etapas (Mujica, 1993).

pH: El pH ideal para la quinua está cerca del neutro, aunque puede tolerar suelos

alcalinos de hasta 9 y ácidos de hasta 4,5 según la variedad. El rango óptimo se sitúa entre 6,5 y 8,0. Investigaciones recientes han mostrado que puede germinar en suelos con pH entre 4,5 y 9,0, aunque en condiciones extremas de salinidad la germinación puede retrasarse hasta 25 días (León, 2003).

1.2.4. Descripción botánica

La quinua es una planta herbácea anual, dicotiledónea de amplia dispersión geográfica, con características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva. Presenta enorme variación y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y se cultiva desde el nivel del mar hasta 4000 msnm, muy tolerante a factores climáticos adversos como sequía, heladas, salinidad de suelos entre otros que afectan al cultivo. Su periodo vegetativo varía desde 90 hasta 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 280 mm anuales, en la zona de los salares hasta 1000 ml anuales en el sur de Chile, se adapta a suelos ácidos de pH 4,5, hasta alcalinos con pH de 9,0. Asimismo prospera en suelos arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas, desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillo, anaranjado granate y demás gamas que se puedan diferenciar.

Planta: De porte erguido, su altura varía entre 0,60 y 3,00 m según el tipo de quinua, el genotipo, la fertilidad del suelo y las condiciones del entorno donde crece.

Raíz: El sistema subterráneo es el encargado del anclaje y de la exploración hídrica y nutricional. La quinua presenta una raíz de tipo pivotante, caracterizada por un eje central dominante del cual se desprenden ramificaciones primarias, secundarias y terciarias, alcanzando profundidades considerables según las condiciones de humedad del perfil edáfico (Gómez y Aguilar, 2016; Mujica, 1993).

Tallo: El tallo principal funciona como soporte mecánico de la inflorescencia y vía de transporte de asimilados. Este órgano es de porte erecto, mostrando una geometría cilíndrica en la base que transiciona hacia una forma angulosa en la sección superior, además de exhibir estrías y coloraciones variables según el genotipo o variedad cultivada (Gómez y Aguilar, 2016).

Hojas: Las hojas son alternas y polimórficas, formadas por pecíolo y lámina, con formas que varían entre romboides y deltoides. (Mujica et al., 2001); citado por Mamani, 2011).

Inflorescencia y flores: La inflorescencia típica de la quinua se clasifica morfológicamente como una panoja, la cual está constituida por un eje principal del que emergen ramificaciones secundarias y terciarias que agrupan a los denominados glomérulos florales (Gómez y Aguilar, 2016). Las dimensiones de la panoja exhiben una alta variabilidad genética, registrando longitudes oscilantes entre los 15 y 70 cm, con un hábito de disposición fenotípica que puede ser erecto o decumbente, y coloraciones que van desde tonalidades amarillas hasta púrpuras intensas en su madurez fisiológica (Estrada-Zúñiga et al., 2022).

Con respecto a las unidades reproductivas, las flores se caracterizan por ser morfológicamente incompletas debido a la ausencia total de pétalos (apétalas), una condición taxonómica altamente conservada y representativa dentro de la familia de las amarantáceas anteriormente clasificadas como quenopodiáceas (Gómez y Aguilar, 2016).

Fruto: El fruto de la quinua es un aquenio que puede presentar formas lenticulares, elipsoidales, cónicas o esferoidales. Está protegido por el perigonio, el cual se desprende al madurar. Sus principales estructuras son el pericarpio, donde se concentra la saponina, la episperma que recubre la semilla y el perisperma, principal tejido de reserva rico en almidón. La semilla está formada por cotiledones y radícula, mientras que el perisperma ocupa aproximadamente el 60 % de su superficie.

Perisperma: Principal tejido de almacenamiento de la semilla, rico en almidón y responsable de cerca del 60 % de su superficie.

1.2.5. Fenología del cultivo

La fenología analiza las distintas etapas de desarrollo que experimentan las plantas durante su ciclo de vida y la influencia que ejercen factores ambientales como la temperatura, la luz, la humedad y las condiciones del suelo. Su estudio permite identificar los cambios morfológicos observables y establecer la duración de cada fase fenológica del cultivo (Mujica, 2006)

Figura 1*Fenología del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*

Nº	Fase Fenológica	Descripción
1	Emergencia	Se observan las hojas cotiledonales, esto ocurre a los 6 a 8 dds.
2	Formación de dos hojas verdaderas	Fuera de las hojas cotiledonales, aparecen dos hojas verdaderas, ocurre a los 8 a 12 dds.
3	Formación de cuatro hojas verdaderas	Se observan las hojas verdaderas, ocurre a los 15 a 20 dds.
4	Formación de seis hojas verdaderas	Hojas extendidas, protección al ápice vegetativo, ocurre a los 25 a 35 dds.
5	Ramificación	Ocho hojas verdaderas, ocurre entre los 35 a 40 dds.
6	Aparición de la panoja	Se observa que va emergiendo del ápice de la planta, alrededor de la aglomeración de hojas pequeñas que cubren la panoja (40 a 50 dds).
7	Panojamiento	La inflorescencia sobresale del con claridad por encima de las hojas y se observa los glomerulos que lo conforman y en su base los botones florales, ocurre de 50 a 60 dds
8	Inicio del Grano	Ocurre a los 60 a 65 dds, en esta fase es bastante sensible a la falta de agua
9	Floración	Cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas. Ocurre entre los 70 a 75 dds.
10,11	Grano Lechoso, Grano Pastoso	Ocurre entre los 80 a 105 dds, los granos al ser presionados dejan salir un líquido lechoso y pastoso
11	Grano Dentado	Estado en el cual el grano formado es presionado con los dedos y se hunde, ocurre entre los 105 a 109 dds.
12	Madurez Fisiológica	Es cuando el grano formado es presionado por las uñas y presenta resistencia a la penetración, aproximadamente ocurre a los 109 a 120 dds, el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%.

Fuente: INIA (2013)

1.3. Producción del cultivo de Quinua

1.3.1. Labores culturales

Son aquellas consideradas de uso común dentro del ciclo productivo de la quinua, son todo tipo de labores que permiten la óptima germinación, plantación o sembrado, desarrollo y cosecha del producto final de la misma, tanto, así como la preparación de este para su comercialización.

Preparación de suelo: Para asegurar un óptimo establecimiento del cultivo, el acondicionamiento del terreno debe responder a las condiciones previas del lote. En este sentido, Gómez y Aguilar (2016) señalan que, si en la campaña agrícola anterior se cultivó un tubérculo como la papa, suele ser suficiente con una pasada de arado de disco. En terrenos con escasa presencia de terrones, malezas y plagas, basta con pasar la rastra para luego proceder con la nivelación y el surcado.

Por otro lado, si el terreno presenta rastros, se recomienda realizar la remoción

con anticipación preferiblemente entre los meses de mayo y julio, una práctica agronómica clave que permite exponer a la radiación solar tanto las semillas de malezas como las larvas de plagas subterráneas, reduciendo su incidencia biológica (Mujica, 1993). En el caso de suelos compactados o con excesiva formación de terrones, es indispensable una segunda pasada de disco antes de la rastra, procurando que la dirección del arado sea perpendicular u opuesta a la del surco de la siembra anterior para romper adecuadamente la estructura del suelo (León, 2003).

Rotación de cultivos: El establecimiento de secuencias ordenadas de siembra es una estrategia fundamental para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas andinos y costeños. Al respecto, Mujica et al. (2001) proponen que, para las condiciones del altiplano y zonas altoandinas, la secuencia de rotación más adecuada técnicamente es papa-quinua-habas o tarwi-cebada o avena-forrajes cultivados. Interrumpir el monocultivo de la quinua mediante estos esquemas es clave para preservar las propiedades fisicoquímicas del suelo, interrumpir los ciclos biológicos de fitopatógenos y reducir significativamente la presión de plagas y enfermedades comunes en la región.

Por otro lado, en los sistemas agrícolas desarrollados en las zonas costeras, la secuencia recomendada se reconfigura bajo el esquema de papa-quinua-maíz o trigo-hortalizas-alfalfa, adaptándose a las condiciones termo-fotoperiódicas particulares de la región litoral (Mujica et al., 2001).

Siembra: Mujica et al., (2001), indican que la quinua puede sembrarse en cualquier época del año, aunque en invierno el crecimiento se ralentiza y la producción disminuye. Para siembra directa se utilizan 10 kg de semilla de semilleros básicos o garantizados. La siembra al voleo presenta inconvenientes como el mayor consumo de semilla y la falta de uniformidad en la germinación, por lo que se recomienda hacerla en surcos separados entre 0,40 y 0,80 m según la variedad.

Abonamiento: Olazabal (2019) destaca que los nutrientes más importantes para la quinua son el nitrógeno, el calcio, el fósforo y el potasio. En zonas andinas donde se siembra después de la papa, el contenido de materia orgánica y la descomposición del estiércol favorecen el cultivo. Sin embargo, cuando se siembra después de gramíneas como maíz, trigo, cebada o avena, además de materia orgánica se requiere fertilización química.

Deshierbos: Lescano (1981) recomienda realizar dos deshierbos: el primero cuando las plantas alcancen 15 cm o hayan pasado 30 días desde la emergencia, y el segundo ante de la floración o a los 90 días desde la siembra.

Aporques: Dentro de las labores de mantenimiento del cultivo, los aporques representan una práctica agronómica estrictamente necesaria para asegurar el anclaje de las plantas, especialmente en los ecosistemas de valles interandinos. De acuerdo con Gómez y Aguilar (2016), esta labor evita el volteo o tumbado (encamado) ocasionado por la acción de los vientos predominantes en la región.

Asimismo, al acumular tierra alrededor de la base de la planta, se fortalece la estructura de los tallos y se estimula un mayor desarrollo del sistema radicular. León (2003) destaca que la ejecución oportuna del aporque es fundamental, siendo indispensable que se realice antes del inicio de la etapa de floración, momento en el cual la inflorescencia comienza a ganar biomasa y demanda un mayor soporte mecánico.

Riego: Olazabal (2019) señala que estudios realizados con el método Blaney-Criddle en el altiplano peruano determinaron que la quinua requiere 285 mm en 150 días, con una dotación de riego de 569 mm al 50% de eficiencia, o 304 mm usando lisímetros con un coeficiente "K" promedio de 0,5.

El cultivo en la región andina se realiza con precipitaciones de entre 200 mm (salares de Bolivia) y 1000 mm (Concepción, Chile). En costa, bajo riego, el cultivo necesita entre 5000 y 10000 m³/ha por gravedad, o entre 3500 y 7500 m³/ha por goteo. La cantidad de agua varía según el clima, el tipo de suelo, la variedad y el sistema de riego (Huanca & Rojas, 2020).

Plagas y enfermedades: La quinua puede ser afectada por diversos insectos a lo largo de todo su ciclo, desde la emergencia hasta la madurez, y en algunos casos el daño continúa en el almacenamiento (Mujica, 1998). El control debe ser oportuno y proporcional al nivel de daño, aplicándose de forma preventiva. En la costa, las plagas más frecuentes son la qhona-qhona y los pulgones, y entre las enfermedades destaca el mildiu.

Rendimiento: Mujica (1983) estima que el rendimiento potencial del grano es de 11 t/ha, aunque en condiciones comerciales óptimas ronda las 6 t/ha. Con buenas prácticas agrícolas, fertilización adecuada y humedad favorable, se pueden obtener

entre 3,5 t/ha. El promedio nacional en Perú es de 1,1 t/ha (Gómez, 2013), siendo la región costera la de mayor rendimiento con 4 t/ha. En los valles de Majes y del río Rímac (INIA-Lima) se alcanzan entre 6 y 4 t/ha respectivamente. En Bolivia, Ecuador y Chile los promedios son de 0,6 t/ha, 1,57 t/ha y 0,8 t/ha.

Los rendimientos varían según la capacidad genética de la variedad, la fertilización especialmente nitrogenada y fosfórica y los cuidados culturales y fitosanitarios durante el ciclo. (Mujica et al., 2001).

1.3.2. Cosecha, trilla, selección, envasado y almacenamiento

Siega: (Mujica et al., 2001), indican que se realiza cuando la planta ha alcanzado la madurez fisiológica. El grano cae con mayor facilidad cuando las plantas están completamente secas por exposición solar. Tradicionalmente se hacía el arranque junto con las raíces, lo que provocaba mezcla del grano con tierra.

Emparvado: Según (Mujica et al., 2001), una vez segadas las plantas, es necesario que pierdan humedad antes de la trilla, por lo que se forman arcos o montículos con las panojas. Las plantas permanecen en la parva entre 7 y 15 días hasta alcanzar la humedad adecuada. Con trilladoras estacionarias las panojas deben estar completamente secas; con trilladoras combinadas no es necesario el emparvado

Trilla: También llamada golpeo o garroteo, consiste en extender las panojas secas sobre mantas. En algunos lugares se apisona un terreno plano con arcilla formando eras, y luego se golpean las panojas colocadas en el suelo de forma ordenada, panoja con panoja, con golpes rítmicos que desprenden el grano de la inflorescencia (Mujica et al., 2001).

Aventado y limpieza del grano: Esta labor consiste en separar el grano de la broza hojas, pedicelos, perigonio, inflorescencias y ramitas pequeñas aprovechando las corrientes de aire, dejando el grano completamente limpio (Mujica et al., 2001).

Secado del grano: Es necesario reducir la humedad del grano hasta niveles comerciales para poder almacenarlo, ya que al momento de la trilla contiene entre 12 y 15% de humedad (Mujica et al., 2001).

Selección del grano: Una vez seco, el grano se clasifica por tamaño grande, mediano y pequeño eliminando los granos inmaduros que ya fueron separados durante el aventado (Mujica et al., 2001).

Almacenamiento: Tras la clasificación, el grano debe guardarse en lugares frescos y secos, en envases apropiados y preferiblemente en silos metálicos (Mujica et al., 2001).

1.3.3. Rendimiento

Gandarillas y Tapia (1976) señalan que el rendimiento está determinado por el nivel de fertilización, los abonos químicos empleados, la época de siembra, la variedad utilizada, el manejo fitosanitario y los factores climáticos adversos como heladas y granizadas. En condiciones experimentales pueden superarse los 3000 kg/ha, siendo el promedio comercial de aproximadamente 1500 kg/ha.

La FAO (1998) reporta que los rendimientos varían entre 650 kg/ha en semilleros y campos experimentales con tecnología tradicional, hasta 3500 kg/ha en condiciones experimentales, dependiendo del uso de semillas mejoradas, la fertilización y los cuidados culturales aplicados.

El rendimiento potencial de grano de la quinua puede alcanzar 11 t/ha, aunque en condiciones óptimas de campo la producción más alta registrada ronda las 6 t/ha. En condiciones comerciales adecuadas se obtienen entre 3,5 t/ha. El promedio nacional en el Perú es de 1,1 t/ha (Gómez, 2013), con el mayor rendimiento en la región costa alcanzando 4 t/ha. En los valles de Majes y del río Rímac se reportan entre 6 y 4 t/ha respectivamente, mientras que en los principales países productores como Bolivia, Ecuador y Chile los promedios son de 0,6, 1,57 y 0,8 t/ha respectivamente. Los rendimientos varían según la capacidad genética de cada variedad, la fertilización nitrogenada y fosfórica, las labores culturales y el manejo fitosanitario durante el ciclo del cultivo (Mujica et al., 2001).

1.4. Relación agua, suelo y planta

Todos los procesos fisiológicos de las plantas están condicionados, de manera

directa o indirecta, por la disponibilidad de agua en el suelo. La producción agrícola depende en gran medida de las funciones vitales de los vegetales, las cuales a su vez están sujetas a factores externos como el agua.

Las necesidades hídricas de una planta están determinadas principalmente por sus propias características, la fertilidad del suelo y las condiciones climáticas del lugar humedad, radiación, temperatura y horas de sol. Además, el agua actúa como disolvente esencial que facilita la absorción de nitrógeno y minerales (Mori, 2015).

Un déficit hídrico severo durante el período vegetativo suele frenar el crecimiento de las plantas y generar un desarrollo irregular (Doorembos y Kassam, 1979).

El agua también tiene influencia sobre prácticamente todos los factores que regulan el crecimiento estructura, textura, aireación, salinidad, temperatura, hábitos radicales y humedad del suelo, así como sobre el microclima que rodea a la planta y el equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo.

1.5. Necesidades netas del cultivo de quinua

1.5.1. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia (ET_o) es un indicador utilizado para estimar la demanda hídrica atmosférica de un lugar determinado. Su valor depende exclusivamente de las condiciones climáticas y se calcula a partir de información meteorológica. Este parámetro se define sobre una superficie de referencia cubierta por vegetación uniforme, con adecuado suministro de agua y sin limitaciones para el proceso de evapotranspiración

La mayor parte del agua absorbida por la planta se pierde a través de la evapotranspiración, incorporándose solo entre el 0,1 y el 1% a los tejidos vegetales agua de constitución. Por ello, desde un punto de vista práctico, las necesidades hídricas del cultivo se equiparan a las de evapotranspiración (Fuentes, 1998).

La radiación, la temperatura, la humedad y el viento influyen de forma combinada sobre la cantidad de agua evaporada desde una superficie libre, y estos mismos factores climáticos actúan de manera similar sobre la ET_o.

La fórmula de Penman-Monteith para el cálculo de ET_o es:

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)} \dots \dots \dots Ec(5)$$

Donde:

- ET₀** = Evapotranspiración de referencia (mm/día)
- R_n** = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m²/día)
- G** = Flujo de calor en el suelo (MJ/m²/día) (generalmente pequeño y se puede considerar cero en algunos casos)
- T** = Temperatura media del aire a 2 metros de altura (°C)
- u₂** = Velocidad del viento a 2 metros de altura (m/s)
- e_s** = Presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a** = Presión de vapor real (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)

1.5.2. Coeficiente del cultivo (Kc)

El coeficiente de cultivo (Kc) es un coeficiente adimensional que relaciona la evapotranspiración del cultivo con la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET₀) y representa la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas de crecimiento vegetativo y de rendimiento. Los coeficientes de cultivo varían con el desarrollo vegetativo de la planta, clima y sistema de riego. El valor de coeficiente de cultivo (Kc) depende de las características de la planta y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su periodo vegetativo.

1.5.3. Evapotranspiración (ETc)

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ET_c y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas reinantes.

El rendimiento de un cultivo es máximo cuando la transpiración es máxima y esto

ocurre cuando el cultivo se desarrolla en las mejores condiciones posibles, entonces la evapotranspiración de cultivo coincide con la evapotranspiración máxima.

Para determinar la evapotranspiración de un cultivo se utiliza el método FAO propuesto por (Doorembos & Kassam, 1979) en el que la evapotranspiración del cultivo se calcula mediante la relación:

$$ET_c = ET_o \times Kc \dots \dots \dots Ec(2)$$

Donde:

ET_c = evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (mm/d)

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d)

K_c = coeficiente del cultivo (adimensional)

1.5.4. Uso consuntivo y volumen de riego

El uso consuntivo representa la cantidad total de agua requerida por el cultivo para satisfacer sus necesidades de evapotranspiración y procesos metabólicos (Allen et al., 2006). Técnicamente, se define como la relación entre el volumen de agua (L3) y la unidad de área (L2) donde se aplica, expresándose finalmente como un volumen total por unidad de superficie (m³/ha)

Para fines de programación en campo, este valor se deriva de la lámina de riego (L_r), cuyo cálculo está determinado por:

$$Lr = \frac{ET_c}{Efr} = \frac{ET_o * Kc}{Efr} \dots \dots \dots Ec(3)$$

Donde

ET_c = evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (mm)

L_r = lámina de riego (mm)

K_c = coeficiente del cultivo

E_{fr} = eficiencia de riego (tomada de la eficiencia de aplicación)

Para la presente investigación, y siguiendo las recomendaciones de una gestión

hídrica precisa, la lámina obtenida (mm) se transforma en volumen de uso consuntivo (V) mediante la siguiente relación:

$$V (m^3/ha) = Lr (mm) * 10$$

1.5.5. Precipitación efectiva

No toda el agua de lluvia llega a ser aprovechada por las plantas, ya que una parte se pierde por intercepción del follaje, percolación profunda, evaporación y escorrentía superficial. La precipitación efectiva representa precisamente esa fracción útil que sí está disponible para el cultivo, y se estima con las siguientes ecuaciones:

$$P_{ef} = 0.6 * P - 10 \text{ cuando } P_{month} \leq 70mm \dots \dots \dots Ec(4)$$

$$P_{ef} = 0.8 * P - 24 \text{ cuando } P_{month} > 70mm \dots \dots \dots Ec(5)$$

1.5.6. Volumen bruto de aplicación

Fuentes (1998) señala que cada sistema de riego presenta una eficiencia característica. A partir de la demanda hídrica neta determinada por la evapotranspiración del cultivo y la eficiencia del sistema en porcentaje, se obtiene la lámina de riego bruta (LB) en mm, mediante la siguiente expresión:

$$LB = \frac{ET_c(mm/día) - p_{ef}}{eficiencia} \dots \dots \dots Ec(6)$$

Donde:

LB = Lámina Bruta (mm/día)

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

P_{ef} = precipitación efectiva

1.5.7. Pluviometría

$$iPP = \frac{N^{\circ} \text{ laterales} * Qe(\frac{L}{H})}{DEH(m) * DEE(m)} \dots \dots \dots Ec(7)$$

Donde

iPP = Pluviometría (L/H.m²)

- Qe** = Caudal de emisor (L/H)
DEH = Distribución entre hileras (m)
DEE = Distribución entre emisores (m)

1.5.8. Frecuencia de riego

La frecuencia de riego está orientada a cubrir las necesidades máximas de agua del cultivo. Vermeiren y Jobling (1986), citados por la Junta de Andalucía (2015), indican que los suelos de textura gruesa, al tener alta permeabilidad y poca retención de agua, requieren aplicaciones pequeñas y frecuentes para evitar pérdidas por percolación. En períodos de alta evapotranspiración, aumentar la frecuencia de riego ayuda a mantener una baja tensión hídrica en el suelo.

$$FR = \frac{LB(mm)}{ET_c(mm/dia)} \dots \dots \dots Ec(8)$$

Donde

- FR** = Frecuencia de riego (día)
LB = Lámina bruta (mm)

1.5.9. Tiempo de riego

Es el tiempo expresado en horas o minutos, mediante el cual el sistema de riego oferta a través de sus emisores, el volumen por unidad de área requerida para satisfacer las necesidades totales de agua del cultivo. El tiempo de riego será:

$$TR = \frac{LB(mm)}{iPP(\frac{L}{H.m^2})} \dots \dots \dots Ec(9)$$

Donde:

- TR** = Tiempo de riego (H)
LB = Lámina bruta (mm/h)
iPP = (L/H.m2)

1.6. Riego por goteo

El riego por goteo es un sistema que mantiene el agua en la zona radicular en las condiciones más favorables para la planta, aplicándola gota a gota a través de

conductos cerrados que van desde la toma hasta la planta misma, mediante dispositivos conocidos como goteadores, goteros o emisores. Sus características principales son:

- El agua se aplica al suelo desde una fuente puntual, infiltrándose y desplazándose tanto en sentido horizontal como vertical. Esto lo diferencia del riego tradicional, donde predominan las fuerzas gravitacionales y el movimiento es principalmente vertical, así como el comportamiento de las sales.
- No se humedece todo el suelo, sino solo una parte que varía según las características del terreno, el caudal del gotero y el tiempo de aplicación. En esa zona húmeda es donde la planta concentra sus raíces y obtiene su alimentación.
- La presencia de zonas secas no exploradas por las raíces junto a zonas húmedas permite considerar este sistema como un cultivo en fajas o surcos con un sistema radicular inferior al normal. Esto implica que por cada faja de goteo habrá más plantas que con riego tradicional, lo que convierte al goteo en un sistema intensivo que demanda una fertilización adecuada para compensar las extracciones de cada cosecha.
- Mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo requiere una baja tensión hídrica, inferior a la capacidad de campo. Lograr esto sería imposible con otros sistemas que rieguen a diario, ya que generarían encharcamiento y asfixia radicular.

Ventajas

- Reduce considerablemente el consumo de agua, la mano de obra, los fertilizantes y los productos para el control de plagas y enfermedades.
- Permite irrigar terrenos de cualquier topografía, incluso los accidentados o de baja calidad, ya que la pendiente no representa un impedimento gracias a la regulación del caudal mediante la auto compensación. Del mismo modo, los suelos pobres o poco profundos no son un problema, dado que el goteo funciona en cierta medida como una forma de hidroponía donde el suelo cumple únicamente una función de soporte.
- Posibilita el uso de aguas con niveles de calidad inferiores a los requeridos por otros sistemas.
- Incrementa la producción, adelanta las cosechas y mejora la calidad de los

frutos, al mantener la planta con un suministro constante y adecuado de agua y nutrientes en cada momento.

- Permite realizar otras labores del cultivo al mismo tiempo que se riega, ya que al existir zonas secas en el terreno no hay obstáculos para el desplazamiento del personal o maquinaria.
- No altera ni deteriora la estructura del suelo.

Desventajas

- Representa una inversión inicial elevada, lo que limita su aplicación en cultivos que no generen suficiente rentabilidad para justificar el costo del sistema.
- En zonas frías o con cultivos susceptibles a heladas, el riego por goteo no ofrece protección ante estas condiciones, por lo que en esos casos debe descartarse su uso. Una mala instalación puede provocar la pérdida de la cosecha por déficit de agua o nutrientes.
- En zonas áridas donde no es posible realizar lavados del suelo, el uso prolongado de agua de mala calidad puede deteriorar los terrenos de cultivo si no se gestiona adecuadamente el riego.
- Los goteros pueden obstruirse con las partículas que arrastra el agua, lo que en algunos casos puede generar daños tanto en la instalación como en el cultivo.

1.6.1. Eficiencia de riego por goteo

Es la relación entre el volumen neto de agua calculado para un riego y el volumen bruto a aplicar, considerando las condiciones del sistema. Este valor sirve como base para la planificación de los distintos sistemas de riego según Avidan (1994).

1.6.2. Eficiencia de uso del agua (EUA)

La Eficiencia de Uso del Agua (EUA) expresa la relación entre la producción de biomasa o el rendimiento económico del cultivo y el volumen de agua consumido durante su ciclo biológico. Según Steduto et al. (2012), en el manual de FAO Riego y Drenaje N.º 66, este indicador es una herramienta clave para evaluar la productividad de los sistemas de riego, especialmente en contextos de escasez hídrica.

Para efectos de esta investigación, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$EUA (kg/m^3) = \frac{\text{Rendimiento del cultivo (kg/ha)}}{\text{Volumen de agua consumido (m}^3\text{/ha)}}$$

Este parámetro permite identificar el tratamiento que optimiza el uso del recurso hídrico, evidenciando que un mayor volumen de agua aplicado no siempre garantiza mayor eficiencia productiva. En este sentido, estrategias como el riego deficitario controlado pueden inducir respuestas fisiológicas que permiten mantener el rendimiento con un menor consumo total de agua.

1.7. Calidad de grano de quinua

La saponina se caracteriza, además de su sabor amargo, por la formación de espumas en soluciones acuosas que se mantienen estables incluso en concentraciones muy bajas (0,1%), lo que explica su uso en bebidas, shampoos, jabones y otros productos. El pericarpio del grano de quinua contiene saponinas que le otorgan ese sabor amargo característico, por lo que deben eliminarse antes del consumo. Esta sustancia también se encuentra en plantas como espinaca, espárrago, alfalfa, frejol y soya, con contenidos que varían entre el 0,1 y el 5%.

Según Koziol (1993), la quinua puede clasificarse por su concentración de saponinas como dulce libre de saponinas o con menos del 0,11% de saponinas libres en base a peso fresco o amarga, cuando supera ese porcentaje.

1.8. Métodos para identificación y cuantificación de Saponinas

Existen diversos métodos para identificar y cuantificar saponinas, todos basados en sus propiedades físicas y químicas: afrosimétrico, hemolítico, volumétrico, espectrofotométrico y cromatográfico (Toxicología e higiene, Agroindustrial, 2013).

Afrosimétrico o método de la espuma: Es un método físico que aprovecha la propiedad tensoactiva de las saponinas de la quinua. Al disolverse en agua y agitarse, generan una espuma estable cuya altura está directamente relacionada con el contenido de saponinas en el grano. Es especialmente útil para controles de calidad referenciales o aproximados (Triguero M. C., 2021).

Procedimiento

- a. Pesar 0,50 +/- 0,02 g de granos enteros de quinua y colocarlos en un tubo de

ensayo. Añadir 5,0 mL de agua destilada, tapar el tubo, activar el cronómetro y agitar vigorosamente durante 30 segundos.

- b. Dejar en reposo 30 minutos, agitar nuevamente durante 20 segundos.
- c. Reposar otros 30 minutos y agitar durante 30 segundos más, dando al tubo una última sacudida similar a la de los termómetros orales.
- d. Dejar reposar 5 minutos y medir la altura de la espuma al 0,1 cm más cercano.

Cálculos:

$$\text{mg saponina/peso fresco} = \frac{0.646 \times (\text{altura de espuma en cm}) \times 0.104}{\text{peso de la muestra en g}} \dots \text{Ec(1/2)}$$

$$\% \text{saponina} = \frac{0.646 \times (\text{altura de espuma en cm}) - 0.104}{(\text{peso de la muestra en g}) \times 10} \dots \dots \dots \text{Ec(2/2)}$$

Espectrofotométrico: Los métodos espectroscópicos se basan en la capacidad de las sustancias de absorber o emitir radiación electromagnética, y permiten determinar la concentración de un reactivo o producto durante una reacción. El espectrofotómetro mide la cantidad de luz transmitida o absorbida en la celda y la compara con la transmitida o absorbida por una solución de referencia llamada "blanco". La lectura se convierte en absorbancia (Skoog, 2001), y el método espectrofotométrico mide la absorción de saponina a 527 nm (Lozano, 2011).

Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC): La HPLC es una técnica cromatográfica para separar y analizar los componentes químicos de una mezcla, utilizando fases móviles y estacionarias inmiscibles entre sí. La fase móvil es líquida y transporta la muestra a través de la fase estacionaria, que puede ser sólida o una película líquida sobre un sólido inerte. Las fuerzas físicas y químicas que actúan entre la mezcla y ambas fases determinan la retención y separación de cada componente (Fallon & Bell, 1987).

Cromatografía de gases: Es una técnica para separar compuestos volátiles térmicamente estables. No aplica a compuestos con grupos funcionales con hidrógenos activos (-COOH, -OH, -NH y -SH), ya que estos son difíciles de analizar por GC al ser atraídos en exceso por la fase estacionaria o ser térmicamente inestables.

Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas: El análisis por GC requiere que el compuesto sea volátil a temperaturas de entre 350 y 400°C, que soporte altas temperaturas y se transforme rápidamente en vapor sin degradarse ni reaccionar con otros compuestos. Si no cumple estos criterios, debe ser modificado químicamente derivatizado para el análisis cromatográfico. La derivatización aumenta la volatilidad, mejora la selectividad y la estabilidad, y optimiza la detectabilidad y estabilidad térmica de la muestra en aplicaciones cromatográficas.

Derivatización para GC: Para ser analizado por cromatografía de gases, un compuesto debe ser volátil a temperaturas inferiores a 350-400 °C, soportar condiciones térmicas elevadas y transformarse en vapor sin descomponerse ni reaccionar con otros componentes. Cuando un compuesto no reúne estas condiciones, debe someterse a una modificación química previa, conocida como derivatización, que incrementa su volatilidad, mejora la selectividad, la estabilidad y la detectabilidad térmica durante el análisis cromatográfico.

Reacción de sililación: La sililación es una técnica empleada para optimizar el rendimiento en cromatografía de gases. Los reactivos de sililo aportan dos beneficios principales: incrementan la volatilidad del analito y reducen la adsorción superficial. Los derivados de sililo se forman mediante el desplazamiento de hidrógenos activos en grupos -OH, -SH y -NH. Los compuestos susceptibles de sililación incluyen ácidos, alcoholes, tioles, aminas, amidas, cetonas y aldehídos enolizables. Sus derivados son generalmente más volátiles, menos polares y térmicamente más estables (Peñafiel, 1990).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Experimental Agraria Canaán, perteneciente al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), cuya localización se detalla en la figura 2.

- **Ubicación política**

Departamento: Ayacucho

Provincia : Huamanga

Distrito : Andrés Avelino Cáceres Dorregaray

Lugar : Instituto Nacional de investigación Agraria-Canaán-Ayacucho

- **Ubicación geográfica**

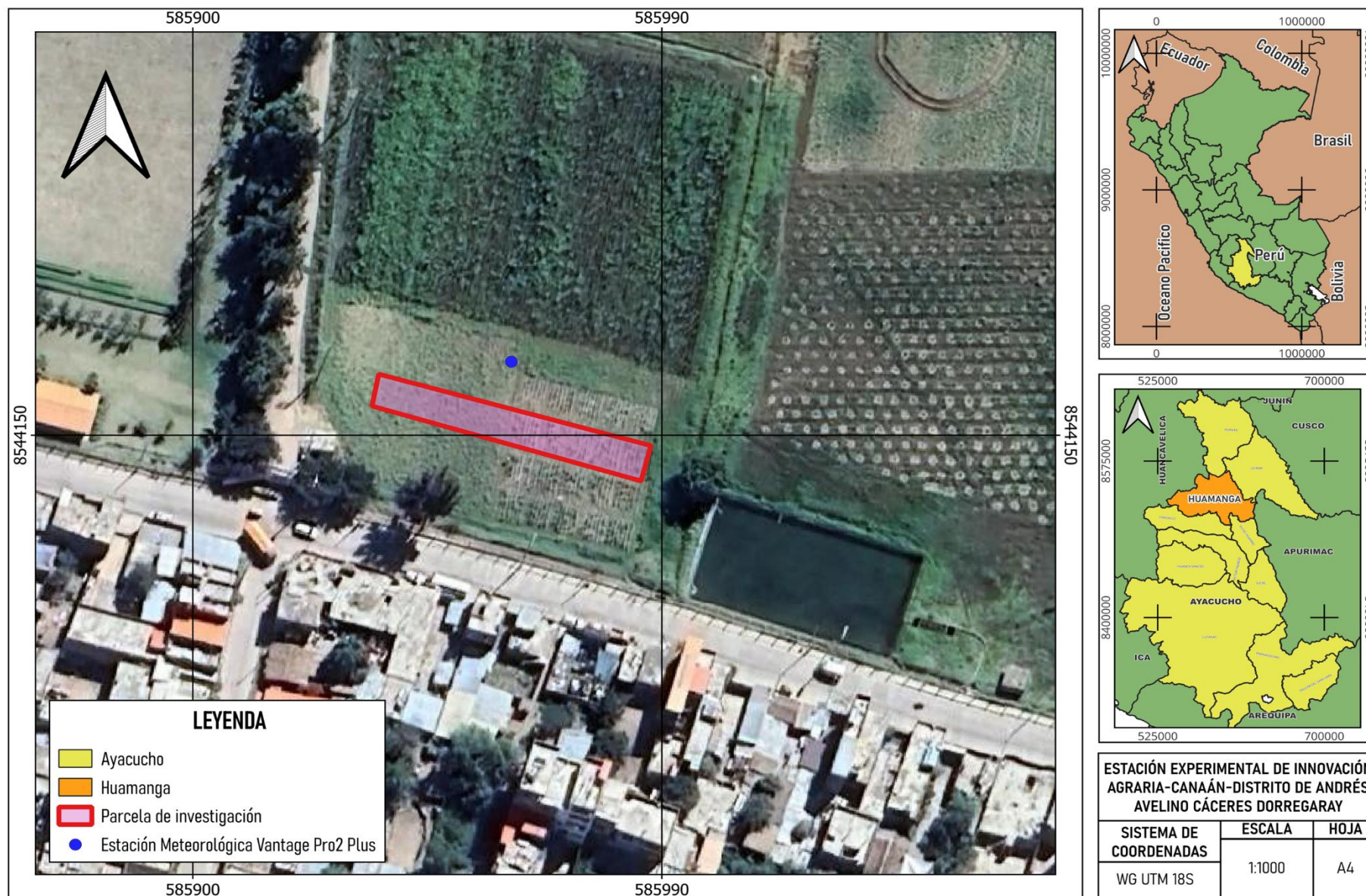
Latitud : 13°10'05.1"S

Longitud : 74°12'23.4 "W

Altitud : 2750 m.s.n.m.

Zona : 18S

Figura 2
Mapa de ubicación



2.2. Análisis físico y químico del suelo

El cultivo previo en el área experimental fue arveja. Para caracterizar el suelo, se extrajeron muestras a 20 cm de profundidad mediante muestreo en zigzag, las cuales fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la EEA Canaán del INIA, obteniéndose los resultados que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Características físicas y químicas del suelo

Características		Resultados		Interpretación
		Contenido	Método	
Características físicas del suelo				
Arena	(%)	39.00	Bouyuocos	
Limo	(%)	42.00	Bouyuocos	
Arcilla	(%)	17.00	Bouyuocos	
Clase Textural		Fr-Ao		Franco Arenoso
Características químicas del suelo				
Porcentaje N (%)		0.09	Kjeldahl	bajo
pH		7.60	Potenciómetro	Medianamente alcalino
C.E	mS/cm	10.40	Technical Corrigendum 1	Normal
MO	%	1.70	Walkley-black	Muy bajo
Fósforo	ppm	44.00	Olsen	Contenido Alto
Potasio	ppm	232.34	Turbimetria	Contenido Alto
Ca ⁺⁺	meq/100 g	5.82	Acetato de amonio	
Mg ⁺⁺	meq/100 g	7.12	Acetato de amonio	
K ⁺	meq/100 g	1.11	Acetato de amonio	
Na ⁺	meq/100 g	0.67	Acetato de amonio	
Al ³⁺	meq/100 g	0.00	Yuan	
H ⁺	meq/100 g	0.00	Yuan	
CIC	meq/100 g	14.72	Saturación	Nivel bajo

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

El análisis reveló que el suelo tiene un contenido de nitrógeno medio, niveles altos de fósforo y potasio, y materia orgánica muy baja. La textura es franco arenoso, adecuada para el cultivo de quinua, con un pH moderadamente alcalino.

2.3. Material biológico

Se utilizaron semillas de quinua de la variedad INIA-441, Señor del Huerto, proporcionadas por el Programa Nacional de Investigación de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas de la EEA Canaán del INIA. Esta variedad, desarrollada mediante

selección recurrente por el INIA (INIA, 2020), presenta las siguientes características: rendimiento potencial de 2,95 a 3,20 t/ha, adaptación entre los 2,500 y 3,600 msnm, panoja amarilla clara de tipo decumbente, grano blanco y proteína del 11,02% con presencia de 8 aminoácidos esenciales, destacando la lisina con 13,91 mg. Esto la convierte en una opción ideal para la nutrición de madres gestantes, niños y para la síntesis de colágeno, sustancia esencial para huesos, tejidos, tendones y cartílagos.

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 tomó la densidad de siembra de 12 Kg/ha de semilla de la variedad INIA 441 - Señor del Huerto.

Dosis/ha

25.37–39.55–51.59 kg/ha de N–P₂O₅–K₂O.

Muestreo de suelo

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

Equipos

- ✓ 01 balanza electrónica (Type: Explorer™ Pro Precision; Ohaus; USA; measurement accuracy 0.001 g)
- ✓ 01 Mochila pulverizadora Jacto PJH 20
- ✓ 01 estufa eléctrica
- ✓ Cámara Fotográfica
- ✓ Laptop, impresora

- ✓ Vernier digital, Caliper Digital ET50 de 6 pulgadas
- ✓ Estación meteorológica Vantage Pro2 Plus (Davis Instruments)

Programas

- ✓ Software WeatherLink for Windows, versión 6.0.5 (Davis Instruments, Hayward, CA, USA)
- ✓ Software QGIS 3.40.6
- ✓ Software Google Earth
- ✓ Software Excel
- ✓ Software R studio
- ✓ Software Python
- ✓ App Canopeo: Green Canopy Cover Measurement Tool

2.5. Condiciones climáticas

Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación meteorológica Davies Corporation, modelo Vantage Pro2 Plus, instalada en el área colindante al lugar donde se desarrolló la investigación, ubicado en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga, a 2735 msnm.

La Tabla 3 recoge los registros de precipitación y temperaturas máxima, mínima y media correspondientes al período de mayo de 2024 a abril de 2025. La precipitación anual total alcanzó los 688,8 mm. El balance hídrico elaborado con el método de la ONERN indicó déficit hídrico en la mayor parte de los meses, razón por la cual se implementó el riego por goteo para mantener el suelo a capacidad de campo y evitar estrés hídrico. Las temperaturas máxima, mínima y media promedio fueron de 27,4°C, 8,1°C y 17,8°C respectivamente.

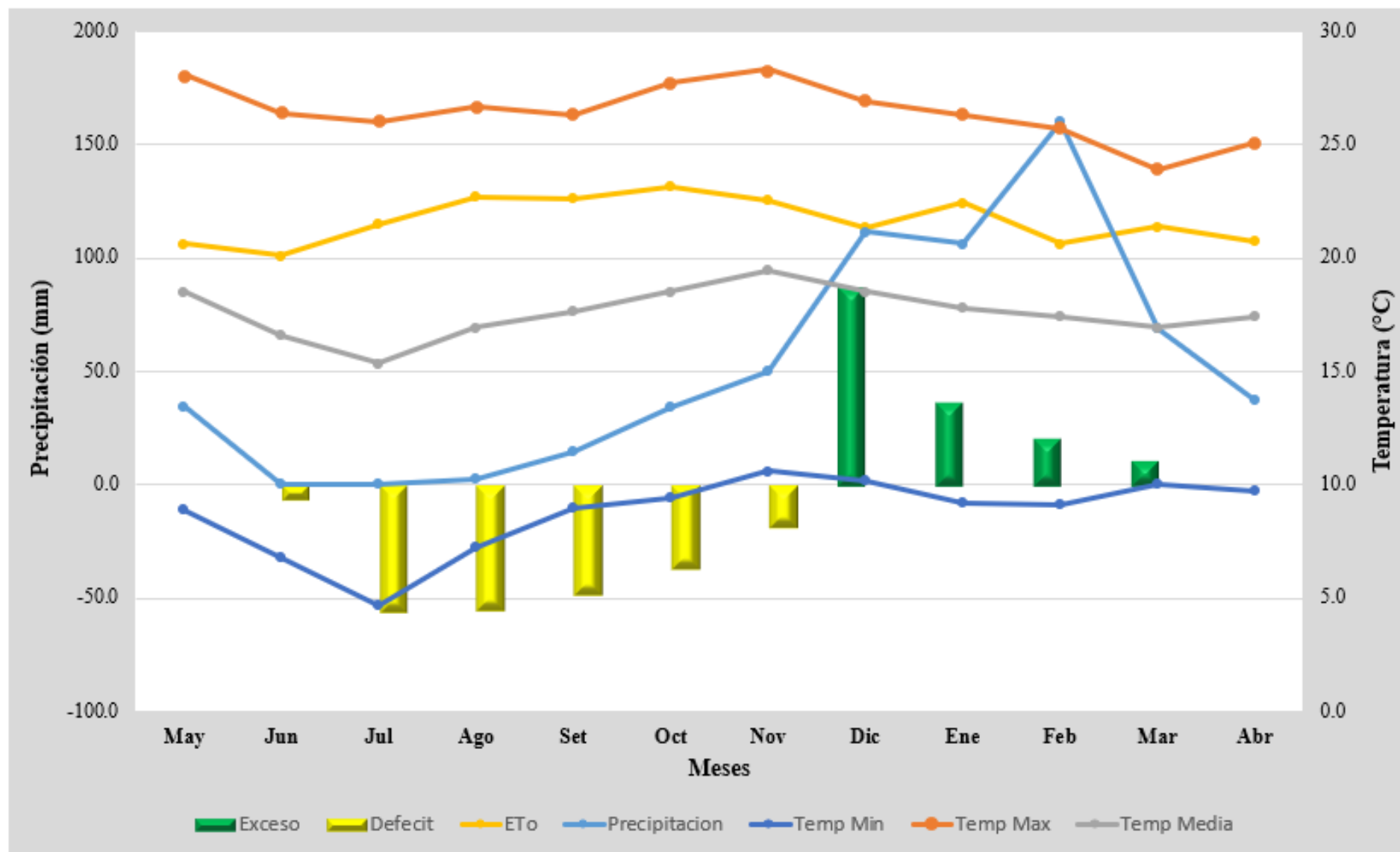
Tabla 3

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

Año		2024								2025				Total	Promedio
Meses	Unid	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr		
Temp Min	°C	8.9	6.8	4.7	7.2	9.0	9.4	10.6	10.2	9.2	9.1	10.0	9.7		8.65
Temp Max	°C	28.1	26.4	26.0	26.7	26.3	27.7	28.3	26.9	26.3	25.7	23.9	25.1		26.6
Temp Media	°C	18.5	16.6	15.4	17.0	17.7	18.6	19.5	18.6	17.8	17.4	17.0	17.4		17.6
Factor		1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0		
ETo	mm	106.3	100.8	114.7	127.1	125.7	131.1	125.4	113.2	124.6	106.4	113.8	107.4	1289.1	117.2
Precipitación	mm	35.2	0.0	0.0	2.8	14.6	33.8	50.0	112.0	106.2	159.8	68.4	36.8	652	
H del suelo	mm	-31.9	-50.2	-56.2	-62.0	-42.7	-55.6	-37.4	13.7	3.2	91.8	100.0	-3.8		
Exceso	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.2	36.4	21.3	11.3	0.0		
Déficit	mm	0.0	-6.8	-55.6	-55.3	-48.1	-37.0	-19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Figura 3

Balance hídrico correspondiente a los años 2024-2025, de la Estación Meteorológica INIA – Ayacucho



2.6. Variables evaluadas

2.6.1. Variables independientes

Dosis de usos consuntivo (UC)

D1= 50% de la dosis de uso consuntivo

D2= 75% de la dosis de uso consuntivo

D3= 100 de la dosis de uso consuntivo

2.6.2. Variables dependientes

Se exponen en la Tabla 4

Tabla 4

Variables evaluadas

Variables dependientes	Indicador	Estado/Unidad	Medida
Variables de crecimiento	Altura de planta	cm	Numérica
	Tamaño de raíz	cm	Numérica
	Diámetro de tallo	mm	Numérica
	Peso fresco de la planta	g/planta	Numérica
	Peso fresco de la raíz	g/planta	Numérica
	Peso seco de la planta	g/planta	Numérica
	Peso seco de la raíz	g/planta	Numérica
	Dosel	%	Numérica
	Diámetro de panoja	cm	Numérica
	Longitud de panoja/por planta	cm	Numérica
Componentes del rendimiento	Rendimiento	t/ha	Numérica
	Rendimiento/panoja	g/panoja	Numérica
	Peso de 1000 granos	g	Numérica
Variables de calidad de grano	Saponina en grano	contenido de saponina en %	porcentaje

2.7. Descripción de los tratamientos

Los tres niveles de volumen de riego, considerados como variable independiente (factor), estuvieron distribuidos aleatoriamente en 3 bloques.

Tabla 5

Tratamientos aplicados

Tratamiento	Variedad de quinua	Volumen de uso consuntivo (% de la demanda hídrica)
D1	INIA 441-Señor del Huerto	50%
D2	INIA 441-Señor del Huerto	75%
D3	INIA 441-Señor del Huerto	100%

2.8. Diseño experimental

El ensayo se desarrolló bajo el esquema estadístico de Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), en el que los tres volúmenes de riego evaluados fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque, conformando un total de nueve unidades experimentales.

El modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

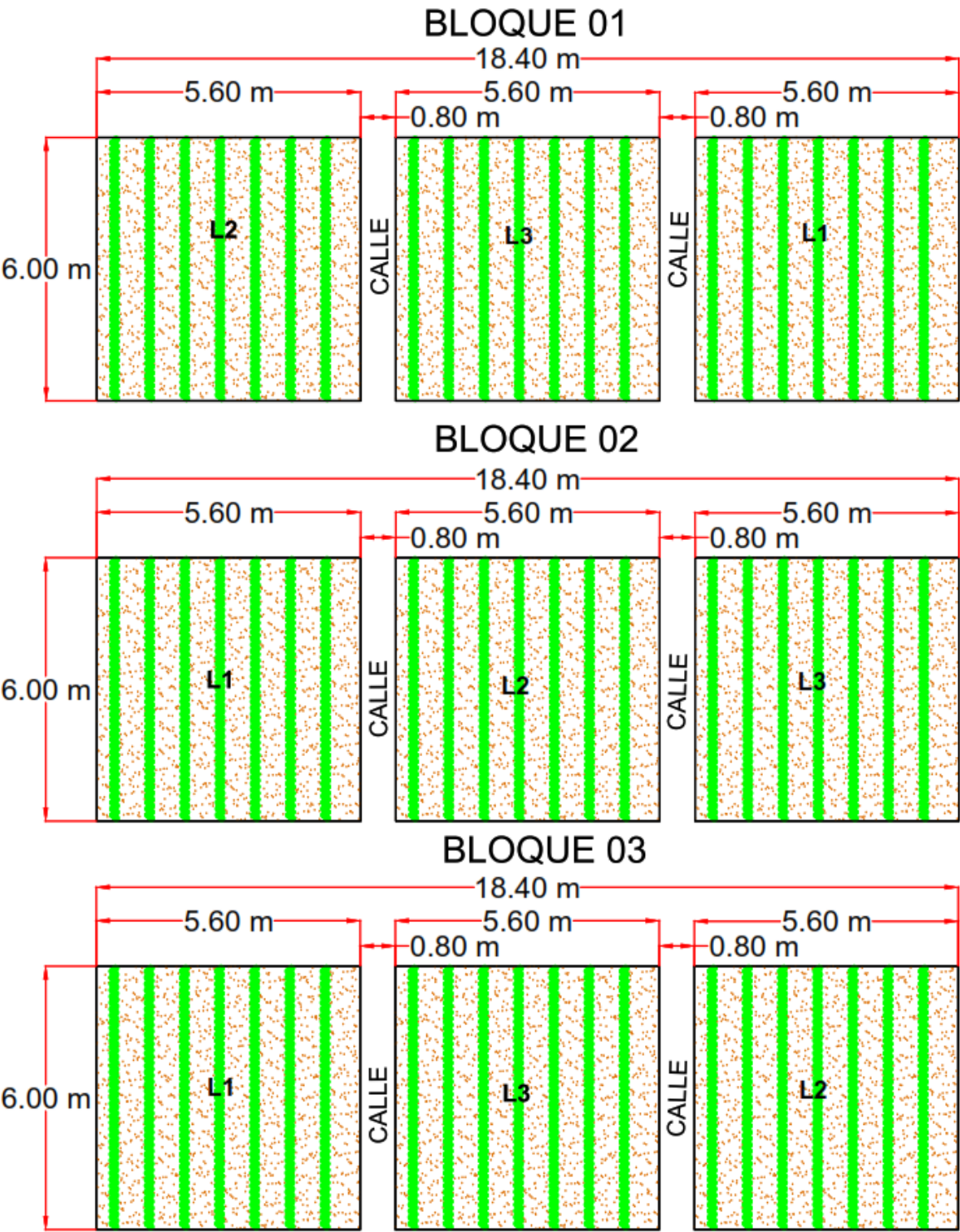
- **Y_{ij}** : Rendimiento en t/ha) para el tratamiento i en el bloque j
- **μ** : Es la media general de todo el experimento.
- **τ_i** : Es el efecto del tratamiento de riego (100%, 75% o 50%).
- **β_j** : Efecto del j-ésimo bloque
- **ϵ_{ij}** : Error aleatorio asociado a cada unidad experimental

2.9. Descripción del campo experimental

El experimento se realizó en el Centro Experimental Agraria Canaán del INIA, el suelo se roturó con tractor agrícola, teniendo una capa arable de 20 cm y una pendiente de 1.5-2.0 %.

➤ Número de bloques	: 3
➤ Largo de bloque	: 18.40 m
➤ Ancho de bloque	: 6.0 m
➤ Área de bloque	: 110.4 m ²
➤ Número de parcelas por bloque	: 3
➤ Número total de parcelas	: 9
➤ Área total del campo experimental	: 331,2 m ²

Figura 4
Dimensiones de las parcelas experimentales



Características de cada unidad experimental

La parcela experimental tiene las dimensiones:

- Ancho : 5.6 m
- Largo : 6.0 m
- Área : 33.6 m²
- Numero de surcos : 7
- Distanciamiento entre surcos: 0.8m

2.10. Proceso de instalación y conducción del experimento

Durante el ciclo del cultivo de quinua se ejecutaron las siguientes labores agronómicas: preparación del suelo, tratamiento de semillas, siembra, fertilización basada en el análisis de suelo previo, riego por goteo, control de malezas, deshierbe, aporque y manejo fitosanitario de plagas y enfermedades.

2.10.1. Limpieza de terreno

El 16 de junio de 2024 se acondicionó el campo experimental mediante arado, retirando piedras, malezas, rastrojos y restos de la campaña anterior.

2.10.2. Preparación de terreno

El 20 de julio de 2024, con el objetivo de generar las mejores condiciones para la germinación y desarrollo de la semilla, se removió el suelo y se realizó el surcado a una profundidad de 20 cm y un distanciamiento de 80 cm, utilizando un tractor agrícola.

2.10.3. Estacado y demarcación del terreno

El 22 de julio de 2024 se procedió a demarcar y fijar las parcelas, calles y bloques del experimento, utilizando cordel, wincha, cal y estacas, tomando como referencia el croquis del diseño experimental.

2.10.4. Siembra

La siembra se realizó manualmente el 24 de julio de 2024, a chorro continuo en surcos de 0,8 m en todas las unidades experimentales, con una densidad de 12 kg/ha de semilla de quinua. Luego se cubrió con una capa superficial de suelo y, al concluir la

siembra, se aplicó riego por goteo en todo el campo para favorecer la germinación.

2.10.5. Riego

Para el procedimiento del riego se siguieron los siguientes pasos: primero, se tuvo que descargar datos meteorológicos de la estación temporal Vatange Pro2 Plus, de los cuales los datos que se necesitaban fueron el tiempo, la hora, la precipitación y la evapotranspiración. Teniendo esos datos ya descargados se procedía a hacer el respectivo aforamiento; posteriormente, se hacían los cálculos del tiempo de riego para cada volumen de uso consuntivo en el programa Excel. Luego, se procedía a cerrar las llaves de riego a la hora indicada.

2.10.6. Desahije o raleo de plantas

El 26 de agosto de 2024 se realizó el raleo con el fin de evitar la competencia entre plantas por agua, nutrientes y luz, y para garantizar el espacio adecuado para su desarrollo. Se eliminaron las plantas más débiles, delgadas y pequeñas, dejando entre 10 y 14 plantas por metro lineal, y se retiraron también las malezas presentes.

2.10.7. Aporque y control de malezas

El 30 de septiembre de 2024 se ejecutó el aporque de forma manual con azadón, considerando el inicio del panojamiento. Esta labor tuvo como propósito brindar mayor anclaje a las plantas, oxigenar el suelo y aprovechar la actividad para eliminar malezas y reducir la competencia por nutrientes, luz y agua.

2.10.8. Control fitosanitario

Se utilizó una mochila pulverizadora de 20 L para aplicar los tratamientos. Con el objetivo de reducir la incidencia de chupadera o damping-off enfermedad causada por hongos que afecta el cuello de la planta durante la emergencia se aplicó Vitavax como tratamiento de semilla antes de la siembra, a una dosis de 0,81 g por cada 0,5 kg de semilla. Para el control del mildiu (*Peronospora variabilis*) se empleó el fungicida Fitoklin (Metalaxil) a razón de 8 g por cada 20 L de agua. Finalmente, para el control del pulgón se aplicó el insecticida Cyperklin (Cipermetrina) a 25 mL por cada 20 L de agua.

2.10.9. Cosecha

La cosecha de panojas se llevó a cabo en horas de la mañana del 19 de diciembre de 2024, eligiendo ese horario para reducir el desgrane durante la labor. La recolección fue manual, utilizando herramientas como hoz y mantones, identificando cada muestra con etiquetas según el tratamiento correspondiente al experimento.

Posteriormente, las panojas se tendieron sobre mantones en un secadero protegido de roedores. Una vez concluido el secado, se procedió a la trilla, el venteo y la recolección de muestras conforme a los tratamientos establecidos en el presente estudio.

2.11. Parámetros evaluados

2.11.1. Volumen de riego (m^3)

Para determinar las dosis de uso consuntivo en el cultivo de quinua, se trabajó con los registros de evapotranspiración potencial (ET_o) y precipitación (PP) descargados de la estación Vantage Pro2 Plus. El uso consuntivo o evapotranspiración del cultivo (ET_c) se obtuvo aplicando la relación $ET_c = ET_o \times K_c$, ajustando el coeficiente de cultivo a cada etapa fenológica. A partir de este valor se calculó la lámina neta, restando la precipitación efectiva (P_{ef}) cuando resultaba considerable, lo que permitió reducir el requerimiento de riego. Luego se determinó la lámina bruta incorporando la eficiencia del sistema. Para la programación hídrica, se calculó la pluviometría (iPP) a partir del número de laterales, el caudal del emisor (Q_e) y el distanciamiento entre hileras y emisores, obteniendo así el tiempo de riego (TR) necesario para cubrir el requerimiento total y establecer la frecuencia de riego (FR). Este tiempo base se distribuyó en tres dosis de uso consuntivo: D1 (50%), D2 (75%) y D3 (100%), con el fin de evaluar distintas estrategias de reposición hídrica en el rendimiento y la eficiencia del uso del agua.

2.11.2. Rendimiento por hectárea (t/ha)

Al momento de la cosecha se seleccionaron los surcos centrales de los cuales se cosechó el cultivo. Por cada parcela, se recolectaron 3 repeticiones, obteniendo al final 27 muestras a evaluar. Se pusieron en costales y se llevaron al secadero, para posteriormente trillarlos y pesar la quinua.

2.11.3. Rendimiento de panoja por planta (g)

Para esta evaluación se tomaron al azar tres panojas por tratamiento dentro de un diseño de bloques completos, sumando 36 muestras en total entre tres tratamientos y cuatro repeticiones. Las panojas recolectadas se colocaron en bolsas de papel debidamente rotuladas y se llevaron al secadero hasta alcanzar la humedad adecuada. Luego se trillaron y ventearon para separar el grano limpio. Finalmente, cada muestra fue pesada en una balanza electrónica de precisión (Explorer™ Pro; Ohaus; USA; exactitud 0,001 g), registrándose los valores por repetición y tratamiento para el análisis de rendimiento.

2.11.4. Peso de mil semillas (g)

A partir de las muestras ya trilladas, se contaron mil semillas de cada muestra con tres repeticiones por tratamiento, totalizando nueve muestras, las cuales fueron contadas y pesadas.

2.11.5. Peso fresco y seco de la raíz (g)

Se evaluaron tres muestras de raíz por tratamiento, extrayéndolas del suelo con cuidado usando pico y pala. Inmediatamente después de la extracción se realizó la limpieza de la raíz y se pesó en una balanza analítica el mismo día de la recolección. Luego las muestras fueron empaquetadas en bolsas de papel para su traslado a la estufa, donde una vez secas se registró su peso seco.

2.11.6. Longitud de la raíz (cm)

Se trabajó con las mismas raíces obtenidas para el parámetro anterior. Para esta medición, la raíz se colocó sobre una superficie plana y se midió desde el cuello hasta el extremo apical de la raíz principal, utilizando un flexómetro y expresando el resultado en centímetros.

2.11.7. Peso fresco y seco de la planta (g)

Se tomaron tres muestras de biomasa aérea por tratamiento, extrayéndolas cuidadosamente del suelo con pico o pala. Justo después de la recolección se registró el peso fresco en una balanza analítica, tras lo cual las muestras fueron etiquetadas y empaquetadas en bolsas de papel para llevarlas a la estufa. Una vez secas, se anotó el

peso seco correspondiente únicamente a la parte aérea, sin incluir la raíz.

2.11.8. Altura de planta (cm)

Durante la madurez fisiológica del cultivo, se seleccionaron al azar tres plantas por tratamiento para medir su altura. Se utilizó un flexómetro, midiendo desde la base del cuello de la planta hasta el extremo superior de la panoja, y los resultados se expresaron en centímetros.

2.11.9. Diámetro de tallo (mm)

El diámetro del tallo de las plantas seleccionadas por tratamiento se midió con un equipo Vernier, tomando como punto de referencia la parte basal del tallo. Esta medición se realizó desde la etapa fenológica de ramificación hasta la cosecha.

2.11.10. Longitud de panoja (cm)

Para esta variable se seleccionaron al azar 4 plantas por tratamiento durante la madurez fisiológica. La medición se realizó desde la base hasta el ápice de la panoja con un flexómetro, expresando el resultado en centímetros.

2.11.11. Diámetro de panoja (g)

Se evaluó la misma panoja del parámetro anterior, midiendo esta vez su diámetro en sentido horizontal de extremo a extremo.

2.11.12. Dosel (%)

El dosel se evaluó a lo largo de todas las etapas fenológicas de la quinua, utilizando la aplicación Canopy Cover. Se realizó una evaluación por parcela, es decir, nueve mediciones en total.

2.11.13. Contenido de saponina (%)

Se aplicó el método afrosimétrico, tomando 0,5 g de muestra para ejecutar el

procedimiento completo y determinar el porcentaje de saponina. Se realizaron 3 repeticiones por tratamiento.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Volumen de riego aplicado

Volumen total de agua aplicada durante la campaña agrícola fue de 3220 m³/ha, 4063.0 m³/ha y 4897.0 m³/ha para los tratamientos D1, D2 y D3, respectivamente.

Tabla 6

Volumen de agua usado en cada etapa fenológica (mm)

FASES	D1	D2	D3
Siembra	10.6	10.6	10.6
Emergencia	27.1	27.1	27.1
2 hojas	10.1	10.1	10.1
4 hojas	17.1	17.1	17.1
6 hojas	91.2	91.2	91.2
TOTAL	156.0 mm	156.0 mm	156.0 mm

FASES	D1	D2	D3
Ramificación	29.6	44.4	59.2
Panojamiento	30.6	45.8	61.1
Floración	70.7	106.0	141.3
Grano lechoso	36.0	54.0	71.9
TOTAL	166.8 mm	250.2 mm	333.6 mm

TOTAL	3220.0 m ³ /ha	4063.0 m ³ /ha	4897.0 m ³ /ha
-------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

a. Determinación de la eficiencia de uso del agua (EUA) en el cultivo de quinua bajo tres niveles de riego en condiciones de campo

- D1 (50%):

Rendimiento: 3580 kg/ha y **volumen de agua:** 3220.0 m³/ha

$$EUA = 3580 / 3220.0 = 1.11 \text{ kg/m}^3$$

- D2 (75%)

Rendimiento: 4440 kg/ha y **volumen de agua:** 4063.0 m³/ha

$$EUA = 4440 / 4063.0 = 1.09 \text{ kg/m}^3$$

- D3(100%):

Rendimiento: 4430 kg/ha y **volumen de agua:** 4897.0 m³/ha

$$EUA = 4430 / 4897.0 = 0.90 \text{ kg/ha/m}^3$$

Los resultados de la EUA revelan una relación inversamente proporcional entre la dosis de uso consuntivo aplicada y la eficiencia de conversión en biomasa económica. El tratamiento D1 (50 % de la dosis) alcanzó la mayor eficiencia con 1.11 kg/m³, superando a D2 (1.09 kg/m³) y al tratamiento con reposición hídrica plena D3 (0.90

kg/m³), a pesar de recibir el menor volumen total de agua suplementaria (3220.0 m³/ha, según la Tabla 6). Este hallazgo evidencia que la variedad INIA 441 - Señor del Huerto optimiza sus procesos metabólicos bajo regímenes hídricos controlados, sin que ello implique una reducción proporcional en la producción de biomasa económica.

Este comportamiento encuentra sustento fisiológico en Geerts y Raes (2009), quienes demuestran que el riego deficitario como estrategia de manejo en campo permite maximizar la productividad hídrica del cultivo en zonas áridas, estabilizando los rendimientos sin necesidad de aplicar la demanda hídrica plena. Complementariamente, Jacobsen et al. (2009) argumentan que la señalización mediada por ácido abscísico de origen radicular promueve un cierre estomático temprano ante la reducción hídrica, regulando la transpiración sin comprometer la actividad fotosintética. Fghire et al. (2015) refuerzan estos resultados al demostrar que la quinua exhibe notable resiliencia al estrés hídrico en etapas vegetativas y de maduración, concentrando su mayor sensibilidad en la fase de floración plena.

Adicionalmente, se observó que un mayor suministro hídrico no se tradujo en un incremento proporcional del rendimiento. El tratamiento D3 recibió el mayor volumen (4897.0 m³/ha) pero obtuvo un rendimiento de 4430 kg/ha, inferior al de D2 (4440 kg/ha con 4063.0 m³/ha), evidenciando que un mayor suministro hídrico no se traduce en mayor rendimiento, comportamiento consistente con lo reportado por Lavini et al. (2014), quienes observaron que la quinua exhibe alta tolerancia al estrés hídrico en la fase vegetativa, con adaptaciones morfológicas como mayor desarrollo radicular y reducción del área foliar que optimizan la relación entre disponibilidad de agua y producción de biomasa económica.

3.2. Evaluación de rendimiento

3.2.1. Rendimiento por hectárea

El análisis de varianza (ANOVA) indica que el efecto de los tratamientos de dosis de usos consuntivos sobre el rendimiento del cultivo de quinua es estadísticamente significativo ($F = 4.798$; $p = 0.0187$), ya que el valor de p es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Esto demuestra que al menos una de las dosis de uso consuntivo evaluadas genera una respuesta distinta en la variable rendimiento por hectárea. En contraste, el efecto de bloque (BLO) no fue significativo ($p = 0.707 > 0.05$), lo que sugiere que la variabilidad espacial o del terreno entre bloques no afectó de forma

relevante el rendimiento, garantizando que las diferencias observadas se deben exclusivamente al régimen hídrico aplicado, tal como se detalla en la tabla 7.

Tabla 7

Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento de quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, INIA-Canaán 2735 msnm, Ayacucho

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P-valor</i>
Tratamiento	2	4.410	2.205	4.797	0.018 *
Bloque	2	0.323	0.161	0.351	0.707
Residual	22	10.113	0.459		

%CV=16.32

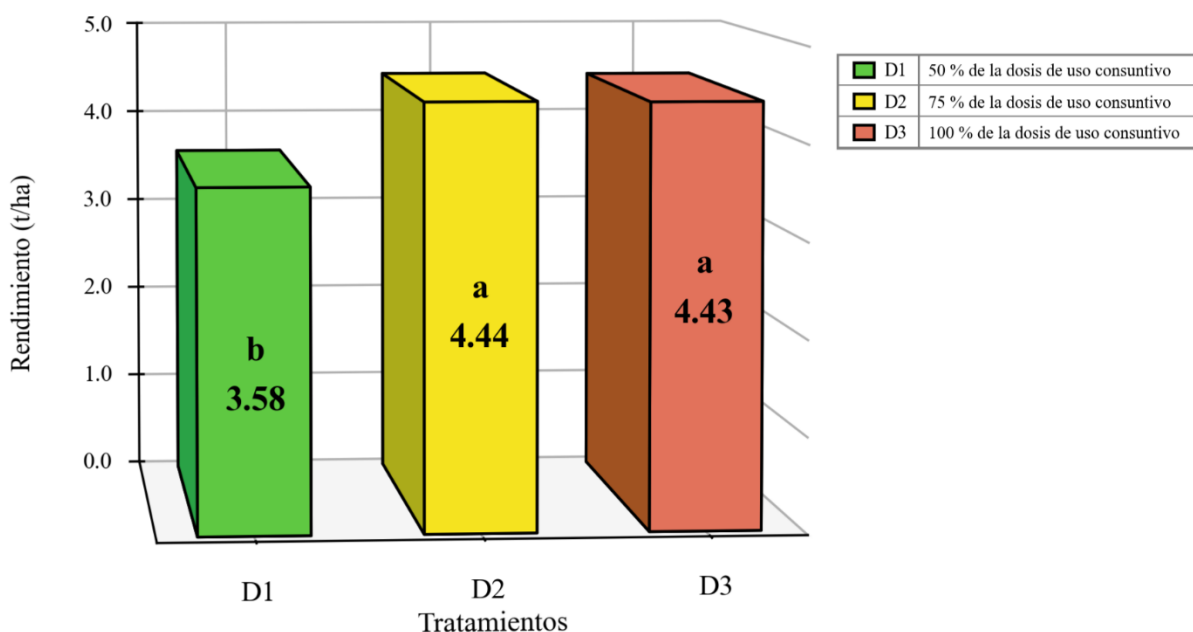
Tabla 8

Comparación de medias del rendimiento de quinua (t/ha) mediante la prueba de LSD, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en la localidad INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	Media (t/ha)	
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo	4.44	a
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo	4.43	a
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo	3.58	b

Figura 5

Rendimiento del cultivo de quinua según las dosis de uso consuntivo



La prueba de comparación de medias mediante LSD reveló que el tratamiento D1 (3.58t/ha) presentó un rendimiento significativamente inferior respecto a D2 (4.44 t/ha) y D3 (4.43 t/ha), los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí, compartiendo el mismo grupo estadístico ('a'). Las dosis de usos consuntivos fueron

aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que sugiere que el efecto observado está asociado a la disponibilidad hídrica durante fases clave del desarrollo vegetativo y reproductivo. Estos resultados indican que las dosis del 75 % y 100 % de uso consuntivo favorecen una mayor productividad, mientras que una dosis reducida al 50 % limita significativamente el rendimiento del cultivo. Cabe resaltar que los rendimientos obtenidos en los tratamientos D2 y D3 superaron el promedio reportado para la variedad INIA 441 - Señor del Huerto (4.03 t/ha), evidenciando una respuesta agronómica favorable bajo condiciones controladas. Estos resultados coinciden con lo reportado por García et al. (2003), quienes sostienen que el rendimiento de grano en quinua se incrementa significativamente al optimizar el suministro hídrico basado en el uso consuntivo del cultivo, permitiendo una adecuada traslocación de asimilados para que la especie exprese su potencial genético.

3.2.2. Rendimiento por panoja por planta (g/planta)

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos para el rendimiento por panoja ($p < 0.001$), con un valor F de 19.12, lo que indica una fuerte influencia de las dosis de usos consuntivos sobre esta variable. En contraste, el efecto de los bloques fue no significativo ($F = 0.262$; $p > 0.05$), lo que sugiere que la variabilidad entre repeticiones no afectó de manera relevante los resultados, garantizando la homogeneidad de las condiciones experimentales, tal como se puede apreciar en la tabla 9.

Tabla 9

Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en la localidad INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P-valor</i>
Tratamiento	2	1448.443	724.221	19.119	3.9E-06***
Bloque	2	105.839	52.919	1.397	0.262
Residual	31	1174.226	37.878		

%CV=24.72

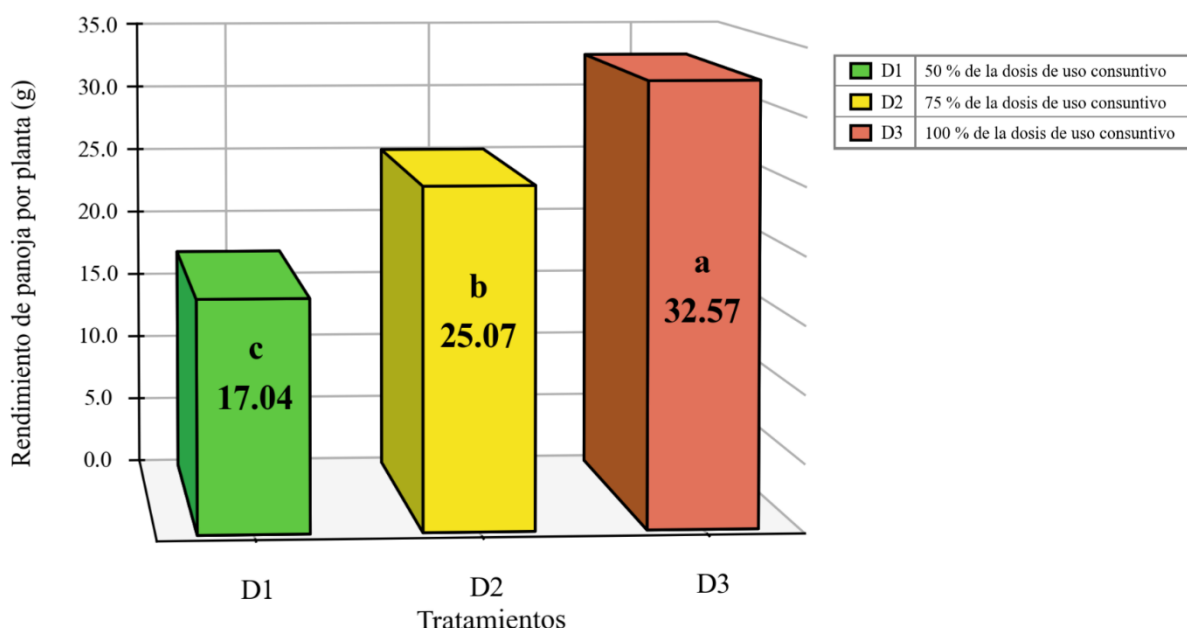
Tabla 10

Comparación de medias del rendimiento por panoja en quinua mediante la prueba de Tukey, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en la localidad INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	Media (gr/panoja)	
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo	32.571	a
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo	25.074	b
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo	17.037	c

Figura 6

Rendimiento de panoja por planta según las dosis de uso consuntivo



Los tres tratamientos se ubicaron en grupos estadísticos distintos (a, b, c), lo que confirma que cada uno tuvo un efecto significativamente diferente sobre el rendimiento por panoja. El tratamiento D3 fue el más efectivo (32.57g), seguido por D2 (25.07g), mientras que D1 presentó el menor rendimiento (17.03g). Estos resultados evidencian que el tratamiento D3 optimizó significativamente el peso de la panoja, debido a una mayor acumulación de materia seca y un llenado de grano más eficiente bajo la reposición hídrica total. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el desarrollo reproductivo en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico. Aunque no se cuenta con estudios específicos previos sobre la dinámica hídrica en el rendimiento por panoja para esta variedad, los resultados guardan coherencia con el comportamiento fisiológico de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Razzaghi et al. (2012), quienes demostraron que el rendimiento y peso de la panoja en la quinua dependen críticamente de evitar el estrés hídrico durante el panojamiento y la floración, etapas

donde se determina el número de granos por inflorescencia y la posterior fuerza de la demanda (*sink strength*) para la acumulación de asimilados.

3.2.3. Peso de mil semillas

El análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre tratamientos para el peso de mil semillas ($p = 0.0393$), con un valor F de 3.96, lo que indica que al menos una de las dosis de usos consuntivos tuvo un efecto estadísticamente distinto sobre esta variable. En cambio, el efecto de los bloques no fue significativo ($p = 0.1761 > 0.05$), lo que sugiere que la variabilidad entre repeticiones no influyó de manera relevante en los resultados, garantizando que las diferencias encontradas se deben al manejo hídrico aplicado, como se puede apreciar en la tabla 11.

Tabla 11

Análisis de varianza (ANOVA) del peso de mil semillas en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamiento	2	1.110	0.555	12.800	0.018*
Bloque	2	0.130	0.065	1.504	0.325
Residual	4	0.173	0.043		

%CV= 10.69

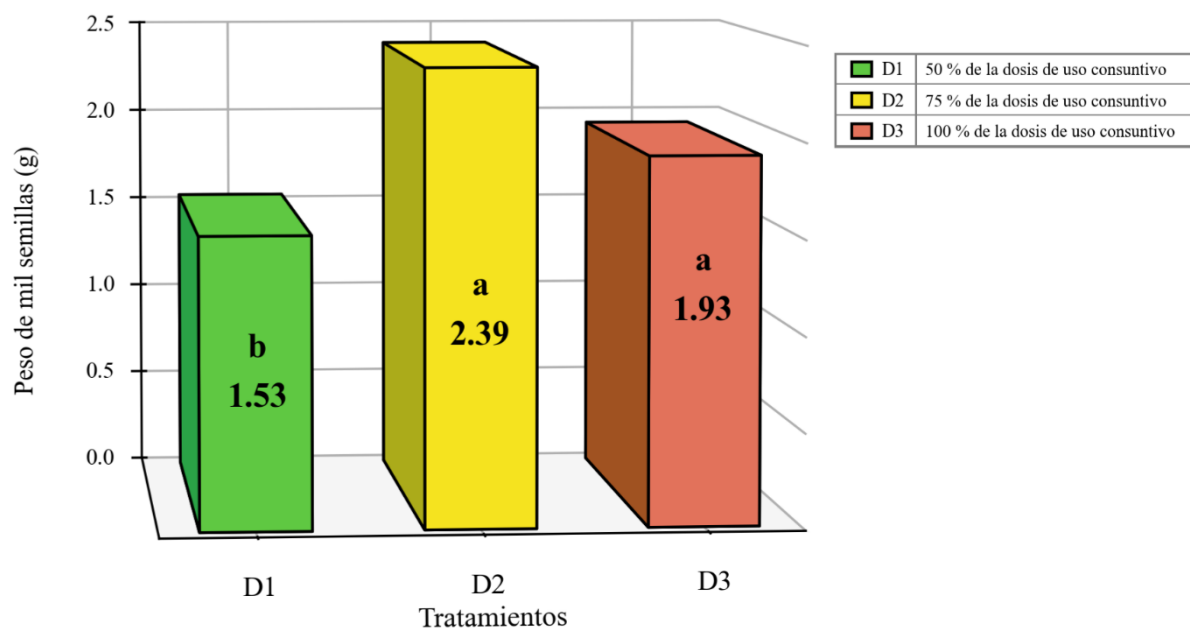
Tabla 12

Comparación de medias del peso de mil semillas (g) en quinua mediante la prueba de Tukey, variedad INIA-441 Señor del Huerto, en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	Media (g)	
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo	2.386667	a
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo	1.933333	a
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo	1.526667	b

Figura 7

Peso de mil semillas según las dosis de uso consuntivo



La prueba de comparación de medias mediante LSD de Fisher permitió identificar los tratamientos que difieren entre sí. El tratamiento D2 presentó el mayor peso promedio (2.39g) y se ubicó en el grupo estadístico “a”, mientras que D1 (1.53 g) y D3 (1.93) compartieron el grupo “b”, sin diferencias significativas entre ellos. Estos resultados evidencian que la dosis de uso consuntivo al 75 % (D2) fue la más efectiva para incrementar el peso de mil semillas, lo que demuestra la eficiencia del riego deficitario controlado en este cultivo. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el llenado de grano en la variedad INIA 441 – Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y buen potencial de calidad comercial. Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre el peso de mil semillas en esta variedad recientemente liberada, los resultados guardan coherencia con el comportamiento general de la especie. Esta respuesta agronómica coincide con lo descrito por Geerts et al. (2008), quienes sostienen que la aplicación de estrategias de riego deficitario en quinua durante las etapas finales induce una eficiente traslocación de carbohidratos hacia los granos, optimizando el peso de mil semillas en comparación con tratamientos de irrigación total que pueden retrasar la maduración. Asimismo, los valores obtenidos para D2 se alinean con los rangos comerciales reportados para variedades peruanas de grano blanco y de color como Pasankalla y Salcedo-INIA (2.0 a 2.5g), confirmando que el manejo hídrico optimizado permite alcanzar el máximo potencial genético de los nuevos cultivares (Jacobsen et al., 2003).

3.2.4. Longitud de panoja

Debido a que los datos de longitud de panoja no cumplieron con los supuestos de normalidad y homogeneidad, se procedió a realizar un análisis no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Los resultados presentados en la tabla 13 muestran que el efecto de las dosis de usos consuntivos fue estadísticamente significativo ($H = 7.2$; $p = 0.02732$), lo que indica que al menos uno de los tratamientos aplicados generó una distribución de rangos distinta en el crecimiento longitudinal de la panoja.

Tabla 13

Resultados del análisis no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis aplicada a la longitud de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

	Diferencia observada	Diferencia crítica	significancia	Altura panoja (cm)
D3-D2	31.22	16.15	True	c
D3-D1	58.28	16.15	True	b
D2-D1	27.07	16.15	True	a
				*
				0.027

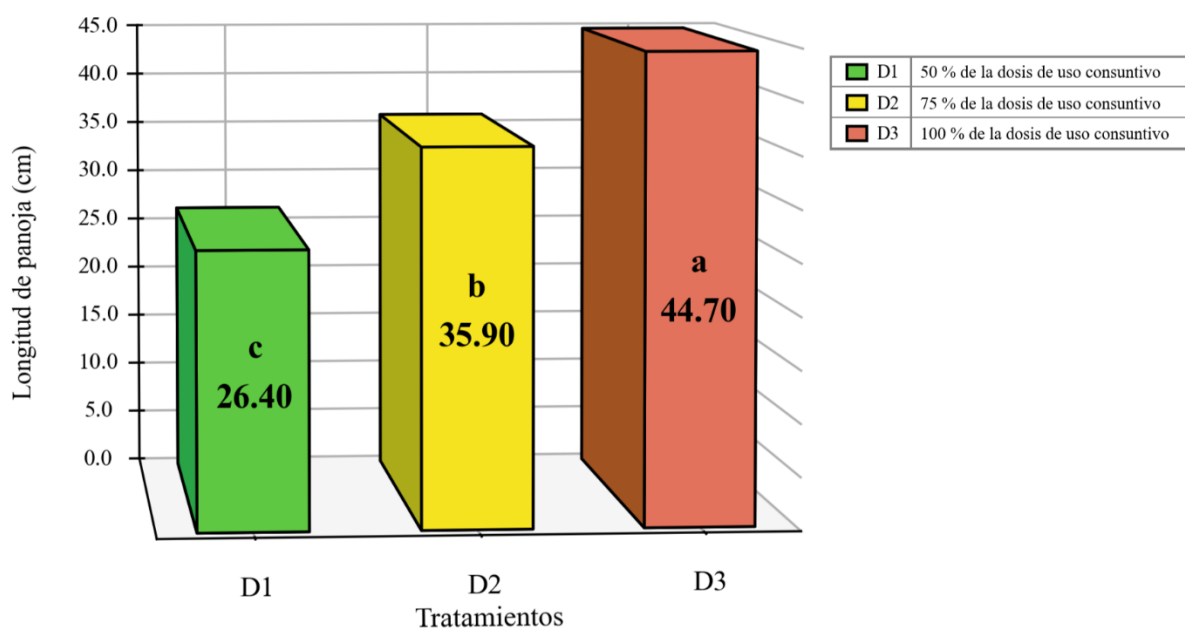
Tabla 14

Comparación de medias de la longitud de panoja en quinua según prueba de post hoc, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de rangos no paramétrica, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Variable	Tipo prueba	Estadístico	Gl	Valor-p
Tratamiento	Kruskal-Wallis	7.2	2	0.027*

Figura 8

Altura de panoja según las dosis de uso consuntivo



La prueba de comparación de rangos múltiples de Kruskal-Wallis permitió identificar diferencias entre los tratamientos. El tratamiento D3 presentó el mayor rango para la longitud de panoja, ubicándose en el grupo estadístico “a”, seguido por D2 en el grupo “b”, mientras que D1 registró la menor longitud, ubicado en el grupo “c”. Estas diferencias confirman que el efecto de las dosis de usos consuntivos sobre el desarrollo longitudinal de la panoja es estadísticamente significativo, siendo la dosis D3 (100 %) la que favorece un mayor desarrollo de la estructura reproductiva en comparación con los demás niveles evaluados. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el crecimiento reproductivo en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico. Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre la longitud de panoja en esta variedad recientemente liberada, los resultados son coherentes con el comportamiento fisiológico de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Estrada-Zúñiga et al. (2022), quienes evaluaron diversos genotipos de quinua en el Perú y encontraron correlaciones positivas entre el manejo agronómico y el desarrollo reproductivo, destacando que la disponibilidad de recursos influye directamente en la longitud de la panoja y el rendimiento.

3.2.5. *Diámetro de panoja*

El análisis de varianza (ANOVA) aplicado al diámetro de la panoja, detallado en la tabla 15, reveló diferencias altamente significativas entre las dosis de usos consuntivos evaluadas ($p = 1.66E-22$). Estos resultados indican que el efecto del manejo hídrico sobre la estructura reproductiva de la variedad INIA 441 – Señor del Huerto es estadísticamente confiable y determinante. La baja variabilidad observada en los bloques ($p = 0.543583$) y un coeficiente de variación del 11.56 % refuerzan la precisión de los datos obtenidos bajo las condiciones experimentales del Centro Experimental INIA-Canaán.

Tabla 15

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al diámetro de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P-valor</i>
Tratamiento	2	271.338	135.669	95.804	1.66E-22**
Bloque	2	1.738	0.869	0.613	0.543
Residual	85	120.369	1.416		

$\%CV=11.56$

Tabla 16

Comparación de medias del diámetro de panoja en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

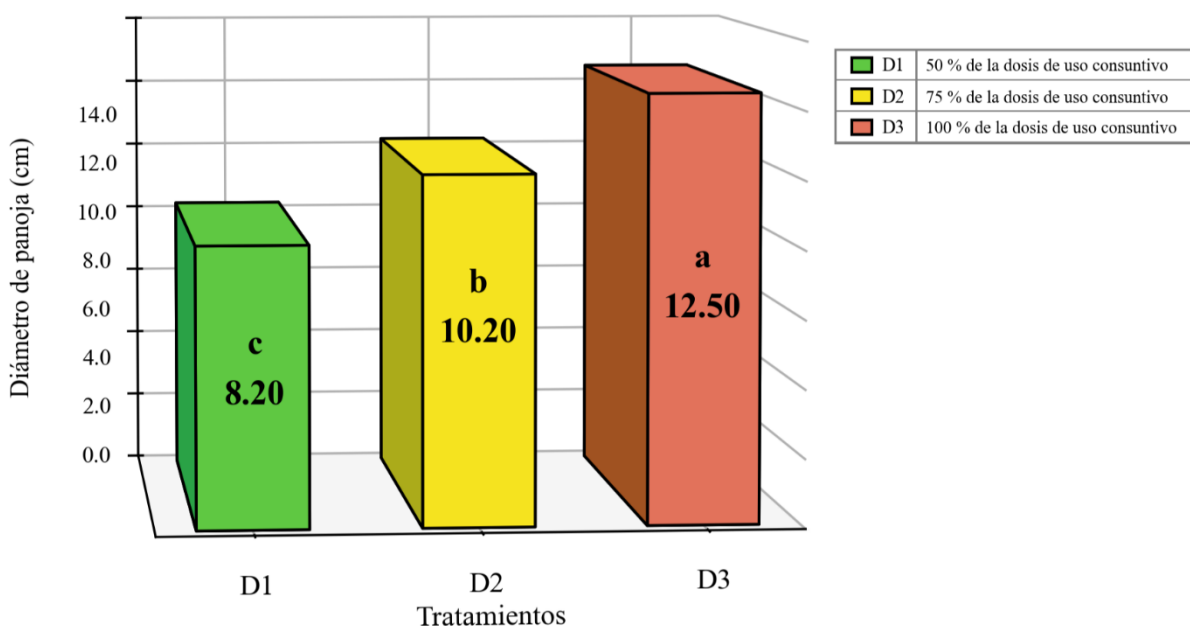
Tratamientos	Media diámetro panoja (cm)	
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo	8.21	a
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo	10.20	b
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo	12.46	c

*

< 0.001

Figura 9

Diámetro de panoja según las dosis de uso consuntivo



La prueba de comparación de medias mediante Tukey permitió identificar tres grupos estadísticos: el tratamiento D3 presentó el mayor diámetro promedio, agrupado en el nivel “a”; D2 se ubicó en el grupo “b”; y D1 registró el menor valor, perteneciendo al grupo “c”. Estos resultados evidencian que el tratamiento D3 favoreció un mayor desarrollo estructural de la panoja, posiblemente asociado a una mejor acumulación de biomasa, eficiencia fisiológica o condiciones agronómicas más favorables. Los volúmenes de riego fueron aplicados mediante sistema de goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el desarrollo reproductivo en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y buena respuesta al manejo hídrico. La clara separación entre grupos confirma que el efecto del tratamiento sobre el diámetro de la panoja es significativo y relevante para la productividad del cultivo. Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre diámetro de panoja en esta variedad recientemente liberada, se considera válido interpretar los resultados en función del comportamiento general de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Estrada-Zúñiga et al. (2022), quienes evaluaron 81 genotipos de quinua en distintas localidades del Perú y encontraron correlaciones positivas entre diámetro de panoja, altura de planta y rendimiento, destacando que el manejo agronómico y la adaptación genotípica influyen directamente en el desarrollo reproductivo y estructural del cultivo.

3.3. Parámetros biométricos

3.3.1. Altura de planta

El análisis estadístico mostró que no se encontraron diferencias significativas en los estadios de 2 y 4 hojas, lo que indica que las dosis de usos consuntivos no influyeron en la altura de planta durante las etapas iniciales de establecimiento. Sin embargo, a partir del estadio de 6 hojas, el análisis mediante el ANOVA de Welch arrojó un valor $p = 0.0033$, evidenciando el inicio de diferencias significativas entre los tratamientos. Como se detalla en la tabla 17, en los estadios de ramificación, panojamiento y floración, el ANOVA clásico reveló efectos altamente significativos ($p < 0.001$). De igual manera, en la etapa de grano lechoso, el ajuste de Welch confirmó que el efecto de las dosis de usos consuntivos sobre la altura de planta mantuvo una significancia estadística crítica ($p = 0.0000$). Estos resultados indican que la diferenciación en el crecimiento vertical del cultivo se acentúa a medida que aumenta la demanda hídrica en las fases de desarrollo vegetativo tardío y reproductivo.

Tabla 17

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a variables fenológicas del cultivo de quinua, correspondiente a la variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), ubicado en la región Ayacucho.

Fenología del cultivo	Tipo ANOVA	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
2 hojas	-	-	-	-	-	-	-
4 hojas	-	-	-	-	-	-	-
6 hojas	Welch	2	14.15	-	8.8159	0.0033	No aplica
Ramificación	Clásico	2	2528.20	1264.10	22.4730	0.0000	8.53
Panojamiento	Clásico	2	0.39	0.20	11.5520	0.0004	12.18
Floración	Clásico	2	11558.00	5779.00	27.4293	0.0000	7.99
G. lechoso	Welch	2	12.79	-	150.5750	0.0000	No aplica

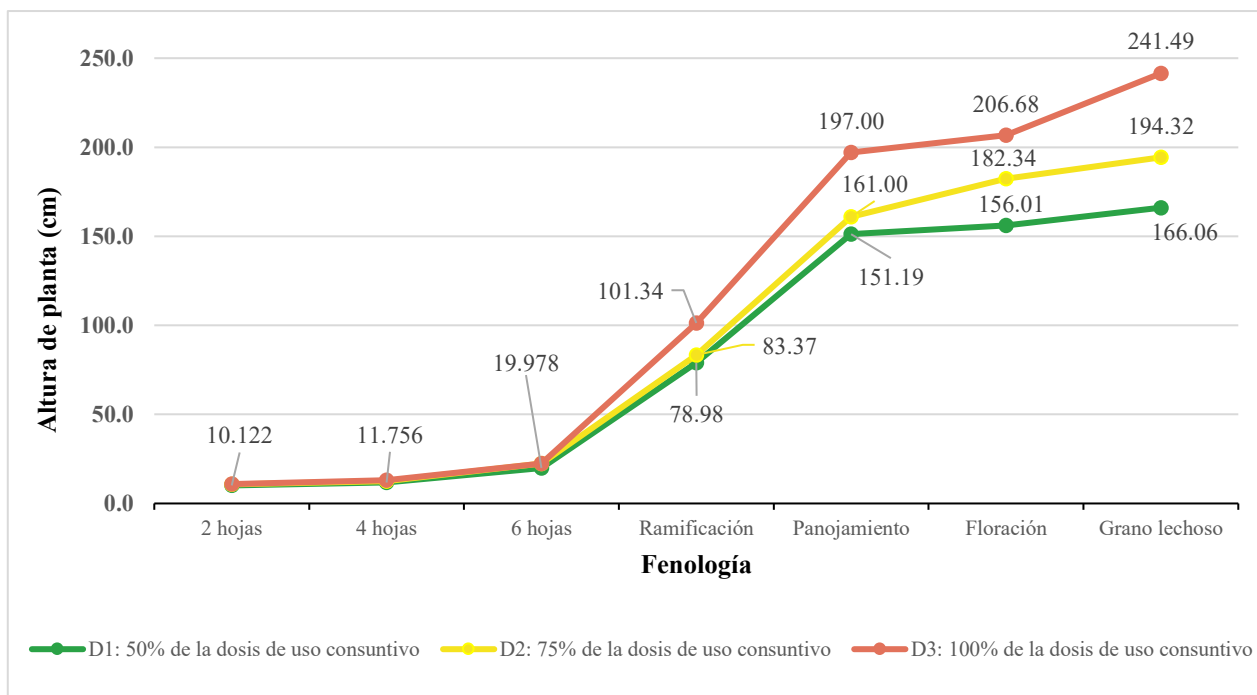
Tabla 18

Comparación de medias de la altura de planta en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	2hojas	4hojas	6hojas	Ram	Pan	Flo	G. lechoso
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo			b	b	b	c	c
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo			a	b	b	b	b
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo			a	a	a	a	a
	n.s	n.s	*	*	*	*	*
			0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Figura 10

Altura de planta por etapa fenológica



Según las pruebas de comparación de medias (LSD de Fisher o Tukey), el tratamiento D3 presentó consistentemente la mayor altura promedio en los estadios avanzados, ubicándose en el grupo estadístico “a”. Por su parte, D2 mostró un comportamiento intermedio, mientras que D1 registró las menores alturas, agrupándose en los niveles “b” o “c” según el estadio evaluado. Estas diferencias reflejan que la dosis de uso consuntivo al 100 % (D3) favoreció un crecimiento vegetativo más vigoroso, posiblemente asociado a una mayor turgencia celular y eficiencia fisiológica bajo una reposición hídrica total. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el desarrollo estructural de la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, caracterizada por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico. En conjunto, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que las dosis evaluadas influyen significativamente en la altura de planta a partir de la etapa de 6 hojas, siendo D3 el tratamiento más destacado en términos de vigor vegetativo. Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre la altura de planta en esta variedad recientemente liberada, los resultados guardan coherencia con el comportamiento general de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Gómez & Aguilar, (2016), quienes señalan que la altura de planta en quinua está influenciada por factores fisiológicos, genéticos y de manejo agronómico, siendo un indicador clave del vigor vegetativo y del potencial productivo.

3.3.2. Peso fresco de la biomasa aérea

El análisis estadístico del peso fresco de la biomasa aérea total, detallado en la tabla 19, mostró que las dosis de usos consuntivos generaron una respuesta diferenciada desde etapas tempranas. En el estadio de 2 hojas se observaron diferencias significativas ($p = 0.045$), mientras que en el estadio de 4 hojas la respuesta fue homogénea ($p = 0.145$). A partir del estadio de 6 hojas, se consolidaron las diferencias significativas ($p = 0.050$), evolucionando a niveles altamente significativos en las etapas de ramificación ($p = 0.002$), panojamiento y ($p = 0.000$), floración ($p = 0.002$), grano lechoso ($p = 0.000$) y grano pastoso ($p = 0.003$).

Tabla 19

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al peso fresco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Fenología del cultivo	Tipo ANOVA	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
2 hojas	Clásico	2	0.018	0.009	3.581	0.045	19.93
4 hojas	Clásico	2	0.183	0.092	2.114	0.145	16.66
hojas	Clásico	2	2.187	1.093	3.446	0.050	29.39
Ramificación	Clásico	2	6151.639	3075.819	8.072	0.002	27.87
Panojamiento	Clásico	2	20676.096	10338.048	18.741	0.000	8.33
Floración	Clásico	2	23487.507	11743.754	7.991	0.002	28.43
G. lechoso	Clásico	2	175669.933	87834.967	24.728	0.000	23.82
G. pastoso	Clásico	2	65715.889	32857.945	7.780	0.003	24.02

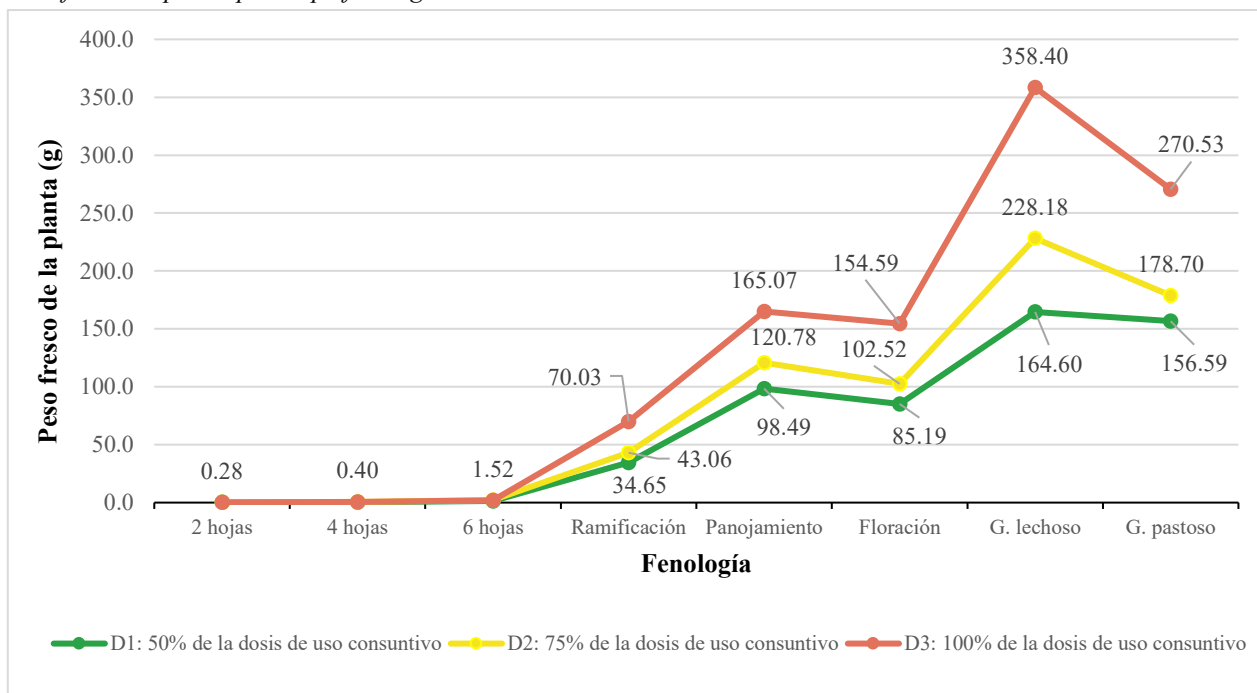
Tabla 20

Comparación de medias del peso fresco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante la prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	2hojas	4hojas	6hojas	Ram	Pan	Flo	G.lech	Gpas
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo	a		b	b	b	b	b	b
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo	b		b	b	b	b	b	b
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo	b		a	a	a	a	a	a
	*	n.s.	*	*	*	*	*	*
	0.045		0.049	0.002	< 0.001	0.002	< 0.001	0.003

Figura 11

Peso fresco de planta por etapa fenológica



La prueba de comparación de medias (LSD de Fisher o Tukey) permitió identificar que el tratamiento D3 presentó consistentemente los valores más altos de biomasa en los estadios avanzados, ubicándose en el grupo estadístico “a”. Por su parte, D2 mostró un comportamiento intermedio, mientras que D1 registró los valores más bajos, agrupándose en los niveles “b” o “c” según el estadio evaluado. Estos resultados evidencian que la dosis de uso consuntivo al 100 % (D3) favoreció una mayor acumulación de biomasa fresca, posiblemente asociada a una mayor turgencia celular y una arquitectura foliar que optimiza la interceptación lumínica. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el crecimiento vegetativo y reproductivo en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico. La diferenciación entre tratamientos se acentuó conforme avanzó el ciclo fenológico, lo que sugiere que el efecto del régimen hídrico aplicado se manifiesta con mayor claridad en las etapas reproductivas, donde la demanda de agua es máxima. Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre la biomasa aérea en esta variedad recientemente liberada, los resultados guardan relación con el comportamiento general de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Geerts et al. (2008), quienes destacan que la quinua responde positivamente al suministro hídrico optimizado en etapas clave, promoviendo una rápida expansión del dosel y una acumulación progresiva de biomasa aérea que maximiza la eficiencia en el

uso del agua durante los estadios reproductivos.

3.3.3. Peso seco de la biomasa aérea

El análisis estadístico del peso seco de la biomasa aérea total, presentado en la tabla 21, indica que mediante el ANOVA clásico no se encontraron diferencias significativas en los estadios iniciales de 2 y 4 hojas ($p > 0.05$). Sin embargo, a partir del estadio de 6 hojas, el ANOVA clásico reveló la aparición de diferencias significativas ($p = 0.0157$), mientras que en el estadio de ramificación la respuesta volvió a mostrar una tendencia de homogeneidad estadística ($p = 0.153$).

Posteriormente, en la etapa de panojamiento, debido al incumplimiento de la homogeneidad de varianzas, se aplicó la prueba robusta de Welch, la cual arrojó diferencias altamente significativas ($p < 0.001$). En las etapas finales de floración, grano lechoso y grano pastoso, se retomó el uso del ANOVA clásico, confirmando que el efecto de las dosis de usos consuntivos sobre la acumulación de materia seca fue determinante en el tramo final del cultivo ($p \leq 0.00368$). Estos resultados demuestran que la partición de asimilados hacia la biomasa seca en la variedad INIA-441 Señor del Huerto es altamente sensible al régimen hídrico aplicado, especialmente durante y después de la fase de panojamiento.

Tabla 21

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al peso seco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Fenología del cultivo	Tipo ANOVA	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
2 hojas	Clásico	2	2.22E-05	1.11E-05	2.45E-01	7.85E-01	21.01
4 hojas	Clásico	2	3.63E-04	1.81E-04	2.59E-01	7.74E-01	12.71
6 hojas	Clásico	2	4.35E-02	2.17E-02	5.05E+00	1.57E-02	31.09
Ramificación	Clásico	2	6.61E+01	3.31E+01	2.05E+00	1.53E-01	6.49
Panojamiento	Welch	2	1.22E+01	-	2.69E+01	3.46E-05	No aplica
Floración	Clásico	2	1.67E+03	8.37E+02	9.30E+00	1.18E-03	22.25
Grano lechoso	Clásico	2	1.85E+04	9.27E+03	2.65E+01	0.00E+00	24.40
Grano pastoso	Clásico	2	1.07E+04	5.37E+03	7.31E+00	3.68E-03	0.56

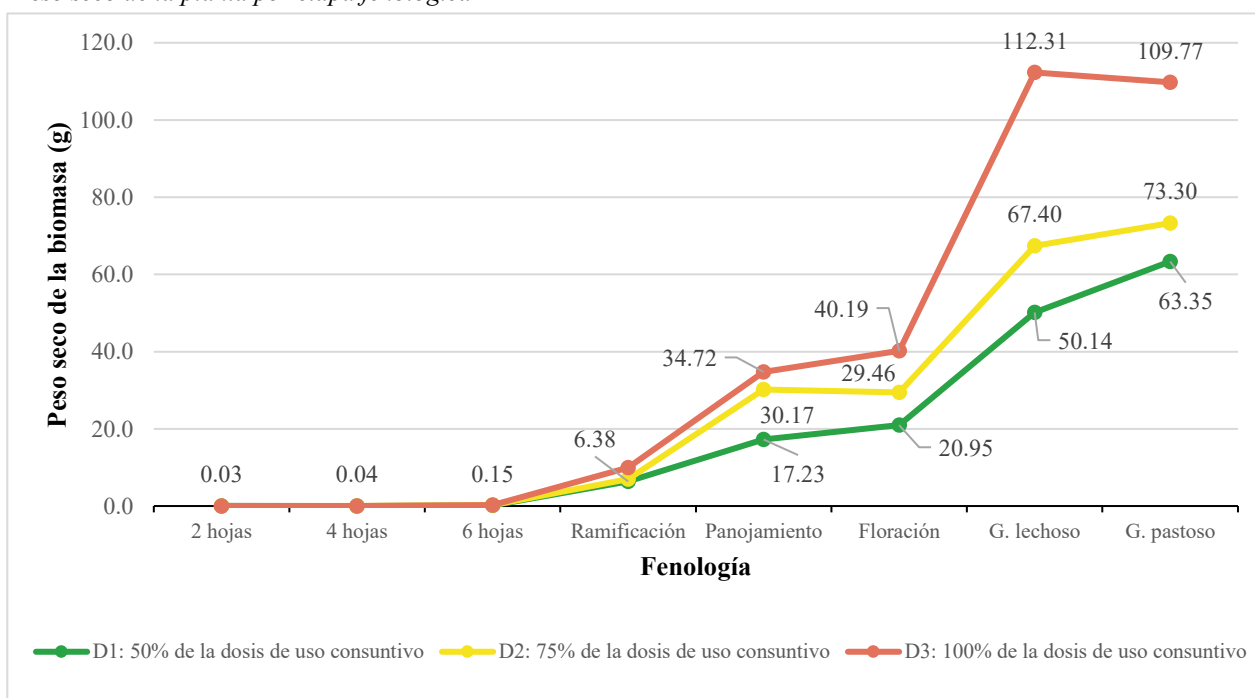
Tabla 22

Comparación de medias del peso seco de la biomasa aérea en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante la prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	2hojas	4hojas	6hojas	Ram	Pan	Flo	G.lech	Gpas
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo			b		b	b	b	b
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo			a		a	ab	b	b
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo			a		a	a	a	a
	n.s	n.s	*	n.s	*	*	*	*
			0.015		< 0.001	0.001	< 0.001	0.002

Figura 12

Peso seco de la planta por etapa fenológica



La prueba de comparación de medias (LSD de Fisher o Tukey) reveló que el tratamiento D2 presentó los valores más altos de biomasa seca en los estadios reproductivos, ubicándose en el grupo estadístico "a". Por su parte, D3 mostró un comportamiento intermedio, agrupado en el nivel "b", mientras que D1 registró los valores más bajos, ubicándose en los niveles "b" o "c" según el estadio evaluado. Estos resultados indican que la dosis de uso consuntivo al 75% (D2) favoreció una mayor acumulación de materia seca en etapas clave del desarrollo, lo que sugiere una mayor eficiencia en la translocación de fotoasimilados hacia los órganos de reserva bajo un ligero déficit hídrico controlado. Las dosis de uso consuntivo fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el crecimiento estructural en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, reconocida por

su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico. La diferenciación entre tratamientos se acentuó en los estadios reproductivos, reflejando el impacto del régimen hídrico sobre la productividad estructural del cultivo.

Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre biomasa seca en esta variedad recientemente liberada, los resultados guardan coherencia con el comportamiento fisiológico de la especie. Este mecanismo ha sido confirmado experimentalmente por Egashira et al. (2020), quienes demostraron en cowpea que bajo estrés hídrico durante el llenado del grano, el rendimiento se mantuvo estable a pesar de la reducción fotosintética, gracias a la translocación de fotoasimilados desde los órganos fuente evidenciada por la disminución del almidón en hojas, tallos y raíces hacia el grano como sumidero prioritario. Este mismo mecanismo ha sido sugerido en quinoa por Gámez et al. (2019), quienes asociaron el mantenimiento del rendimiento del grano bajo déficit hídrico a una posible removilización de reservas desde los órganos vegetativos hacia el grano, respaldada por la disminución de carbohidratos foliares observada bajo condiciones de estrés. Complementariamente, Bascuñán-Godoy et al. (2016) confirmaron en *Chenopodium quinoa* Willd., que el déficit hídrico durante el llenado del grano induce cambios significativos en la partición de carbono y nitrógeno entre hojas y granos, sugiriendo que dicha regulación puede mejorar la calidad del grano sin comprometer el rendimiento.

3.3.4. Diámetro de tallo

El análisis estadístico del diámetro de tallo, detallado en la tabla 23, mostró que no se encontraron diferencias significativas en los estadios de ramificación y grano pastoso ($p > 0.05$). En estas etapas, el análisis se realizó mediante la prueba robusta de Welch, indicando una respuesta homogénea del grosor del tallo al inicio y al cierre del ciclo evaluado.

En cambio, se observaron diferencias significativas y altamente significativas durante las fases intermedias mediante el ANOVA clásico. En el estadio de panojamiento, el valor de p fue de 0.00076, mientras que en floración y grano lechoso los valores fueron de 0.0103 y 0.0042, respectivamente. Estos resultados evidencian que el efecto de las dosis de usos consuntivos se manifiesta con mayor claridad en las etapas reproductivas, donde la turgencia y el desarrollo de los tejidos de sostén de la variedad INIA-441 Señor del Huerto dependen directamente de la disponibilidad hídrica.

Tabla 23

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al diámetro de tallo en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en cinco etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Fenología del cultivo	Tipo ANOVA	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
Ramificación	Welch	2	12.752	-	3.046	0.082	No aplica
Panojamiento	Clásico	2	28.337	14.168	10.136	0.000	12.38
Floración	Clásico	2	17.842	8.921	5.667	0.010	No aplica
G. lechoso	Clásico	2	55.836	27.918	7.091	0.004	19.19
G. pastoso	Welch	2	12.916	-	3.311	0.069	No aplica

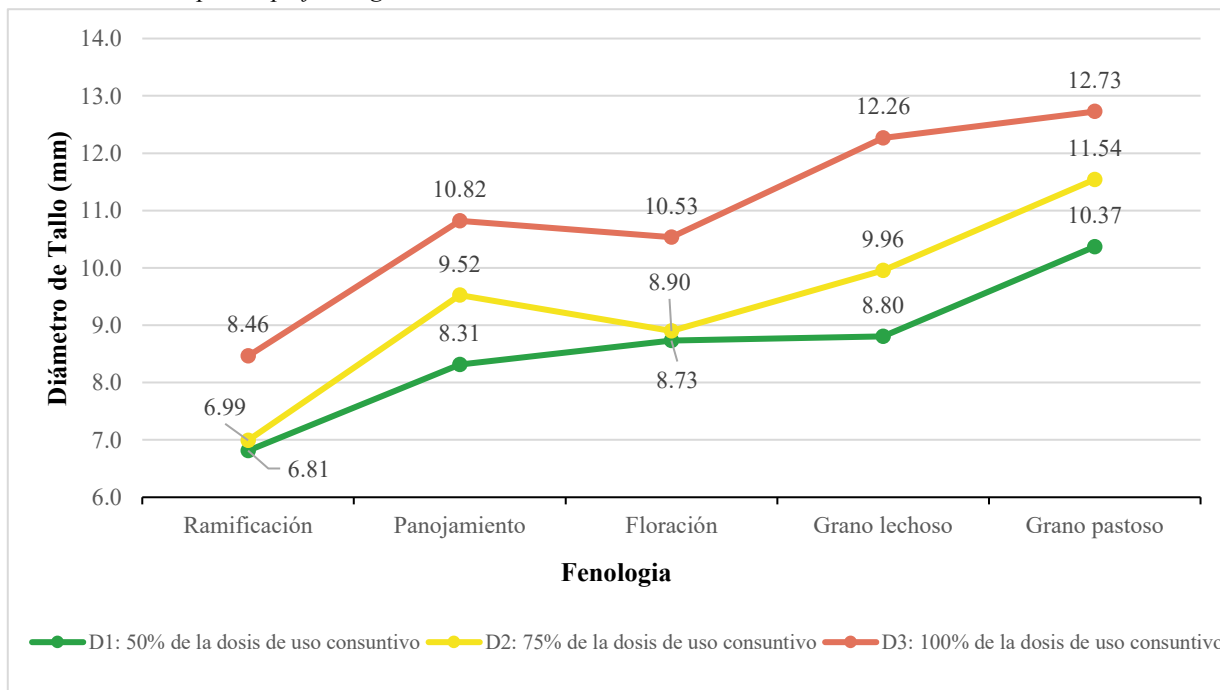
Tabla 24

Comparación de medias del diámetro de tallo en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante la prueba de Tukey, evaluada en cinco etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	Ram	Pan	Flo	G. lechoso	G.pastoso
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo		b	b	b	
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo		ab	b	ab	
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo		a	a	a	
	n.s.	*	*	*	n.s
		< 0.001	0.0103	0.0042	

Figura 13

Diámetro de tallo por etapa fenológica



La prueba de comparación de medias (LSD de Fisher o Games-Howell) reveló que el tratamiento D2 presentó los mayores valores de diámetro en los estadios

significativos, ubicándose en el grupo estadístico “a”. Por su parte, D3 mostró un comportamiento intermedio, agrupado en los niveles “b” o “ab”, mientras que D1 registró los valores más bajos, ubicándose en “b” o “c” según el estadio evaluado. Estos resultados indican que la dosis de uso consuntivo al 75 % (D2) favoreció un mayor desarrollo estructural en términos de diámetro de planta, lo que sugiere una respuesta fisiológica eficiente orientada hacia la robustez del tallo bajo un régimen hídrico optimizado. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el desarrollo vegetativo y reproductivo en la variedad INIA 441 – Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico. La diferenciación entre tratamientos en los estadios reproductivos sugiere que el manejo hídrico aplicado influye directamente en la robustez del tallo y la capacidad de sostén de la planta, factores críticos durante el llenado de grano.

Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre el diámetro de tallo en esta variedad recientemente liberada, los resultados guardan relación con el comportamiento general de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Gómez & Aguilar (2016) quienes señalan que el diámetro de tallo en quinua está influenciado por la arquitectura foliar, la acumulación de biomasa y el manejo agronómico, siendo un indicador clave del vigor estructural y la resistencia al vuelco.

3.3.5. Longitud de raíz

El análisis estadístico de la longitud de raíz, presentado en la tabla 25, mostró que mediante el ANOVA clásico no se encontraron diferencias significativas en los estadios de 2 y 4 hojas, ramificación, panojamiento y floración ($p > 0.05$), lo que indica una respuesta homogénea del sistema radicular en gran parte del ciclo. No obstante, en el estadio de 6 hojas, se aplicó la prueba de Welch debido a la falta de homogeneidad de varianzas, obteniéndose un valor de $p = 0.02353$, lo que indica diferencias significativas entre las dosis de usos consuntivos. Hacia el final del ciclo evaluado, en el estadio de grano lechoso, el ANOVA clásico reveló un efecto altamente significativo ($p = 0.00000$). Este comportamiento sugiere que la diferenciación radicular se acentúa en la etapa de llenado de grano, donde la planta de quinua INIA-441 Señor del Huerto parece ajustar su profundidad radicular como respuesta adaptativa a las distintas dosis de usos consuntivos aplicadas, optimizando la búsqueda de humedad en el perfil del suelo.

Tabla 25

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a la longitud de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Fenología del cultivo	Tipo ANOVA	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
2 hojas	Clásico	2	0.526	0.263	0.140	0.869	31.07
4 hojas	Clásico	2	2.698	1.349	3.020	0.069	16.58
6 hojas	Welch	2	13.276	-	5.039	0.023	No aplica
Ramificación	Clásico	2	10.846	5.423	1.524	0.239	11.42
Panojamiento	Clásico	2	19.446	9.723	1.623	0.219	9.68
Floración	Clásico	2	52.082	26.044	2.319	0.121	12.84
G. lechoso	Clásico	2	405.854	202.927	72.110	0.000	5.83

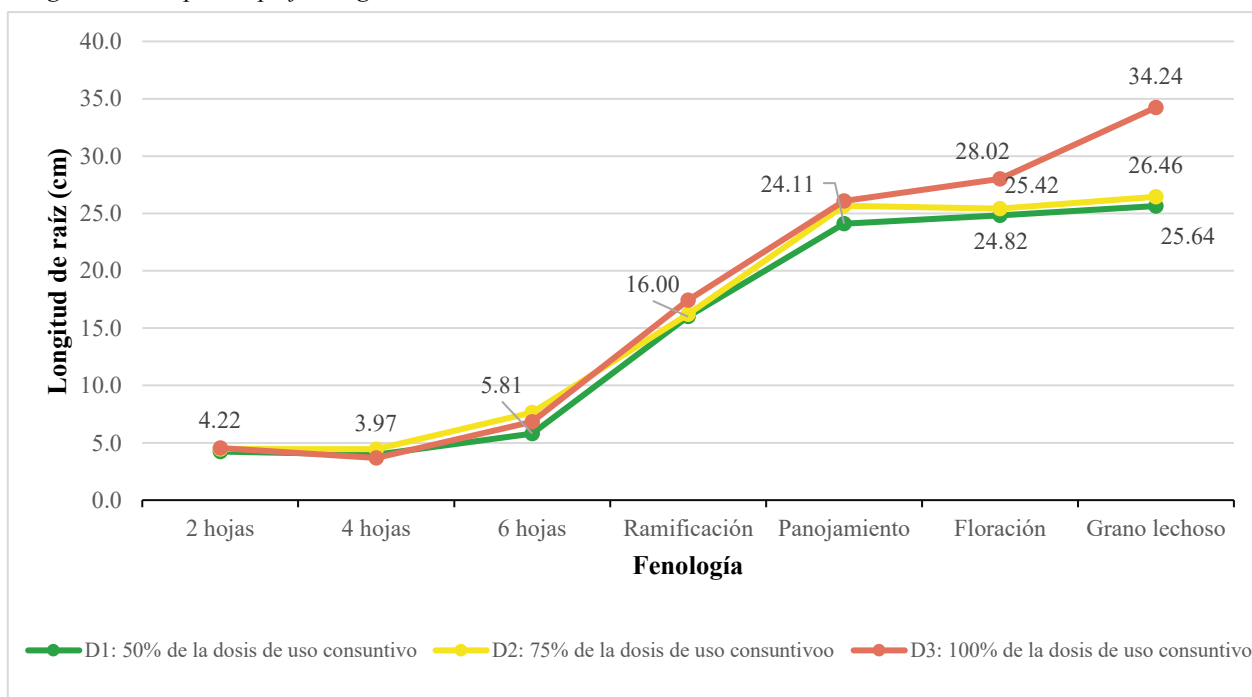
Tabla 26

Comparación de medias de la longitud de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	2hojas	4hojas	6hojas	Ram	Pan	Flo	G.lech
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo			b				b
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo			a				b
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo			ab				a
	n.s	n.s	*	n.s	n.s	n.s	*
			0.023				< 0.001

Figura 14

Longitud de raíz por etapa fenológica



En el estadio de grano lechoso, se aplicó un ANOVA clásico encontrándose

diferencias altamente significativas ($p < 0.001$). La prueba de comparación de medias (LSD de Fisher) reveló que el tratamiento D3 presentó la mayor longitud de raíz, ubicándose en el grupo estadístico “a”, mientras que D1 y D2 se agruparon en el nivel “b”. Estos resultados indican que la dosis de uso consuntivo al 100 % (D3) favoreció un mayor desarrollo radicular en etapas reproductivas, lo que se asocia a una exploración más profunda del perfil del suelo y una mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes. La mayor elongación radicular en el tratamiento con reposición hídrica total sugiere que, bajo estas condiciones, la planta maximiza su estructura de soporte y captación para satisfacer la alta demanda transpiratoria del llenado de grano. Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre la longitud de raíz en esta variedad recientemente liberada, los resultados guardan coherencia con el comportamiento general de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Al-Naggar et al. (2017), quienes evidenciaron que el sistema radicular de la quinua exhibe una alta plasticidad morfológica y que una óptima disponibilidad hídrica estimula una mayor elongación y ramificación de las raíces principales para optimizar la captura de agua durante la antesis y el llenado de grano.

3.3.6. Peso fresco de la raíz

El análisis estadístico del peso fresco radicular, detallado en la tabla 27, indica que no se encontraron diferencias significativas en los estadios iniciales de 6 hojas ($p = 0.3687$) y ramificación ($p = 0.11799$), lo que sugiere una respuesta homogénea del sistema radicular en las fases de establecimiento. En estas etapas se emplearon la prueba de Welch y el ANOVA clásico, respectivamente.

En cambio, a partir del estadio de panojamiento, se observaron diferencias altamente significativas mediante el ANOVA clásico ($p = 0.00005$), tendencia que se mantuvo en las etapas de floración ($p = 0.00067$) y grano lechoso ($p = 0.00012$). Estos resultados evidencian que el efecto de las dosis de usos consuntivos sobre la acumulación de biomasa fresca radicular se vuelve crítico durante la fase reproductiva, donde la planta de quinua INIA-441 Señor del Huerto requiere una mayor turgencia y soporte estructural para el llenado de grano. Finalmente, en la etapa de grano pastoso, la respuesta volvió a ser homogénea según la prueba de Welch ($p = 0.05887$).

Tabla 27

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al peso fresco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Fenología del cultivo	Tipo ANOVA	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
2 hojas	-	-	-	-	-	-	-
4 hojas	-	-	-	-	-	-	-
6 hojas	Welch	2	0.453	0.226	1.044	0.368	-
Ramificación	Clásico	2	18.582	9.291	2.358	0.117	52.66
Panojamiento	Clásico	2	220.715	110.357	16.252	0.000	25.24
Floración	Clásico	2	298.385	149.192	10.363	0.000	30.74
G. lechoso	Clásico	2	1297.987	648.993	14.361	0.000	34.67
G. pastoso	Welch	2	14.176	-	3.4818	0.058	No aplica

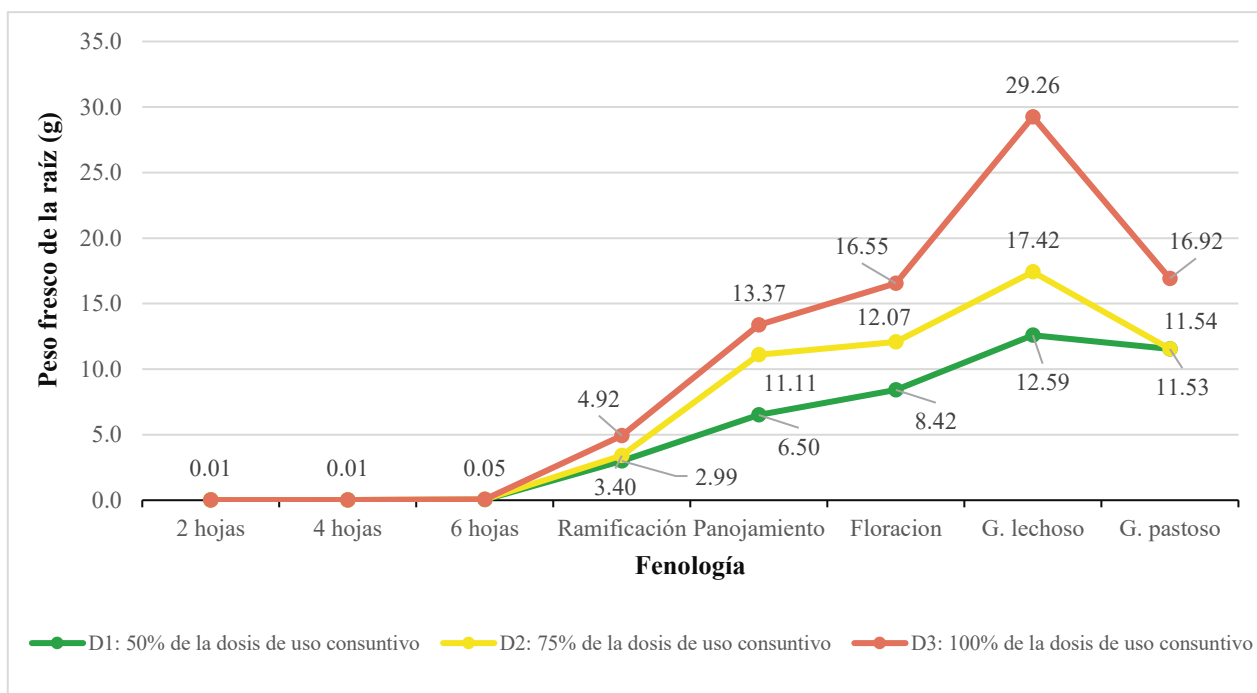
Tabla 28

Comparación de medias del peso fresco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	2hojas	4hojas	6hojas	Ram	Pan	Flo	G.lech	Gpas
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo					b	b	c	
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo					b	ab	b	
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo					a	a	a	
	n.s	n.s	n.s	n.s	*	*	*	n.s
					< 0.001	< 0.001	< 0.001	

Figura 15

Peso fresco de la raíz por etapa fenológica



Para el estadio de grano pasado, se aplicó la prueba robusta de Welch debido al incumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas. Los resultados de la comparación de medias indicaron que el tratamiento D3 presentó la mayor biomasa radicular, seguido por D2 y D1, ubicándose en los niveles estadísticos “a”, “b” y “c”, respectivamente. Esta tendencia confirma que la dosis de uso consuntivo al 100 % (D3) favorece una acumulación superior de biomasa fresca en las etapas finales del ciclo. Este patrón de respuesta radicular en etapas avanzadas refuerza la premisa de que el suministro hídrico total promueve un sistema radical más robusto, capaz de sostener la elevada demanda metabólica durante la maduración del grano. Estos hallazgos guardan estrecha relación con lo descrito por Choukr-Allah et al. (2016), quienes sostienen que un régimen hídrico sin restricciones hacia el final del ciclo fenológico evita la senescencia prematura del sistema radical de la quinua, manteniendo la turgencia celular necesaria para el transporte de asimilados hacia el grano.

3.3.7. *Peso seco de la raíz*

El análisis estadístico del peso seco radicular, detallado en la tabla 29, muestra que, para los estadios vegetativos de 2, 4 y 6 hojas se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman debido a la falta de normalidad en los datos, no detectándose diferencias significativas entre las dosis de usos consuntivos ($p = 0.368$). En el estadio de ramificación, se utilizó la prueba de Welch por heterogeneidad de varianzas, obteniéndose un resultado no significativo ($p = 0.137$). A partir del panojamiento, el ANOVA clásico reveló diferencias altamente significativas ($p = 0.000$), tendencia que se mantuvo en floración ($p = 0.001$) y grano lechoso ($p = 0.000$). En estas etapas reproductivas, la prueba de comparación de medias (LSD de Fisher) permitió identificar que la dosis D3 se agrupó en el nivel “a”, superando en acumulación de materia seca a D2 y D1. Finalmente, en el estadio de grano pastoso, el ANOVA clásico no mostró diferencias significativas ($p = 0.172$), sugiriendo una estabilización en la translocación de asimilados hacia el sistema radicular al cierre del ciclo del cultivo INIA-441 Señor del Huerto.

Tabla 29

Resumen de los métodos de análisis de varianza (ANOVA) y pruebas no paramétricas aplicado al peso seco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en siete etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Fenología del cultivo	Prueba estadística	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
2 hojas	Friedman	-	-	-	-	0.368	No aplica
4 hojas	Friedman	-	-	-	-	0.368	No aplica
6 hojas	Friedman	-	-	-	-	0.368	No aplica
Ramificación	Welch	2	13.778	-	2.305	0.137	No aplica
Panojamiento	Clásico	2	30.803	15.402	30.062	0.000	18.57
Floración	Clásico	2	38.929	19.465	9.341	0.001	31.25
G. lechoso	Clásico	2	3.256	1.628	16.122	0.000	No aplica
G. pastoso	Clásico	2	27.179	13.590	1.908	0.172	3.31

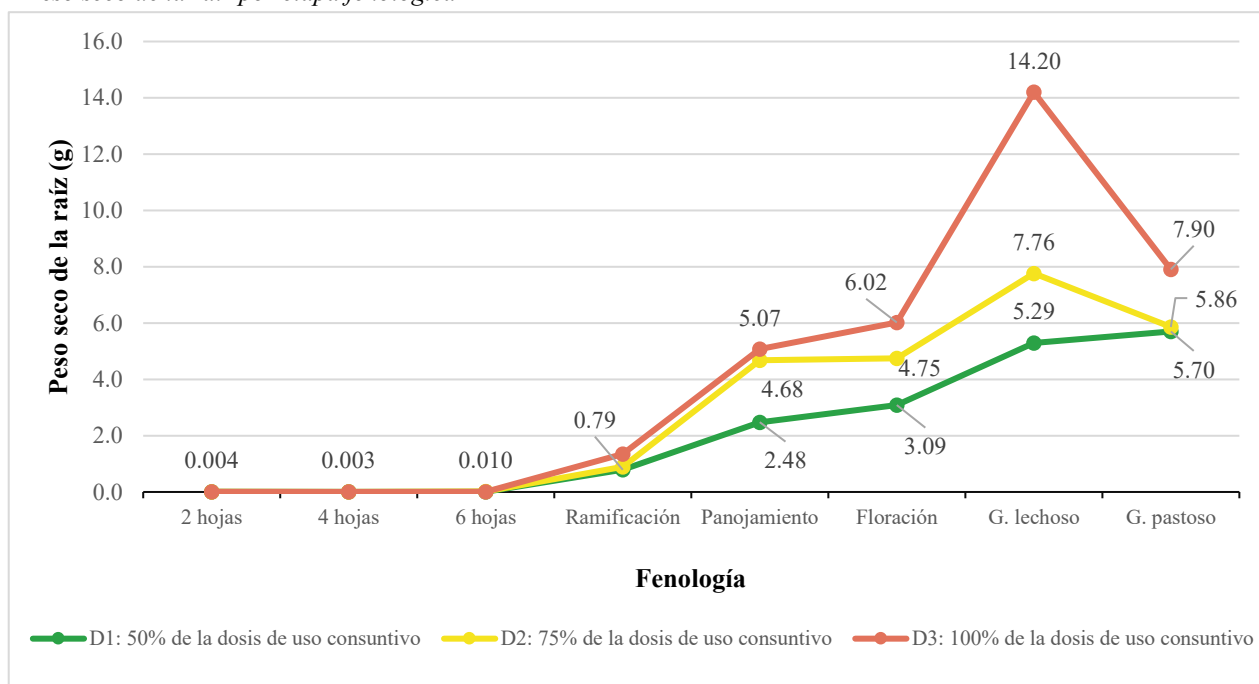
Tabla 30

Comparación de medias del peso seco de raíz en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	2hojas	4hojas	6hojas	Ram	Pan	Flo	G.lech	Gpas
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo					c	b	c	
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo					b	ab	b	
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo					a	a	a	
	n.s	n.s	n.s	n.s	*	*	*	n.s
					< 0.001	0.001	< 0.001	

Figura 16

Peso seco de la raíz por etapa fenológica



Estos resultados refuerzan la consistencia de la dosis de uso consuntivo al 100 %

(D3) en promover un desarrollo radicular más robusto durante las etapas reproductivas, lo que podría estar vinculado a una mayor eficiencia en la absorción de recursos y una mejor adaptación fisiológica al manejo aplicado. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, lo que permitió sostener el desarrollo subterráneo en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico. Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre la biomasa seca radicular en esta variedad recientemente liberada, se considera válido interpretar los resultados en función del comportamiento general de la especie. Esta interpretación coincide con lo reportado por Magni et al. (2020), quienes demostraron que la acumulación de materia seca en las raíces de la quinua responde de forma directa al volumen de agua aplicado, siendo un componente clave para el soporte estructural y el equilibrio de la biomasa total del cultivo.

3.3.8. Dosel

El análisis del porcentaje de cobertura de dosel, detallado en la tabla 31, se realizó mediante distintos métodos estadísticos según los supuestos cumplidos en cada etapa fenológica. En el estadio de 2 hojas, se utilizó la prueba de Welch, encontrándose diferencias significativas entre las dosis de usos consuntivos ($p = 0.001135$). Sin embargo, en los estadios de 4 hojas (Welch) y 6 hojas (ANOVA clásico), no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$), lo que indica una cobertura foliar homogénea en las fases iniciales de establecimiento.

A partir de la ramificación, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, revelando diferencias significativas ($p = 0.02732$). Esta tendencia se acentuó en el panojamiento mediante la prueba de Welch, con diferencias altamente significativas ($p = 0.000197$). En las etapas de floración y grano lechoso, se retomó la prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0.02732$), mientras que en el cierre del ciclo (grano pastoso) la prueba de Welch confirmó la persistencia de diferencias significativas ($p = 0.001411$). Estos resultados evidencian que el efecto de las dosis de usos consuntivos sobre la expansión del dosel en la variedad INIA-441 Señor del Huerto es más determinante a partir del inicio de las fases reproductivas.

Tabla 31

Resumen de los métodos de análisis de varianza (ANOVA) y pruebas no paramétricas aplicado al porcentaje de cobertura de dosel (%dosel) en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho.

Fenología del cultivo	Prueba estadística	GL	SC	CM	F	P-valor	%CV
2 hojas	Welch	2	11.158	-	13.232	0.001	No aplica
4 hojas	Welch	2	10.929	-	0.138	0.872	No aplica
6 hojas	Clásico	2	0.000	3.54E-06	0.263	0.771	0.005
Ramificación	Kruskal-wallis	2	-	-	-	0.027	0.02732
Panojamiento	Welch	2	10.790	-	20.834	0.000	No aplica
Floración	Kruskal-wallis	2	-	-	-	0.027	No aplica
G. lechoso	Kruskal-wallis	2	-	-	-	0.027	No aplica
G. pastoso	Welch	2	13.760	-	10.980	0.001	No aplica

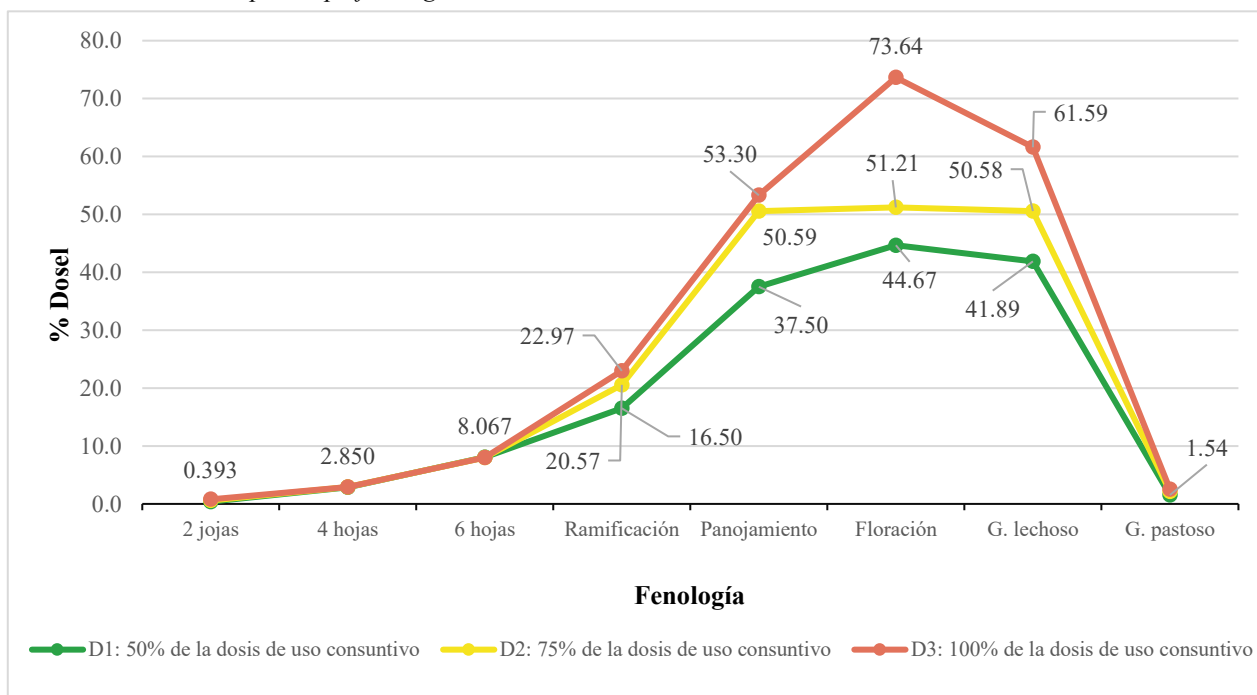
Tabla 32

Comparación de medias del porcentaje de cobertura de dosel (%dosel) en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, mediante prueba de Tukey, evaluada en ocho etapas fenológicas bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canaán (2735 msnm), Ayacucho

Tratamientos	2hojas	4hojas	6hojas	Ram	Pan	Flo	G.lech	G.pas
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo	b			c	b	c	c	b
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo	ab			b	a	b	b	a
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo	a			a	a	a	a	a
	*	n.s	n.s	*	*	*	*	*
	0.001			0.027	< 0.001	0.027	0.027	0.001

Figura 17

Variación del % Dosel por etapa fenológica



Para los estadios de ramificación, floración y grano lechoso, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, dado que los datos no cumplían con los supuestos paramétricos. En todos estos casos se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), donde la dosis de uso consuntivo al 100 % (D3) mostró los valores más altos de cobertura, ubicándose en el grupo estadístico “a”, mientras que D1 se situó en los niveles inferiores (“b” o “c”), dependiendo del estadio evaluado. En el estadio de panojamiento y durante la etapa de llenado de grano (estadio pastoso), se aplicó la prueba de Welch, obteniéndose resultados altamente significativos ($p < 0.001$), lo que confirma que D3 mantiene una cobertura superior incluso en etapas tardías. Estos resultados indican que el tratamiento D3 favorece una mayor expansión foliar y cobertura de dosel en etapas reproductivas, lo que se vincula directamente con una mejor eficiencia fotosintética y mayor interceptación de luz. Las dosis de usos consuntivos fueron aplicadas mediante un sistema de riego por goteo desde la etapa de ramificación, permitiendo sostener el desarrollo estructural en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, reconocida por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico.

Aunque no se cuenta con estudios específicos sobre cobertura foliar en esta variedad recientemente liberada, los hallazgos guardan relación con el comportamiento fisiológico de la especie. Esta interpretación coincide con lo descrito por Ruiz y Bertero (2008), quienes señalan que la fotosíntesis del dosel depende de la capacidad de las estructuras vegetativas para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), siendo la cobertura foliar un factor determinante en la productividad de la quinua.

3.4. Evaluación de calidad de semilla

3.4.1. Contenido de saponina

El análisis de varianza (ANOVA) para la concentración de saponina en el grano, detallado en la tabla 33, no mostró diferencias significativas entre las dosis de usos consuntivos evaluadas ($p = 0.629$). Esta falta de significancia indica que la variabilidad inducida por los regímenes hídricos no fue suficiente para alterar la composición química basal de la variedad INIA 441 – Señor del Huerto. Este comportamiento se fundamenta en la naturaleza genética de este cultivar, el cual posee una concentración de saponina inherentemente baja, limitando su respuesta fenotípica ante variaciones en el manejo agronómico bajo las condiciones de INIA-Canaán.

Tabla 33

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado al porcentaje de saponina en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canadán (2735 msnm), Ayacucho.

	GL	SC	CM	F	P-valor
Tratamiento	2	3.75E-05	1.88E-05	0.522	0.629 ns
Bloque	2	9.78E-06	4.89E-06	0.136	0.877 ns
Residual	4	1.44E-04	3.60E-05		

%CV=27.85

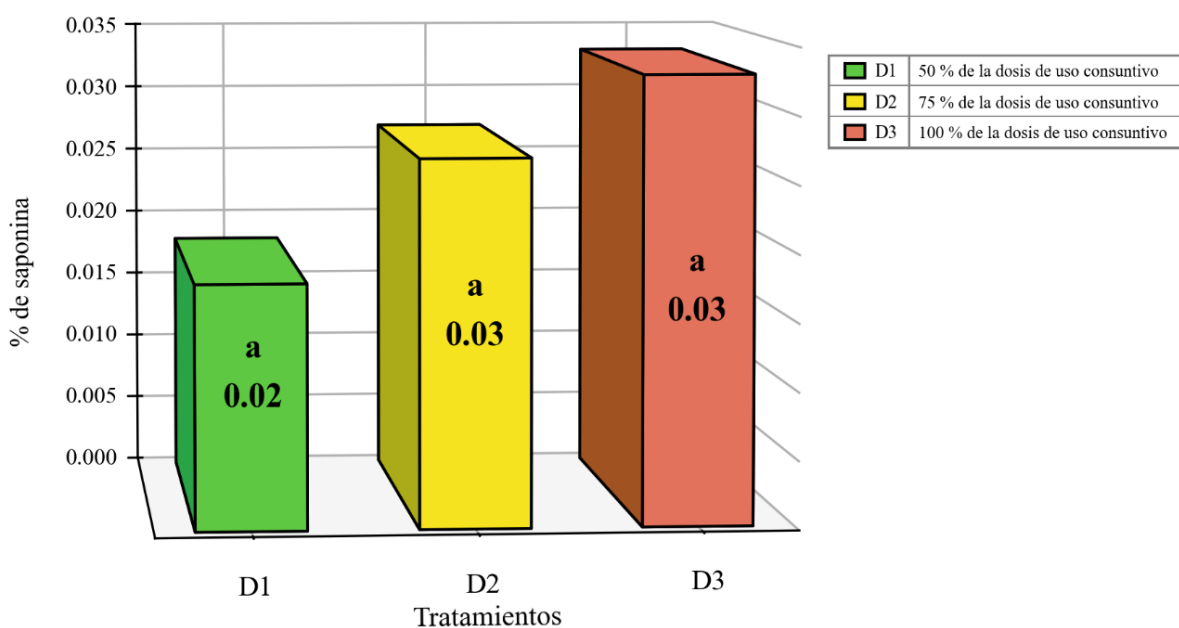
Tabla 34

Comparación de medias del porcentaje de saponina en quinua, variedad INIA-441 Señor del Huerto, evaluada bajo condiciones de campo en el Centro Experimental INIA-Canadán (2735 msnm), Ayacucho.

Tratamientos	Media (%)	
D1: 50% de la dosis de uso consuntivo	0.018	a
D2: 75% de la dosis de uso consuntivo	0.027	a
D3: 100% de la dosis de uso consuntivo	0.033	a

Figura 18

% de saponina según el volumen de uso consuntivo de riego



Como se ilustra en la figura 18, la prueba de comparación de medias confirmó la homogeneidad de la variable, donde todos los tratamientos (D1, D2 y D3) se ubicaron en el mismo grupo estadístico “a”, con valores que oscilaron entre 0.02 % y 0.03 %. Aunque el gráfico muestra una ligera tendencia numérica al incremento de saponina en la dosis completa (100 %), esta no posee relevancia estadística.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Castillo et al. (2023), quienes señalan que en variedades de quinua dulce (con contenido menor al 0,11% de saponinas)

se clasifican como dulces y no requieren tratamientos complejos para eliminación de saponinas, favoreciendo la comercialización y preservando atributos nutricionales y organolépticos [web:22]. En conjunto, la evidencia sugiere que el manejo hídrico mediante riego por goteo permite optimizar el recurso sin comprometer la calidad comercial del grano, preservando las características organolépticas que definen a esta variedad recientemente liberada.

CONCLUSIONES

Las tres dosis de uso consuntivo de agua (50%, 75% y 100% de la ETc) aplicadas mediante riego por goteo influyeron significativamente en el rendimiento, la Eficiencia de Uso del Agua y el desarrollo biométrico del cultivo de *Chenopodium quinoa* Willd. variedad INIA-441 Señor del Huerto, en Ayacucho, 2024, sin afectar el contenido de saponina en el grano.

1. El mayor rendimiento se obtuvo con el 75% de uso consuntivo (D2), con $4.44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, similar al 100% (D3, $4.43 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) y superior al 50% (D1, $3.58 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). La mayor Eficiencia de Uso del Agua (1.11 kg/m^3) se logró con D1, pese a recibir el menor volumen de agua ($3220.0 \text{ m}^3/\text{ha}$), superando a D2 (1.09 kg/m^3) y D3 (0.90 kg/m^3).
2. El mayor desarrollo biométrico se obtuvo con el 100% de uso consuntivo (D3): 241.49 cm de altura de planta, 12.73 mm de diámetro de tallo, 73.64% de cobertura de dosel, 34.24 cm de longitud de raíz y 112.31 g de biomasa aérea. Estos valores disminuyeron conforme se redujo el volumen de agua aplicado.
3. El contenido de saponina no varió significativamente entre tratamientos ($p > 0.05$), manteniéndose entre 0.02 y 0.03% en todas las dosis evaluadas, lo que indica que este atributo depende del componente genético del cultivar y no del volumen de agua disponible.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de una dosis de uso consuntivo equivalente al 75 % del requerimiento hídrico (D2) como la estrategia técnica más eficiente para el manejo del agua en la región. Esta recomendación se sustenta en que el tratamiento D2 alcanzó una Eficiencia de Uso del Agua (EUA) de 1.09 kg/m^3 , superando al tratamiento del 100 % (D3), cuya eficiencia descendió a 0.90 kg/m^3 . Se confirma así la relación inversa señalada: un incremento en el volumen de agua aplicado por encima del 75 % no genera aumentos proporcionales en el rendimiento, provocando una caída en la productividad del agua. Por tanto, el nivel del 75 % optimiza la producción de la variedad INIA-441 Señor del Huerto asegurando la sostenibilidad del recurso y la rentabilidad económica.
2. Dado que el riego completo (100 %) favoreció significativamente el crecimiento biométrico del cultivo, expresado en mayor altura de planta, biomasa aérea, diámetro de tallo, desarrollo radicular y cobertura de dosel, se recomienda asegurar un adecuado suministro de agua durante las etapas críticas del desarrollo vegetativo y reproductivo, especialmente desde floración hasta grano pastoso, con el fin de maximizar el vigor estructural del cultivo y mejorar su capacidad de soporte y absorción de agua y nutrientes. Asimismo, ante escenarios de restricción hídrica extrema o sequía severa en la región, se sugiere emplear estratégicamente la dosis del 50 % (D1) como riego deficitario de contingencia; ya que, a pesar de reducir el rendimiento absoluto, optimiza al máximo el recurso registrando la EUA más alta de la investigación (1.11 kg/m^3), debiendo priorizarse los caudales disponibles estrictamente en las fases fenológicas claves mencionadas.
3. Dado que el contenido de saponina no fue afectado significativamente por las dosis de uso consuntivo evaluadas y mostró un comportamiento homogéneo entre tratamientos (0.02 % a 0.03 %), se recomienda no considerar el manejo del riego como una estrategia para modificar este atributo de calidad en la variedad INIA-441 Señor del Huerto. En su lugar, se sugiere que la selección varietal y el origen genético continúen siendo los principales criterios y herramientas para el control y mantenimiento del bajo contenido de saponina en el grano.
4. Se recomienda realizar estudios complementarios que evalúen el efecto de las dosis

de uso consuntivo de agua en interacción con otros factores de manejo agronómico, como la fertilización (especialmente nitrogenada), densidad de siembra y frecuencias de riego, así como su impacto en la eficiencia del uso del agua y en otros parámetros físicos y químicos de calidad del grano, a fin de fortalecer las recomendaciones técnicas y el paquete tecnológico para el cultivo de quinua en la región de Ayacucho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Asiri, A. A., & Mansour, M. M. (2017). Root architectural traits of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) as affected by deficit irrigation. Annual Research & Review in Biology, 14(5), 1–13. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/34321>*
- Avidan, A. (1994). Determinación del régimen de riego de los cultivos. Fascículo N° 1: Factores que influyen sobre el régimen de riego. Estado de Israel, Ministerio de Agricultura. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola (CINADCO).*
- Burin, D. Y. (2016). Rendimiento de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo tres láminas de riego por goteo [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM.*
- Choukr-Allah, R., Rao, N. K., Hirich, A., El Shahid, A., Alshankiti, A., & Toderich, K. (2016). Quinoa for marginal environments: Toward future food and nutritional security in MEA region. Frontiers in Plant Science, 7, 346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00346>*
- Doorenbos, J., & Kassam, A. (1979). Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos (Estudio FAO: Riego y Drenaje N.º 33). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (Reimpreso por ECUARURAL, 2001).*
- ECUARURAL. (2001). Manual de producción de quinua de calidad en el Ecuador. Programa de Cultivos Andinos.*
- Estrada-Zúñiga, R., Apaza-Mamani, V., Pérez-Ávila, A., Altamirano-Pérez, A., & Neyra-Valdez, E. (2022). Comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en el Perú. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3134>*
- A. Fallon, R.F.G. Booth, L.D. Bell. (1987). Applications of HPLC in biochemistry. Elsevier Science Publishers.*
- FAO. (1998). Libro de campo: Prueba americana y europea de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.*

- Fghire, R., Anaya, F., Ali, O. I., Benlhabib, O., Ragab, R., & Wahbi, S. (2015). *Physiological and photosynthetic response of quinoa to drought stress. Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2), 174–183.
<https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000200006>
- Fuentes Yagiie, J. (1998). *Técnicas de riego* (4.^a ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Gandarillas, H., & Tapia, M. (1976). *La variedad de quinua dulce Sajama. En II Convención Internacional de Quenopodiáceas: Quinoa y Cañahua* (pp. 45–52). Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).
- García, M., Raes, D., & Jacobsen, S. E. (2003). *Evapotranspiración y requerimientos de agua de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 13, 41–50.
- Geerts, S., & Raes, D. (2009). *Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management*, 96(9), 1275–1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Miranda, R., Cushimantan, J. A., Condori, M. H., Mamani, J., Miranda, Y., Taboada, R., Foronda, J., & Vacher, J. J. (2008). *Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) in the Bolivian Altiplano. Agricultural Water Management*, 95(4), 427–436. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.008>
- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) & Universidad Nacional Agraria La Molina*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/76594aca-c6a8-45e0-97db-39905cd72575/content>
- Huanca, L., & Rojas, M. (2020). *Fertirrigación y déficit hídrico en el cultivo de Chenopodium quinoa [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. Repositorio Institucional UNALM.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2020). *Resolución Jefatural N° 0135-2020-INIA: Libera nueva variedad de quinua INIA 441 - Señor del Huerto. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Estación Experimental Agraria Canaán*.

- Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)? *Scientia Horticulturae*, 122(2), 281–287.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
- Jacobsen, S. E., Mujica, A., & Jensen, C. R. (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International*, 19(1-2), 99–109. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>
- Junta de Andalucía. (2015). *Manual de riego para agricultores: Módulo técnico*. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- Kechler, M. S. (2004). *Efecto de la cantidad de agua aplicada mediante riego por goteo en cultivo de quinua orgánica (Chenopodium quinoa Willd.) en etapa de llenado de grano en la comuna de Temuco, IX Región [Tesis de grado, Universidad de La Frontera]*.
- Kozioł, M. J. (1993). Quinoa: A potential new oil crop. En J. Janick & J. E. Simon (Eds.), *New crops* (pp. 140–145). Wiley.
- Lavini, A., Pulvento, C., D'Andria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Benlhabib, O., & Jacobsen, S. E. (2014). Quinoa's potential in the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(5), 344–360.
<https://doi.org/10.1111/jac.12069>
- Lozano, M. (2011). *Cuantificación de saponinas en residuos de quinua real (Chenopodium quinoa Willd.) [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés]*.
- Magni, C., Ruiz, K. B., Martínez, E. A., & Biondi, S. (2020). Morpho-physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under variable water supply in Mediterranean conditions. *Plants*, 9(11), 1542.
<https://doi.org/10.3390/plants9111542>
- Mori, R. A. M. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), mediante el riego por goteo [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. Repositorio Institucional UNALM.

- Mujica, A. (1993). *Cultivo de quinua*. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (INIAA). Serie Manual N.º 11.
- Mujica, A. (1997). *Cultivo de quinua*. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). Serie Manual RI N.º 1-97.
- Mujica, A., Izquierdo, J., & Jacobsen, S. E. (2001). Resistencia a factores adversos de la quinua. En A. Mujica, S. E. Jacobsen, J. Izquierdo, & J. P. Marathe (Eds.), *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y del futuro* (pp. 115–128). FAO, UNA-Puno, CIP.
- Olazabal, J. (2019). *Efecto de la fertilización con microelementos a base de boro, manganeso, cobre y zinc sobre la población de complejo de chinches de la quinua Nysius simulans Stal y Liorhyssus hyalinus Fabricius irrigación de Majes 2017* [Tesis de título profesional, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM.
- Peñaftiel, C. C. (1990). *Desarrollo de un método espectrofotométrico para la determinación de ácido oleanólico en quinua (Chenopodium quinoa Willd.)* [Tesis de grado, Universidad Mayor de San Andrés].
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Estudio FAO Riego y Drenaje N.º 56)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Razzaghi, F., Jacobsen, S. E., Jensen, C. R., & Andersen, M. N. (2012). Ionic and osmotic relations of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 105, 37–44.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.022>
- Ruiz, R. A., & Bertero, H. D. (2008). Light interception and radiation use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 29(2-3), 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.eurajor.2008.05.004>
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta de los rendimientos de los cultivos al agua (Estudio FAO Riego y Drenaje N.º 66)*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Toxicología e Higiene Agroindustrial. (2013). Determinación de saponinas [Manual de laboratorio]. Universidad Tecnológica Nacional.

Triguero, M. C. (2021). Evaluación del contenido de saponinas en variedades de quinua real (Chenopodium quinoa Willd.) por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas GC/MS [Presentación de investigación]. Fundación PROINPA, Premio Antonio Gandarillas.
<https://www.proinpa.org/publico/video/Postulantes%20Premio%20Antonio%20Gandarillas%20Final/Carolina%20Triguero/CONCURSO%20PROINPA.pdf>

Urbano, H. R. (2019). Instalación de un sistema de fertirriego por goteo y efecto del ácido húmico en el rendimiento de quinua negra (Chenopodium quinoa W.) en Canaán, 2735 msnm – Ayacucho [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH.

ANEXOS

Anexo 1. Datos ordenados de las variables biométricas

FASE FENOLÓGICA	FECHA DE EVALUACIÓN	BLOQUE	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	PESO HUMEDO(g)		PESO SECO(g)		ALTURA DE PLANTA(cm)		DIÁMETRO DE TALLO (cm)	% DOSEL
					RAÍZ	BIOMASA AÉREA	RAÍZ	BIOMASA AÉREA	RAÍZ	BIOMASA AÉREA		
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L1	P1	0.010	0.260	0.005	0.025	2.700	6.400	-	0.440
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L1	P2	0.010	0.180	0.005	0.025	2.400	6.600	-	0.440
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L1	P3	0.010	0.180	0.005	0.025	2.600	5.800	-	0.440
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L2	P1	0.010	0.260	0.005	0.035	3.500	9.500	-	0.910
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L2	P2	0.010	0.280	0.005	0.035	3.500	9.500	-	0.910
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L2	P3	0.010	0.280	0.005	0.025	3.900	10.000	-	0.910
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L3	P1	0.010	0.150	0.005	0.025	4.600	11.100	-	0.800
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L3	P2	0.010	0.180	0.005	0.025	4.000	9.800	-	0.800
2 HOJAS	09/08/2024	B1	L3	P3	0.010	0.160	0.005	0.025	4.200	8.700	-	0.800
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L1	P1	0.020	0.330	0.005	0.045	3.000	10.200	-	0.390
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L1	P2	0.010	0.320	0.005	0.045	3.400	10.300	-	0.390
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L1	P3	0.010	0.330	0.005	0.045	3.100	10.100	-	0.390
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L2	P1	0.010	0.260	0.002	0.032	4.900	12.000	-	0.540
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L2	P2	0.010	0.280	0.002	0.042	6.500	13.600	-	0.540
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L2	P3	0.010	0.190	0.002	0.032	5.800	11.700	-	0.540
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L3	P1	0.010	0.270	0.003	0.033	5.000	12.600	-	0.510
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L3	P2	0.010	0.280	0.003	0.023	5.800	13.000	-	0.510
2 HOJAS	09/08/2024	B2	L3	P3	0.010	0.260	0.003	0.033	6.100	12.000	-	0.510
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L1	P1	0.010	0.320	0.003	0.023	7.800	14.000	-	0.350
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L1	P2	0.010	0.330	0.003	0.033	6.500	15.000	-	0.350
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L1	P3	0.010	0.310	0.003	0.033	6.500	12.700	-	0.350
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L2	P1	0.010	0.170	0.003	0.023	3.200	9.100	-	0.290
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L2	P2	0.010	0.170	0.003	0.033	4.400	10.600	-	0.290
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L2	P3	0.010	0.210	0.003	0.033	4.400	10.600	-	0.290
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L3	P1	0.010	0.210	0.005	0.045	4.800	12.000	-	1.060
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L3	P2	0.010	0.250	0.005	0.035	3.200	10.000	-	1.060
2 HOJAS	09/08/2024	B3	L3	P3	0.010	0.290	0.005	0.035	3.300	8.800	-	1.060
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L1	P1	0.020	0.550	0.002	0.082	4.900	15.600	-	2.890
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L1	P2	0.020	0.510	0.002	0.042	4.600	15.400	-	2.890
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L1	P3	0.010	0.580	0.002	0.052	4.700	13.000	-	2.890
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L2	P1	0.010	0.410	0.002	0.022	4.800	14.000	-	2.740
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L2	P2	0.010	0.540	0.002	0.032	4.600	13.800	-	2.740
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L2	P3	0.020	0.970	0.002	0.102	5.400	14.900	-	2.740
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L3	P1	0.010	0.850	0.002	0.052	4.600	15.500	-	3.100
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L3	P2	0.010	0.320	0.002	0.012	2.800	9.900	-	3.100
4 HOJAS	15/08/2024	B1	L3	P3	0.010	0.350	0.002	0.012	4.100	10.600	-	3.100
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L1	P1	0.010	0.260	0.002	0.012	3.600	9.600	-	2.830
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L1	P2	0.010	0.150	0.002	0.062	3.500	9.600	-	2.830
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L1	P3	0.010	0.250	0.002	0.012	3.500	9.600	-	2.830
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L2	P1	0.020	0.620	0.002	0.052	5.000	16.500	-	3.230
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L2	P2	0.010	0.260	0.002	0.012	3.100	9.600	-	3.230
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L2	P3	0.010	0.200	0.002	0.012	4.500	10.400	-	3.230
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L3	P1	0.010	0.790	0.002	0.072	2.800	13.000	-	3.060
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L3	P2	0.010	0.800	0.002	0.082	3.500	13.200	-	3.060
4 HOJAS	15/08/2024	B2	L3	P3	0.020	0.870	0.002	0.072	4.800	14.500	-	3.060
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L1	P1	0.020	0.520	0.005	0.035	3.600	12.300	-	2.830
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L1	P2	0.010	0.340	0.005	0.015	3.100	9.900	-	2.830
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L1	P3	0.010	0.410	0.005	0.015	4.200	10.800	-	2.830
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L2	P1	0.010	0.440	0.002	0.022	4.000	11.600	-	2.700
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L2	P2	0.010	0.250	0.002	0.012	3.400	10.000	-	2.700
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L2	P3	0.010	0.410	0.002	0.012	5.200	12.500	-	2.700
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L3	P1	0.010	0.460	0.002	0.032	3.000	13.200	-	2.510
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L3	P2	0.010	0.490	0.002	0.012	4.000	14.000	-	2.510
4 HOJAS	15/08/2024	B3	L3	P3	0.010	0.410	0.002	0.012	3.500	13.200	-	2.510
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L1	P1	0.020	1.000	0.010	0.110	5.400	19.000	-	7.820
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L1	P2	0.050	2.050	0.010	0.180	6.200	21.300	-	7.820
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L1	P3	0.040	1.990	0.010	0.190	5.500	21.200	-	7.820
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L2	P1	0.070	2.940	0.010	0.310	10.900	25.000	-	7.520
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L2	P2	0.180	3.450	0.030	0.390	11.000	25.200	-	7.520
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L2	P3	0.170	3.870	0.030	0.420	9.100	22.100	-	7.520
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L3	P1	0.070	2.420	0.010	0.260	7.500	23.200	-	7.780
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L3	P2	0.070	2.560	0.010	0.280	5.500	20.400	-	7.780
6 HOJAS	19/08/2024	B1	L3	P3	0.090	3.010	0.010	0.360	9.300	22.600	-	7.780
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L1	P1	0.070	2.110	0.010	0.230	7.000	20.000	-	8.610
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L1	P2	0.070	2.050	0.010	0.210	5.200	21.000	-	8.610
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L1	P3	0.060	1.810	0.010	0.180	5.400	19.900	-	8.610
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L2	P1	0.040	1.740	0.010	0.280	6.600	24.500	-	8.320
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L2	P2	0.050	2.590	0.020	0.260	6.800	25.200	-	8.320
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L2	P3	0.060	2.280	0.010	0.230	7.800	21.800	-	8.320
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L3	P1	0.060	2.300	0.010	0.260	7.000	24.600	-	8.090
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L3	P2	0.040	1.220	0.010	0.270	6.200	20.900	-	8.090
6 HOJAS	19/08/2024	B2	L3	P3	0.060	2.460	0.010	0.130	6.400	24.900	-	8.090
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L1	P1	0.040	1.140	0.010	0.140	5.800	19.500	-	7.770
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L1	P2	0.030	0.820	0.010	0.070	6.200	19.000	-	7.770
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L1	P3	0.030	0.670	0.010	0.080	5.600	18.900	-	7.770
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L2	P1	0.020	0.810	0.010	0.070	6.000	19.500	-	8.220
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L2	P2	0.020	0.900	0.010	0.150	5.500	20.500	-	8.220
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L2	P3	0.060	0.760	0.010	0.070	5.000	18.500	-	8.220
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L3	P1	0.050	2.150	0.010	0.250	6.800	21.800	-	8.120
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L3	P2	0.030	1.040	0.010	0.120	6.800	21.500	-	8.120
6 HOJAS	19/08/2024	B3	L3	P3	0.040	1.600	0.020	0.200	6.000	21.200	-	8.120

RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L1	P1	1.530	25.780	0.480	4.630	13.600	69.200	6.480	16.120
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L1	P2	1.340	23.370	0.670	4.280	15.100	69.300	5.540	16.120
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L1	P3	0.850	22.630	0.575	4.455	18.200	74.600	6.810	16.120
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L2	P1	1.110	18.240	0.370	3.010	17.200	70.000	4.220	20.830
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L2	P2	1.240	22.820	0.360	3.440	14.200	72.800	4.990	20.830
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L2	P3	1.175	20.530	0.365	3.225	13.800	68.000	5.210	20.830
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L3	P1	7.060	93.390	2.240	17.220	20.200	109.800	10.630	23.470
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L3	P2	8.320	104.380	2.670	17.430	18.400	108.500	10.880	23.470
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B1	L3	P3	3.720	69.050	1.140	11.330	18.200	102.700	10.400	23.470
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L1	P1	3.030	37.460	0.590	5.810	15.200	84.400	7.380	17.160
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L1	P2	3.350	37.640	1.030	5.460	15.600	81.000	7.050	17.160
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L1	P3	3.520	39.540	0.830	11.020	16.200	82.400	6.790	17.160
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L2	P1	3.890	45.850	1.210	8.440	19.000	87.200	8.460	20.530
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L2	P2	2.590	28.430	1.570	9.240	17.800	88.800	8.600	20.530
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L2	P3	6.600	52.130	0.720	5.040	15.600	83.400	5.580	20.530
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L3	P1	3.010	44.120	0.670	7.160	13.000	89.600	6.200	23.100
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L3	P2	4.220	54.120	0.990	8.490	17.400	101.900	6.170	23.100
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B2	L3	P3	6.870	82.160	1.730	2.480	17.800	103.000	8.820	23.100
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L1	P1	5.170	52.570	1.070	6.000	17.800	92.600	7.880	16.230
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L1	P2	2.340	30.040	0.610	7.920	14.500	79.000	6.320	16.230
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L1	P3	5.800	42.780	1.240	7.830	17.800	78.300	7.060	16.230
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L2	P1	6.800	96.510	1.570	16.130	15.500	94.700	10.300	20.340
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L2	P2	2.350	47.560	0.610	6.210	16.200	94.400	7.510	20.340
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L2	P3	4.810	55.430	1.240	8.200	16.500	91.000	8.060	20.340
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L3	P1	4.960	74.960	1.180	10.310	15.400	94.900	7.940	22.340
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L3	P2	3.420	61.340	0.820	8.720	17.500	101.500	7.960	22.340
RAMIFICACIÓN	18/09/2024	B3	L3	P3	2.690	46.760	0.670	6.520	19.000	100.200	7.160	22.340
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L1	P1	5.250	56.4	1.620	15.930	22.500	133.500	8.260	37.500
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L1	P2	8.380	68.76	3.240	19.910	27.500	145.000	9.230	37.500
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L1	P3	11.050	79.17	3.280	19.510	26.200	132.400	9.180	37.500
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L2	P1	11.540	103.96	4.220	27.460	23.600	148.800	10.800	43.030
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L2	P2	20.310	181.91	9.850	53.960	24.200	174.300	10.370	43.030
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L2	P3	11.660	135.16	5.050	35.420	22.500	161.600	9.040	43.030
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L3	P1	12.580	145.36	5.570	41.670	29.400	195.800	10.440	63.420
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L3	P2	13.560	159.69	5.320	43.030	28.800	189.300	11.170	63.420
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B1	L3	P3	18.820	176.3	6.650	45.640	30.200	195.400	11.520	63.420
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L1	P1	5.760	51.26	2.410	16.130	24.500	136.900	8.660	36.680
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L1	P2	6.670	57.89	2.800	17.950	24.400	134.400	8.230	36.680
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L1	P3	5.340	58.78	2.460	18.640	24.000	148.000	8.380	36.680
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L2	P1	10.950	93.96	4.600	28.240	28.800	159.200	8.560	45.140
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L2	P2	13.480	97.76	5.150	28.320	29.500	156.900	8.490	45.140
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L2	P3	7.640	64.5	3.020	19.450	26.200	144.200	6.730	45.140
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L3	P1	12.580	93.85	4.330	24.300	23.500	197.000	10.050	53.480
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L3	P2	12.370	115.23	4.540	30.360	27.200	202.700	11.090	53.480
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B2	L3	P3	15.890	130.14	5.520	33.770	26.400	201.800	11.430	53.480
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L1	P1	3.930	46.5	1.710	13.040	19.800	124.400	6.180	38.320
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L1	P2	4.230	70.83	1.710	19.220	25.600	254.100	10.130	38.320
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L1	P3	7.880	48.16	3.080	14.740	22.500	152.000	6.570	38.320
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L2	P1	7.020	88.34	2.910	23.510	26.200	178.200	9.740	63.590
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L2	P2	6.920	77.38	2.790	21.150	24.500	178.700	9.900	63.590
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L2	P3	10.450	124.16	4.510	33.990	25.600	147.100	12.080	63.590
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L3	P1	11.240	111.98	4.550	28.820	22.500	194.500	10.120	42.990
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L3	P2	10.320	116.57	4.260	29.540	21.200	193.500	10.210	42.990
PANOJAMIENTO	15/10/2024	B3	L3	P3	12.970	149.56	4.900	35.310	25.500	203.000	11.370	42.990
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L1	P1	8.220	81.170	2.880	21.160	27.200	163.600	9.700	42.810
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L1	P2	14.570	162.900	5.400	39.330	29.600	172.600	11.600	42.810
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L1	P3	17.700	155.300	6.430	36.590	27.200	170.400	10.150	42.810
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L2	P1	16.360	149.730	6.360	38.480	21.500	182.100	9.600	47.950
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L2	P2	17.070	119.810	6.380	40.570	21.800	176.300	10.090	47.950
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L2	P3	6.560	68.400	2.500	17.810	20.800	172.000	8.690	47.950
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L3	P1	23.560	223.980	9.290	57.150	32.600	224.100	11.870	69.470
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L3	P2	28.060	185.980	8.960	47.110	30.600	214.200	10.700	69.470
FLORACIÓN	24/10/2024	B1	L3	P3	20.400	186.600	6.550	44.840	30.200	215.400	11.270	69.470
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L1	P1	5.850	54.690	2.280	14.010	23.400	135.900	6.240	43.310
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L1	P2	5.110	58.920	1.950	14.310	24.100	152.300	7.800	43.310
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L1	P3	4.660	48.110	1.930	11.940	22.500	147.900	5.700	43.310
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L2	P1	11.560	123.950	4.450	30.630	25.800	173.800	8.020	52.240
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L2	P2	12.940	96.770	4.570	25.580	22.000	171.200	8.100	52.240
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L2	P3	8.400	92.340	2.980	24.110	22.500	170.000	9.230	52.240
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L3	P1	17.960	173.490	6.470	47.530	27.000	222.200	11.170	72.840
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L3	P2	14.500	87.260	5.960	24.900	30.100	197.100	8.250	72.840
FLORACIÓN	24/10/2024	B2	L3	P3	11.620	165.420	4.030	42.750	28.000	214.400	11.860	72.840
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L1	P1	7.330	61.490	2.480	15.230	21.600	138.600	8.430	47.900
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L1	P2	4.810	51.680	2.160	13.400	27.000	163.600	9.000	47.900
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L1	P3	7.500	92.430	2.270	22.570	26.200	159.200	9.970	47.900
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L2	P1	11.180	56.790	5.810	29.120	29.800	187.900	8.300	53.440
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L2	P2	14.120	109.950	5.540	30.560	31.400	207.600	8.600	53.440
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L2	P3	10.410	104.940	4.180	28.310	27.800	200.200	9.450	53.440
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L3	P1	7.990	82.360	3.490	22.670	24.200	196.300	7.980	78.610
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L3	P2	11.310	76.990	3.330	19.850	23.100	168.600	9.950	78.610
FLORACIÓN	24/10/2024	B3	L3	P3	13.510	209.260	6.090	54.930	26.400	207.800	11.750	78.610

GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L1	P1	9.840	141.220	4.240	43.070	28.000	157.200	9.280	42.620
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L1	P2	8.200	144.180	4.080	43.780	26.200	168.800	7.830	42.620
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L1	P3	7.790	143.040	3.680	41.800	25.600	166.200	8.590	42.620
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L2	P1	20.070	213.830	10.180	61.910	22.800	186.000	10.960	53.780
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L2	P2	18.610	252.500	8.980	74.160	21.800	197.400	9.380	53.780
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L2	P3	9.790	141.220	4.160	44.060	24.200	176.700	9.640	53.780
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L3	P1	30.310	306.890	11.190	86.920	33.800	219.900	10.520	62.920
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L3	P2	26.560	475.400	11.130	146.540	34.600	256.200	14.360	62.920
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B1	L3	P3	31.090	346.450	13.860	107.670	32.200	236.800	12.390	62.920
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L1	P1	10.430	170.150	4.460	49.070	29.800	168.800	10.470	40.810
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L1	P2	7.870	117.270	3.660	34.840	24.800	163.300	6.640	40.810
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L1	P3	8.290	166.750	3.890	50.700	28.000	168.000	7.990	40.810
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L2	P1	11.740	119.520	5.900	34.020	26.200	174.700	7.710	48.280
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L2	P2	19.510	282.820	9.400	81.800	29.800	192.000	3.520	48.280
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L2	P3	19.920	283.070	8.770	77.640	27.600	184.700	11.640	48.280
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L3	P1	15.490	221.480	7.050	68.520	35.600	228.200	8.560	60.560
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L3	P2	19.650	365.550	9.280	118.730	35.800	238.800	12.340	60.560
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B2	L3	P3	49.010	334.130	23.560	102.080	36.200	242.000	12.330	60.560
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L1	P1	18.970	137.230	7.280	41.540	25.200	162.700	7.790	42.240
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L1	P2	23.290	222.730	8.110	68.660	23.000	165.800	11.910	42.240
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L1	P3	18.610	238.820	8.250	77.830	27.500	173.700	8.740	42.240
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L2	P1	15.260	244.590	6.190	75.380	25.200	214.800	10.520	49.680
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L2	P2	21.800	315.380	8.370	96.540	26.000	214.200	13.320	49.680
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L2	P3	20.060	200.730	7.930	61.120	27.200	208.400	12.920	49.680
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L3	P1	59.540	444.020	25.800	147.360	33.200	249.600	14.630	61.290
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L3	P2	28.570	349.760	11.080	109.940	32.600	255.200	12.780	61.290
GRANO LECHOSO	27/11/2024	B3	L3	P3	33.360	381.900	14.850	123.000	34.200	246.700	12.460	61.290
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L1	P1	4.940	91.420	2.640	36.220	28.000	157.200	8.310	1.380
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L1	P2	5.940	89.730	3.020	36.760	26.200	168.800	8.370	1.380
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L1	P3	5.120	79.830	2.760	29.240	25.600	166.200	8.240	1.380
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L2	P1	17.060	240.380	9.500	107.670	22.800	186.000	12.500	1.579
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L2	P2	11.930	175.330	6.390	73.260	21.800	197.400	11.740	1.579
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L2	P3	12.810	213.550	6.740	85.980	24.200	176.700	11.900	1.579
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L3	P1	16.050	234.350	7.300	94.970	33.800	219.900	12.700	3.080
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L3	P2	8.550	133.550	4.190	60.070	34.600	256.200	10.050	3.080
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B1	L3	P3	14.320	167.830	6.740	70.620	32.200	236.800	11.150	3.080
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L1	P1	6.830	103.040	3.220	42.280	29.800	168.800	11.800	1.880
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L1	P2	10.120	156.560	4.870	62.530	24.800	163.300	10.600	1.880
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L1	P3	13.000	118.550	6.380	48.970	28.000	168.000	9.600	1.880
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L2	P1	8.570	122.620	4.570	52.870	26.200	174.700	10.320	2.180
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L2	P2	10.560	123.950	5.080	48.850	29.800	192.000	11.110	2.180
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L2	P3	8.390	129.400	4.180	53.280	27.600	184.700	11.000	2.180
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L3	P1	10.490	177.090	4.840	77.440	35.600	228.200	10.390	3.010
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L3	P2	24.650	319.050	11.990	126.680	35.800	238.800	13.410	3.010
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B2	L3	P3	26.770	347.260	11.700	138.440	36.200	242.000	12.820	3.010
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L1	P1	25.510	358.320	12.570	149.060	25.200	162.700	12.550	1.350
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L1	P2	11.280	171.330	5.840	67.140	23.000	165.800	10.420	1.350
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L1	P3	21.090	240.490	10.010	97.990	27.500	173.700	13.440	1.350
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L2	P1	11.270	202.550	4.820	78.420	25.200	214.800	12.320	2.680
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L2	P2	13.280	221.840	6.560	90.340	26.000	214.200	11.330	2.680
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L2	P3	9.930	178.640	4.900	69.020	27.200	208.400	11.660	2.680
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L3	P1	16.160	295.610	7.850	118.270	33.200	249.600	14.420	1.570
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L3	P2	18.750	409.510	9.360	168.680	32.600	255.200	15.420	1.570
GRANO PASTOSO	19/12/2024	B3	L3	P3	16.540	350.510	7.170	132.740	34.200	246.700	14.180	1.570

Anexo 2. Datos ordenados de las variables de rendimiento

Rendimiento de grano (t/ha)

BLOQ/L	R1(Kg/ha)	R2(Kg/ha)	R3(Kg/ha)	PROMEDIO DE RDTO t/ha
B1L1	4028.50	3329.31	3236.56	3.583
B2L1	3888.31	3405.31	4616.25	
B3L1	3408.00	2674.88	3662.50	
B1L2	4798.81	4726.56	5367.31	4.443
B2L2	4771.94	4708.69	4317.06	
B3L2	3846.56	3520.81	3932.31	
B1L3	3313.13	4965.94	4412.19	4.438
B2L3	4390.44	4116.94	3783.94	
B3L3	5506.06	3754.50	5699.25	

Anexo 3. Análisis de caracterización del suelo experimental



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200



INFORME DE ENSAYO

N° 06067-24/SU/ LABSAF - CANAAN

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	:	Prosuelos y Aguas
Propietario / Productor	:	EEA Canaán
Dirección del cliente	:	Av. Abancay N° 299 - Ayacucho
Solicitado por	:	Leyvi Tatiana Condori Ataupillco
Muestreado por	:	Cliente
Número de muestra(s)	:	2
Producto declarado	:	Suelo agrícola
Presentación de las muestras(s)	:	Bolsas de plástico transparente
Referencia del muestreo	:	Reservado por el Cliente
Procedencia de muestra(s)	:	Andrés Avelino Cáceres - Huamanga - Ayacucho
Fecha(s) de muestreo	:	30/05/2024
Fecha de recepción de muestra(s)	:	30/05/2024
Lugar de ensayo	:	Laboratorio de Suelos, Aguas y Fitosanitarios - LABSAF - Canaan
Fecha(s) de análisis	:	2024-05-04 al 2024-05-14
Cotización del servicio	:	055-24-CA
Fecha de emisión	:	19/06/2024

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4		
Código de Laboratorio	SU494-CA-24					
Matriz Analizada	Suelo					
Fecha de Muestreo	30/05/2024					
Hora de Inicio de Muestreo (h)	--					
Condición de la muestra	Conservada					
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	1					
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	--	7.60			
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	10.40			
Materia Orgánica (**)	%	--	1.70			
Nitrógeno (**)	%	--	0.09			
Fósforo (**)	%	--	44.00			
Potasio (**)	%	--	232.34			
Textura (**)						
Arena	%	--	39.00			
Limo	%	--	42.00			
Arcilla	%	--	17.00			
Clase Textural	---	--	franco arenoso			
Cationes Intercambiables (**)						
Aluminio (Al) (**)	meq/100 g	--	0.00			
Calcio (Ca) (**)	meq/100 g	--	5.82			
Magnesio (Mg) (**)	meq/100 g	--	7.12			
Potasio (K) (**)	meq/100 g	--	1.11			
Sodio (Na) (**)	meq/100 g	--	0.67			
CEC (**)	meq/100 g	--	14.72			

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-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.7 AS-07. 2000. Contenido de Materia Orgánica por el método de Walkley y Black.
Nitrogeno	ISO 11261: 1995. First edition. Soil quality - Determination of total nitrogen - Modified Kjeldahl method.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.10 AS-10.2000. Determinación de fósforo por el método de Olsen y colaboradores.
Potasio	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.
Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 7.3.29 AS-33.2000. Determinación de la acidez y el Aluminio intercambiable por el procedimiento de Cloruro de potasio.
Cationes Intercambiables	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). ítem 7.1.12 AS-12.2000. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Intercambiables de suelo con acetato de amonio.

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
- (*) 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.
- (***) El (Los) resultado(s) obtenido(s) corresponde(n) a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

V. AUTORIZACIÓN DEL INFORME DE ENSAYO

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

INSTITUTO NACIONAL DE AGROPECUARIA - INEA
ESTACION EXPERIMENTAL ROSA CANAAN
Ing. José Velázquez Martínez
DIRECTOR

Firma
Director de la EEA Canaán

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Anexo 4. Panel fotográfico (trabajo de laboratorio y campo)

Fotografía 01. Muestreo de suelo



Fotografía 02. Pesado y mezclado de fertilizantes



Fotografía 03. Campo desterronado y arado



Fotografía 04. Delimitación de parcelas



Fotografía 05. Instalación de sistema de riego



Fotografía 06. Siembra e incorporación de fertilizante



Fotografía 07. Instalación total del sistema de riego



Fotografía 08. Aforamiento de riego para la determinación del volumen de uso consuntivo de riego



Fotografía 09. Etapa de 2 hojas y 4 hojas de la quinua



Fotografía 10. Descarga de datos de la estación meteorológica Vatange pro2 Plus



Fotografía 11. Evaluación dosel en todas las etapas fenológicas



Fotografía 12. Aporcado de quinua



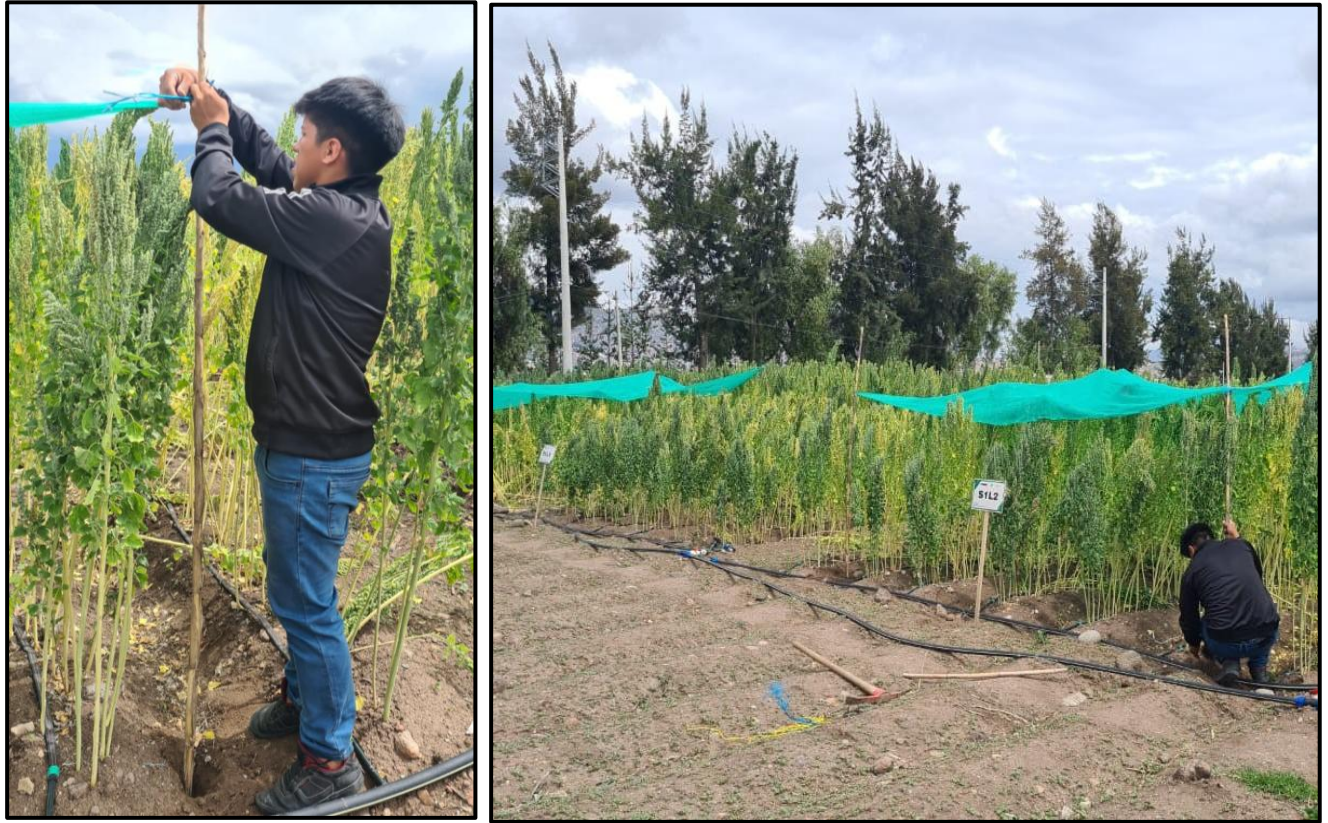
Fotografía 13. Vista fenológica del tratamiento de B3D3



Fotografía 14. Recolección de muestras para evaluar los parámetros biométricos



Fotografía 15. Protección contra las plagas como la paloma y cuculí



Fotografía 16. Cosecha



Fotografía 17. Trillado y ventilación de la quinua



Fotografía 18. Pesado del rendimiento de quinua



Fotografía 19. Muestras obtenidas



Fotografía 20. Trillado de rendimiento por panoja y la determinación del % de saponina





ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. RICKY RODNY REGINALDO QUISPE

R.D. N° 081-2026-UNSCH-FCA-D

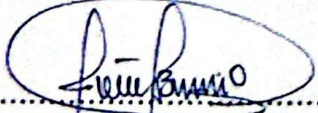
En la ciudad de Ayacucho, a los treinta días del mes de abril del año dos mil veintiséis, siendo las diez horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por el Dr. Rolando Bautista Gómez, Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla y el Ing. Herbert Núñez Alfaro; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Efecto de tres láminas de riego por goteo en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en Ayacucho 2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, presentado por el Bachiller **RICKY RODNY REGINALDO QUISPE**.

El señor Decano 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	16	15	16	16
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla	16	15	16	16
Ing. Herbert Núñez Alfaro	17	15	16	16
PROMEDIO GENERAL				16

Observación: Por acuerdo unánime de los miembros del jurado, el título del trabajo de investigación debe ser: **Efecto de tres dosis de usos consuntivos de agua en el rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa* Wild. en Ayacucho, 2024**

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


.....
Dr. Rolando Bautista Gómez
Presidente


.....
Ing. Orlando Fidel Sulca Castilla
Jurado


.....
Ing. Herbert 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, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado:

Efecto de tres dosis de usos consuntivos de agua en el rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa* Willd. en Ayacucho, 2024

Autor : Ricky Rodny REGINALDO QUISPE
Asesor : Orlando Fidel SULCA CASTILLA

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de diecinueve por ciento **(19%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

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

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2998572245

Ayacucho, 15 de julio de 2026

.....
Angela J. Requis Quintanilla

M.Sc. en Fitopatología

E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Efecto de tres dosis de usos consuntivos de agua en el rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa* Willd. en Ayacucho, 2024

por Ricky Rodny REGINALDO QUISPE

Fecha de entrega: 15-jul-2026 05:53p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2998572245

Nombre del archivo: REGINALDO_QUISPE_RICKY_TESIS_1_.pdf (5.08M)

Total de palabras: 29648

Total de caracteres: 154192

Efecto de tres dosis de usos consuntivos de agua en el rendimiento del cultivo de Chenopodium quinoa Willd. en Ayacucho, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet
2	hdl.handle.net Fuente de Internet
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante
4	docplayer.es Fuente de Internet
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet
6	www.proinpa.org Fuente de Internet
7	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet
8	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet
9	sci-platform.org Fuente de Internet
10	rest-dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet
11	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante
12	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet
13	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet
14	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet

15 Fuente de Internet

16 faz.ujed.mx
Fuente de Internet

17 Submitted to Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco
Trabajo del estudiante

18 vdocumento.com
Fuente de Internet

19 repositorio.ucsm.edu.pe
Fuente de Internet

20 repositorio.upse.edu.ec
Fuente de Internet

21 Submitted to Universidad Cesar Vallejo
Trabajo del estudiante

22 repositorio.uncp.edu.pe
Fuente de Internet

23 Submitted to unia
Trabajo del estudiante

24 doczz.es
Fuente de Internet

Excluir citas
Excluir bibliografía

Activo
Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Efecto de tres dosis de usos consuntivos de agua en el rendimiento del cultivo de *Chenopodium quinoa* Willd. en Ayacucho, 2024

Effect of Three Levels of Consumptive water use on the yield of *Chenopodium quinoa* Willd. in Ayacucho, 2024

Ricky Rodney Reginaldo Quispe^{1*}

ricky.reginaldo.01@unsch.edu.pe

Orlando Fidel Sulca Castilla²

orlando.sulca@unsch.edu.pe

Área de investigación: Producción Agrícola Sostenible

Línea de investigación: Manejo y Eficiencia del uso del agua en cultivos andinos

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria en las zonas altoandinas del Perú, amenazada por la escasez hídrica. El estudio evaluó el efecto de tres dosis de uso consuntivo de agua (50, 75 y 100% del requerimiento hídrico) aplicadas por riego por goteo sobre rendimiento de grano, eficiencia de uso del agua (EUA), desarrollo biométrico y contenido de saponina de la variedad INIA-441 “Señor del Huerto”. El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agraria Canaán del INIA (Ayacucho, 2 735–2 750 m s. n. m.) en un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y tres repeticiones durante la campaña 2024-2025. Los volúmenes aplicados fueron 3 220, 4 063 y 4 897 m³/ha para 50, 75 y 100%, respectivamente. El rendimiento de grano fue mayor en 75% y 100% (4.44 y 4.43 t/ha) que en 50% (3.58 t/ha; $p = 0.018$). La EUA fue inversamente proporcional al volumen aplicado (50% = 1.11 kg/m³; 75% = 1.09 kg/m³; 100% = 0.90 kg/m³). Las variables biométricas aumentaron de forma proporcional al riego, mientras que el contenido de saponina no mostró diferencias significativas entre tratamientos (0.018-0.033%; $p = 0.629$). Estos resultados indican que la dosis del 75% permite sostener altos rendimientos y buena calidad de grano con menor consumo de agua en Ayacucho.

Palabras clave: Riego por goteo; uso consuntivo; eficiencia de uso del agua; rendimiento de grano.

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a strategic crop for food security in the high-Andean regions of Peru, which are threatened by water scarcity. This study evaluated the effect of three consumptive water use levels (50%, 75%, and 100% of the crop water requirement) applied via drip irrigation on grain yield, water use efficiency (WUE), biometric development, and saponin

content of the INIA 441 “Señor del Huerto” variety. The field trial was conducted at the Canaán Agricultural Experimental Station of INIA (Ayacucho, 2735–2750 m a.s.l.) under a randomized complete block design with three treatments and three replications during the 2024-2025 growing season. The total water volumes applied were 3220, 4063, and 4897 m³/ha for the 50%, 75%, and 100% treatments, respectively. Grain yield was significantly higher at 75% (4.44 t/ha) and 100% (4.43 t/ha) compared to 50% (3.58 t/ha; $p = 0.018$). WUE was inversely proportional to the irrigation volume applied (50% = 1.11 kg/m³; 75% = 1.09 kg/m³; 100% = 0.90 kg/m³). Biometric variables increased linearly and proportionally with irrigation, whereas saponin content showed no significant differences among treatments (0.018–0.033%; $p = 0.629$). These results indicate that the 75% irrigation level sustains high yields and optimal grain quality with lower water consumption in Ayacucho.

Keywords: Drip irrigation; consumptive use; water-use efficiency; grain yield.

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) constituye un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria y la economía de las zonas altoandinas del Perú, especialmente en Ayacucho, donde sostiene una parte importante de los ingresos rurales. En un contexto de disminución reciente de la producción nacional asociada a sequía, retraso de siembras y menor disponibilidad hídrica, el uso eficiente del agua se ha convertido en una condición central para la sostenibilidad del cultivo. La evidencia en ambientes áridos y semiáridos muestra que la quinua responde significativamente al manejo del riego, con efectos sobre crecimiento, rendimiento y productividad del agua, aunque esa respuesta depende del genotipo, del ambiente y de la etapa fenológica en que ocurre el estrés.

Bajo este escenario, el riego por goteo representa una alternativa técnicamente relevante porque permite dosificar con mayor precisión el agua aplicada y evaluar estrategias de riego deficitario basadas en la evapotranspiración del cultivo. Distintos estudios han mostrado que déficits moderados pueden mantener rendimientos aceptables e incluso mejorar la eficiencia de uso del agua, mientras que déficits severos tienden a reducir altura de planta, peso de semilla y rendimiento, sobre todo cuando afectan floración y llenado de grano.

En este marco, resulta pertinente evaluar en Ayacucho el efecto de tres dosis de uso consuntivo de agua, equivalentes al 50%, 75% y 100% de la evapotranspiración del cultivo, sobre el rendimiento en grano, la eficiencia de uso del agua, el desarrollo biométrico y el contenido de saponina de la quinua variedad INIA 441 “Señor del Huerto”, bajo condiciones edafoclimáticas de la Estación Canaán. Esta aproximación permitirá generar recomendaciones locales para optimizar el volumen aplicado en m³/ha, mantener productividad con menor consumo hídrico y fortalecer la resiliencia del cultivo frente a la creciente escasez de agua.

2. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación y condiciones edafoclimáticas

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental Agraria Canaán del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, Perú ($13^{\circ}10'05.1''\text{S}$, $74^{\circ}12'23.4''\text{W}$; 2735-2750 m s. n. m.; zona UTM 18S). El cultivo antecesor en el terreno fue arveja. El análisis fisicoquímico del suelo, realizado a partir de muestras tomadas en zigzag a 20 cm de profundidad, indicó una textura franco-arenosa, pH moderadamente alcalino (7.6), contenido de nitrógeno bajo (0.09 %), materia orgánica muy baja (1.70 %) y niveles altos de fósforo y potasio disponibles.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de una estación Vantage Pro2 Plus (Davis Instruments) instalada en el área colindante al experimento, para el periodo mayo de 2024 a abril de 2025. La precipitación anual acumulada alcanzó cerca de 690 mm, con temperaturas máxima, mínima y media promedio de 27.4, 8.1 y 17.8 °C, respectivamente. El balance hídrico, estimado mediante el método de la ONERN, evidenció déficit hídrico en la mayor parte de los meses del ciclo, lo que justificó la implementación de riego por goteo para mantener el suelo cercano a capacidad de campo y evitar estrés hídrico no controlado.

2.2. Material vegetal

Se utilizó semilla de quinua de la variedad INIA-441 “Señor del Huerto”, desarrollada por el INIA mediante selección recurrente (INIA, 2020) y proporcionada por el Programa Nacional de Investigación de Cereales, Granos Andinos y Leguminosas de la EEA Canaán. Esta variedad presenta un rendimiento potencial de 2.95 a 3.20 t/ha, se adapta entre los 2500 y 3600 m s. n. m., desarrolla panoja amarilla clara de tipo decumbente y grano blanco, y posee un contenido proteico de 11.02 % con ocho aminoácidos esenciales, destacando la lisina (13.91 mg).

2.3. Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron tres dosis de uso consuntivo de agua, equivalentes al 50 % (D1), 75 % (D2) y 100 % (D3) del requerimiento hídrico del cultivo, aplicadas mediante riego por goteo y distribuidas aleatoriamente en un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres bloques, conformando nueve unidades experimentales. El modelo aditivo lineal empleado fue $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$, donde Y_{ij} es el rendimiento (t/ha) del tratamiento i en el bloque j , μ la media general, τ_i el efecto del tratamiento de riego, β_j el efecto de bloque y ϵ_{ij} el error experimental. Cada bloque midió 18.40 m $\times$ 6.0 m (110.4 m²) y contuvo tres parcelas de 5.6 m $\times$ 6.0 m (33.6 m², siete surcos a 0.8 m), con un área experimental total de 331.2 m².

Tabla 5.

Tratamientos aplicados.

Tratamiento	Variedad de quinua	Volumen de uso consuntivo (% de la demanda hídrica)
D1	INIA 441-Señor del Huerto	50%
D2	INIA 441-Señor del Huerto	75%
D3	INIA 441-Señor del Huerto	100%

2.4. Manejo agronómico

La siembra se realizó manualmente el 24 de julio de 2024, a chorro continuo en surcos de 0.8 m, con una densidad de 12 kg/ha de semilla y fertilización basal de 25.37-39.55-51.59 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, formulada a partir del análisis de suelo previo. El raleo se efectuó el 26 de agosto de 2024, dejando entre 10 y 14 plantas por metro lineal, y el aporque manual el 30 de septiembre de 2024, al inicio del panojamiento. El control fitosanitario incluyó tratamiento de semilla con Vitavax (0.81 g por 0.5 kg de semilla) para prevenir damping-off, aplicación de Fitoklin (metalaxil, 8 g/20 L) contra mildiu (*Peronospora variabilis*) y de Cyperklin (cipermetrina, 25 mL/20 L) contra pulgones. La cosecha de panojas se realizó el 19 de diciembre de 2024, en horas de la mañana, de forma manual, seguida de secado, trilla y venteo.

2.5. Determinación de los volúmenes de riego

El uso consuntivo o evapotranspiración del cultivo (ET_c) se calculó mediante la relación $ET_c = ET_o \times K_c$, ajustando el coeficiente de cultivo (K_c) a cada etapa fenológica a partir de los registros de evapotranspiración potencial (ET_o) y precipitación de la estación meteorológica. La lámina neta de riego se obtuvo restando la precipitación efectiva cuando esta fue significativa, y la lámina bruta se determinó incorporando la eficiencia del sistema de riego por goteo. La programación del riego consideró el número de laterales, el caudal del emisor y el distanciamiento entre hileras y emisores para calcular el tiempo y la frecuencia de riego requeridos, distribuyendo el volumen base en las tres dosis evaluadas: D1 (50 %), D2 (75 %) y D3 (100 %).

2.7. Eficiencia de uso del agua

La eficiencia de uso del agua (EUA, kg/m³) se calculó como el cociente entre el rendimiento de grano obtenido (kg/ha) y el volumen total de agua aplicado por tratamiento (m³/ha).

2.8. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) bajo el modelo del DBCA, con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, complementado con pruebas de comparación de medias de LSD de Fisher o Tukey según el caso. Cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad u

homogeneidad de varianzas, se aplicaron pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis, Friedman) o el ANOVA robusto de Welch, seguidos de las pruebas post hoc correspondientes (rangos múltiples no paramétricos o Games-Howell). El procesamiento se realizó con los programas R (RStudio) y Microsoft Excel.

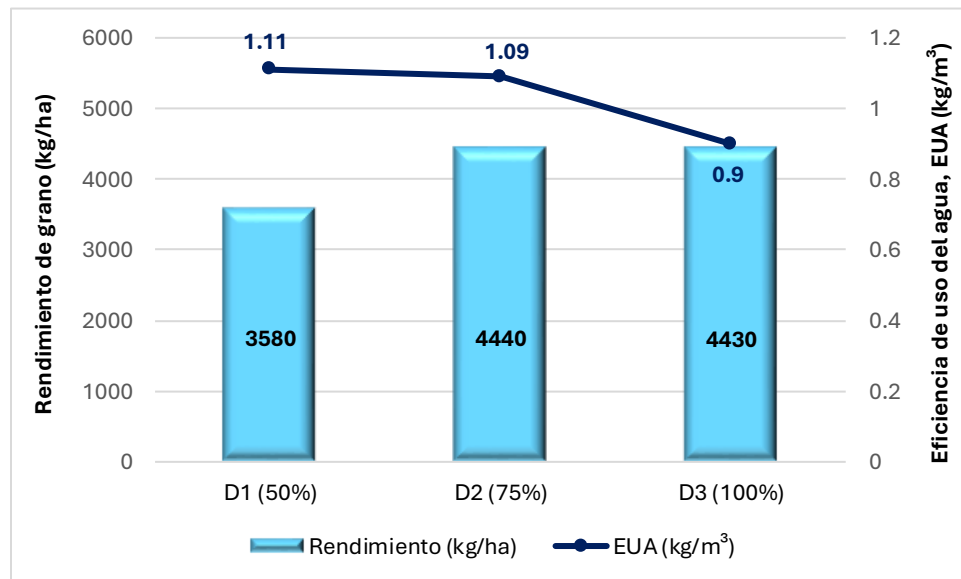
3. RESULTADOS

3.1. Volumen de agua aplicado y eficiencia de uso del agua

El volumen total de agua aplicado durante la campaña fue de 3220.0, 4063.0 y 4897.0 m³/ha para los tratamientos D1, D2 y D3, respectivamente (Tabla 2), reflejando diferencias crecientes a partir de la etapa de ramificación, cuando se inició la diferenciación de las dosis. La eficiencia de uso del agua mostró una relación inversa con el volumen aplicado: D1 alcanzó la mayor EUA (1.11 kg/m³), seguido de D2 (1.09 kg/m³) y D3 (0.90 kg/m³), evidenciando que el tratamiento con menor reposición hídrica fue el más eficiente en términos de conversión de agua en biomasa económica, a pesar de no ser el de mayor rendimiento absoluto (Figura 2).

Figura 2.

Volumen de agua aplicado y eficiencia de uso del agua (EUA) según la dosis de uso consuntivo.



El hallazgo central de este estudio demuestra que el rendimiento de grano alcanzó una meseta de estabilización entre el 75 % y el 100 % del uso consuntivo, sin diferencias significativas entre ambas dosis. Este comportamiento es consistente con el principio del riego deficitario controlado descrito por Geerts y Raes (2009), quienes señalan que esta estrategia permite maximizar la productividad hídrica en zonas áridas o semiáridas sin necesidad de cubrir la demanda hídrica plena. Fisiológicamente, la optimización en la eficiencia del uso del agua se explica por una

regulación estomática eficiente ante la reducción hídrica moderada, lo que permite estabilizar la fotosíntesis mientras se reduce la pérdida de agua por transpiración.

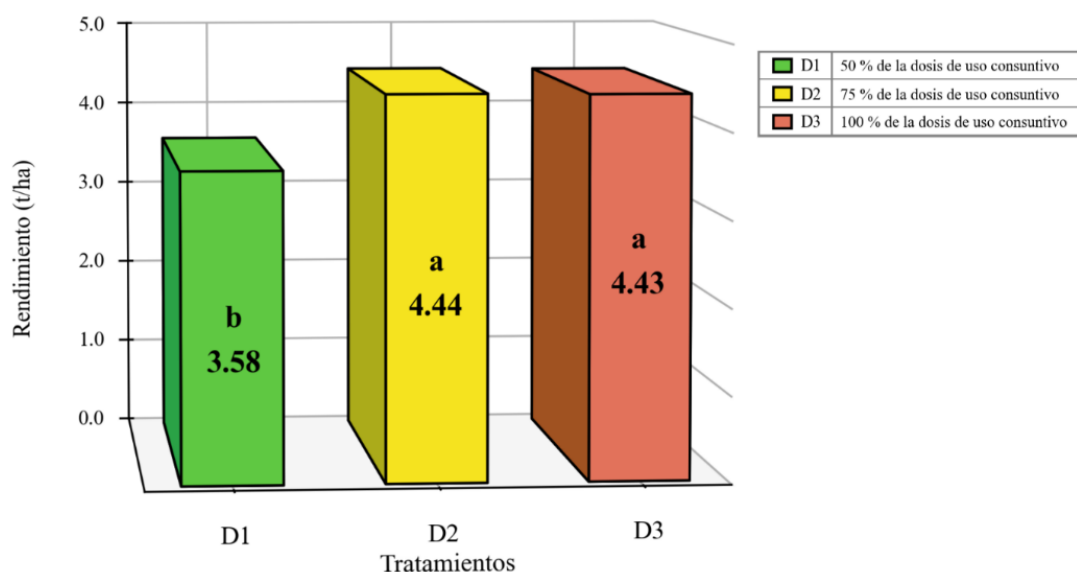
3.1. Evaluación de rendimiento

3.1.1. Rendimiento por hectárea

El ANOVA mostró un efecto significativo del tratamiento sobre el rendimiento de grano ($F = 4.80$; $p = 0.018$; $CV = 16.3 \%$), mientras que el efecto de bloque no fue significativo ($p = 0.707$), lo que indica que la variabilidad espacial del terreno no influyó de manera relevante en los resultados. La prueba de comparación de medias (LSD) agrupó a D2 (4.44 t/ha) y D3 (4.43 t/ha) en el mismo grupo estadístico “a”, ambos superiores a D1 (3.58 t/ha, grupo “b”) (Tabla 3, Figura 1). Los rendimientos de D2 y D3 superaron además el rendimiento potencial promedio reportado para la variedad (en torno a 3.0–4.0 t/ha), evidenciando una respuesta agronómica favorable bajo manejo hídrico controlado.

Figura 5.

Rendimiento del cultivo de quinua según las dosis de uso consuntivo



Los rendimientos obtenidos bajo las dosis del 75 % (D2) y 100 % (D3) de uso consuntivo, con 4.44 y 4.43 t/ha respectivamente, superaron ampliamente los valores promedio comerciales reportados para la especie. Este comportamiento se alinea con lo señalado por García et al. (2003), quienes sostienen que optimizar el suministro hídrico con base en el uso consuntivo del cultivo favorece la traslocación de asimilados y permite que la planta exprese un mayor porcentaje de su potencial genético. Asimismo, la ausencia de incremento de rendimiento de D2 a D3 se respalda en lo documentado por Fghire et al. (2015) y Lavini et al. (2014), quienes evidenciaron que la quinua exhibe una notable tolerancia al estrés hídrico en las fases vegetativas y de maduración, concentrando su mayor sensibilidad en la floración plena.

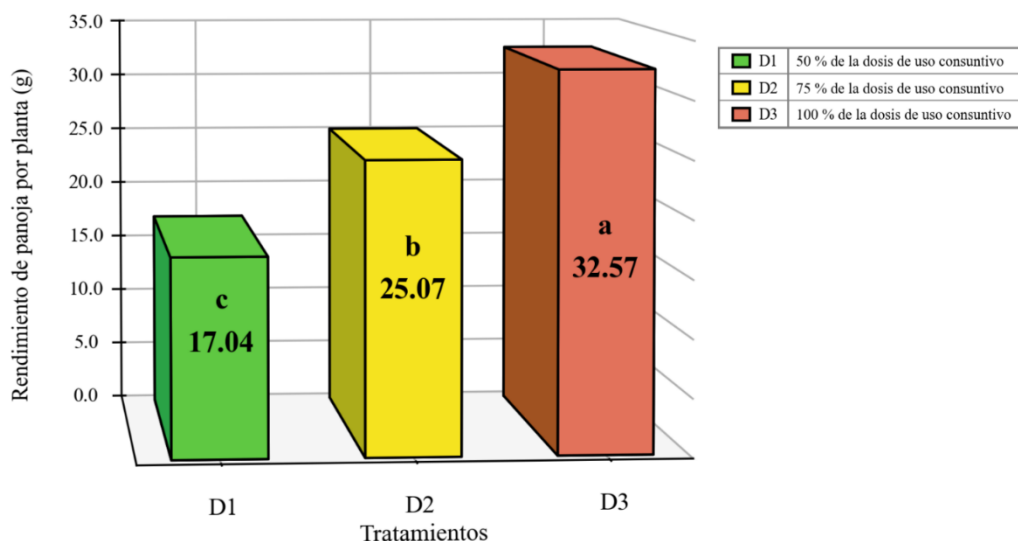
3.2. Componentes del rendimiento

3.2.1. Rendimiento por panoja por planta (g/planta)

El rendimiento por panoja presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F=19.12$; $p < 0.001$; $CV = 24.7 \%$), separándose los tres tratamientos en grupos estadísticos distintos: D3 (32.57 g/panoja, “a”), D2 (25.07 g/panoja, “b”) y D1 (17.04 g/panoja, “c”), lo que indica que esta variable respondió de forma proporcional al volumen de agua aplicado.

Figura 6

Rendimiento de panoja por planta según las dosis de uso consuntivo



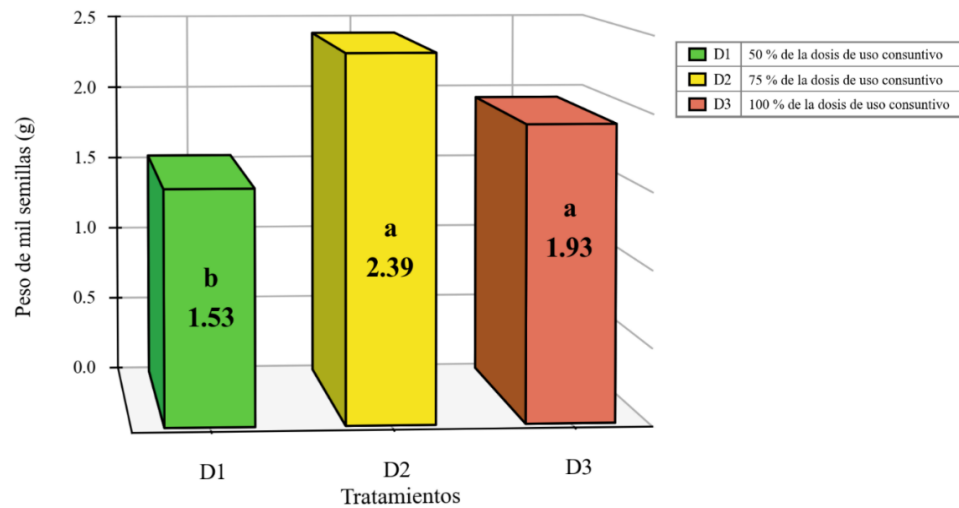
El rendimiento por panoja se ubicó en grupos estadísticos distintos para los tres tratamientos, mostrando un incremento proporcional al volumen de agua aplicado, donde el tratamiento D3 fue el más efectivo (32.57 g), seguido por D2 (25.07 g) y D1 (17.03 g). Está marcada dependencia coincide con lo reportado por Razzaghi et al. (2012), quienes demostraron que el rendimiento y peso de la inflorescencia en la quinua dependen críticamente de evitar el estrés hídrico durante el panojamiento y la floración, etapas fenológicas cruciales donde se determina el número de granos por panoja y la posterior fuerza de la demanda (*sink strength*) para la acumulación de materia seca.

3.2.2. Peso de mil semillas

El peso de mil semillas mostró un patrón distinto: el ANOVA fue significativo ($p = 0.039$; $CV = 10.7 \%$), pero la dosis intermedia D2 obtuvo el mayor peso (2.39 g, “a”), superando a D3 (1.93 g) y D1 (1.53 g), ambos agrupados en el nivel “b” sin diferencias significativas entre sí.

Figura 7

Peso de mil semillas según las dosis de uso consuntivo



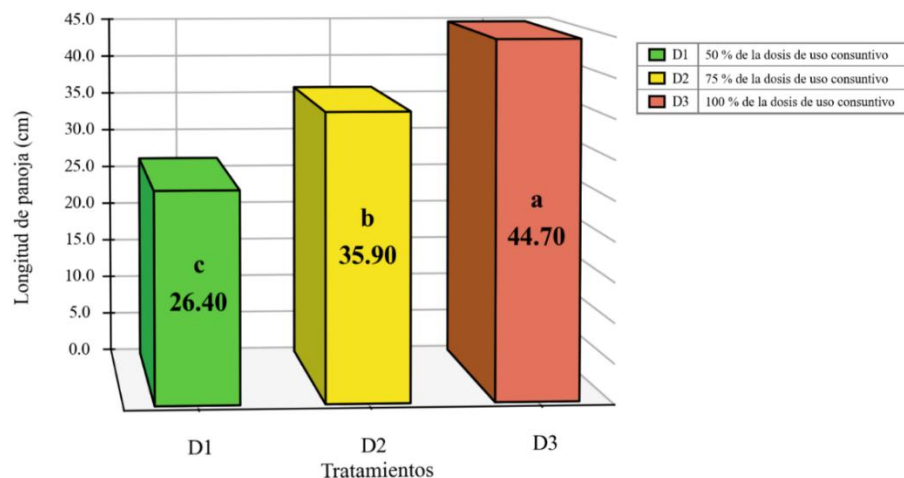
A diferencia del rendimiento total, el peso de mil semillas registró su valor máximo absoluto bajo la dosis intermedia de uso consuntivo al 75 % (D2) con 2.39 g, superando significativamente a D3 (1.93 g) y D1 (1.52 g). Este patrón coincide con lo reportado por Geerts et al. (2008), quienes señalan que el riego deficitario controlado aplicado en las etapas finales puede inducir una traslocación de carbohidratos más eficiente hacia el grano en comparación con la irrigación plena, la cual tiende a prolongar la fase vegetativa y retrasar la maduración. Además, los valores de D2 se situaron dentro del rango comercial normal reportado para variedades peruanas de grano blanco y de color (Jacobsen et al., 2003).

3.2.3. Longitud de panoja

La longitud de panoja, analizada mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis por incumplimiento de los supuestos de normalidad, también fue significativa ($H = 7.2$; $p = 0.027$), con el orden $D3 > D2 > D1$.

Figura 8

Altura de panoja según las dosis de uso consuntivo



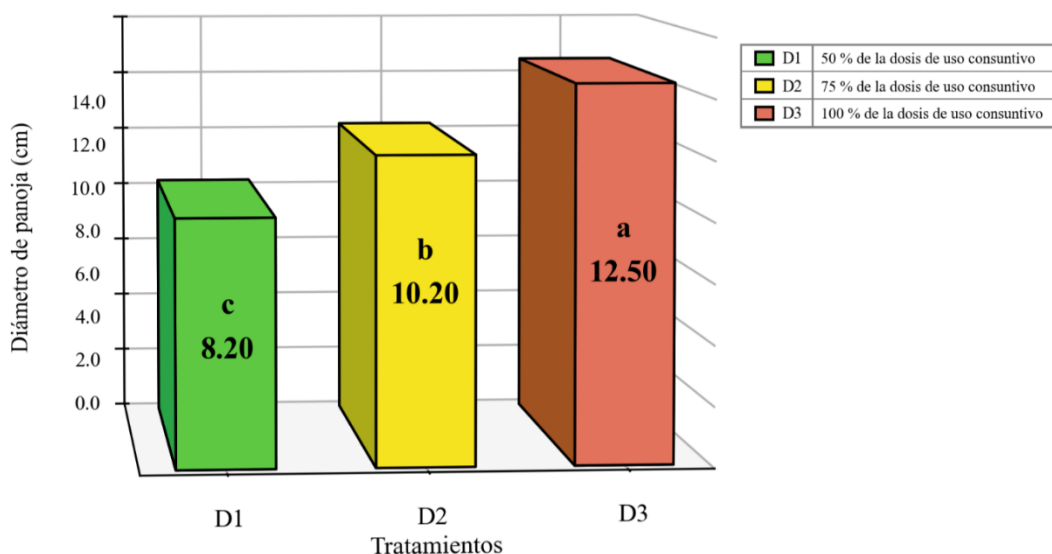
La longitud de la panoja experimentó un desarrollo continuo asociado al incremento del régimen hídrico, mostrando su mayor elongación en el tratamiento con reposición hídrica total (D3). Este comportamiento estructural refleja que la disponibilidad constante de agua por goteo desde la etapa de ramificación estimula el crecimiento del eje principal de la inflorescencia, permitiendo sostener el desarrollo reproductivo en la variedad INIA 441 - Señor del Huerto, caracterizada por su arquitectura intermedia y respuesta favorable al manejo hídrico (Razzaghi et al., 2012).

3.2.4. Diámetro de panoja

El diámetro de panoja mostró diferencias altamente significativas ($F = 95.8$; $p < 0.001$; $CV = 11.6$ %), con un gradiente claro y creciente entre tratamientos: D1 (8.21 cm, “a”) < D2 (10.20 cm, “b”) < D3 (12.46 cm, “c”).

Figura 9

Diámetro de panoja según las dosis de uso consuntivo



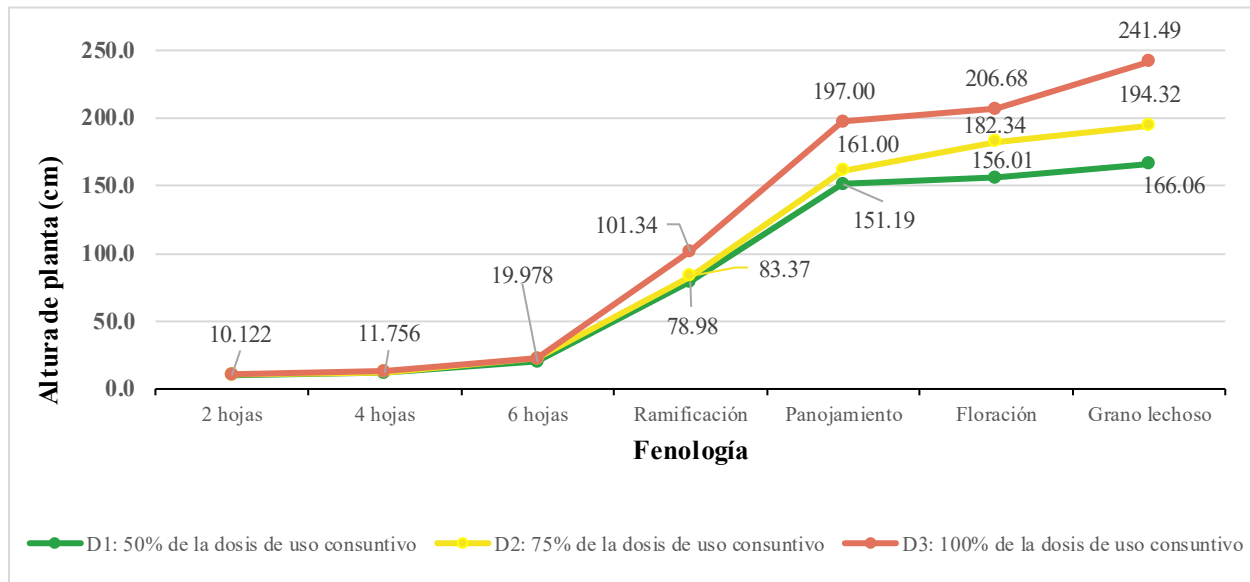
El diámetro de panoja aumentó de forma lineal y proporcional al volumen de agua suministrado, alcanzando los valores más altos bajo el tratamiento D3. De acuerdo con lo descrito por Razzaghi et al. (2012), las dimensiones físicas de la panoja de quinua están ligadas a la turgencia celular y al estado hídrico del cultivo durante la fase de diferenciación floral, donde la ausencia de restricciones de agua (100 % de uso consuntivo) maximiza la expansión de las ramificaciones secundarias y terciarias de la inflorescencia.

3.3. Desarrollo biométrico por etapa fenológica

3.3.1. Altura de planta

La altura de planta no presentó diferencias entre tratamientos en los estadios de 2 y 4 hojas, pero a partir del estadio de 6 hojas (Welch, $p = 0.0033$) y durante la ramificación, el panojamiento y la floración (ANOVA clásico, $p < 0.001$), así como en grano lechoso (Welch, $p < 0.001$), el tratamiento D3 mostró consistentemente los valores más altos, seguido de D2 y D1.

Figura 10
Altura de planta por etapa fenológica



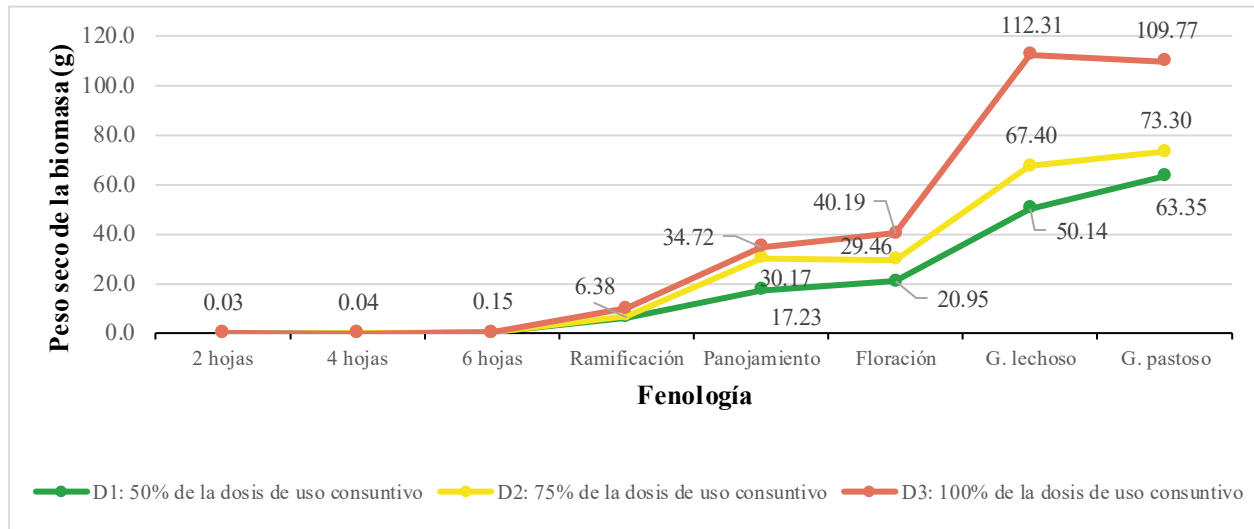
La altura de planta mostró un incremento progresivo y proporcional al volumen de agua aplicado, registrando los valores más altos bajo el tratamiento de riego pleno (D3). Este comportamiento es coherente con los principios del vigor vegetativo en la quinua, donde el suministro hídrico sin restricciones estimula la elongación celular en el tallo principal. Esto corrobora que la variedad INIA 441 responde activamente al manejo agronómico hídrico, expresando su potencial de crecimiento vertical bajo condiciones controladas de humedad (Ruiz y Bertero, 2008).

3.3.2. Peso fresco y seco de la biomasa aérea

El peso fresco de la biomasa aérea siguió un patrón similar, con diferencias significativas desde el estadio de 2 hojas ($p = 0.045$) y, de forma sostenida, desde 6 hojas hasta grano pastoso ($p \leq 0.050$), con D3 siempre en el grupo superior. El peso seco de la biomasa aérea mostró un comportamiento particular: aunque las diferencias también se concentraron en las etapas reproductivas (panojamiento, floración, grano lechoso y grano pastoso; $p \leq 0.002$), fue el tratamiento D2 y no D3 el que alcanzó los valores más altos de materia seca en panojamiento y floración, sugiriendo una translocación de fotoasimilados más eficiente bajo un déficit hídrico moderado.

Figura 12

Peso seco de la planta por etapa fenológica



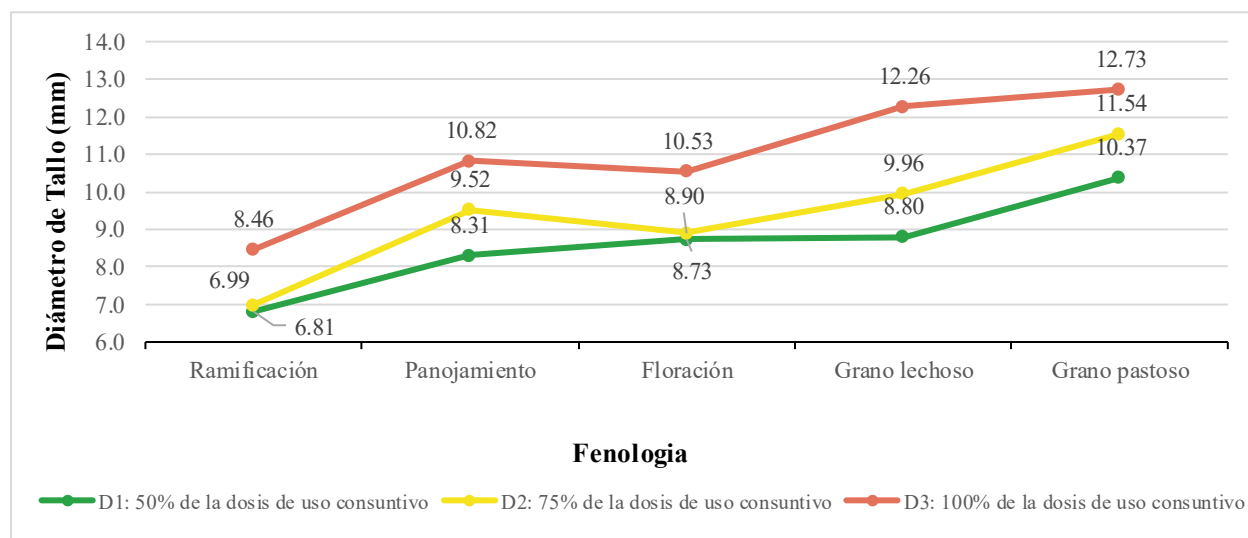
La altura de planta mostró un incremento progresivo y proporcional al volumen de agua aplicado, registrando los valores más altos bajo el tratamiento de riego pleno (D3). Este comportamiento es coherente con los principios del vigor vegetativo en la quinua, donde el suministro hídrico sin restricciones estimula la elongación celular en el tallo principal. Esto corrobora que la variedad INIA 441 responde activamente al manejo agronómico hídrico, expresando su potencial de crecimiento vertical bajo condiciones controladas de humedad (Ruiz y Bertero, 2008).

3.3.3. Diámetro de tallo

El diámetro de tallo presentó un patrón análogo, con diferencias significativas en panojamiento ($p < 0.001$), floración ($p = 0.010$) y grano lechoso ($p = 0.004$), donde D2 superó nuevamente a D3, mientras que D1 registró los valores más bajos en todos los casos.

Figura 13

Diámetro de tallo por etapa fenológica



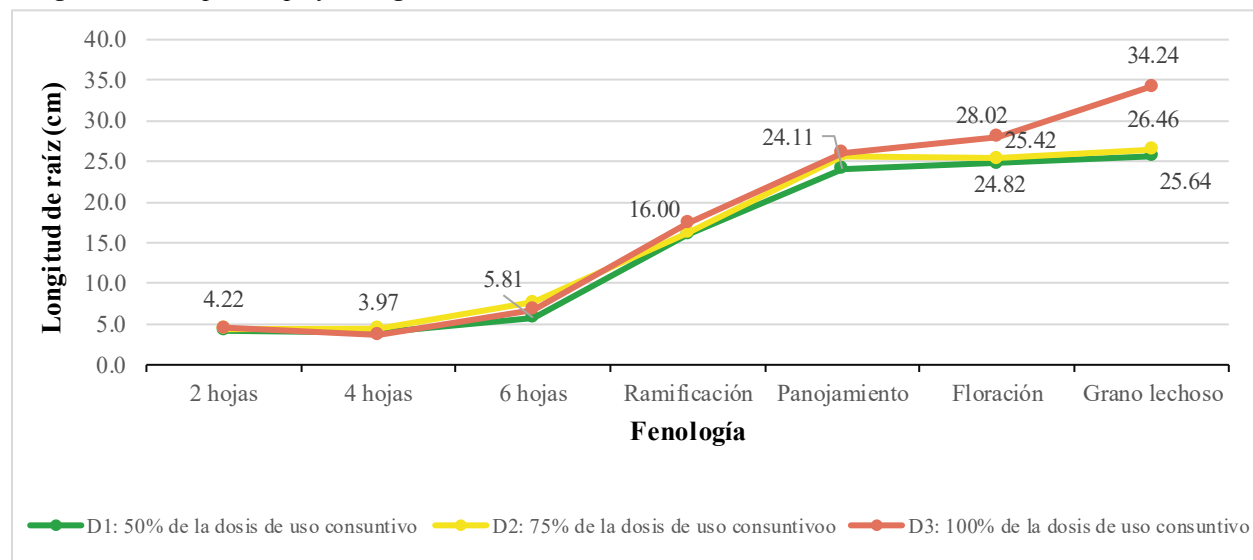
El diámetro de tallo evidenció una respuesta lineal frente a las dosis de usos consuntivos aplicadas por goteo, mostrando un tallo más robusto bajo el tratamiento D3 (100 %). El grosor del tallo actúa como un indicador directo del vigor estructural y de la capacidad de soporte de la planta para sostener las panojas pesadas. Este crecimiento en diámetro se vincula con un estado de turgencia celular óptimo durante las fases de rápido desarrollo vegetativo, lo cual previene el vuelco del cultivo ante el peso reproductivo final (Ruiz y Bertero, 2008).

3.3.4. Longitud de raíz

El sistema radicular respondió de manera más tardía: la longitud de raíz solo mostró diferencias significativas en el estadio de 6 hojas ($p = 0.023$) y en grano lechoso ($p < 0.001$), etapa en la que D3 alcanzó la mayor longitud, mientras que D1 y D2 no se diferenciaron entre sí.

Figura 14

Longitud de raíz por etapa fenológica



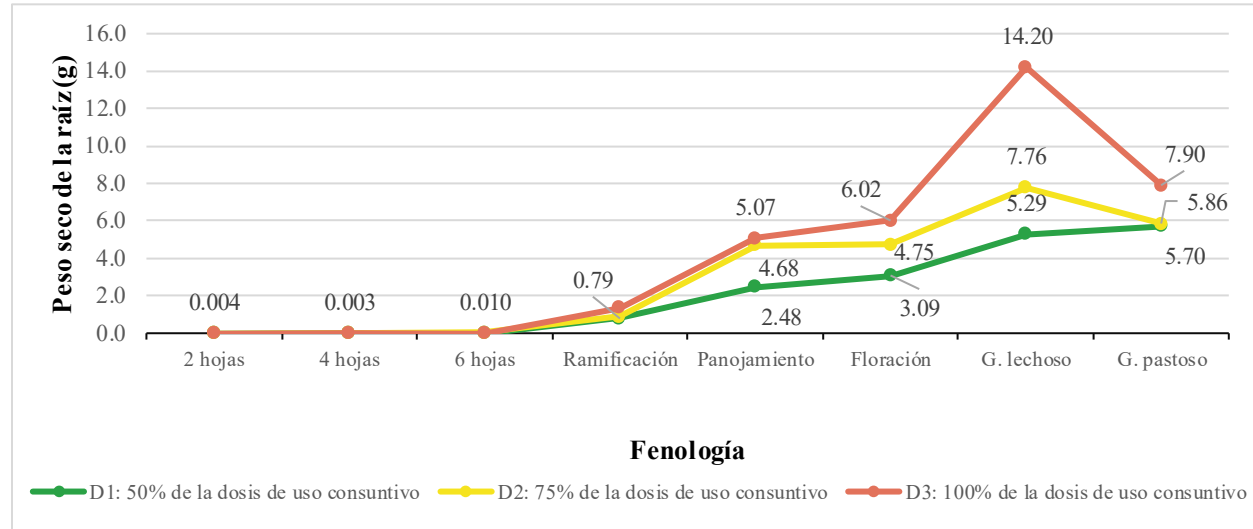
En el estadio de grano lechoso, el tratamiento D3 presentó la mayor longitud de raíz, ubicándose en un grupo estadístico superior respecto a D1 y D2. Esta mayor elongación radicular bajo reposición hídrica total coincide con lo reportado por Al-Naggar et al. (2017), quienes evidenciaron que el sistema radicular de la quinua exhibe una alta plasticidad morfológica, donde una óptima disponibilidad de agua en el bulbo húmedo estimula el alargamiento de las raíces principales para maximizar la estructura de soporte y satisfacer la alta demanda transpiratoria durante el llenado de grano.

3.3.5. Peso fresco y seco de la raíz

El peso fresco y el peso seco de la raíz, en cambio, se diferenciaron de forma sostenida desde panojamiento hasta grano lechoso ($p < 0.001$ en todos los casos), con el orden $D3 > D2 > D1$ en las etapas reproductivas.

Figura 16

Peso seco de la raíz por etapa fenológica



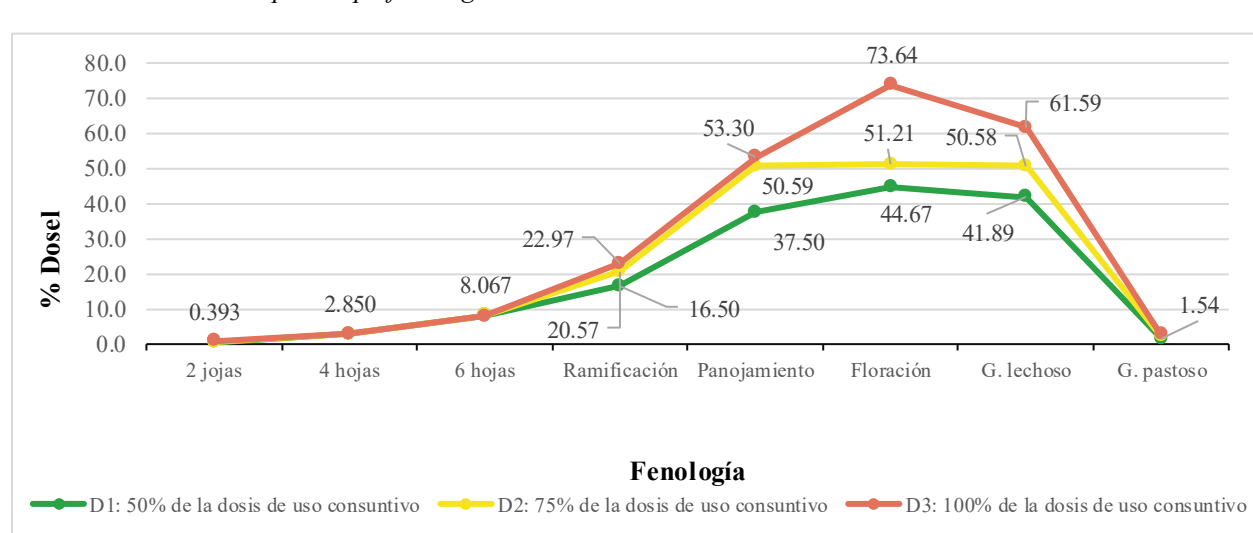
El peso fresco y el peso seco de la raíz registraron sus valores máximos bajo riego pleno (D3), diferenciándose significativamente de las dosis de déficit. Estos hallazgos guardan estrecha relación con lo descrito por Magni et al. (2020), quienes señalaron la relación directa entre el volumen de agua aplicado y la acumulación de materia seca radicular en quinua, y con Choukr-Allah et al. (2016), quienes reportaron el efecto protector de la irrigación plena frente a la senescencia prematura del sistema radical, manteniendo activa la cabellera absorbente en las etapas avanzadas del ciclo (grano pastoso).

3.3.6. Dosel

La cobertura de dosel mostró diferencias significativas desde el estadio de 2 hojas y, de manera más marcada, desde la ramificación hasta el cierre del ciclo ($p \leq 0.027$), con D3 manteniendo siempre la mayor cobertura foliar.

Figura 17

Variación del % Dosel por etapa fenológica



La cobertura de dosel mostró un incremento continuo y proporcional al volumen de agua aplicado, alcanzando su nivel máximo bajo el tratamiento D3. Esta respuesta es consistente con lo descrito por Ruiz y Bertero (2008), quienes vinculan directamente la cobertura de dosel en quinua con la velocidad de expansión foliar y la capacidad de las estructuras vegetativas para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), siendo un factor determinante para sostener la asimilación neta de carbono en las etapas reproductivas.

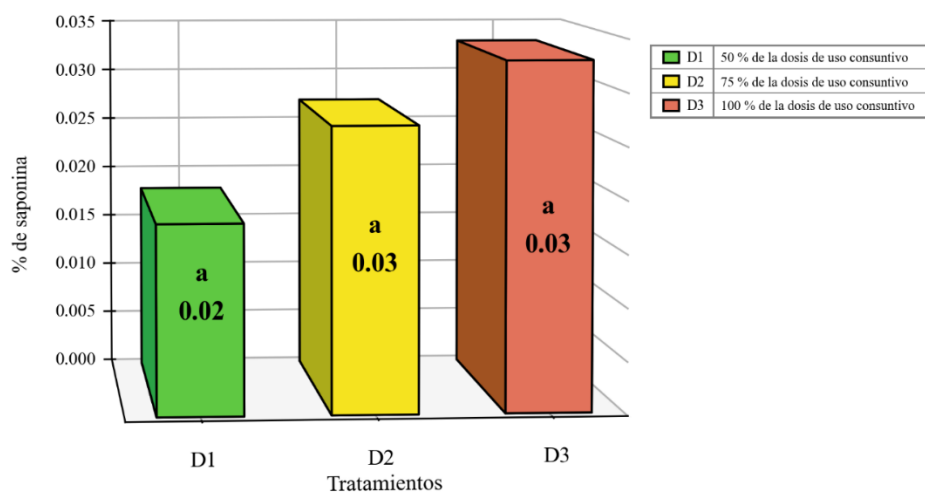
3.4. *Evaluación de calidad de semilla*

3.5. *Contenido de saponina*

El contenido de saponina en el grano no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de uso consuntivo evaluadas ($F = 0.52$; $p = 0.629$; $CV = 27.9\%$), ni tampoco entre bloques ($p = 0.877$). Los valores promedio fueron de 0.018, 0.027 y 0.033 % para D1, D2 y D3, respectivamente, todos agrupados en el mismo nivel estadístico “a” mediante la prueba de Tukey (Tabla 5). Si bien se observó una ligera tendencia numérica al incremento de saponina con la dosis completa de riego, esta diferencia no alcanzó significancia estadística.

Figura 18

% de saponina según el volumen de uso consuntivo de riego



Finalmente, la ausencia de diferencias significativas en el contenido de saponina entre los tratamientos (0.018–0.033 %) indica que este atributo de calidad está determinado principalmente por la constitución genética del cultivar y no por el régimen hídrico aplicado. Esto concuerda con la clasificación de la variedad INIA 441 - Señor del Huerto como una quinua de tipo dulce, y con lo señalado por Castillo et al. (2023), quienes indican que los contenidos de saponina inferiores al 0.11 % son estables frente a variaciones ambientales y estrategias de riego, preservando sus propiedades comerciales sin requerir desaponificación compleja.

5. CONCLUSIÓN

1. La optimización del manejo hídrico en el cultivo de quinua variedad INIA 441 - Señor del Huerto bajo condiciones semiáridas se alcanzó con el 75% de uso consuntivo de agua por goteo, donde se obtuvo el mejor equilibrio entre rendimiento de grano y eficiencia en el uso del agua. El aumento del riego hasta el 100% de la demanda evapotranspirativa no generó incrementos productivos significativos, pero sí disminuyó notablemente la eficiencia en el uso del recurso hídrico.
2. El desarrollo biométrico y morfológico de la planta mostró una respuesta proporcional al incremento de la disponibilidad de agua, evidenciando aumentos en altura, diámetro, dosel y longitud radicular sin manifestar saturación fisiológica en las dosis evaluadas.
3. El contenido de saponina no mostró variaciones frente al estrés hídrico ni frente al riego pleno, lo que confirma que este atributo de calidad está determinado principalmente por la base genética del cultivar dulce.

1. Referencias bibliográficas

- Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Asiri, A. A., & Mansour, M. M. (2017). Root architectural traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as affected by deficit irrigation. *Annual Research & Review in Biology*, 14(5), 1–13. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/34321>
- Bascuñán-Godoy, L., Sanhueza, C., Pinto, K., Cifuentes, L., Reguera, M., Briones, V., Zurita-Silva, A., Álvarez, R., & Morales, A. (2016). Nitrogen physiology of contrasting genotypes of *Chenopodium quinoa* Willd. (Amaranthaceae). *Scientific Reports*, 6, 41187.
- Castillo, C. E., & Taipe Carrasco, C. (2023). Capacidad antioxidante de *Lentinula edodes* Berk en fermentación fase sólida de granos *Chenopodium quinoa* Willd. *Revista Alfa*, 7(20), 288–298. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i20.215>
- Choukr-Allah, R., Rao, N. K., Hirich, A., El Shahid, A., Alshankiti, A., & Toderich, K. (2016). Quinoa for marginal environments: Toward future food and nutritional security in MEA region. *Frontiers in Plant Science*, 7, 346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00346>
- Dioses, F. F. N., & Zapata, S. R. E. (2017). *Evaluación del riego por goteo convencional e intermitente en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en Tauripampa, Lima* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Estrada-Zúñiga, R., Apaza-Mamani, V., Pérez-Ávila, A., Altamirano-Pérez, A., & Neyra-Valdez, E. (2022). Comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa*

- Willd.) en el Perú. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3134>
- Fghire, R., Anaya, F., Ali, O. I., Benlhabib, O., Ragab, R., & Wahbi, S. (2015). Physiological and photosynthetic response of quinoa to drought stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2), 174–183. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000200006>
- García, M., Raes, D., & Jacobsen, S. E. (2003). Evapotranspiración y requerimientos de agua de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 13, 41–50.
- Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96(9), 1275–1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
- Geerts, S., Raes, D., García, M., Miranda, R., Cusicanqui, J. A., Condori, M. H., Mamani, J., Miranda, Y., Taboada, R., Foronda, J., & Vacher, J. J. (2008). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*, 95(4), 427–436. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.008>
- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. FAO & Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2020). *Libera nueva variedad de quinua INIA 441 – Señor del Huerto* (Resolución Jefatural N.º 0135-2020-INIA). Ministerio de Agricultura y Riego, Estación Experimental Agraria Canaán.
- Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)? *Scientia Horticulturae*, 122(2), 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
- Jacobsen, S. E., Mujica, A., & Jensen, C. R. (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International*, 19(1–2), 99–109. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>
- Lavini, A., Pulvento, C., D'Andria, R., Riccardi, M., Choukr-Allah, R., Benlhabib, O., & Jacobsen, S. E. (2014). Quinoa's potential in the Mediterranean region. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(5), 344–360. <https://doi.org/10.1111/jac.12069>
- Magni, C., Ruiz, K. B., Martinez, E. A., & Biondi, S. (2020). Morpho-physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes under variable water supply in Mediterranean conditions. *Plants*, 9(11), 1542. <https://doi.org/10.3390/plants9111542>
- Medina, C. (2023). *Retrasos en las campañas agrícolas de quinua en Ayacucho ante la escasez hídrica* [Reporte regional].

- MIDAGRI. (2023). *Producción nacional de quinua 2022–2023*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú.
- Mori, R. A. M. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) mediante riego por goteo* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Razzaghi, F., Jacobsen, S. E., Jensen, C. R., & Andersen, M. N. (2012). Ionic and osmotic relations of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 105, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.022>
- Ruiz, R. A., & Bertero, H. D. (2008). Light interception and radiation use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 29(2–3), 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.eurajor.2008.05.004>
- Urbano, H. R. (2019). *Instalación de un sistema de riego por goteo y efecto del ácido húmico en el rendimiento de quinua negra (Chenopodium quinoa W.) en Canaán, 2735 m s. n. m. – Ayacucho* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].
- Vargas, F. G. (2022). *Evaluación de tres frecuencias de riego por goteo en quinua en el Centro Agronómico K'ayra-San*
- Jerónimo, Cusco* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
- Villafuerte, A. F. J. (2018). *Evaluación de cuatro variedades de quinua bajo tres regímenes de riego: crecimiento, rendimiento y calidad de grano* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina].