



Universidad  
Nacional  
de Loja

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RE NOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA**

**“PERIODO CRÍTICO PARA EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL GRANO DE  
QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOMBRA  
EN DISTINTOS ESTADOS FENOLÓGICOS, EN EL SECTOR LA ARGELIA,  
LOJA”**

Tesis previa a la obtención del título de  
**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR:**

**EDWIN ISRAEL VILLAVICENCIO SÁNCHEZ**

**DIRECTOR:**

**ING. SANTIAGO CRISTÓBAL VÁSQUEZ MATUTE PHD.**

**LOJA-ECUADOR**

**2021**

## CERTIFICADO

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute *PhD.*

### DIRECTOR DE TESIS

#### CERTIFICO:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: “PERIODO CRÍTICO PARA EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL GRANO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOMBRA EN DISTINTOS ESTADOS FENOLÓGICOS, EN EL SECTOR LA ARGELIA, LOJA”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado: Edwin Israel Villavicencio Sánchez, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la carrera de Ingeniería Agronómica. En mi calidad de Director de Tesis certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio del egresado.

Loja, 2 de diciembre de 2021



Firmado electrónicamente por:  
SANTIAGO  
CRISTOBAL VASQUEZ  
MATUTE

---

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute *PhD.*  
**DIRECTOR DE TESIS**

## CERTIFICADO TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: “PERIODO CRÍTICO PARA EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL GRANO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOMBRA EN DISTINTOS ESTADOS FENOLÓGICOS, EN EL SECTOR LA ARGELIA, LOJA” de autoría del Sr. Edwin Israel Villavicencio Sánchez, egresado de la carrera de Ingeniería Agronómica, nos permitimos certificar:

Que en el trabajo final consolidado de investigación, se ha incorporado las sugerencias efectuadas por los miembros del tribunal y esta acorde con los requerimientos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por lo tanto, se procede a la aprobación y calificación del trabajo de tesis, y se autoriza a continuar con los trámites pertinentes.

Loja, 30 de noviembre de 2021



Firmado electrónicamente por:  
**KLEVER ANIBAL  
CHAMBA  
CAILLAGUA**

---

Ing. Klever Aníbal Chamba Caillagua  
**PRESIDENTE**

MARINA MAZÓN MORALES  
Firmado digitalmente por  
MARINA MAZÓN MORALES  
Fecha: 2021.12.02  
07:54:49 -05'00'

---

PhD. Marina Mazón Morales  
**VOCAL**

MARIA NATALIA MORALES PALACIO  
Firmado digitalmente  
por MARIA NATALIA  
MORALES PALACIO  
Fecha: 2021.12.02  
08:44:03 -05'00'

---

PhD. María Natalia Morales Palacio  
**VOCAL**

## **AUTORIA**

Yo, Edwin Israel Villavicencio Sánchez, declaro ser el autor del presente TRABAJO DE TESIS y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Declaro, que durante la investigación y elaboración de la tesis el uso de referencias publicadas por otros autores cumplió con las normas y regulaciones establecidas.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Edwin Israel Villavicencio Sánchez

Firma:  Firmado electrónicamente por:  
**EDWIN ISRAEL  
VILLAVICENCIO  
SANCHEZ**

Cédula: 1104334410

Fecha: 2 de diciembre de 2021

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Edwin Israel Villavicencio Sánchez, declaro ser el autor de la tesis titulada “PERIODO CRÍTICO PARA EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL GRANO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SOMBRA EN DISTINTOS ESTADOS FENOLÓGICOS, EN EL SECTOR LA ARGELIA, LOJA” como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre a mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional. Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio de dicha tesis que realice una tercera persona. Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los dos días del mes de diciembre del dos mil veintiuno, firma el autor:



Firmado electrónicamente por:  
**EDWIN ISRAEL  
VILLAVICENCIO  
SANCHEZ**

**FIRMA:**

**Autor:** Edwin Israel Villavicencio Sánchez

**Cédula:** 1104334410

**Dirección:** Yahuarcoma, Alisos (310-130) y Eucaliptos

**Correo electrónico:** [edwin.villavicencio@unl.edu.ec](mailto:edwin.villavicencio@unl.edu.ec)

**Celular:** 0989792189

### Datos Complementarios

**Director de Tesis:**

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute *PhD.*

**Tribunal de Grado:**

Ing. Klever Chamba (**PRESIDENTE**)

PhD. Marina Mazón (**VOCAL**)

PhD. María Natalia Morales (**VOCAL**)

## AGRADECIMIENTO

*No hay suficientes palabras que me permitan expresar mi gratitud a todas aquellas personas que brindaron su ayuda para la ejecución de este trabajo, doy mención a aquellas que particularmente sin su ayuda sentiría que este trabajo no se lo hubiera alcanzado, agradezco a mi director de tesis, guía y amigo el Ing. Santiago Vásquez, quien, con sus conocimientos, apoyo y orientación durante el desarrollo y evolución de este trabajo fue posible su cumplimiento, pues fue usted, una gran inspiración para yo seguir adelante en los momentos donde a pesar de toda la frustración, desánimos y atropellos sucedidos supo encaminarme y darme la confianza para cumplir con esta tesis, gracias profe me enseñó a ser una mejor persona y profesional. De igual forma agradezco a la Ing. Marlene Molina por su ayuda y guía brindada durante el desarrollo de este trabajo.*

*También quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja por brindarme el escenario necesario para llevar a cabo el proceso de investigación, a la Ing. Beatriz Guerrero, técnica del laboratorio de Bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, no hubiese podido culminar los resultados de no haber sido por su ayuda. Así mismo quiero agradecer a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica, quienes han contribuido en mi formación académica y personal, en especial a la Ing. Paulina Fernández por la confianza depositada en mí y sus sabias palabras de orientación que me permitieron crecer como persona, gracias estimada ingeniera.*

*Le doy gracias a mis amigos Jefferson, Galo, José, Daniela, Nancy y Grace por su ayuda propicia durante la implementación y desarrollo del proyecto en campo, jamás hubiera logrado yo solo lo que con ustedes conseguí obtener, ese espacio de terreno donde desarrollamos nuestros proyectos, que se convirtió en esta larga pandemia en el mejor espacio para compartir, reír y pasar un momento ameno, gracias amiguitos los quiero bastante, jamás podre olvidar esos debates de manejo técnico de los cultivos.*

*Por último, quiero agradecer a mis familiares por apoyarme durante todo este largo proceso, son los mejores.*

*Edwin Israel Villavicencio Sánchez*

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a mi madre Esmeralda Sánchez, por todo el amor, sacrificio y apoyo incondicional, mamá usted es mi principal inspiración para superarme y cada día ser un mejor hombre.*

*A mis hermanitos, Xavier, Mónica y Mario por compartir a mi lado tantos momentos y ser un motivo más para yo ser mejor, sepan que ustedes poseen muchos talentos, sean mejores que yo y jamás se rindan, fijen sus objetivos y forjen el camino para cumplirlos, los amo un montón.*

*Finalmente dedico este trabajo a mis segundos padres mi papi Miguel y mi mami Ibelia, la razón por la que amo el campo es por ustedes dos desde pericote me enseñaron con amor y paciencia a como trabajar en él, desde el fondo de mi corazón agradezco a Dios por dármeles a ustedes dos como mis abuelitos, han sido una gran motivación para cumplir esta meta, los amo con todo mi corazón.*

*Edwin Israel Villavicencio Sánchez*

## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS .....	II
CERTIFICADO TRIBUNAL DE GRADO.....	III
AUTORÍA.....	IV
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA .....	VII
TABLA DE CONTENIDOS.....	VIII
1 TEMA .....	1
2 RESUMEN.....	2
2.1 ABSTRACT .....	3
3 INTRODUCCIÓN .....	4
3.1 Objetivo General.....	6
3.2 Objetivos Específicos .....	6
4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1 Origen del cultivo de quinua .....	7
4.2 Clasificación taxonómica y características morfológicas del cultivo de quinua.....	7
4.2.1 Raíz.....	8
4.2.2 Tallo .....	8
4.2.3 Hojas.....	8
4.2.4 Inflorescencia .....	9
4.2.5 Flores.....	9
4.2.6 Fruto .....	9
4.2.7 Semilla.....	9
4.3 Requerimientos climáticos y edáficos para la quinua. ....	9
4.4 Importancia nutricional de la quinua .....	10



4.5	Fenología del cultivo .....	12
4.6	Generación del rendimiento en quinua.....	15
4.6.1	Componentes del rendimiento.....	15
4.6.2	Número de granos .....	16
4.6.3	Peso de granos.....	16
4.7	Generación de la calidad del grano.....	16
4.8	Relación fuente-destino .....	17
4.9	Periodo crítico para la determinación del rendimiento.....	18
4.10	Variedades.....	19
4.10.1	Variedad INIAP Tunkahuan.....	19
4.10.2	Variedad Pata de venado .....	20
5	MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
5.1	Ubicación del área de estudio.....	21
5.2	Metodología general.....	21
5.2.1	Tipo de investigación .....	22
5.2.2	Método .....	22
5.2.3	Diseño Experimental.....	23
5.2.4	Modelo estadístico.....	24
5.2.5	Análisis Estadístico .....	24
5.2.6	Metodología para el primer objetivo específico. “Establecer la ventana de tiempo en que el rendimiento y sus componentes se ven afectados por el sombreado” .....	25
5.2.7	Metodología para el segundo objetivo específico. “Evaluar el efecto de la disminución de la radiación mediante sombreado en distintas etapas fenológicas sobre la cantidad de proteína y saponina de dos genotipos de quinua”.....	28
6	RESULTADOS.....	31
6.1	Fenología del cultivo y condiciones climáticas.....	31
6.2	Altura de planta y tasa de crecimiento del tallo.....	33
6.3	Dinámica de crecimiento del tallo.....	35

6.4 Rendimiento, componentes del rendimiento y calidad de la semilla en los controles no sombreados .....	35
6.5 Periodo crítico para la determinación del rendimiento.....	37
6.6 Efectos del sombreado en el contenido de proteína y saponina de la semilla.....	40
6.7 Correlaciones entre las variables de estudio.....	41
7 DISCUSIÓN .....	43
8 CONCLUSIONES .....	51
9 RECOMENDACIONES .....	52
10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
11 ANEXOS.....	61
11.1 Anexo 1. Fotografías.....	61
11.2 Anexo 2. Análisis de suelo.....	66
11.3 Anexo 3. Plan de fertilización.....	68
11.4 Anexo 4. Fenología BBCH .....	71
11.5 Anexo 5. Figuras y tablas complementarias .....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del experimento.....	21
Figura 2. Diseño Experimental .....	24
Figura 3. Radiación media diaria, temperatura máxima (roja) y mínima (azul) y precipitación acumulada durante el ciclo de cultivo quinua var. Tunkahuna (a,c,e) y var. Pata de venado (b,d,f), triángulos rojos hacia abajo indican la escala fenológica en BBCH y triángulos negros hacia arriba el momento del sombreo. ....	32
Figura 4. Duración del ciclo de cultivo de dos variedades de quinua en días después de la siembra (eje <i>x</i> superior) y acumulación térmica °Cd (eje <i>x</i> inferior).....	33
Figura 5. Dinámica de crecimiento del tallo de dos variedades de quinua, línea de color rojo var. Tunkahuan y de azul var. Pata de venado, controles (sin sombra).....	35
Figura 6. Efecto del momento del sombreo sobre los componentes del rendimiento en dos variedades de quinua figuras a la izquierda var. Tunkahuan, a la derecha var. Pata de venado; índice de cosecha (a,b); peso de 1000 granos (c,d); número de granos (e,f) y rendimiento (g,,h); en relación con los controles sin sombreo. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra. Los cuadros sombreados de color rojo señalan una pérdida $\geq 10$ %. Las líneas horizontales en (g-h) corresponde al periodo crítico representa dos errores estándar centrados en el mínimo. ....	39
Figura 7. Efecto del momento de sombreo sobre el contenido de saponina en dos variedades de quinua, (a) Tunkahuna, (b) Pata de venado y (c) media de ambas variedades, en relación con los controles sin sombreo. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra. ....	40
Figura 8. Efecto del momento de sombreo sobre el contenido de proteína (a, b) y el rendimiento de proteína (c, d) en dos variedades de quinua, Tunkahuan gráficos a la izquierda y Pata de venado gráficos a la derecha, en relación con los controles sin sombreo. La línea de puntos horizontal indica el control. %. Las líneas horizontales en (c, d) corresponde al periodo crítico representa dos errores estándar centrados en el mínimo. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra.....	41
Figura 9. Correlaciones de las principales variables de dos variedades de quinua.....	42
Figura 10. Comparación del efecto del sombreo en dos variedades de quinua Tunkahuan círculos, Pata de venado cuadrados, en relación con los controles sin sombreo. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del	

periodo de sombra. Las líneas horizontales corresponden al periodo crítico representa dos errores estándar centrada en el mínimo. ....45

Figura 11. Relación del efecto del momento del sombreo sobre los componentes del rendimiento en dos variedades de quinua figuras a la izquierda var. Tunkahuan, a la derecha var. Pata de venado; en el peso de 1000 granos; número de granos y rendimiento; respecto al control sin sombreo. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra. ....72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la quinua. ....	7
Tabla 2. Abreviaturas de las UE .....	23
Tabla 3. Etapas de crecimiento fenológico de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Will.) basadas en la escala BBCH. ....	25
Tabla 4. Medias de la tasa de crecimiento activo del tallo, altura máxima y acumulación térmica hasta altura máxima de dos variedades de quinua sometidas a sombreo.....	34
Tabla 5. Medias de rendimiento de grano, sus componentes y concentración saponina y proteína de dos variedades de quinua Tunkahuan y Pata de venado en condiciones control (sin sombra). ....	36
Tabla 6. Estadios de crecimiento fenológico de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Will.) basadas en la escala BBCH descrita por (Sosa <i>et al.</i> , 2017). ....	71
Tabla 7. Medias de las variables respuesta de todos los tratamientos, de dos variedades de quinua.....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografías.....	61
Anexo 2. Análisis de suelo.....	66
Anexo 3. Plan de fertilización.....	68
Anexo 4. Fenología BBCH .....	71
Anexo 5. Figuras y tablas complementarias .....	72

**“PERIODO CRÍTICO PARA EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL  
GRANO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) MEDIANTE LA  
APLICACIÓN DE SOMBRA EN DISTINTOS ESTADOS FENOLÓGICOS, EN  
EL SECTOR LA ARGELIA, LOJA”**

## 2 RESUMEN

La quinua es un cultivo de grano andino que en los últimos años ha tomado gran importancia expandiéndose a nivel mundial, gracias a sus excelentes características nutritivas y de adaptabilidad. En Ecuador se cultiva principalmente en la región sierra con rendimientos que no superan las 2 t ha<sup>-1</sup>. El rendimiento de este cultivo puede ser afectado por múltiples factores, sin embargo, en quinua no se conoce cuál es la etapa fenológica más susceptible a la pérdida del rendimiento y calidad. Los estudios del periodo crítico son de gran importancia pues permiten identificar las etapas sensibles de los cultivos de grano, la identificación de este en el rendimiento del grano es un aspecto central para el manejo adecuado del cultivo para obtener mayores rendimientos, además, muestra un margen de tiempo para mejorar el rendimiento a través de la manipulación de la fenología. En varios estudios se han identificado una gran variabilidad en las fases de desarrollo asociadas a este periodo crítico y su duración, este se ha detectado en varios cultivos de granos y los resultados de una especie no pueden extrapolarse a otras. En el presente estudio se utilizaron períodos sucesivos y discretos de sombreado de 16 días para reducir los asimilados fotosintéticos disponibles para el crecimiento, imitando los efectos de las tensiones abióticas, para determinar el periodo crítico para el rendimiento y la calidad del grano, comparamos los controles sin sombra ocupando dos variedades adaptadas localmente en Ecuador. El rendimiento de los controles sin estrés varió de 3,25 a 5,65 t ha<sup>-1</sup>, la proteína del grano de 15,44 a 18,38 % y la concentración de saponina de 0,001 a 0,037 % en Pata de venado y Tunkahuan. Independientemente de las condiciones de cultivo, el período más sensible fue a los - 50 a 500 °Cd después de la floración, es decir desde inicio de floración BBCH 60 hasta desarrollo del fruto BBCH 70. El número de granos fue el componente que explico la mayor parte de la variación del rendimiento. Los sombreos posteriores a anthesis disminuyeron la concentración de saponina en un 2 a 90 %, mientras que la concentración de proteína en el grano se incrementó en cada uno de los sombreados entre un 3 al 19 %. El rendimiento proteico siguió la tendencia observada en el rendimiento de grano, pero el aumento de la concentración de proteína en el grano amortiguó parcialmente el efecto del estrés posterior a la floración.

**Palabras clave:** Quinoa, Componentes del rendimiento, Calidad de semilla, Estrés, Determinación del rendimiento.



## 2.1 ABSTRACT

Quinoa is an Andean grain crop that in recent years has become very important and has expanded worldwide, thanks to its excellent nutritional and adaptability characteristics. In Ecuador it is grown mainly in the highland region with yields that do not exceed 2 t ha<sup>-1</sup>. The yield of this crop can be affected by multiple stresses; however, in quinoa it is not known which phenological stage is most susceptible to yield and quality loss. Critical period studies are of great importance because they allow the identification of sensitive stages of grain crops, the identification of this in grain yield is a central aspect for the proper management of the crop to obtain higher yields, in addition, it shows a margin of time to improve yield through the manipulation of phenology. Several studies have identified a great variability in the developmental stages associated with this critical period and its duration, this has been detected in several grain crops and the results of one species cannot be extrapolated to others. In the present study, successive discrete 16 day shading periods were used to reduce photosynthetic assimilates available for growth, mimicking the effects of abiotic stresses, to determine the critical period for yield and grain quality, we compared unshaded controls occupying two locally adapted varieties in Ecuador. Yield of the unstressed controls ranged from 3.25 to 5.65 t ha<sup>-1</sup>, grain protein from 15.44 to 18.38 % and saponin concentration from 0.001 to 0.037 % in Pata de venado and Tunkahuan. Regardless of the growing conditions, the most sensitive period was at - 50 to 500 °Cd after flowering, from the beginning of flowering BBCH 60 to fruit development BBCH 70. The number of grains was the component that explained most of the variation in yield. Post-anthesis shading decreased saponin concentration by 2 to 90 %, while grain protein concentration increased in each of the shadings by 3 to 19 %. Protein yield followed the trend observed in grain yield, but the increase in grain protein concentration partially buffered the effect of post-flowering stress.

**Key words:** Quinoa, Yield components, Seed quality, Stress, Yield determination.

### 3 INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo de importancia milenaria que suplía al cultivo de maíz en toda la región Andina (FAO, 2011). Durante el Imperio Incaico estaba difundida en Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y en el noroeste de Argentina, y por muchos siglos fue alimento de auto-subsistencia humana y animal, hoy el cambio de los hábitos alimenticios y la preferencia por alimentos nutritivos y orgánicos a nivel global ha dado lugar a regresar al cultivo de estos granos (Gómez & Aguilar, 2016; INEC-ESPAC, 2018).

Además, la quinua constituye un componente tecnológico estratégico para contribuir a la seguridad alimentaria por sus atributos agronómicos, nutricionales y como alternativa para mitigar el Cambio Climático (Carrasco, 2016), tiene facultades de adaptabilidad a condiciones adversas del clima, tolera el frío, salinidad y sequía (Talebnejad & Sepaskhah, 2015); su desarrollo es anual, posee un excepcional equilibrio de proteínas, grasas y carbohidratos (Sosa *et al.*, 2017). Entre sus aminoácidos destacan la lisina (importante para el desarrollo del cerebro) y la arginina e histidina, básicos para el desarrollo humano durante la infancia. Igualmente es rica en metionina y cistina, en minerales como hierro, calcio, fósforo y vitaminas (Dakhili *et al.*, 2019).

Por ello la producción mundial de quinua se ha incrementado durante los últimos años. En el año 2018 se produjeron alrededor de 158 920 t en 178 313 ha cultivadas (FAO, 2018); en Ecuador, de acuerdo al INEC-ESPAC (2018) se sembraron 2 215 ha de quinua y se obtuvo  $1,05 \text{ t ha}^{-1}$ , un rendimiento un 28 % inferior a lo reportado el año anterior debido a pérdidas por efecto de inundaciones. En el país, del total de producción Chimborazo e Imbabura aportan con el 60 % mientras que el 40 % se distribuye entre las provincias de Pichincha, Carchi y Cotopaxi, las principales variedades cultivadas corresponden a Tunkahuan y Pata de venado (INEC-ESPAC, 2018).

Aunque los componentes del rendimiento en los cultivos de granos se generan durante todo el ciclo de cultivo (Sandaña & Calderini, 2018), el rendimiento parece ser mucho más sensible a los cambios en la disponibilidad de recursos en algunas fases particulares que en otras. Los componentes principales del rendimiento en los cultivos son el número de granos por unidad de superficie y el peso promedio del grano, siendo el primero el que más ha demostrado ser afectado por el ambiente (H. Bertero & Ruiz, 2008, 2010). Aunque ambos componentes se ven afectados por condiciones ambientales a lo largo del ciclo de cultivo, el período para que se determine el número de granos es crucial para obtener mayores rendimientos, debido a que este

componente está estrechamente relacionado con el rendimiento de grano, mientras que el peso de grano es un rasgo más conservativo (Guglielmini *et al.*, 2019; Kirkegaard *et al.*, 2018).

El periodo crítico (PC) para la determinación del rendimiento es la etapa durante el ciclo del cultivo en el cual la disminución de recursos causa pérdidas significativas en el rendimiento de grano. Conocer el PC de un cultivo es relevante para tomar decisiones de manejo agronómico encaminadas a evitar pérdidas en el rendimiento. Por otro lado, entender las bases fisiológicas que determinan los componentes del rendimiento es fundamental para diseñar estrategias en el mejoramiento de los cultivos (Sadras & Calderini, 2014).

Uno de los tipos de estrés abiótico que más se utiliza para determinar el PC es la disponibilidad de luz, utilizando períodos sucesivos y discretos de sombreado para reducir los asimilados fotosintéticos disponibles para el crecimiento, imitando los efectos de las tensiones abióticas (Kirkegaard *et al.*, 2018). Utilizar el sombreado para disminuir los recursos es una práctica reconocida para determinar el PC en los cultivos de grano como: chocho y arveja (Sandaña & Calderini, 2012), garbanzo (Lake & Sadras, 2014), avena (Mahadevan *et al.*, 2016), colza (Kirkegaard *et al.*, 2018), haba (Lake *et al.*, 2019) y trigo sarraceno (Guglielmini *et al.*, 2019), entre otros, ya que el sombreado permite tener una mayor claridad de sus efectos sobre el rendimiento y sus componentes, en comparación con otras estrategias dirigidas a disminuir la fuente como son las defoliaciones o inundaciones (Kirkegaard *et al.*, 2018; Lake & Sadras, 2014).

El llenado de semillas en la quinua se produce antes de terminar la etapa de desarrollo de las hojas y tallo, comienza poco después del fin de la floración (H. Bertero & Ruiz, 2010; Kirkegaard *et al.*, 2018). Por ello, las proteínas se acumulan bastante tarde en el desarrollo de la semilla, de modo que la reducción de asimilados posterior a la anthesis esperaríamos que reduzca el contenido de proteínas. Aunque mayormente el estudio de proteínas en el cultivo se ha enfocado a su composición, estructura, propiedades funcionales y como producto procesado (Wang & Zhu, 2016; Dakhili *et al.*, 2019; Asher *et al.*, 2020; Kierulf *et al.*, 2020), no está claro si la disminución de recursos tiene un efecto en la concentración de proteínas por lo tanto es necesario cuantificar los efectos de la disminución de la radiación en la calidad del grano, ya que puede verse afectado de manera diferencial y afectar su precio comercial (Kirkegaard *et al.*, 2018).

Las saponinas son un atributo negativo en la calidad de los granos de quinua, pues estas sustancias aportan un sabor amargo a los granos, además, presentan cierto grado de toxicidad

dependiendo del organismo receptor y su sensibilidad, por ello son un aspecto desfavorable en la calidad del grano (Gómez & Aguilar, 2016). La saponina se encuentra rodeando el epicarpio de la semilla (Vega *et al.*, 2010) y en estudios realizados donde el cultivo ha estado sometido a diferentes estrés de tipo abiótico demuestran variación en la concentración de saponina (García *et al.*, 2018) pero no esclarece si provoca aumento o disminución en su contenido, por ello es necesario conocer como el efecto de la disminución de la radiación en el contenido de saponinas.

Hasta la fecha el PC para el rendimiento en quinua no se ha determinado, de manera similar en estudios anteriores se han utilizado el sombreado para explorar su efecto sobre la generación del número de grano y se ha encontrado que la quinoa es insensible a sombreado antes de 1<sup>ra</sup> anthesis, esto incluye evaluaciones con estrés hídrico. Además, aparentemente no existe un periodo en que se pueda manipular el peso de grano sin afectar el número de granos, aun con reducciones de fuente tardías durante el llenado de granos (Bazile & Baudron, 2014; Bertero & Ruiz, 2008, 2010). Por ello, conocer el periodo cuando el rendimiento del grano está más fuertemente determinado podría ser relevante para desarrollar estrategias más adecuadas para incrementar el rendimiento mediante el manejo y mejoramiento (Guglielmini *et al.*, 2019).

### **3.1 Objetivo General**

Determinar el período crítico para el rendimiento y la calidad del grano mediante periodos de sombreado durante el desarrollo del cultivo de quinua en la Argelia, Loja.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- Establecer la ventana de tiempo en que el rendimiento y sus componentes se ven afectados por el sombreado.
- Evaluar el efecto de la disminución de la radiación mediante sombreado en distintas etapas fenológicas sobre la cantidad de proteína y saponina de dos genotipos de quinua.

## 4 REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Origen del cultivo de quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) es un cultivo originario de los Andes Centrales, fue descrita por primera vez por Carl Ludwig Willdenow en 1797; se mantiene el supuesto de que los antepasados más cercanos de la quinua podrían ser la especie *Chenopodium berlandieri* var. *nuttalliae*, distribuida en América del Norte, o un complejo de especies de Sur América: *Chenopodium pallidicaule* Aellen (Kañahua), *Chenopodium petiolare* Kunth, *Chenopodium carnasolum* Moq., y *Chenopodium hircinum* Schard o *Chenopodium quinoae* var. *melanospermum*, todas procedentes de los Andes (Martínez *et al.*, 2015).

En Sur América la quinua se cultiva desde 2° latitud norte en Colombia hasta 47° latitud sur en Chile, en zonas geográficas que van desde el nivel del mar hasta los 4 000 m.s.n.m. (Martínez *et al.*, 2015; Gómez & Aguilar, 2016).

La diversidad genética del cultivo le ha proporcionado ciertas características adaptativas propias de cada especie a ciertas áreas geográficas dando lugar a cinco ecotipos principales como son: I) Quinua de los Intervalos Andinos (en Colombia, Ecuador y Perú); II) Quinua del Altiplano (en Perú y Bolivia); III) Quinua de los Yungas (en el bosque subtropical boliviano); IV) Quinua de los Salares en los salares (en Bolivia, norte de Chile y Argentina); y V) Quinua costera, de las tierras bajas o del nivel del mar (en el centro y sur de Chile) (FAO, 2011; Martínez *et al.*, 2015). La distribución geográfica desde el lago Titicaca fue resumida por Fuentes *et al.* (2012) y apoyada con datos genéticos revelados con el uso de marcadores moleculares.

### 4.2 Clasificación taxonómica y características morfológicas del cultivo de quinua

Según el Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS) el cultivo de quinua se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la quinua.

Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	<i>Chenopodium</i>
Especie	<i>Chenopodium quinoae</i> Willd.
Nombres comunes	Quinua, Quinoa, Quínoa.

Fuente: (ITIS, 2011)

Elaboración: Autor

La quinua es una planta herbácea perteneciente a la subfamilia Chenopodioideae de las Amaranthaceae. Su tamaño es variado, puede ir de los 0,2 a 3,0 m de altura y presenta colores que van desde verde, morado a rojo y colores intermedios entre estos, dependiendo del ecotipo, raza o variedad (FAO, 2011).

#### **4.2.1 Raíz**

La raíz de la quinua se origina desde la radícula del embrión, comprende una raíz primaria o principal de la cual se derivan varias raíces laterales, por ello es considerada pivotante, su longitud es variable de 0,8 a 1,5 m y dependerá de las características genéticas y ambientales para su crecimiento y desarrollo (Gómez & Aguilar, 2016).

#### **4.2.2 Tallo**

El tallo del cultivo es de tipo herbáceo, erecto, glabro (Z. Aguirre, 2016), con o sin ramificaciones dependiendo del ecotipo, variedad, manejo y ambiente, es de sección circular en la zona cercana a la raíz y angular a la altura de las ramas y hojas (FAO, 2011). Los tallos jóvenes presentan médula suave, a medida que maduran se vuelve esponjosa y se seca hasta que en cosecha se cae y queda el tallo hueco (Gómez & Aguilar, 2016).

En floración el color básico del tallo varía, además, algunas variedades presentan estrías de diversos colores y en otras la presencia de axilas de color; la combinación de estos tres puede ayudar a identificar las variedades. Generalmente en madurez el color del tallo se torna crema o rosado con distintas intensidades (Gómez & Aguilar, 2016).

#### **4.2.3 Hojas**

Las hojas son simples, opuestas, alternadas, enteras, penninervias (Z. Aguirre, 2016), el peciolo de las hojas es largo y acanalado, la lámina es polimórfica en la misma planta, las hojas basales pueden ser romboidales o triangulares y las superiores generalmente alrededor de la panoja pueden ser lanceoladas, además, las hojas pueden tener márgenes enteros, dentados o aserrados (FAO, 2011; Gómez & Aguilar, 2016).

Una característica de las hojas de quinua es la presencia de gránulos en su superficie dándoles la apariencia de estar cubiertas de arena o polvo, estos gránulos contienen oxalato de calcio y son capaces de retener una película de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmósfera que rodea a la hoja y, consecuentemente, disminuye la transpiración (FAO, 2011; Gómez & Aguilar, 2016).

#### **4.2.4 Inflorescencia**

Es una inflorescencia globular o elongada densamente bracteada con glomérulos en espigas, estos a menudo formando espigas compuestas, se denomina panoja (Z. Aguirre, 2016), por tener un eje principal más desarrollado, del cual se originan los ejes secundarios y en algunos casos terciarios. La panoja mide de 0,15 a 0,70 m y generalmente se encuentra en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas (FAO, 2011; Gómez & Aguilar, 2016).

#### **4.2.5 Flores**

Es una planta ginomonoica con flores hermafroditas y pistiladas que pueden ser sésiles o pediceladas y se agrupan en glomérulos. En el ápice del glomérulo están las flores hermafroditas, son más grandes que las pistiladas con un diámetro de 3 a 5 mm, tienen cinco tépalos, cinco anteras y un ovario súpero con dos o tres ramificaciones estigmáticas. Las flores que están alrededor y debajo de las flores hermafroditas son las pistiladas, tienen cinco tépalos, un ovario súpero y dos o tres ramificaciones estigmáticas y un diámetro de 2 a 3 mm (Gómez & Aguilar, 2016).

#### **4.2.6 Fruto**

Es un aquenio indehiscente de forma lenticular, elipsoidal, cónico o esferoidal, cubierto por el perigonio sepaloide. El fruto está constituido del pericarpio y la semilla. El pericarpio está adherido a la capa de las semillas, tiene alveolos en su superficie y la saponina. El tamaño del fruto es 1,5 a 3 mm de diámetro (FAO, 2011; Gómez & Aguilar, 2016).

#### **4.2.7 Semilla**

Formada por el epispermo, embrión y perisperma. El epispermo es la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión está formado por dos cotiledones, y la radícula constituye alrededor del 30 % del volumen total de la semilla. El perispermo es el tejido de almacenamiento está constituido mayormente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60 % de la semilla (Gómez & Aguilar, 2016).

### **4.3 Requerimientos climáticos y edáficos para la quinua.**

**Altitud:** debido a la elevada diversidad genética podemos encontrar adaptada a distintos pisos altitudinales que van desde el nivel de mar (0 a 500 m.s.n.m.), la yunga (500 hasta 2500 m.s.n.m.); sierra media (2 500 – 3 500 m.s.n.m.) y hasta la sierra alta (3 500 a 4 000 m.s.n.m.) (D. *et al* (Editores) Bazile, 2014; FAO, 2011; Gómez & Aguilar, 2016).

**Temperatura:** gracias a su gran diversidad genética, se adapta a varios climas desde cálidos secos hasta aquellos fríos y lluviosos, de manera general las temperaturas óptimas para el crecimiento y desarrollo de las variedades están en un rango de 15 a 25 °C (Gómez & Aguilar, 2016).

**Humedad y precipitación:** las precipitaciones para el normal desarrollo del cultivo dependen de la variedad, de manera general las precipitaciones durante el ciclo de cultivo van en un rango de 300 mm a 1 000 mm considerando óptima de 500 a 800 mm (Gómez & Aguilar, 2016). La humedad relativa varía ampliamente dependiendo de la variedad a cultivar de manera general puede desarrollarse desde el 40 % (altiplano) al 100 % (costa) (Mujica *et al.*, 2001).

**Fotoperiodo:** La respuesta al fotoperiodo está relacionada con el lugar de origen, así variedades de trópico se caracterizan por una mayor sensibilidad al fotoperiodo y por una larga fase hasta antesis, variedades del Altiplano de Perú y Bolivia y de nivel de mar son de menor sensibilidad al fotoperiodo y tienen una fase a antesis más corta (Gómez & Aguilar, 2016).

**Suelo:** el cultivo se desarrolla en diferentes tipos de suelos, siendo los óptimos los de buen drenaje de textura francos, semi profundo con un alto contenido de materia orgánica, evitar suelos con problemas de anegamiento pues dificultan el establecimiento inicial del cultivo y luego a lo largo del ciclo propician la podredumbre radicular (Gómez & Aguilar, 2016). Suelos con pendientes moderadas y un contenido medio de nutrientes son adecuados, puesto que la planta es exigente en nitrógeno y calcio, moderadamente en fósforo y poco de potasio (Mujica *et al.*, 2001). La quinua crece y se desarrolla en un amplio rango de pH: se puede encontrar variedades de quinua cultivadas en suelos con pH desde 4,5 (en los valles interandinos del Norte del Perú) hasta 9,0 (altiplano peruano boliviano y los salares de Bolivia) (Gómez & Aguilar, 2016).

#### **4.4 Importancia nutricional de la quinua**

Una de las ventajas del cultivo de quinua frente otros cultivos de grano es su alto valor nutritivo, valor nutritivo que no debe entenderse como un elevado contenido de proteína, pues cultivos como la soja o chocho tienen valores proteicos mayores que el de la quinua. La ventaja se presenta en la calidad de proteínas y esto tiene relación con los aminoácidos que se hallan en las mismas (González & Prado, 2013). Según la FAO (2011) la quinua es “el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la FAO”.



Se puede usar para el consumo el grano, las hojas y las inflorescencias, todos son fuentes de proteínas de muy buena calidad. El grano es rico en los aminoácidos lisina y azufrados, donde los cereales son deficientes en estos. A pesar de su buen contenido de nutrientes, los aminoácidos de la proteína no están del todo disponibles, pues sustancias como las saponinas interfieren con la utilización biológica de los nutrientes, además, la quinua posee un alto porcentaje de fibra dietética total (FAO, 2011).

El contenido nutricional en la quinua puede variar debido a condiciones como las variedades ocupadas, las condiciones ambientales y el manejo, siendo así se muestran los siguientes valores nutricionales:

**Proteínas:** González & Prado (2013) en una experiencia con trabajo de 10 variedades encontraron que el contenido proteico promedio de la quinua fue del 12,7 % con valores mínimos de 9,1 % y un máximo de 15,5 %. Así mismo Nowak *et al.* (2016) en su revisión literaria sobre Evaluación de la composición nutricional de la quinua determinaron rangos de proteína de 9,1-15,7 g. Así la quinua presenta un patrón equilibrado de aminoácidos esenciales siendo una de sus principales características, particularmente con un alto contenido de lisina (4,8 g/100 g de proteína) y treonina (3,7 g/100 g de proteína), que son en general los aminoácidos limitantes en los cereales convencionales, como trigo y maíz, lisina (4,8 g/100 g de proteína), pero un menor contenido en leucina (6,0 g/100 g de proteína) y valina (3,7 g/100 g de proteína) comparado con el arroz (Nowak *et al.*, 2016). Se observa que las proteínas de la quinua tienen concentraciones más altas o adecuadas de los aminoácidos esenciales, además, puede satisfacer los requerimientos de fenilalanina, tirosina, histidina, isoleucina, treonina y valina para niños de entre 10 a 12 años de edad (González & Prado, 2013).

**Grasas:** del total del aceite de quinua, el mayor porcentaje de ácidos grasos es el Omega 6 (ácido linoleico) representando el 50,24 %, seguido por el Omega 9 (ácido oleico) con un 26,04 %, el Omega 3 (ácido linolénico) 4,77 %, y ácido palmítico 9,59 %. En pequeña proporción también presenta ácido esteárico y el eicosapentaenoico, en una composición muy similar al aceite de germen de maíz (FAO, 2011).

**Carbohidratos:** los carbohidratos en las semillas de quinua contienen entre un 58 y 68 % de almidón y un 5 % de azúcares (FAO, 2011), otros estudios informan que el contenido de carbohidratos en la semilla es de 64 g/100 g peso seco y aporta una energía de 368 Kcal, que difieren de otros estudios (con valores medios de 76 g/100 g peso seco y 420 kcal/100 g peso

seco para los carbohidratos y la energía, respectivamente) (Pereira *et al.*, 2019), lo que la convierte en una fuente óptima de energía.

**Minerales:** en comparación con cultivos de grano como trigo, maíz, arroz, cebada, avena, centeno y triticale, la quinua sobresale con su alto contenido en calcio, magnesio y zinc. El contenido de calcio en quinua es más del cuádruple que el maíz, casi el triple que el arroz y mucho más que el trigo: la quinua aporta con un promedio de 104 mg/100 g de porción comestible. El contenido de magnesio en la quinua se muestra en un rango de 170 a 230 mg/100 g de materia seca, aunque se señala también que contiene 270 mg/100 g de materia seca, valores bastantes superiores a los del maíz, arroz y trigo. La quinua referente al zinc aporta con 4,8 mg/100 g de materia seca, sin embargo, estas cifras pueden variar entre 2,1 a 6,1 mg/100 g de materia seca, cantidad superior a las contenidas en trigo, maíz y arroz (FAO, 2011).

**Vitaminas:** la quinua dispone de valores de vitaminas como tiamina (0,52 mg/100 g parte comestible), niacina (1,6 mg/100 g parte comestible) y riboflavina (0,31 mg/100 g parte comestible). Algunos estudios revelan que la quinua contiene menos tiamina y niacina pero más riboflavina que la mayoría de los granos. Sin embargo, otros mencionan que la quinua es una buena fuente de riboflavina, tiamina y folato. Además, se dice que la quinua contiene una gran cantidad de vitamina E (entre 1,5 y 4,5 mg/100 g MS) y vitamina B6 (entre 0,5 y 0,8 mg/100 g MS) (Nowak *et al.*, 2016).

#### **4.5 Fenología del cultivo**

Los estados de crecimiento fenológicos de quinua basados en la escala BBCH, descrita por Sosa *et al.* (2017) son los siguientes:

##### **Estadio principal de crecimiento 0: germinación**

El estadio de crecimiento principal 0 describe la germinación de las semillas hasta que los cotiledones emergen de la superficie del suelo. En esta etapa se incluyen etapas secundarias como el inicio de la imbibición de la semilla (estadio 01), la imbibición de la semilla completada (estadio 03) y la emergencia de la radícula de la semilla (estadio 05). La germinación es epigráfica, seguida de la aparición del hipocótilo (estadio 07) y del hipocótilo con los cotiledones que crecen hasta la superficie (estadio 08). La etapa de germinación termina con la aparición de los cotiledones a través de la superficie del suelo (estadio 09).

##### **Estadio principal de crecimiento 1: desarrollo de la hoja**

El estadio de crecimiento principal 1 describe la aparición de las hojas fotosintéticas en el brote principal. Las hojas emergen en pares en la quinua, por lo que se considera que un par de hojas es visible cuando los dos limbos de la hoja se separan uno del otro. Esta etapa inicia cuando se separan los cotiledones entre ellos (estadio 10) mientras que la aparición de las hojas fotosintéticas en el brote principal determina la etapa de crecimiento secundaria. El primer par de hojas fotosintéticas visibles se codifica como estadio 11, seguido del estadio 12 y sucesivamente.

**Estadio principal de crecimiento 2: formación de brotes laterales (sistemas secundarios)**

El estadio de crecimiento principal 2 describe la formación de los brotes laterales. En la quinua, la aparición de brotes laterales puede comenzar antes o después de la emergencia de la inflorescencia, dependiendo del genotipo. Un brote lateral se considera visible cuando muestra 1 cm o más de longitud. El primer brote lateral se codifica como estadio 21, seguido del segundo brote lateral codificado como estadio 22 y así sucesivamente.

**Estadio principal de crecimiento 3: elongación del tallo (omitido)**

**Estadio principal de crecimiento 4: desarrollo de partes vegetativas cosechables (omitido)**

**Estadio principal de crecimiento 5: emergencia de la inflorescencia**

El estadio de crecimiento principal 5 describe cualitativamente el desarrollo de la inflorescencia en el tallo principal. La aparición de la inflorescencia se produce antes de terminar la etapa de desarrollo de las hojas en el tallo principal (estadio 1). Al principio, las yemas de la inflorescencia están cubiertas por hojas jóvenes y no son visibles (estadio 50). Después del alargamiento de las hojas, la inflorescencia se hace visible desde arriba (estadio 51). Esta etapa termina cuando la inflorescencia queda expuesta sin que las hojas la cubran, aunque todas sus flores siguen cerradas (etapa 59).

**Estadio principal de crecimiento 6: floración**

El estadio de crecimiento principal 6 describe el desarrollo de las flores dentro de la inflorescencia principal. La floración comienza cuando las primeras anteras se muestran (estadio 60). A la antesis le sigue el final temprano de la floración, que comienza con las primeras anteras senescentes de las flores de la inflorescencia principal (estadio 67). En esta

etapa, el color de la inflorescencia cambia dependiendo del genotipo, en el que el color del perigonio cambia a medida que progresa la floración. Cuando todas las anteras visibles de la inflorescencia principal senescen se considera completa (estadio 69).

### **Estadio principal de crecimiento 7: desarrollo del fruto**

El estadio de crecimiento principal 7 describe el desarrollo del fruto en el tallo principal. El desarrollo de los frutos comienza con el cuajado de los mismos (estadio 70), que se define como el engrosamiento del ovario y la presentación de los primeros granos visibles. El desarrollo del fruto en la quinua es visible, pero no se sigue el sistema de codificación BBCH que sugiere utilizar el porcentaje del diámetro final del grano, teniendo en cuenta que el diámetro final del aquenio de la quinua es de aproximadamente 2 mm.

### **Estadio principal de crecimiento 8: maduración.**

El estadio de crecimiento principal 8 describe la maduración de los granos. Durante el proceso de maduración, el contenido de agua del aquenio varía, modificando su textura y cambiando el color del pericarpio, que pasa de verde a beige, rojo o negro (estadios 81), en el que el grano se considera lechoso, pastoso (etapa 85) y maduro (etapa 89). El estado lechoso es característico de los granos con pericarpio verde que se aplastan fácilmente con las uñas liberando un contenido de líquido blanco. Los granos pastosos, por el contrario, tienen un contenido blanquecino cuando son aplastados, y sus pericarpios son verdes, beige, rojos o negros. Los granos maduros son difíciles o imposibles de aplastar y tienen un contenido seco; sus pericarpios son de color beige, rojo o negro según sus genotipos, y estos granos están listos para ser cosechados.

### **Estadio principal de crecimiento 9: senescencia**

El estadio de crecimiento principal 9 describe la senescencia de la planta después de la maduración del fruto. La senescencia comienza en las hojas basales (estadio 91) y continua hacia arriba, pero el tallo permanece verde (estadio 93). Luego, las hojas basales mueren y el tallo pasa de amarillo a marrón (etapa 95). Finalmente, toda la planta está muerta y seca (etapa 97), y el producto es cosechado (etapa 99).

## **4.6 Generación del rendimiento en quinua**

El rendimiento generado en los cultivos de grano puede ser explicado como una función directa de la producción de biomasa total (BT) y el índice de cosecha (IC). Un conjunto de factores que interactúan simultáneamente en la producción de biomasa, como I) la radiación solar incidente propio del área geográfica y estación del año, II) la eficiencia de intercepción determinada por la capacidad del canopeo para capturar la radiación incidente, y III) la eficiencia de conversión o de uso de radiación que expresa la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica interceptada en biomasa (Andrade, 1995). La cantidad de radiación solar que se acumule dependerá de la longitud del ciclo del cultivo y de la dinámica con que este capture dicha radiación (Satorre *et al.*, 2015).

Teniendo en cuenta ello el rendimiento se genera a lo largo del ciclo de cultivo y dependiendo de los factores que limiten su desarrollo y crecimiento se puede clasificar en: I) rendimiento potencial, los factores limitantes son el genotipo, la temperatura, el fotoperíodo y la radiación solar, dichos factores no son controlados por el hombre, y estos rendimiento son propios de cultivos comerciales a gran escala; II) rendimiento alcanzable, los factores limitantes son el agua, el suelo y los nutrientes; y finalmente III) rendimiento logrado o real, los factores limitantes son las malezas, las enfermedades, las plagas y la contaminación.

La limitante de cada rendimiento impide llegar a un rendimiento superior, así, si se controlan y satisfacen las limitantes del rendimiento logrado se obtiene el rendimiento alcanzable y si satisfacemos las limitantes de este logramos el rendimiento potencial, que es aquel que permite obtener el mejor retorno económico. El impacto de estos factores será de fuerte relevancia en tanto mayor sea su incidencia durante el período crítico del rendimiento (Satorre *et al.*, 2015), así del total de recursos que se incorporan al sistema, una parte se destina a órganos vegetativos y solo una proporción de la biomasa, representada por el IC, es lo que finalmente compone el rendimiento (Sandaña & Calderini, 2018).

### **4.6.1 Componentes del rendimiento**

Los componentes del rendimiento se generan a lo largo del ciclo del cultivo debido al aporte que realizan las distintas estructuras que lo constituyen, así pues, el rendimiento es un conjunto de componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo y cada uno es fijado en un momento específico. Este es definido por sus dos principales componentes: el número de granos  $m^{-2}$  y el peso promedio del grano (Sandaña & Calderini, 2018; Satorre *et al.*, 2015).

#### **4.6.2 Número de granos**

La determinación de este componente es un proceso secuencial que se va generando a lo largo del ciclo del cultivo, al igual que los demás cultivos de granos. En quinua este componente posee dos etapas: una etapa vegetativa en la cual se determina el número de plantas por unidad de superficie y el número de ramificaciones por planta, y una etapa reproductiva en la cual se determina el número de ramificaciones de panoja por planta y el número de granos por panoja (Geren, 2015; Satorre *et al.*, 2015).

Debido a que el número de granos se va fijando en distintas etapas específicas del ciclo del cultivo se determina que la magnitud del componente generado dependa de la relación fuente destino en dicho momento, pues este determina la tasa de crecimiento en el cultivo, la generación y supervivencia del componente numérico (Satorre *et al.*, 2015).

#### **4.6.3 Peso de granos**

El peso de grano es el último componente del rendimiento en fijarse. Este depende de la tasa de acumulación de materia seca del grano y del tiempo de llenado, y empieza luego de la fecundación. La evolución del peso de grano durante el periodo de llenado considera la dinámica de acumulación de materia seca, y comprende tres fases: la fase uno “lag” donde se produce la división celular acelerada y el incremento del peso es leve, la fase dos “de crecimiento lineal” donde hay una gran acumulación de biomasa y se definen los componentes comerciales, y finalmente la fase tres “de estabilidad” donde ya no hay acumulación de biomasa y su peso se estabiliza, alcanzando su máximo peso seco (Satorre *et al.*, 2015). Este componente en los cultivos de granos es mucho más estable que el número, los principios evolutivos explican el dominante papel del número de granos y la influencia secundaria del tamaño de grano (Sadras & Calderini, 2014).

#### **4.7 Generación de la calidad del grano**

La calidad del grano se va generando antes y durante el ciclo del cultivo; una vez perdida la calidad en una etapa no se puede recuperar, por ello es de suma importancia la conservación de la calidad durante todo el proceso de producción, cosecha, postcosecha, almacenamiento e industrialización, por lo que entender el funcionamiento del cultivo permite actuar sobre la generación del rendimiento y la calidad de la materia seca producida. La calidad del grano es un atributo muy propio de cada especie, por lo que definir la calidad depende de su uso específico, (Satorre *et al.*, 2015).

En la quinua las proteínas se acumulan bastante tarde en el desarrollo de la semilla pues durante la etapa de llenado es cuando comienza a definirse este componente comercial (Gómez & Aguilar, 2016), que puede verse afectado por condiciones limitantes durante este periodo que afecten a la tasa de acumulación de proteínas. La norma técnica INEN 1673 señala que de acuerdo con sus requisitos bromatológicos el grano de quinua para ser considerado de calidad debe tener un mínimo de un 10,0 % (m/m) (INEN, 2013b).

Las saponinas son un atributo negativo en la calidad de los granos de quinua, pues estas sustancias aportan un sabor amargo a los granos, además, presentan cierto grado de toxicidad dependiendo del organismo receptor y su sensibilidad y están ubicadas principalmente en el pericarpio del grano, por ello son un aspecto desfavorable en la calidad del grano (Gómez & Aguilar, 2016). Aún no se esclarece si la disminución de recursos durante la etapa de llenado disminuye o aumenta el contenido de esta pues los estudios realizados hasta la fecha no son concluyentes (García *et al.*, 2018). La norma técnica INEN 1672 respecto al sabor del grano considera como “quinua dulce” aquella que da una altura de espuma de 1,0 cm o menor y como “quinua amarga” aquella que da una altura de espuma superior a 1,0 cm de acuerdo al método espumoso norma técnica INEN 1672 basada en las propiedades tenso activas de las saponinas, que al mezclarla con agua y agitarla fuertemente generarán una espuma estable, cuya altura puede correlacionarse con el contenido de saponinas en los granos (INEN, 2013a).

#### **4.8 Relación fuente-destino**

En las plantas de cultivo, la base fisiológica de la producción de biomasa depende de la relación fuente-destino (también llamado fuente-sumidero), en el que la fuente es la capacidad potencial de fotosíntesis y el destino es la capacidad potencial de utilizar los productos fotosintéticos. Si el destino es pequeño, el rendimiento no puede ser alto; e incluso si el destino es grande, el rendimiento no puede ser alto si la capacidad de la fuente es limitada (Sandaña & Calderini, 2018; Smith *et al.*, 2018).

Los órganos que producen y exportan en la planta (normalmente hojas maduras) se conocen como fuentes, mientras que los órganos no fotosintéticos (frutos, raíces y tubérculos) y las hojas inmaduras se conocen como destinos (Satorre *et al.*, 2015). Además, las limitaciones de la fuente (suministro de fotosintatos) - destino (utilización de fotosintatos) se ven fuertemente afectadas por las interacciones entre el genotipo y el medio ambiente (Smith *et al.*, 2018).

Varias plantas de cultivo, entre ellas el arroz y el trigo, han mostrado cambios en la fuente y el destino durante el curso de la domesticación y la evolución hacia los cultivares modernos.

El concepto de tipo de planta moderna es esencialmente una mezcla de fuente y destino mejorados en la que la hoja (fuente) es corta y erecta para captar una mayor radiación solar y el destino se amplía por el aumento del número y el tamaño de los granos y por ende la producción (Venkateswarlu & Visperas, 1987).

Se ha investigado la sensibilidad de los cultivos de granos a las manipulaciones fuente-destino para evaluar fenofases clave para la determinación del número de granos y para evaluar si el rendimiento es limitado por la fuente o por el destino durante el período de llenado de grano. Estos estudios han proporcionado información clave para desarrollar modelos conceptuales y matemáticos de determinación del rendimiento de grano para cultivos de alimentos básicos, que, a su vez, crearon herramientas útiles para ser utilizadas tanto en el manejo de cultivos como en el mejoramiento de plantas (Sandaña & Calderini, 2018).

#### **4.9 Período crítico para la determinación del rendimiento**

Aunque los componentes de rendimiento se generan durante todo el ciclo de cultivo desde la siembra hasta la madurez, hay fases particulares que son más relevantes para el rendimiento (Sadras & Calderini, 2014). Estas fases se caracterizan por su sensibilidad ante modificaciones en la relación fuente-destino (Satorre *et al.*, 2015) lo que ha llevado a definirla a dicha fase como período crítico para la generación del rendimiento, es decir, el período crítico para la determinación del rendimiento es la etapa del ciclo de cultivo en la cual la disminución en la tasa de crecimiento incide marcadamente y explica de mayor medida las variaciones del rendimiento, específicamente en el que el número de grano por metro cuadrado es altamente sensible a las condiciones ambientales (Guglielmini *et al.*, 2019; Kirkegaard *et al.*, 2018; Lake *et al.*, 2019; Lake & Sadras, 2014; Mahadevan *et al.*, 2016; Sandaña & Calderini, 2012, 2018; Smith *et al.*, 2018).

Ello indica que hay margen para mejorar el rendimiento a través de la manipulación de la fenología mediante I) reconocer las fases que son realmente críticas, II) manipular el desarrollo para evitar condiciones estresantes (adaptación) o aprovechar la disponibilidad de recursos (rendimiento potencial) en estas fases críticas y III) evaluar las compensaciones entre los componentes del rendimiento cuando se modifican las fases de desarrollo (Sadras & Calderini, 2014).

La mayoría de los períodos críticos han sido determinados por la manipulación de la relación fuente-destino al disminuir la fuente de asimilados en diferentes períodos del ciclo de cultivo mediante la aplicación de tratamientos de sombra, en algunos cultivos como: trigo (R. Fischer,



1975), maíz (Kiniry & Ritchie, 1985), soja (Jiang & Egli, 1993, 1995), girasol (J. Cantagallo *et al.*, 2004; J. Cantagallo & Hall, 2002), triticale (Estrada *et al.*, 2008), chocho y arveja (Sandaña & Calderini, 2012), garbanzo (Lake & Sadras, 2014), avena (Mahadevan *et al.*, 2016), colza (Kirkegaard *et al.*, 2018), recientemente en haba (Lake *et al.*, 2019) y trigo sarraceno (Guglielmini *et al.*, 2019).

El sombreado reduce la tasa de crecimiento de los cultivos, que se asocia con la formación de granos durante una ventana de tiempo (Estrada *et al.*, 2008; Lake & Sadras, 2014; Mahadevan *et al.*, 2016). Estos estudios son de gran importancia pues permiten identificar las etapas sensibles de los cultivos de granos. Siendo así que en los cultivos de cereales este periodo crítico para la determinación del número de granos ocurre principalmente en la fase de preantesis (Estrada *et al.*, 2008; Mahadevan *et al.*, 2016) donde el crecimiento activo de la espiga, define el número potencial de granos por espiga, mientras que en cultivos de granos de leguminosas este periodo crítico para la determinación del número de granos ocurre principalmente en la fase de postantesis (Jiang & Egli, 1993, 1995; Lake *et al.*, 2019; Lake & Sadras, 2014). Estas diferencias se deben a la plasticidad del cultivo como también al tiempo de duración de la floración (Sandaña & Calderini, 2018; Satorre *et al.*, 2015), así cultivos como el maíz donde el período crítico está centrado a la antesis (Kiniry & Ritchie, 1985) o periodos críticos muy largos como el caso del girasol (J. Cantagallo *et al.*, 2004; J. Cantagallo & Hall, 2002), pero está claro que, en todos los casos, a pesar de sus grandes diferencias morfológicas y fisiológicas, el crecimiento durante este período define el rendimiento del cultivo en la mayoría de los entornos (Sadras & Calderini, 2014).

Por lo tanto, la ontogenia de los cultivos debe adaptarse para evitar el estrés durante las etapas más críticas y para capturar las condiciones ambientales que favorecen el número de granos (Sadras & Calderini, 2014; Satorre *et al.*, 2015); se debe entender también que la reducción en el número de granos no puede compensarse con un aumento del peso del grano, excepto por pequeñas compensaciones que podrían ocurrir si la disminución en el número de granos provocara aumentos en el tamaño del carpelo y en el potencial peso del grano (Ugarte *et al.*, 2007).

## **4.10 Variedades**

### **4.10.1 Variedad INIAP Tunkahuan**

INIAP Tunkahuan es una variedad de quinua dulce de origen ecuatoriano, colectada en la provincia del Carchi en 1985. Es una variedad de quinua de bajo contenido de saponina, por lo

cual se la considera dulce y semiprecoz, ya que su ciclo dura alrededor de los 150 a 210 días. Se adapta a localidades entre 2 200 a 3 200 m.s.n.m., con una altura de planta entre 90 y 180 cm, con un tallo sencillo a ramificado, de color verde cuando joven y rosado-amarillo a la cosecha; con una inflorescencia de 20 a 60 cm de tipo panoja glomerular; el grano es de color blanco opaco, de tamaño mediano, de forma redonda y aplanado, de bajo contenido de saponina (0,06 %). El rendimiento varía entre 1,5 a 3 t ha<sup>-1</sup> (Peralta & Mazón, 2014).

#### **4.10.2 Variedad Pata de venado**

INIAP Pata de Venado o Taruka chaki, es una variedad de quinua dulce de origen boliviano obtenida por un intercambio entre Ecuador y Bolivia en el año de 1983. Es una variedad de quinua de bajo contenido de saponina, por lo cual se considera dulce. Su ciclo dura alrededor de 150 a 180 días, se adapta a localidades entre 3 000 a 3 600 m.s.n.m., con una altura de planta de 90 a 100 cm, de color verde cuando joven y rosada a la cosecha; el grano es de color crema, de tamaño mediano, de forma redonda y aplanado, de bajo contenido de saponina (0,05 %). El rendimiento promedio está en 1,2 t ha<sup>-1</sup> (Peralta *et al.*, 2013).

## 5 MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación del área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en La Quinta Experimental Docente la Argelia (QEDA) de la Universidad Nacional de Loja en el barrio la Argelia, parroquia Punzara, cantón Loja de la provincia Loja; la QEDA se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 4°02'19,2"S 79°12'00,6"W (Fig 1). La zona de estudio se encuentra a 2 150 m.s.n.m, presenta una temperatura promedio de 18 °C y una precipitación media anual de 1 058 mm en un suelo de naturaleza franco limoso con un pH de 5 a 6.

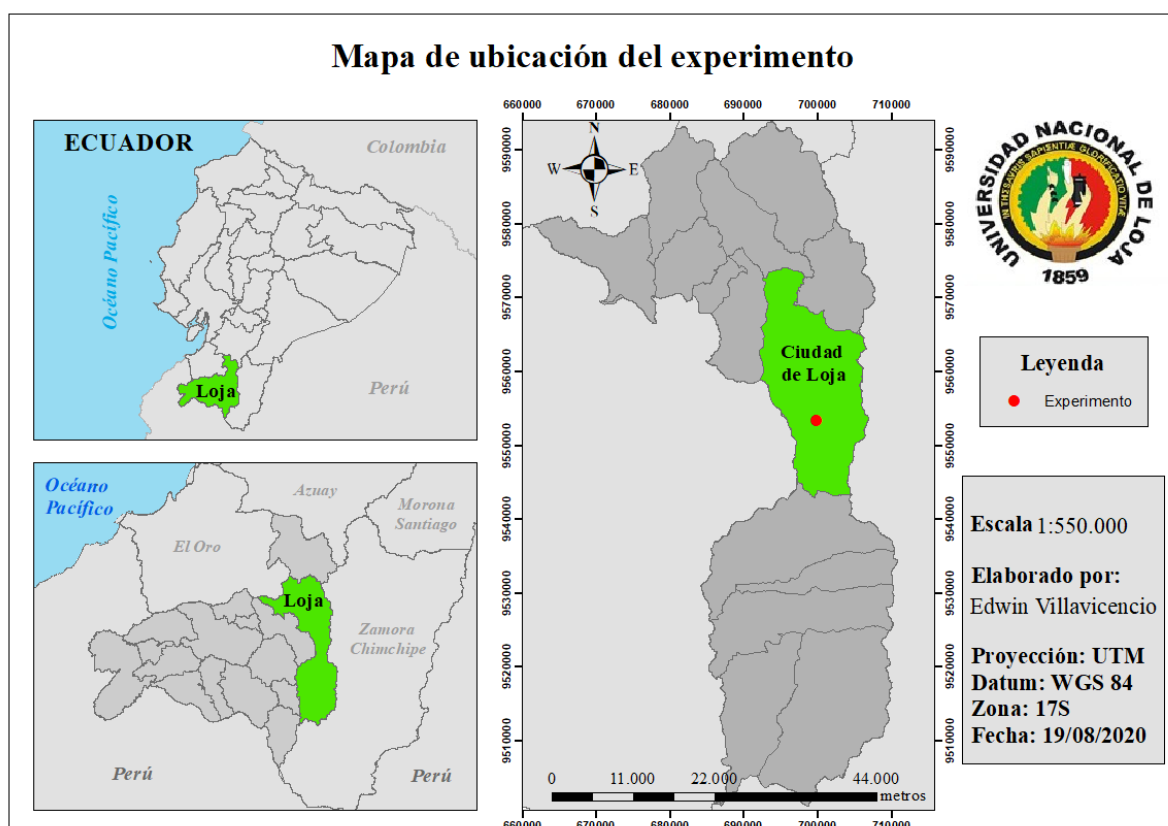


Figura 1. Mapa de ubicación del experimento.

### 5.2 Metodología general

En el terreno se realizó un análisis químico del suelo para la corrección de macro y micronutrientes, se recogieron 4 submuestras en zigzag a una profundidad de 0,2 - 0,3 m, estas se secaron y se mezclaron para tomar 1 kg de suelo para el análisis químico en el laboratorio. Utilizando la información del análisis de suelo y las necesidades del cultivo se procedió a realizar un plan de fertilización y encalado (Anexo 9,2 y 9.3). Posteriormente se preparó el terreno con el paso del arado y la rastra, también se aplicó un herbicida preemergente, para

proceder con la parcelación de las unidades experimentales las cuales tienen una dimensión de 2 m de largo por 2 m de ancho, con un arreglo espacial entre surcos 0,5 m y se aplicó la semilla a chorro continuo.

Los tratamientos de sombreado se lograron instalando una malla sarán al 80 % colocada sobre una estructura metálica con cuatro laterales que sostienen una base cuadrangular, a manera de una carpa, de tal manera que la malla sombra fuera sobre la estructura rectangular y un lateral; se dejó un lateral sin cubrir para favorecer la entrada de polinizadores y que la temperatura bajo la malla no variara de la ambiente, el lateral descubierto se orientó de tal manera que no permitiera el ingreso de la radiación al cultivo, la malla de sombra estuvo a 0,20 m sobre la parte superior del cultivo, además, se llevó un control de las principales plagas, enfermedades y arvenses mediante prácticas culturales y se proporcionó fertilización y riego para asegurar las condiciones potenciales para el cultivo.

### **5.2.1 Tipo de investigación**

Se realizó una investigación descriptiva - correlacional, donde se pudo determinar la respuesta de dos variedades de quinua en su rendimiento y cantidad de proteína a la aplicación de sombreos discretos y continuos durante el ciclo de cultivo, así se identificó la etapa donde son más sensibles a la disponibilidad de recursos; durante el ciclo de cultivo se tomaron mediciones de fenología, altura de planta, biomasa ( $1^{\text{er}}$  anthesis, comienzo de llenado), temperatura bajo la sombra y radiación, mientras que en cosecha se midió el número de granos por ramificación de panoja $^{-1}$ , número de granos planta $^{-1}$ , número de granos m $^{-2}$ , biomasa, peso de 1 000 granos, rendimiento, índice de cosecha, concentración de saponina, proteína total del grano y rendimiento proteico, las mismas que con técnicas estadísticas nos ayudaron a ver en qué manera están correlacionadas cada una de estas variables.

### **5.2.2 Método**

Se aplicó el método inductivo - deductivo, el cual nos ayudó a razonar partiendo de una serie de observaciones en campo, donde pudimos distinguir las particularidades de reacción de las variedades al sombreado en la calidad del grano y componentes del rendimiento, ello nos llevó a generar ideas y conclusiones generales. Esto es una forma de explicar la realidad, partiendo de las ideas generadas en la experimentación y observación de las variedades de quinua en campo, considerando el periodo crítico de la quinua antes mencionado y esto a su vez aplicarlo en casos particulares de los productores de la zona de Loja.

### 5.2.3 *Diseño Experimental*

Se usó un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo bifactorial, ya que se evaluó el efecto del genotipo y del sombreado. Se utilizaron 16 tratamientos y 3 repeticiones, con un total de 48 unidades experimentales por el ensayo, con una dimensión por unidad experimental (UE) de 2 m de largo por 2 m de ancho conformado por 5 hileras cada hilera constituida por alrededor de 20 plantas, las variedades usadas fueron: Tunkahuan (V1) y Pata de Venado (V2), semilla obtenida por INIAP.

Los tratamientos de sombreado consistieron en un control (C) sin sombrear que recibió la radiación natural y los tratamientos de sombreado (Sn) aplicado durante 16 días en diferentes períodos durante el desarrollo del cultivo. En términos de etapas fenológicas, los tratamientos de sombreado se aplicaron desde emergencia de inflorescencia (S1) hasta madurez fisiológica (S7) (Tabla 2, Fig. 2).

**Tabla 2.** Abreviaturas de las UE

<b>Variedad</b>	<b>Sombreo</b>	<b>Repetición</b>
Tunkahuan (V1)	Control, sin sombreado (C)	Repetición 1 (R1)
Pata de Venado (V2)	Emergencia de inflorescencia (S1)	Repetición 2 (R2)
	Antesis (S2)	Repetición 3 (R3)
	Desarrollo del fruto, grano lechoso (S3)	
	Grano pastoso (S4)	
	Grano maduro (S5)	
	Grano maduro (S6)	
	Madurez Fisiológica (S7)	

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor



**Figura 2.** Diseño Experimental  
Fuente: Autor

#### 5.2.4 Modelo estadístico

Considerando que se usó un DCA con arreglo bifactorial, se empleó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha * \beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = respuesta de las  $k$  repeticiones en los  $i$  niveles del factor genotipo y  $j$  nivel del factor sombra

$\mu$  = media general de las observaciones

$\alpha_i$  = efecto de los  $i$ -ésimo niveles del factor genotipo

$\beta_j$  = efecto de los  $j$ -ésimo niveles del factor sombra

$(\alpha * \beta)_{ij}$  = efecto de la interacción entre el nivel  $i$  del genotipo con el nivel  $j$  de la sombra

$\varepsilon_{ijk}$  = error asociado a la  $ijk$  observación, que se supone normal independientemente distribuida con esperanza 0 y varianza  $\sigma^2$

#### 5.2.5 Análisis Estadístico

Los datos registrados fueron tabulados en una base de datos de Microsoft Excel para su análisis estadístico mediante el programa Infostat versión libre. Los datos fueron ingresados en el programa estadístico Infostat, luego se sometieron a un análisis de varianza (ANAVA) bifactorial en función del genotipo y la sombra con un nivel de significancia del 5 % y pruebas de comparaciones múltiples mediante el test LSD de Fisher con un nivel de significancia del

5 %, para determinar si existen o no interacciones estadísticamente significativas en el rendimiento, número de granos, peso de granos, biomasa, fenología, índice de cosecha, altura, concentración de proteína y saponina. Además, se correlacionaron todas las variables registradas durante el tiempo de evaluación.

### 5.2.6 Metodología para el primer objetivo específico. “Establecer la ventana de tiempo en que el rendimiento y sus componentes se ven afectados por el sombreado”

Para establecer la ventana de tiempo en que el rendimiento y sus componentes se ven afectados por el sombreado, se consideraron los siguientes indicadores:

#### Seguimiento de la fenología

Establecido el cultivo se realizó el seguimiento de la fenología, análisis del crecimiento y desarrollo del cultivo, de las dos variedades de quinua: Tunkahuan y Pata de venado, utilizando como referencia para la determinación del estado fenológico la escala elaborada por Sosa *et al.* (2017) basada en la escala BBCH (Tabla 3), con la cual se registró los cambios fenológicos semanalmente.

**Tabla 3.** Etapas de crecimiento fenológico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) basadas en la escala BBCH.

Código	Descripción
0	Geminación
1	Desarrollo de hojas
2	Formación de brotes laterales
3	Elongación del tallo
4	Desarrollo de partes vegetativas cosechables
5	Emergencia de florescencia
6	Floración
7	Desarrollo del fruto
8	Fruto maduro
9	Senescencia

Fuente: (Sosa *et al.*, 2017)

#### Duración de las etapas fenológicas

Desde el inicio del ciclo del cultivo (1 de septiembre de 2020) se observaron los cambios relativos que presentó el cultivo y el tiempo que toma el paso de una etapa a otra, comenzando el registro con la germinación, y finalizando en senescencia (25 de febrero de 2021). Cabe mencionar que se dio registro de la duración de los estados fenológicos cuando el 50 % de las plantas de la parcela hubo llegado a cada etapa.

### **Registro de datos climáticos**

Los registros de los datos diarios de temperatura máxima, media, mínima, precipitación y radiación se tomaron de la Estación Meteorológica del INHAMI La Argelia ubicada en las instalaciones de la Universidad Nacional de Loja. Además, se tomaron los datos de temperatura máxima y mínima bajo la malla de sombra mediante el uso de un termómetro ubicado bajo la malla de sombra, la temperatura media bajo la malla de sombra se obtuvo al promediar las temperaturas máximas y mínimas bajo la sombra.

### **Tiempo térmico**

La temperatura acumulada se calculó como unidades de tiempo térmico (TT) mediante la sumatoria de la temperatura media usando una temperatura base de 1 °C (Bois *et al.*, 2006):

$$TT (\text{°C d}) = \sum n (T_m - T_b)$$

Donde, *TT* es el tiempo térmico, *T<sub>m</sub>* la temperatura media diaria, *T<sub>b</sub>* la temperatura base y *n* el número de días. Con los datos de *TT* se cuantificó la duración de las etapas fenológicas de cada variedad.

### **Biomasa aérea**

Se tomaron muestras de plantas de las hileras centrales a 0,5 m para las muestras de biomasa en 1<sup>ra</sup> antesis y a comienzos de llenado, para la muestra de biomasa en cosecha se tomó a 1 m igualmente de las hileras centrales. El peso seco de las muestras se determinó después de secar en horno las muestras durante tres días a 65 ± 5 ° C, posterior a ello se pesó en la balanza granataria.

### **Número de ramificaciones de panoja por planta**

Se determinó en cosecha, se tomó una muestra de 10 plantas de las hileras centrales de cada unidad experimental y se contabilizó el número ramificaciones de panoja.

### **Número de granos por ramificación de panoja**

Se obtuvo luego de la cosecha, promediando el número de granos total de la planta para el número de ramificación de panoja, tomando de muestra las plantas de los surcos centrales de cada unidad experimental.



### **Número de granos por planta**

Se determinó luego de la cosecha, contando el número de granos obtenidos por planta, tomando de muestra las plantas de los surcos centrales de cada unidad experimental.

### **Número de granos por m<sup>2</sup>**

Se obtuvo luego de la cosecha, ya determinado el número de granos por planta, este se extrapoló al número de plantas promedio que hay por metro cuadrado en cada tratamiento, es decir se multiplicó el número de granos por planta por el número de plantas por m<sup>2</sup>.

### **Peso de 1000 granos**

Se determinó eligiendo al azar una muestra representativa de 1 000 granos del total de granos cosechados en las plantas de los surcos centrales de cada unidad experimental, se llevó a horno a  $65 \pm 5$  °C por tres días, posterior a ello se pesó llevándolo a la balanza. Ello se realizó luego de la cosecha.

### **Rendimiento (R)**

Se obtuvo después de la cosecha una vez obtenidos los componentes del rendimiento de la quinua, el rendimiento se determinó aplicando la siguiente fórmula:

$$R = NG \text{ m}^{-2} * PG$$

Donde:

$R$ = rendimiento

$NG \text{ m}^{-2}$ = número de granos por metro cuadrado

$PG$ = peso de granos

### **Índice de cosecha (IC)**

Se obtuvo después de cosecha. Una vez determinada la biomasa y el rendimiento de cada unidad experimental el IC se consiguió aplicando la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{rendimiento del grano } gm^{-2}}{\text{biomasa aerea total } gm^{-2}}$$

### **Altura**

Desde el cuello de la planta hasta el ápice central se tomó la longitud del tallo principal con una cinta métrica, se tomarán los datos cada 15 días y se registró en metros.

### **Tasa de elongación del tallo**

La tasa de elongación del tallo se estimó ajustando los datos de la altura a un modelo bilineal utilizando la técnica de optimización iterativa en el software Table Curve v5.01, y para la dinámica de crecimiento del tallo, los valores se ajustaron a una función sigmoidea usando el software GraphPad Prism 8.01.

#### **5.2.7 Metodología para el segundo objetivo específico. “Evaluar el efecto de la disminución de la radiación mediante sombreo en distintas etapas fenológicas sobre la cantidad de proteína y saponina de dos genotipos de quinua”**

Para evaluar el efecto de la disminución de la radiación mediante sombreo en distintas etapas fenológicas sobre la cantidad de proteína y saponina de dos genotipos de quinua se consideraron los siguientes indicadores:

### **Contenido de proteína**

Para obtener los datos del contenido de proteína se procedió a analizar las muestras (grano seco) en el laboratorio de Bromatología de la UNL. El porcentaje de proteína total se obtuvo mediante el método de Kjeldahl (método de referencia), se realizaron dos repeticiones de cada muestra para validar los datos:

Determinación:

#### **a) Digestión**

Se colocó 0,5 g de muestra con una precisión de  $\pm 1$  mg, en el tubo Kjeldahl de 500 ml. Posteriormente se agregó un catalizador y 10-20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado. Todo el material estuvo sumergido en el ácido para que no hubiera pérdidas de nitrógeno. Setear la rampa de temperatura. Se esperó entre 1 – 3 horas.

#### **b) Destilación**

Se preparó un erlenmeyer con 25-50 ml de  $H_3BO_3$  4 % (sobre el cual se recogió el  $NH_3$  destilado) y gotas de indicador Mortimer (color rojo), se colocó a la salida del refrigerante cuidando que el extremo del mismo quedara sumergido en la solución ácida. El equipo fue agregando la cantidad necesaria de solución de NaOH 40 % para neutralizar el ácido sulfúrico.

El indicador viró a azul cuando empezó a destilarse el NH<sub>3</sub> por arrastre en corriente de vapor. Se continuó destilando hasta llegar a aproximadamente 200 ml en el erlenmeyer colector (los primeros 150 ml de destilado contienen generalmente la totalidad del NH<sub>3</sub>).

c) Valoración

El destilado se valoró con solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N, hasta lograr el viraje del indicador Mortimer al color inicial rojo.

d) Blanco

Se realizó un blanco de reactivos, siguiendo las mismas indicaciones, pero sin colocar muestra en el balón.

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% PB = \frac{(V_{muestra} - V_{blanco}) * 1,401 * NH_2SO_4}{G_{muestra}} * F$$

Donde:

% PB = Porcentaje de proteína bruta.

V<sub>muestra</sub> = Volumen del ácido gastado en la valoración de la muestra.

V<sub>blanco</sub> = Volumen del Blanco gastado en la valoración del blanco.

1,401 = Peso atómico del nitrógeno.

NH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = Normalidad de Ácido Sulfúrico 0,1 N.

G<sub>muestra</sub> = peso en gramos de la muestra.

F = Factor de conversión de nitrógeno a proteína.

### Contenido de saponina

Para determinar el contenido de saponina se procedió a utilizar el método espumoso (método de rutina) establecido en la Norma INEN 1672, basada en las propiedades tenso activas de las saponinas, que al mezclarla con agua y agitarla fuertemente generaron una espuma estable, cuya altura puede correlacionarse con el contenido de saponinas en los granos (INEN, 2013a).

Se utilizó de 0,50 ± 0,02 g de quinua y se colocó en un tubo de ensayo, posteriormente se agregó 5,0 ml de agua destilada, luego se sacudió fuertemente el tubo durante 30 segundos, después se dejó en reposo durante 30 minutos y se volvió a sacudir 30 segundos y se repitió el proceso nuevamente, finalmente se dejó reposar durante 5 minutos y se midió la altura de la espuma al 0,1 cm más cercano (INEN, 2013a).

Para validar los datos se repitió 2 veces el procedimiento para cada muestra.

Se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_s = \frac{(0,646 \times h) - 0,104}{m \times 10}$$

Donde:

$P_s$  = el contenido de saponinas de la quinua, en porcentaje en masa.

$h$  = altura de espuma, en cm.

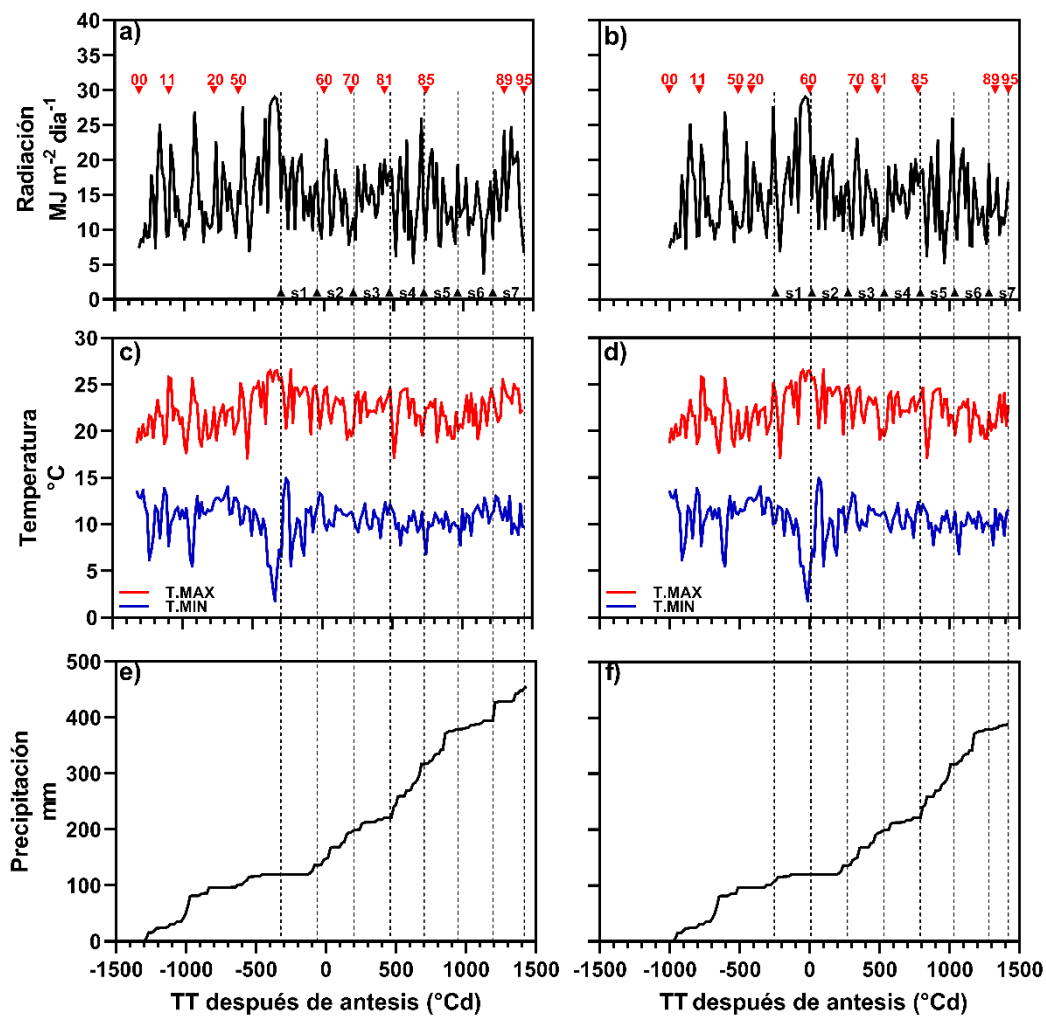
$m$  = masa de la muestra, en g.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Fenología del cultivo y condiciones climáticas

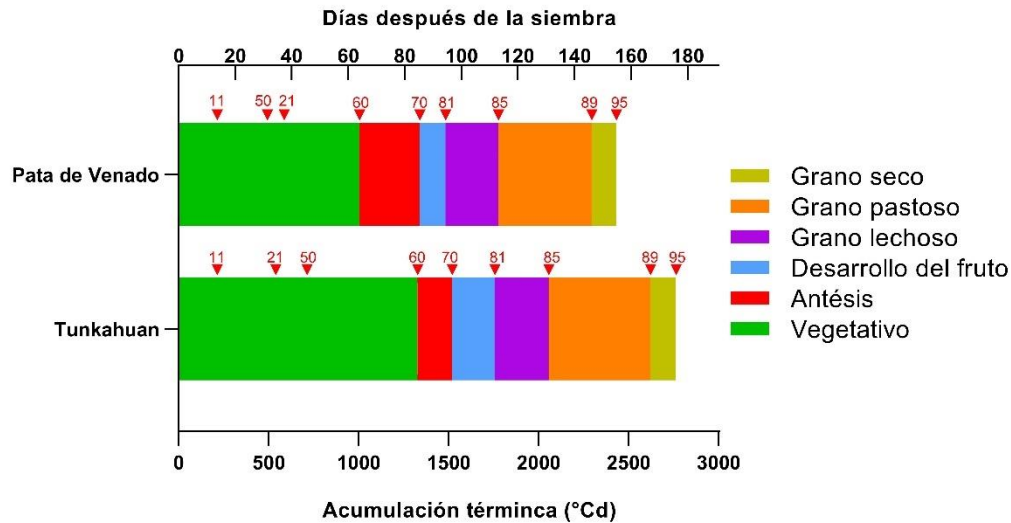
Las condiciones climáticas fueron muy similares para las dos variedades de quinua, la temperatura más alta de 26,6 °C se presentó a los -14 dda (días después de antesis) (-224,27 °Cd) y la temperatura más baja de 1,80 °C fue a los -21 dda (-338,20 °Cd) para Tunkahuan, mientras que para Pata de venado la temperatura más alta llegó a los 6 dda (98,87 °Cd) y la más baja a 1 dda (-14,80 °Cd). Las precipitaciones fueron bastante bajas cercanas a antesis, en Tunkahuan no se registran precipitaciones desde los -30 dda (-488,27 °Cd) hasta los -7 dda (-114,10 °Cd), para Pata de venado fue algo similar desde -10 dda (-164,87 °Cd) hasta 13 dda (209,83 °Cd), y ambas variedades permanecieron alrededor de 23 días sin precipitaciones. La radiación fue inferior a la media a largo plazo, posterior a antesis fue disminuyendo para los estadios reproductivos en comparación con los estadios vegetativos (Fig. 3).

El ciclo de cultivo duró 176 dds (días después de la siembra) (2760,11 °Cd) y 155 dds (2424,97 °Cd) para Tunkahuan y Pata de venado respectivamente. La aparición de brotes laterales BBCH 20 en Tunkahuan fue antes de la emergencia de la inflorescencia BBCH 50 mientras que en Pata de venado la formación de los brotes laterales BBCH 20 fue después de la emergencia de la inflorescencia BBCH 50 (Figs. 3-4). La variedad Pata de venado llegó a antesis BBCH 60 a los 65 dds (1003,73 °Cd) mucho antes que Tunkahuan que llegó a antesis a los 85 dds (1328,33 °Cd), una diferencia de 20 días entre las variedades.



**Figura 3.** Radiación media diaria, temperatura máxima (roja) y mínima (azul) y precipitación acumulada durante el ciclo de cultivo de quinua var. Tunkahuna (a,c,e) y var. Pata de venado (b,d,f), triángulos rojos hacia abajo indican la escala fenológica en BBCH y triángulos negros hacia arriba el momento del sombreado.

Pata de venado requirió más tiempo para transcurrir de antesis BBCH 60 a desarrollo de fruto BBCH 70, tardando alrededor de 21 días (335,30 °Cd) pasar de un estadio a otro, mientras que Tunkahuan demoró 12 días (191,44 °Cd). Los subestadios como grano lechoso (BBCH 81), grano pastoso (BBCH 85) y grano seco (BBCH 89) iniciaron a los 112 dds (1756,39 °Cd), 131 dds (2055,90 °Cd) y 167 dds (2620,14 °Cd) para Tunkahuan y 95 dds (1483,10 °Cd), 113 dds (1776,57 °Cd) y 149 dds (2294,02 °Cd) para Pata de venado, respectivamente. La cosecha se realizó en madurez fisiológica a los 176 dds (2762,73 °Cd) y 155 dds (2430,85 °Cd).



**Figura 4.** Duración del ciclo de cultivo de dos variedades de quinua en días después de la siembra (eje x superior) y acumulación térmica °Cd (eje x inferior).

## 6.2 Altura de planta y tasa de crecimiento del tallo

Existieron diferencias estadísticas significativas en las interacciones variedad  $\times$  sombreado ( $p < 0,05$ ) respecto a la tasa de crecimiento, siendo las interacciones Tunkahuan  $\times$  S7 y Tunkahuan  $\times$  S4 las que presentaron mayores tasas de crecimiento de 1,72 y 1,67 mm °Cd<sup>-1</sup> respectivamente para cada interacción, mientras que la interacción Pata de venado  $\times$  S2 mostró la menor tasa de crecimiento de 1,20 mm °Cd<sup>-1</sup> (Tabla 4). Así mismo, el factor variedad presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ), donde Tunkahuan mantuvo la tasa de crecimiento más elevada y Pata de venado la más baja. De forma similar mostró diferencias estadísticas muy significativas ( $p < 0,01$ ) el efecto del sombreado, donde el S2 tuvo la menor tasa de crecimiento mientras que S4 y S7 tuvieron las mayores.

En cuanto a la altura máxima de la planta hubo diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre interacciones variedad  $\times$  sombreado y diferencias altamente significativas ( $p < 0,001$ ) únicamente para el factor variedad, pero no existieron diferencias significativas para el factor sombreado; las mayores alturas presentó la variedad Tunkahuan y las menores Pata de venado; la interacción Tunkahuan  $\times$  C fue el tratamiento con la altura más alta de 2,07 m, mientras que las interacciones Pata de venado  $\times$  S2 y Pata de venado  $\times$  S6 presentaron las menores alturas de 1,34 y 1,26 m respectivamente para cada interacción.

**Tabla 4.** Medias de la tasa de crecimiento activo del tallo, altura máxima y acumulación térmica hasta altura máxima de dos variedades de quinua sometidas a sombreado.

Variedad	Sombreo	Tasa (mm °Cd <sup>-1</sup> )	Altura máxima	Acumulación térmica (°Cd)
Tunkahuan	C	1,66 ab	2,07 a	1862,04 a
	S1	1,54 bc	1,90 ab	1862,17 a
	S2	1,58 b	1,96 ab	1861,92 a
	S3	1,40 cd	1,83 b	1868,88 a
	S4	1,67 a	2,03 ab	1860,08 a
	S5	1,58 bc	1,98 ab	1863,15 a
	S6	1,49 bc	1,91 ab	1865,36 a
	S7	1,72 a	2,06 ab	1858,72 a
Pata de venado	C	1,29 cde	1,39 cd	1655,60 b
	S1	1,32 cde	1,41 cd	1657,03 b
	S2	1,20 e	1,26 d	1658,62 b
	S3	1,40 cd	1,50 c	1656,42 b
	S4	1,35 cde	1,39 cd	1658,97 b
	S5	1,38 cd	1,43 cd	1659,06 b
	S6	1,27 de	1,34 d	1657,93 b
	S7	1,36 cde	1,47 cd	1655,54 b
<i>Variedad</i>		***	***	***
<i>Sombreo</i>		**	ns	ns
<i>Variedad x sombreado</i>		*	*	ns
<i>E. st</i>		0,26	0,05	14,99

\*Letras iguales en sentido vertical no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de LSD Fisher (Alfa<0,05). Los valores son medias de tres repeticiones ns=efecto no significativo; \*efecto significativo p<0,05; \*\* efecto muy significativo p<0,01; \*\*\* efecto altamente significativo p<0,001.

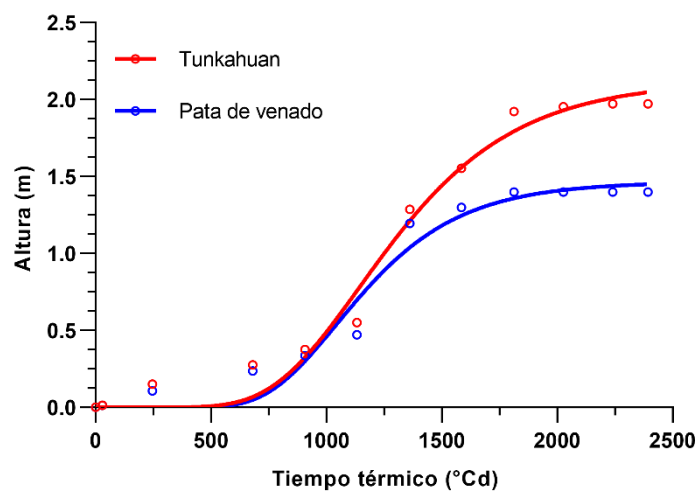
La acumulación térmica exhibió diferencias significativas únicamente en el factor variedad ( $p < 0,001$ ), no hubo diferencias significativas entre interacciones variedad x sombreado ni entre medias del factor sombreado. Se evidenció que la variedad Tunkahuan requiere mayor



acumulación térmica 1862,79 °Cd hasta llegar a su altura máxima, no así la variedad Pata de venado que requiere una menor acumulación térmica 1657,40 °Cd.

### 6.3 Dinámica de crecimiento del tallo

Las dinámicas de crecimiento del tallo en las dos variedades de quinua se muestran similares. En la variedad Tunkahuan el crecimiento activo del tallo inició alrededor de los 615,00 °Cd con una altura final de 1,97 m que alcanzó a los 1862,79 °Cd, en cambio, en la variedad Pata de venado el crecimiento activo del tallo inició alrededor de los 596,72 °Cd con una altura final de 1,32 m que alcanzó a los 1657,40 °Cd (Fig.5).



**Figura 5.** Dinámica de crecimiento del tallo de dos variedades de quinua, línea de color rojo var. Tunkahuan y de azul var. Pata de venado, controles (sin sombra).

### 6.4 Rendimiento, componentes del rendimiento y calidad de la semilla en los controles no sombreados

En los tratamientos control el rendimiento del grano fue 4,61 y 3,61 T ha<sup>-1</sup> para Tunkahuan y Pata de venado respectivamente. Tunkahuan tuvo rendimientos más altos junto con granos más pesados y mayor número de granos m<sup>-2</sup>, aunque estas diferencias no fueron significativas entre variedades (Tabla 5). Llama la atención que el IC sea mayor en Tunkahuan pues se esperaba que Pata de venado tenga mayores valores al no existir diferencias significativas en el rendimiento.

**Tabla 5.** Medias de rendimiento de grano, sus componentes y concentración de saponina y proteína de dos variedades de quinua Tunkahuan y Pata de venado en condiciones control (sin sombra).

Variedad	Rendimiento (T ha <sup>-1</sup> )	IC	Peso 1000 granos	Número de granos (m <sup>2</sup> )	MS cosecha (g m <sup>-2</sup> )	Número de ramificaciones (panoja <sup>-1</sup> )	Promedio de granos (ramificación de panoja <sup>-1</sup> )	Número de granos (planta <sup>-1</sup> )	MS floración (g m <sup>-2</sup> )	MS llenado de grano (g m <sup>-2</sup> )	Rendimiento (g planta <sup>-1</sup> )	Saponina (%)	Proteína (%)
Tunkahuan	4,61	0,49 a	2,73	16968,41	1189,23 a	21,42 a	467,48 b	10024,94	594,00 a	1181,97 a	27,69	0,0201b	16,76
Pata de venado	3,61	0,37 b	2,27	12603,72	740,11 b	9,60 b	1015,87 a	9541,04	193,00 b	396,50 b	21,63	0,0242 a	16,88
E. st	0,40	0,03	0,15	7364,70	105,53	2,76	128,74	441,88	100,08	178,65	2,40	0,0067	0,44
<i>p</i>	ns	*	ns	ns	**	**	**	ns	*	***	ns	ns	ns

\*Letras iguales en sentido vertical no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de LSD de Fisher (Alfa < 0,05). Los valores son medias de tres repeticiones; ns = no significativo; \* efecto significativo p<0,05; \*\* efecto significativo p<0,01; \*\*\* efecto significativo p<0,001: E. st = error estándar.

Como se mencionó, una mayor MS en cosecha ganó Tunkahuan (1189,23 g m<sup>-2</sup>) mientras que Pata de venado consiguió 740,11 g m<sup>-2</sup>, iguales resultados se obtuvo en el resto de tomas de muestras de MS tanto en floración (594,00 y 193,00 g m<sup>-2</sup>) o en llenado de grano (1181,97 y 396,50 g m<sup>-2</sup>) para Tunkahuan y Pata de venado respectivamente (Tabla 5).

Los resultados del número de ramificaciones por panoja estuvieron conforme a lo esperado: Tunkahuan obtuvo un mayor número de ramificaciones por panoja, mientras que en el número de granos promedio por ramificación de panoja dominó Pata de venado con 1015,87 granos ramificación de panoja<sup>-1</sup>. No hubo diferencias significativas entre el número de granos por planta para Tunkahuan (10024,94 granos planta<sup>-1</sup>) y Pata de venado (9541,04 granos planta<sup>-1</sup>) ni en el número de granos m<sup>-2</sup>. Con respecto al rendimiento por planta no hubo diferencias significativas, pero mantuvo un mayor rendimiento Tunkahuan sobre Pata de venado de 27,69 a 21,63 g planta<sup>-1</sup>.

Referente a los componentes de calidad de grano, en el presente estudio la concentración de saponina en los controles no mostró diferencias significativas, en cuanto a ello una mayor concentración de saponina exhibió Pata de venado respecto de Tunkahuan con 0,0201 y 0,0242 %, respectivamente. De la misma manera el contenido de proteína en las semillas no mostró diferencias significativas, aunque un mayor contenido presentó Pata de venado respecto de Tunkahuan (16,88 y 16,76 %, respectivamente) (Tabla 5).

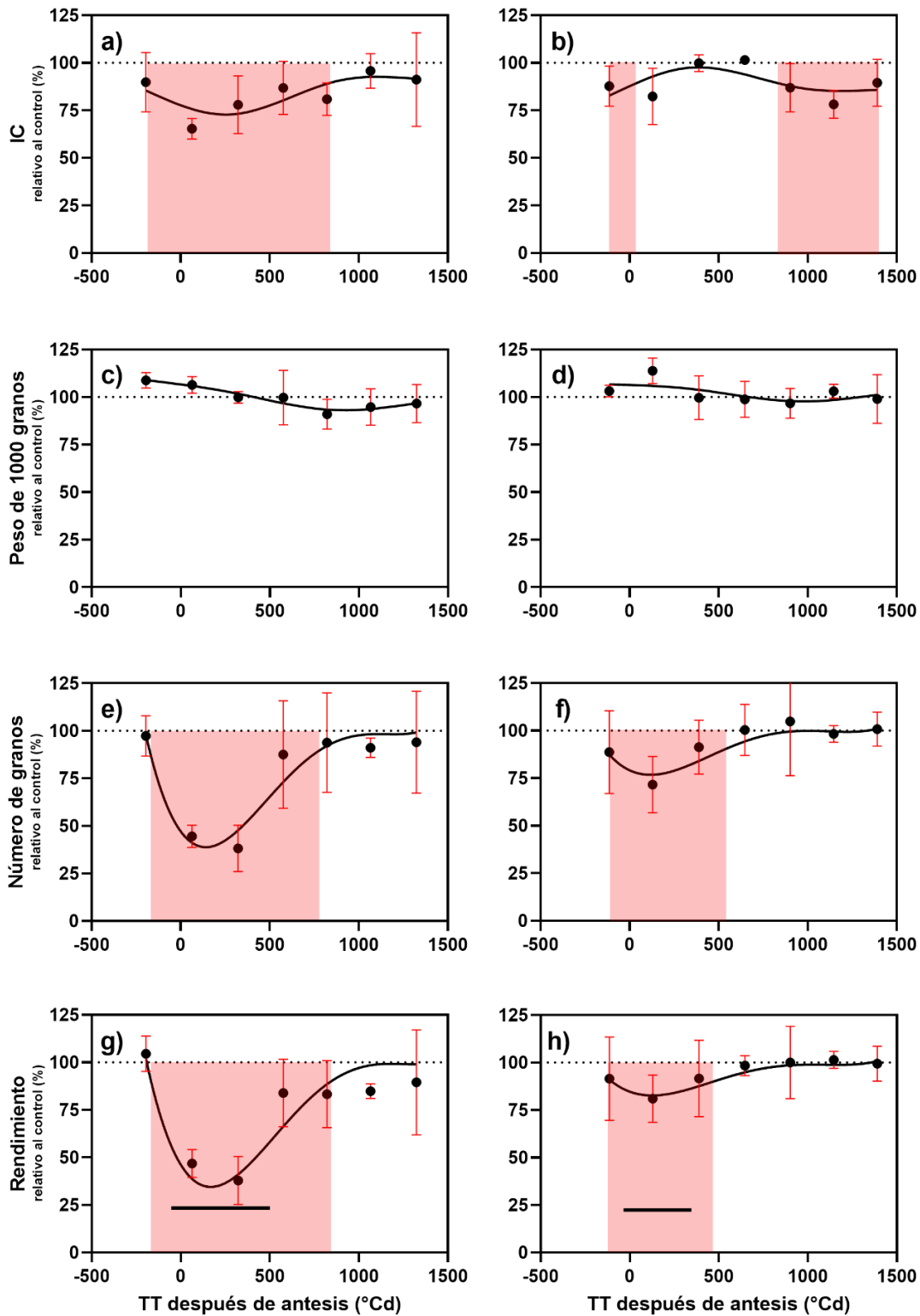
## **6.5 Periodo crítico para la determinación del rendimiento**

El rendimiento no se redujo significativamente en todos los tratamientos de sombreado y solo fue significativo para una sola variedad (Tunkahuan), pues la magnitud del efecto fue diferente dependiendo el tiempo en que se impuso el sombreado, pero hubo un patrón similar en ambas variedades (Fig. 6 g,h). Las mayores reducciones del rendimiento se presentaron cuando se impuso el sombreado -50,00 °Cd (-3 dda) y 200,00 °Cd (13 dda) después de anthesis, aunque el efecto fue diferente en cada variedad: en Tunkahuan el sombreado alrededor de los 200,00 °Cd después de anthesis fue mucho más grave disminuyendo en un 60 % el rendimiento, mientras en Pata de venado no fueron significativas las diferencias, y la mayor reducción del rendimiento

se presentó 130,00 °Cd después de la antesis perdiendo un 20 % del rendimiento. Los sombreos expuestos tiempo antes de antesis tuvieron un impacto en el rendimiento notablemente menor que los sombreos después de antesis donde la mayor pérdida se registró en la fase de desarrollo del fruto BBCH 70. A partir de estos resultados, se desprende que el rendimiento se determina más críticamente desde el comienzo de antesis BBCH 60 hasta el desarrollo del fruto BBCH 70, que expresado en tiempo térmico después de antesis sería -50,00 °Cd (-3 dda) hasta los 500,00 °Cd (28 dda).

Las variaciones en el rendimiento del grano se explicaron completamente por los cambios en el número de granos  $m^{-2}$  (Fig. 6 e,f), ya que el efecto de los tratamientos en este componente lo redujeron fuertemente y dicha reducción no produjo ningún tipo de compensación significativa en el peso promedio de los granos (Fig. 6 c,d). Tratamientos de sombreado en BBCH 60 y BBCH 70 redujeron entre un 55 y 60 % el número de granos  $m^{-2}$  para Tunkahuan ( $p < 0,001$ ), en Pata de venado tratamientos de sombreado redujeron alrededor de un 30 % este componente ( $p > 0,05$ ). El peso de los 1000 granos fue diferente entre las variedades Tunkahuan tuvo granos más pesados que Pata de venado, pero dentro de cada variedad este componente no se vio afectado significativamente por el sombreado. Sí existieron variaciones en este componente por el efecto del sombreado: sombreos aplicados antes y durante antesis incrementaron el peso de grano entre un 8 y 6 % BBCH 59 y BBCH 60 para Tunkahuan y entre un 3 y 13 % para Pata de venado, en cambio, sombreos posteriores a antesis redujeron el peso del grano entre un 1 y 10 % (Fig. 6 c,d).

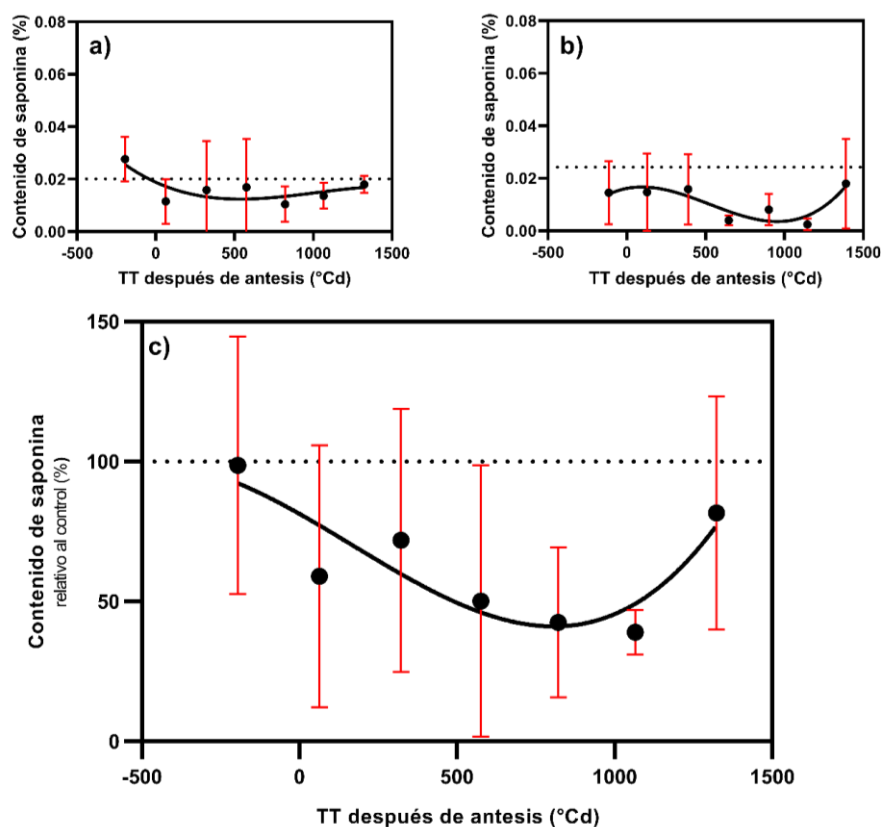
El IC fue diferente entre variedades: Pata de venado presentó un mayor IC que Tunkahuan. Este componente se vio afectado por los tratamientos de sombreado (Fig. 6 a,b) debido al impacto generado en la biomasa.



**Figura 6.** Efecto del momento del sombreado sobre los componentes del rendimiento en dos variedades de quinua var. Tunkahuan (figuras a la izquierda) y var. Pata de venado (figuras a la derecha): índice de cosecha (a,b), peso de 1000 granos (c,d), número de granos (e,f) y rendimiento (g,,h), en relación con los controles sin sombreado. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra. Los cuadros sombreados de color rojo señalan una pérdida  $\geq 10\%$ . Las líneas horizontales en g-h corresponde al periodo crítico que representa dos errores estándar centrados en el mínimo.

## 6.6 Efectos del sombreado en el contenido de proteína y saponina de la semilla

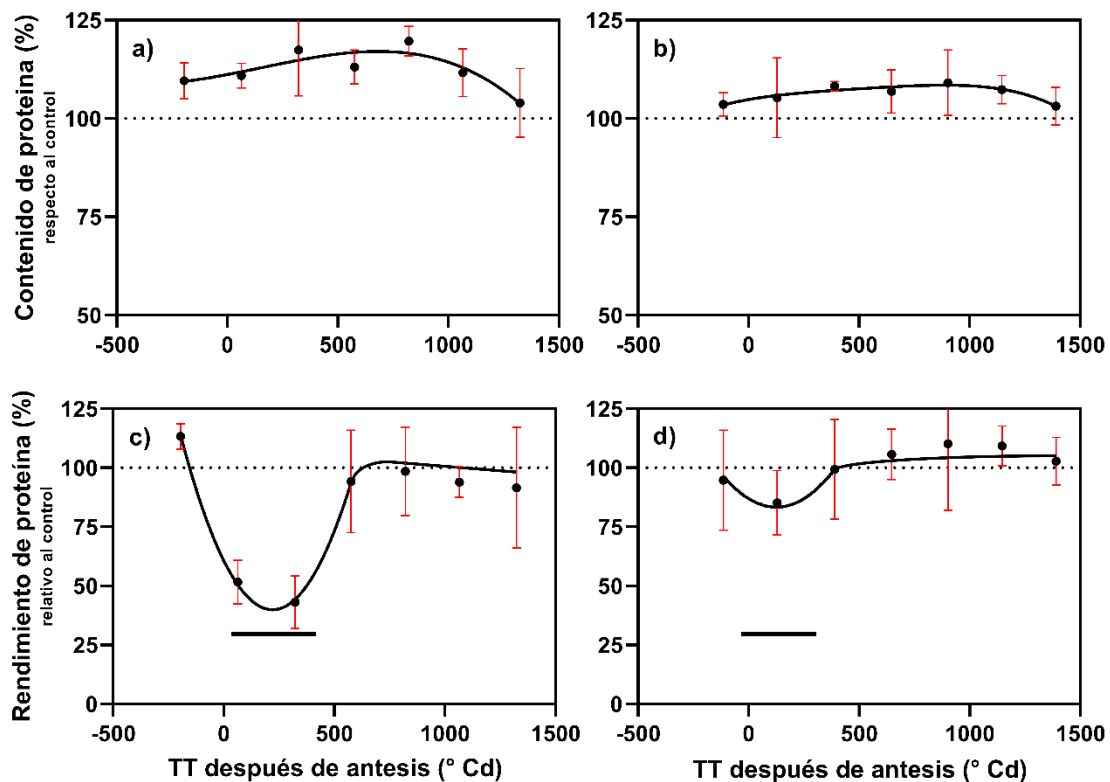
La concentración de saponina no fue afectada significativamente por los sombreados, se ve un efecto del sombreado disminuyendo la concentración de saponina en ambas variedades (Fig 7a-b) respecto del control, este efecto difiere del visto en el rendimiento. La mayor reducción de la concentración de saponina se mostró 800 °Cd después de anthesis (Fig 7c) donde se observa que los sombreados realizados después de anthesis causaron una merma mayor en dicho componente y este efecto perduró hasta el estadio principal desarrollo del fruto subestadio grano seco (BBCH 89), a partir de ello se puede determinar una ventana de tiempo que inicia a los 20 °Cd después de anthesis y finaliza 1200 °Cd después de anthesis.



**Figura 7.** Efecto del momento de sombreado sobre el contenido de saponina en dos variedades de quinua, (a) Tunkahuna, (b) Pata de venado y (c) media de ambas variedades, en relación con los controles sin sombreado. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra.

En ambas variedades el sombreado afectó el contenido de proteína en los granos de manera diferente a lo ocurrido en la saponina: el contenido de proteína (Fig.9 a-b) se incrementó durante los sombreados, mientras que en el mismo periodo disminuyó el contenido de saponina,

aunque las diferencias no fueron significativas. El efecto se marcó 20 a 1200 °Cd después de antesis. El efecto combinado de la sombra sobre el rendimiento de la semilla y el contenido de proteína de la semilla redujo significativamente el rendimiento de proteína para Tunkahuan (60 %), si bien en Pata de venado el efecto no fue significativo hubo una clara reducción del 20 % que para ambas variedades fue durante el período crítico (Fig. 8 c-d). En resumen, el sombreado durante el periodo crítico centrado en torno a los 200 °Cd después de BBCH60, redujo el rendimiento de proteína en un 60-20 %, pero tuvo poco impacto fuera del periodo crítico, determinando un periodo crítico para el rendimiento de proteína de 35 a 300 °Cd después de antesis para Tunkahuan y de -35 a 300 °Cd después de antesis para Pata de venado.



**Figura 8.** Efecto del momento de sombreado sobre el contenido de proteína (a, b) y el rendimiento de proteína (c, d) en dos variedades de quinua, Tunkahuan (gráficos a la izquierda) y Pata de venado (gráficos a la derecha), en relación con los controles sin sombreado. La línea de puntos horizontal indica el control. Las líneas horizontales en c, d corresponde al periodo crítico representa dos errores estándar centrados en el mínimo. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra.

## 6.7 Correlaciones entre las variables de estudio

La altura presentó una correlación lineal alta positiva respecto a la ramificación ( $r=0,88$ ;  $p<0,001$ ), biomasa en floración ( $r=0,84$ ;  $p<0,001$ ) y biomasa en llenado ( $r=0,84$ ;  $p>0,05$ ), y una correlación alta negativa con el IC ( $r=-0,64$ ;  $p>0,0001$ ). En cambio, el contenido de

saponina no presentó ningún tipo de correlación significativa (Fig. 9). Caso contrario ocurrió con el número de ramificaciones que presentó correlación lineal alta positiva con la biomasa en floración ( $r=0,84$ ;  $p<0,001$ ), biomasa en llenado ( $r=0,81$ ;  $p<0,0001$ ) y biomasa cosecha ( $r=0,71$ ;  $p<0,0001$ ), y una correlación lineal alta negativa ( $r=0,61$ ;  $p<0,0001$ ). Así mismo el índice de cosecha se correlacionó negativamente con la biomasa en floración ( $r=-0,62$ ;  $p<0,0001$ ), biomasa en llenado ( $r=-0,66$ ;  $p<0,0001$ ) y biomasa en cosecha ( $r=-0,43$ ;  $p<0,0001$ ), mientras que el peso de 1000 granos como se esperó no se correlacionó con el rendimiento ( $r=0,06$ ;  $p>0,05$ ). El número de granos mostró una fuerte correlación con el rendimiento ( $r=0,88$ ;  $p<0,0001$ ), y la concentración de proteína en el grano no se asoció con ninguna de las variables medidas.

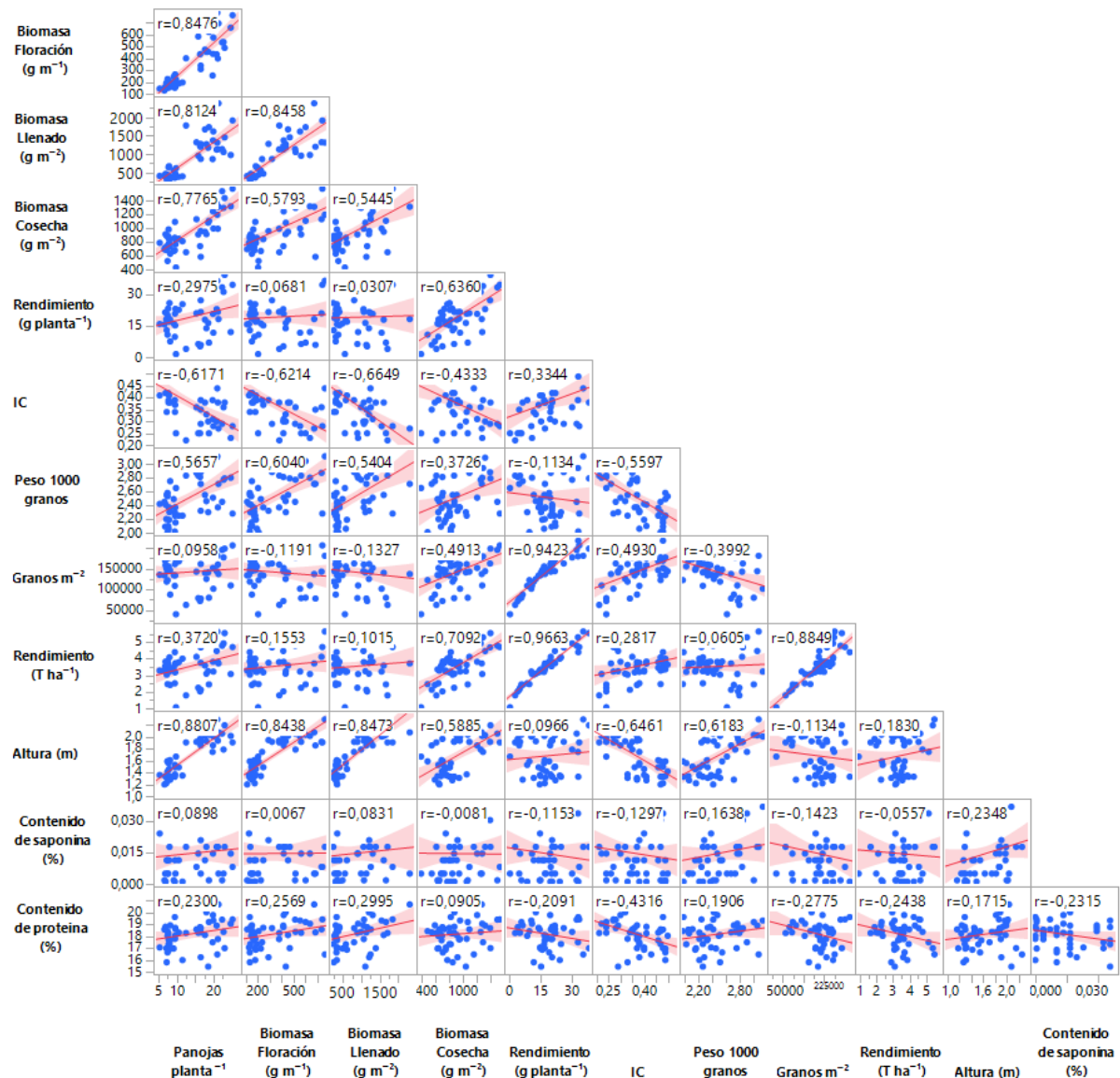


Figura 9. Correlaciones de las principales variables de dos variedades de quinua.



## 7 DISCUSIÓN

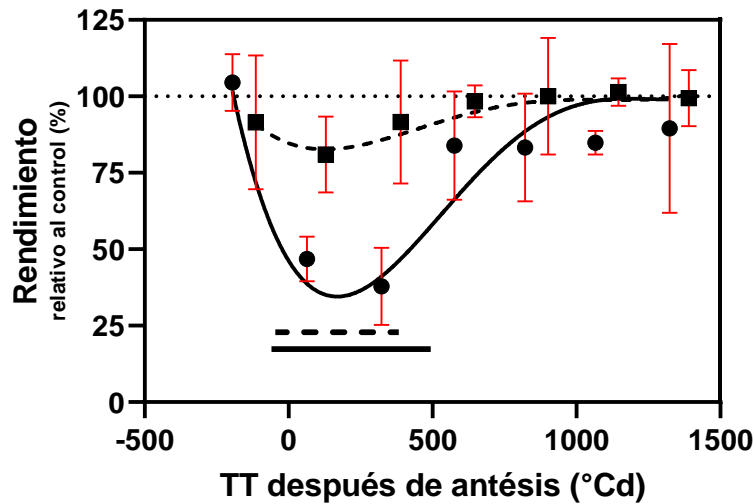
En el presente estudio, el sombreado provocó efectos sobre la variable altura de planta mas no en la tasa de crecimiento del tallo y en la duración del crecimiento del tallo (acumulación térmica). El hecho de que la altura de la planta sea afectada por el sombreado (disminución de la radiación) sugiere que este proceso es afectado por la disponibilidad de foto-asimilados, limitando la cantidad de estos para sostener el crecimiento de la planta (Bertero, 2001). A pesar de no existir diferencias significativas en la tasa de crecimiento y en la acumulación térmica (variables de la cual depende la altura de la planta), la diferencia estadística en la altura se puede decir que se debió a que las diferencias existentes entre las tasas de los tratamientos de sombreado fueron lo suficiente para que al finalizar el tiempo de crecimiento activo del tallo se marcara como diferencias significativas en las alturas de dichos tratamientos, y mas no en la tasa ni en la acumulación térmica (Tabla 4).

Un hecho evidente es que el medio ambiente puede modificar notablemente el desarrollo del cultivo. Las dos variedades evaluadas al estar sometidas a idénticas condiciones medioambientales responden de acuerdo a sus propias características adaptativas (genética), cada una expresa su potencial desarrollo al medio ambiente sometido (Fig. 3). Así, varios experimentos de adaptación de genotipos de quinua a las condiciones medioambientales se han desarrollado con el fin de identificar genotipos de élite en términos de rendimiento y calidad de semilla en diferentes localidades (Risi & Galwey, 1991; Santis *et al.*, 2018), por ello, se entiende que existieron diferencias altamente significativas entre las variedades Tunkahuan y Pata de venado para las variables altura máxima, tasa de crecimiento y la acumulación térmica (Tabla 5).

Los registros de rendimiento de quinua en otras provincias varían entre 2,88 t ha<sup>-1</sup> a 0,27 t ha<sup>-1</sup> con un rendimiento promedio nacional de 1,77 t ha<sup>-1</sup> (INEC-ESPAC, 2019). Los rendimientos de nuestro estudio fueron mucho mayores en los controles sin sombreado con valores de hasta 4,11 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 5) en comparación con los del país, lo que demostró que con un manejo apropiado del cultivo, la zona sur de Ecuador ofrece las condiciones propicias para producción de la quinua y puede generar altos rendimientos; bajo estas condiciones de manejo potenciales generamos el ambiente ideal para investigar los periodos críticos porque el estrés de sombreado aplicado no se ve confundido por el estrés adicional causado por el déficit de agua o las temperaturas extremas, y el crecimiento no está limitado por otros factores importantes.

Los resultados de este trabajo demostraron que el rendimiento de la quinua fue particularmente sensible a la reducción de la fuente; los periodos sucesivos de sombreo de 16 días permitieron identificar claramente un periodo crítico para el rendimiento de la quinua que fue consistente en las dos variedades, donde el rendimiento varió de 4,61 t ha<sup>-1</sup> a 1,74 t ha<sup>-1</sup> y de 3,61 t ha<sup>-1</sup> a 2,92 t ha<sup>-1</sup> para Tunkahuan y Pata de venado respectivamente, reduciendo un 60 % y un 20 % aproximadamente el rendimiento en relación con el control. Debido a las diferencias morfológicas y fenológicas en el paso de un estadio de desarrollo a otro, el rendimiento se vio afectado de manera distinta para Tunkahuan y Pata de venado; ello determinó la intensidad y duración del PC (Fig 9).

En Pata de venado la aparición de los brotes laterales (BBCH 20) fue después de la aparición de la inflorescencia (BBCH 50), mientras que lo contrario ocurrió en Tunkahuan, donde la aparición de BBCH 20 fue antes de BBCH 50 (Fig. 4). Como menciona Sosa *et al.* (2017), la aparición de los brotes laterales en quinua antes o después de antesis depende del genotipo, además, en Pata de venado la aparición de cada brote lateral fue alternada, puesto que los brotes se formaban de manera descendente, despertando primero aquellas yemas más cercanas a la inflorescencia y al final aquellas más distales, en cambio, en Tunkahuan los brotes laterales aparecieron al mismo tiempo tanto los cercanos como los más distales. Teniendo en cuenta que cada brote lateral posterior se desarrollaría y terminaría dando origen a una inflorescencia y estas a su vez formarían los posibles granos, al tener Tunkahuan este desarrollo más homogéneo los efectos del sombreo serían más marcados en esta variedad a diferencia de Pata de venado cuya floración fue escalonada.



**Figura 10.** Comparación del efecto del sombreado en dos variedades de quinua: Tunkahuan (círculos) y Pata de venado (cuadrados), en relación con los controles sin sombreado. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra. Las líneas horizontales corresponden al periodo crítico definido como dos errores estándar centrado en el mínimo.

El periodo crítico identificado que dura alrededor de -50 a 500 °Cd desde BBCH60 y centrado alrededor de 200 °Cd después de BBCH60 (Fig. 10) fue similar al reportado en otros estudios realizados en leguminosas como la soja, chocho, arveja, colza (Board & Tan, 1995; Jiang & Egli, 1993, 1995; Sandaña & Calderini, 2012; Kirkegaard *et al.*, 2018), y en lenteja (Lake *et al.*, 2021), y en otros cultivos de granos como el trigo sarraceno (Guglielmini *et al.*, 2019). Todos estos cultivos mostraron la mayor sensibilidad del rendimiento de grano al sombreado después de la floración, como se encontró en el presente estudio, pero con algunas diferencias en la ventana de tiempo para la determinación del rendimiento.

Según nuestro conocimiento, estudios de periodo crítico en quinua se han realizado con anterioridad, como señala Bertero y Ruiz (2008) aplicando un análisis indirecto, basado en la asociación entre el crecimiento en diferentes fases y el número de granos. Estos autores mostraron que la fase desde la primera antesis hasta su finalización es la más crítica en quinua. Así también, Mignone y Bertero (2007) identificaron el periodo crítico mediante la manipulación directa de la radiación con sombreado en dos genotipos, y mostraron que la máxima sensibilidad es durante el llenado del grano, lo que concuerda con los experimentos sobre el momento de estrés hídrico en un genotipo boliviano (García, 2003; Geerts *et al.*, 2008), lo que difiere de nuestro estudio, pues el momento más crítico se centró a 200 °Cd después de antesis, donde el rendimiento se redujo en un 60 %. Las diferencias especulamos se deben a los genotipos morfológicamente adaptados a altitudes de nivel de mar cuya plasticidad sea aún

mayor, es decir posean un hábito de crecimiento ramificado donde no se diferencia la panoja principal (Gómez & Aguilar, 2016) en comparación a los genotipos usados en este estudio adaptados a alturas de 2 200 a 3 600 m.s.n.m en los que se identifica una panoja principal (Eduardo Peralta *et al.*, 2013); además, en nuestro estudio aseguramos al menos un momento antes de anthesis para iniciar con los sombreamientos en períodos de 16 días con mallas que redujeran la radiación incidente en 80 % para asegurar la respuesta, ya que los sombreamientos del 80 % permitieron detectar también efectos sobre peso de grano e índice de cosecha, mientras que se ha reportado que los de 50 % solo afectan biomasa y número de granos (Bertero & Ruiz, 2008). Así mismo, el sombreado permite tener una mayor claridad de sus efectos sobre el rendimiento y sus componentes, en comparación con otras estrategias dirigidas a disminuir la fuente como son las defoliaciones o inundaciones (Kirkegaard *et al.*, 2018; Lake & Sadras, 2014).

Por ejemplo, el periodo crítico para el chocho y la arveja comenzó antes que en la quinua y continúa durante toda la floración, con un 20 % antes y un 80 % después de la etapa R1 (botón floral presente en uno o más nodos) (Sandaña & Calderini, 2012). En otras especies, como el garbanzo, el período crítico (con una duración de unos 800 °Cd) también se determina principalmente durante la postfloración, aunque inicia 300 °Cd antes de la floración (Lake & Sadras, 2014). De igual manera, el rendimiento de la soja no parece ser sensible al sombreado durante el periodo de prefloración, pero se reduce significativamente cuando el sombreado se aplica a partir del establecimiento de vainas en adelante (Jiang & Egli, 1993, 1995). Así también, en la colza el período crítico para la determinación del rendimiento se extiende de 100 a 500 °Cd después de floración (Kirkegaard, *et al.*, 2018), y en la lenteja en posfloración, cuando se establecen las vainas (Guglielmini *et al.*, 2019). De diferente manera ocurre en los cereales como trigo, cebada, avena y triticale, donde el período crítico se produce sobre todo durante la fase de preantésis (R. Fischer, 1975; R. A. Fischer, 1985; Arisnabarreta & Miralles, 2008; Estrada *et al.*, 2008; Mahadevan *et al.*, 2016), en la que los granos por espiga y las espigas (los dos componentes principales del número de granos) se definen. En el caso del trigo sarraceno, el período crítico igualmente inicia durante la posfloración 331 °Cd después de emergencia y se extiende hasta los 390 °Cd después de emergencia, abarcando el 45 % del ciclo de cultivo (Guglielmini *et al.*, 2019).

En el girasol, la duración del periodo crítico representa alrededor del 60 % del ciclo del cultivo (Cantagallo *et al.*, 1997; Cantagallo & Hall, 2002; Cantagallo *et al.*, 2004). En la soja, varios estudios también encontraron un período crítico muy amplio desde R1 (inicio de la

floración) hasta R6 (semilla completa) (Jiang & Egli, 1993, 1995) o incluso más largo desde R1 hasta R7 (inicio de la madurez) de acuerdo con lo reportado por Board y Tan (1995). En el garbanzo, Lake y Sadras (2014) mostraron que la duración del periodo crítico era relativamente más corta que en los cultivos anteriores, pero proporcionalmente similar al del trigo sarraceno, aproximadamente el 42 % de todo el ciclo del cultivo (Guglielmini *et al.*, 2019). De manera similar, Sandaña y Calderini (2012) encontraron que los períodos críticos en chocho y la arveja representaban el 43 % y el 42 % del período de emergencia-madurez fisiológica, respectivamente, abarcando varios procesos secuenciales de desarrollo. En el cultivo de quinua determinamos que el periodo más crítico representa el 19 % del ciclo de cultivo, un periodo mucho más corto que los registrados en los otros cultivos desde BBCH 60 hasta BBCH 70, ello implica que se debe manipular el desarrollo del cultivo para evitar condiciones estresantes manejando la fecha de siembra, aprovechar la disponibilidad de recursos para evitar el estrés al llegar a esta etapa y durante toda esta, así, capturar las condiciones ambientales que favorecen el número de granos, de esta manera, incrementar el rendimiento.

Estudios anteriores sobre el efecto del sombreado durante el periodo crítico han demostrado que la reducción del número de granos fue el componente más importante del rendimiento entre los diferentes cultivos y ambientes (Guglielmini *et al.*, 2019; Lake *et al.*, 2019, 2021). Por ello, el rendimiento se asoció estrechamente con las reducciones tanto del número de semillas como de vainas en la soja (Jiang & Egli, 1993, 1995), en el chocho, la arveja (Sandaña & Calderini, 2012) y la colza (Kirkegaard *et al.*, 2018) en respuesta al sombreado durante el período crítico. En colza, el sombreado tendió a reducir el número de silicuas durante la primera parte del período crítico, y las semillas por silicua durante la última parte del período crítico (Kirkegaard *et al.*, 2018). En el trigo sarraceno las reducciones en el rendimiento se explicaron por la disminución en el número de granos, específicamente por la disminución del número de granos por aquenio (Guglielmini *et al.*, 2019). De manera similar en el presente estudio, el rendimiento de grano estuvo estrechamente correlacionado con el número de granos  $m^{-2}$  (Fig. 9), mientras que el peso de los granos no se vio afectado por los tratamientos de sombreado, lo que demuestra que, de manera similar a lo que ocurre en muchos otros cultivos, la causa de la disminución en el rendimiento durante el período crítico es el número y no el peso de los granos. Así también podemos señalar que la sensibilidad del número de granos al final del desarrollo muestra la naturaleza indeterminada de la generación del número de granos en la quinua, similar a la de las legumbres y las semillas oleaginosas.

En cultivos como la soja (Jiang & Egli, 1993, 1995), el chocho (Sandaña & Calderini, 2012), la colza (Kirkegaard *et al.*, 2018) y el girasol (Cantagallo *et al.*, 2004), cuando el rendimiento se redujo por el sombreado durante el período crítico, la reducción del número de granos se compensó parcialmente con un aumento del tamaño de los mismos. En el presente estudio, hubo una discreta compensación del rendimiento a través del aumento del peso de los granos cuando el número de estos se redujo durante el período crítico, pero esta no fue suficiente para compensar el rendimiento, pues así lo demuestran las ausencias de correlaciones entre el peso y rendimiento (Fig. 9). Consideramos que, de manera similar a lo observado en cereales como el trigo y la cebada (Slafer y Savin, 1994; Borrás *et al.*, 2004; Álvarez Prado *et al.*, 2013), o en otros cultivos de grano como el trigo sarraceno (Guglielmini *et al.*, 2019), la quinua no experimenta una limitación de la fuente durante el llenado de los granos. La causa principal de la reducción del número de granos por el sombreado fue un menor número de granos  $m^{-2}$ , ya que el número de granos por ramificación no se vio significativamente afectado por el sombreado durante el periodo crítico.

Nuestro estudio no incluye medidas de partes individuales de la planta a lo largo del tiempo durante el crecimiento del cultivo, para concluir fehacientemente sobre los mecanismos específicos que conducen al periodo crítico observado. Se desconoce la base fisiológica exacta, pero se tiene claro que después de floración las estructuras reproductivas son el principal sumidero (Aguirre, 2010) y es probable que, como resultado de la restricción de asimilados, en ese momento podrían haber desencadenado procesos relacionados con la fuente-destino de asimilados que aumentaron la mortalidad de las flores y redujeron el número de granos  $m^{-2}$ , y por lo tanto el número de granos como componente principal del rendimiento. Kirkegaard y otros (2018) señalan igualmente que la disminución de asimilados coincidió cuando la mayoría de flores estaban abriéndose o recién abiertas que son más sensibles en el desarrollo de los óvulos, en consecuencia, provocando la disminución en el número de granos.

La concentración de saponinas en las semillas de los controles no sombreados fue de 0,0201 % y 0,0242 % para Tunkahuan y Pata de venado (Tabla 5) respectivamente. Estos valores corresponden a quinuas “dulces” (Ahumada *et al.*, 2016), lo que está de acuerdo con las características reportadas para estos genotipos de baja cantidad de saponina como informa INIAP (Mazón *et al.*, 2007; Peralta, E., 2013) quienes liberaron estas variedades.

En el presente estudio, el sombreado aplicado posterior a antesis disminuyó la concentración de saponinas en el grano, incluso hasta estadios avanzados del crecimiento de los granos (Fig. 7), sugiriendo que la síntesis de estos compuestos en la cubierta de la semilla abarca gran parte del llenado de grano. Hasta la actualidad existen pocos estudios que hayan cuantificado el efecto de la disminución de la fuente sobre el contenido de saponinas en las semillas de quinua, al respecto se conoce que el contenido de saponina en la semilla de quinua se ve afectado por su etapa de crecimiento, y el medio ambiente, como el agua y la salinidad, también pueden afectar su contenido (Lim *et al.*, 2020). García *et al.* (2018) habla sobre el efecto del fotoperiodo y la radiación en la síntesis de saponina en quinua, pero no esclarece si el efecto provocado genera un incremento o una disminución en la concentración de saponina del grano. Por otro lado, Hazzam *et al.* (2020) señala que no hay estudios que justifiquen el papel de las saponinas en la quinua y los factores limitantes de su producción, pero su presencia es generalmente considerada un mecanismo de defensa contra los enemigos naturales de la planta incluyendo patógenos y herbívoros (Ahumada *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2020).

En un estudio en quinua, Fiallos *et al.* (2016) identificaron los genes CqbAS1, CqCYP716A78 y CqCYP716A79 (genes del citocromo P451) que participan en la biosíntesis de saponina, indican que estos genes son inducidos por el jasmonato de metilo (MeJA), lo que sugiere que esta fitohormona también podría modular la biosíntesis de saponina en hojas de quinua. Basados en ello podemos especular que la disminución de la radiación solar genera un efecto negativo en la biosíntesis de saponina en los granos de quinua, pero este efecto no es estadísticamente significativo lo que no compromete la capacidad de defensa de la planta, aunque no existen trabajos que hablen sobre ello, tal vez la disminución de radiación solar, al ser un estrés generalizado en toda la planta, compromete la síntesis de la saponina en gran parte de la duración del llenado de grano.

Por otro lado, la respuesta de ambas variedades al efecto del sombreado fue similar, incrementando la concentración de proteína en el grano, concordando con lo observado en colza (Kirkegaard *et al.*, 2018) y lenteja (Lake *et al.*, 2021), donde los sombreados incrementaron la concentración de proteína, pero estas diferencias no fueron significativas al igual que en el presente estudio, donde también observamos que la variación del peso de la semilla por la reducción de la fuente no modificó la concentración de proteína en quinua debido a la ausencia de correlación entre ambas (Fig.9). Sin embargo, el incremento observado en la concentración de proteína del grano puede estar relacionado con la disminución de la actividad de los destinos,

debido al menor número de granos establecidos por planta causado por la merma de la radiación solar.

El rendimiento proteico afectado por el sombreado exhibió el mismo comportamiento descrito previamente en el rendimiento del grano, pero el aumento de la concentración de proteína en el grano amortiguó ligeramente el efecto del estrés postantesis, por ello, el rendimiento de proteína de la semilla se redujo significativamente durante el periodo crítico del rendimiento, similar a lo visto en colza y lenteja (Kirkegaard *et al.*, 2018; Lake *et al.*, 2021).

Los resultados del presente trabajo de investigación constituyen el primer estudio que determina el periodo crítico para el rendimiento y calidad en genotipos de quinuas adaptados a los valles interandinos, lo cual es relevante para el manejo agronómico del cultivo. Conocer el PC de la quinua ecuatoriana permitirá tomar decisiones a los productores para evitar la coincidencia de esta etapa sensible con cualquier tipo de estrés (bióticos o abióticos), evitando pérdidas significativas en la productividad y rentabilidad del cultivo.



## 8 CONCLUSIONES

El desempeño agronómico de la quinua bajo condiciones de rendimiento potencial alcanzó las 4,61 y 3,61 t ha<sup>-1</sup> para Tunkahuan y Pata de venado superando ampliamente el promedio de rendimiento nacional, indicando que la producción de quinua puede ser una buena alternativa para diversificar la producción de granos en Loja.

El periodo crítico para la determinación del rendimiento en genotipos de quinuas de valle crecidos en un ambiente interandino está ubicado entre el comienzo de antesis (BBCH 60) hasta la etapa de desarrollo de fruto (BBCH 70), con un periodo crítico de 3 días antes de antesis y 33 días después de antesis (-50 a 500 °Cd postantesis).

Durante el ciclo de cultivo el principal componente del rendimiento que se vio afectado por la reducción de la radiación solar fue el número de granos, el cual durante el periodo crítico se redujo hasta en un 60 %, mientras que el peso promedio de granos solo se vio afectado cuando el sombreo se realizó alrededor de 700 a 1000 °Cd después de antesis (BBCH 85) en un 10 %.

La diferente sensibilidad de las variedades de quinua a la intensidad y duración del PC es debido a las diferencias morfológicas y fenológicas en el paso de un estadio de desarrollo a otro, afectando el rendimiento de manera distinta a Tunkahuan 60 % y a Pata de venado 20 % respecto al control.

La disminución de la radiación solar genera un efecto negativo en el contenido de saponina en los granos de quinua, mermando en un 2 a 90 % la concentración de saponina en el grano, el efecto se marcó desde BBCH 60 hasta BBCH 85.

La concentración de proteínas en el grano se incrementó levemente durante los tratamientos de sombreo entre un 3 al 19 %, pero ello no atenuó el efecto del estrés a lo largo del periodo crítico para el rendimiento, disminuyendo en un 20 a 60 % el rendimiento proteico durante los estadios BBCH 60 hasta BBCH 70.

## **9 RECOMENDACIONES**

Realizar estudios posteriores que incluyan medidas de partes individuales de la planta a lo largo del tiempo durante el crecimiento del cultivo, para concluir fehacientemente sobre los mecanismos específicos que conducen al periodo crítico observado en este estudio.

Establecer estudios que justifiquen el papel de las saponinas en la quinua y los factores limitantes de su producción.

Efectuar estudios sobre la influencia de estrés en la composición relativa de las proteínas del grano de quinua y su efecto en la calidad y valor agregado.

Determinar la densidad y arreglo espacial adecuada para el cultivo, debido a la gran plasticidad que mostró en este estudio, para aprovechar adecuadamente los recursos mediante el manejo agronómico en las condiciones de la localidad.

## 10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, P., & Bertero, D. (2010). *Dinámica de acumulación y partición de nitrógeno en cultivares de quínoa (Chenopodium quinoa Willd) adaptados a climas templados (Tesis doctoral)*. Universidad de Buenos Aires.
- Aguirre, Z. (2016). *Principios para el estudio de las familias botánicas del Ecuador* (U. N. de Loja (ed.); Primera Ed).
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438–469. <https://doi.org/10.15446/RCCIQUIFA.V45N3.62043>
- Andrade, F. (1995). Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*, 41(1), 1–12. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00107-N](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00107-N)
- Arisnabarreta, S., & Miralles, D. J. (2008). Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Research*, 107(3), 196–202. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2008.02.009>
- Asher, A., Galili, S., Whitney, T., & Rubinovich, L. (2020). The potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed. *Scientia Horticulturae*, 272, 109534. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109534>
- Bazile, D., & Baudron, F. (2014). Dinámica de expansión mundial del cultivo de la quinua respecto a su alta biodiversidad. In D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (pp. 49–64).
- Bazile, D. et al (Editores). (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo 2013* (D. Bazile, D. Bertero, & N. Carlos (eds.)). FAO (Santiago de Chile) y CIRAD. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/987D7E63A6AD525605257E8A005FF4ED/\\$FILE/1\\_34\\_Estado\\_ArteDeLaQuinoaEnElMundoEn2013.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/987D7E63A6AD525605257E8A005FF4ED/$FILE/1_34_Estado_ArteDeLaQuinoaEnElMundoEn2013.pdf)
- Bertero, H. D. (2001). Effects of Photoperiod, Temperature and Radiation on the Rate of Leaf Appearance in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Field Conditions. *Annals of Botany*, 87(4), 495–502. <https://doi.org/10.1006/ANBO.2000.1362>

- Bertero, H., & Ruiz, R. (2008). Determination of seed number in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *European Journal of Agronomy*, 28(3), 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.07.002>
- Bertero, H., & Ruiz, R. (2010). Reproductive partitioning in sea level quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Field Crops Research*, 118(1), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.009>
- Board, J. E., & Tan, Q. (1995). Assimilatory Capacity Effects on Soybean Yield Components and Pod Number. *Crop Science*, 35(3), 846–851. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1995.0011183X003500030035X>
- Bois, J., Winkel, T., Lhomme, J., Raffailac, J., & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.007>
- Cantagallo, J. E., Chimenti, C. A., & Hall, A. J. (1997). Number of Seeds per Unit Area in Sunflower Correlates Well with a Photothermal Quotient. *Crop Science*, 37(6), 1780–1786. <https://doi.org/10.2135/CROPSCI1997.0011183X003700060020X>
- Cantagallo, J., & Hall, A. (2002). Seed number in sunflower as affected by light stress during the floret differentiation interval. *Field Crops Research*, 74(2–3), 173–181. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00209-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00209-X)
- Cantagallo, J., Medan, D., & Hall, A. (2004). Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. *Field Crops Research*, 85(2–3), 191–202. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00160-6)
- Carrasco, F. (2016). Efectos del cambio climatico en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, 1997-2014. *Semestre Económico*, 5(1), 46–66. <https://doi.org/10.26867/se.2016.1.49>
- Dakhili, S., Abdolizadeh, L., Hosseini, S. M., Shojaee-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa protein: Composition, structure and functional properties. In *Food Chemistry* (Vol. 299, p. 125161). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125161>
- Estrada, G., Miralles, D. J., & Slafer, G. A. (2008). Yield determination in triticale as affected

- by radiation in different development phases. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.003>
- FAO. (2011). La Quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. In *Oficina Regional para America Latina y el Caribe, FAO* (Vol. 37). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.03.010>
- FAO. (2018). *FAOSTAD-base de datos cultivos*. Roma, Italia. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Fiallos-Jurado, J., Pollier, J., Moses, T., Arendt, P., Barriga-Medina, N., Morillo, E., Arahana, V., de Lourdes Torres, M., Goossens, A., & Leon-Reyes, A. (2016). Saponin determination, expression analysis and functional characterization of saponin biosynthetic genes in *Chenopodium quinoa* leaves. *Plant Science*, 250, 188–197. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2016.05.015>
- Fischer, R. (1975). Yield Potential in a Dwarf Spring Wheat and the Effect of Shading 1. *Crop Science*, 15(5), 607–613. <https://doi.org/10.2135/cropsci1975.0011183x001500050002x>
- Fischer, R. A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *The Journal of Agricultural Science*, 105(2), 447–461. <https://doi.org/10.1017/S0021859600056495>
- Fuentes, F., Bazile, D., Bhargava, A., & Martínez, E. (2012). Implications of farmers' seed exchanges for on-farm conservation of quinoa, as revealed by its genetic diversity in Chile. *Journal of Agricultural Science*, 150(6), 702–716. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000056>
- García, M. (2003). *Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the bolivian altiplano. Dissertationes de Agricultura (Disertación doctoral)*. KU Leuven.
- García, M., Plazas, N., Carvajal, D., Ferreira, S., & Parra, J. (2018). Descripción de las saponinas en quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) en relación con el suelo y el clima: Una revisión. *Informador Técnico*, 82(2), 241. <https://doi.org/10.23850/22565035.1451>
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., & Taboada, C. (2008). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*,

28(3), 427–436. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2007.11.008>

- Geren, H. (2015). Effects of different nitrogen levels on the grain yield and some yield components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Mediterranean climatic conditions. *Turkish Journal of Field Crops*, 20(1), 59–64. <http://www.field-crops.org/assets/pdf/product553f8a265b013.pdf>
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). Guía del cultivo de la quinoa. In *FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina* (Universidad, Vol. 1). FAO y Universidad Agraria La Molina. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- González, J., & Prado, F. (2013). Quinoa: aspectos biológicos, propiedades nutricionales y otras consideraciones para su mejor aprovechamiento. *Ciencia y Tecnología de Los Cultivos Industriales*, 3(5), 5–15. <https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/7314/INTA-Revista-Ciencia-y-Tecnologia-de-los-Cultivos-Industriales-Ano-3-No-5-Quinoa.pdf?sequence=5>
- Guglielmini, A. C., Forcat, J. I., & Miralles, D. J. (2019). The critical period for yield determination in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *European Journal of Agronomy*, 110, 125933. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125933>
- Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., Kacimi, K. El, & Yasri, A. (2020). An insight into saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A review. *Molecules*, 25(5). <https://doi.org/10.3390/molecules25051059>
- INEC-ESPAC. (2018). *Boletín Situacional Quinoa*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/granos/quinoa>
- INEN. (2013a). *Quinoa. Determinación del contenido de saponinas por medio del método espumoso (Método de rutina)* (1st ed.). [https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_1672-1.pdf](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_1672-1.pdf)
- INEN. (2013b). *Quinoa. Requisitos* (1st ed.). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1673-1R.pdf>
- ITIS. (2011). *ITIS Standard Report Page: Chenopodium quinoa*. ITIS. <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt#null>
- Jiang, H., & Egli, D. (1993). Shade Induced Changes in Flower and Pod Number and Flower and Fruit Abscission in Soybean. *Agronomy Journal*, 85(2), 221–225.

<https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500020011x>

- Jiang, H., & Egli, D. B. (1995). Soybean Seed Number and Crop Growth Rate during Flowering. *Agronomy Journal*, 87(2), 264–267. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700020020x>
- Kierulf, A., Whaley, J., Liu, W., Enayati, M., Tan, C., Perez-Herrera, M., You, Z., & Abbaspourrad, A. (2020). Protein content of amaranth and quinoa starch plays a key role in their ability as Pickering emulsifiers. *Food Chemistry*, 315, 126246. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126246>
- Kiniry, J., & Ritchie, J. (1985). Shade-Sensitive Interval of Kernel Number of Maize . *Agronomy Journal*, 77(5), 711–715. <https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700050012x>
- Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Brill, R. D., Ware, A. H., & Walela, C. K. (2018). The critical period for yield and quality determination in canola (*Brassica napus* L.). *Field Crops Research*, 222, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.018>
- Lake, L., Godoy-Kutchartt, D. E., Calderini, D. F., Verrell, A., & Sadras, V. O. (2019). Yield determination and the critical period of faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*, 241, 107575. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107575>
- Lake, L., Kutchartt, D. G., Calderini, D. F., & Sadras, V. O. (2021). Critical developmental period for grain yield and grain protein concentration in lentil. *Field Crops Research*, 270, 108203. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2021.108203>
- Lake, L., & Sadras, V. O. (2014). The critical period for yield determination in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 168, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.003>
- Lim, J. G., Park, H.-M., & Yoon, K. S. (2020). Analysis of saponin composition and comparison of the antioxidant activity of various parts of the quinoa plant (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Science & Nutrition*, 8(1), 694–702. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1358>
- Mahadevan, M., Calderini, D. F., Zwer, P. K., & Sadras, V. O. (2016). The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). *Field Crops Research*, 199, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.021>
- Martínez, E., Fuentes, F., & Bazile, D. (2015). History of Quinoa: Its Origin, Domestication,

- Diversification, and Cultivation with Particular Reference to the Chilean Context. In *Quinoa: Improvement and Sustainable Production* (pp. 19–24). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch2>
- Mazón, N., Peralta, E., Monar, C., Subía, C., & Rivera, M. (2007). *Pata de Venado (Taruka chaki). Nueva variedad de quinua precoz y de grano dulce. Plegable No. 261*. (INIAP). Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina.
- Mignone, C., & Bertero, D. (2007, October). Identificación del período crítico de determinación del rendimiento en quínoas de nivel de mar. *Congreso Internacional de La Quínoa Iquique*. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Identificación del período crítico de determinación del rendimiento en quínoas de nivel del mar&author=C. Mignone&publication\\_year=2007](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Identificación%20del%20per%C3%ADodo%20cr%C3%ADtico%20de%20determinaci%C3%B3n%20del%20rendimiento%20en%20qu%C3%ADnoas%20de%20nivel%20del%20mar&author=C.%20Mignone&publication_year=2007)
- Mujica, A., Canahua, A., & Saravia, R. (2001). *Capítulo II: Agronomía del cultivo de la quinua*. FAO. [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodv eg/cdrom/contenido/libro03/cap2.htm](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodv eg/cdrom/contenido/libro03/cap2.htm)
- Nowak, V., Du, J., & Charrondièrre, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- Peralta, E. (2013). *INIAP Tunkahuan. Variedad mejorada de quinua de bajo contenido de saponina. Plegable Divulgativo No. 345*. (INIAP). Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina.
- Peralta, Eduardo, & Mazón, N. (2014). La Quinoa en Ecuador. Capítulo 5. In: Bazile D. et al. (Editores). In *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (pp. 462–476). FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia).
- Peralta, Eduardo, Murillo, Á., Mazón, N., Villacrés, E., & Rivera, M. (2013). *Catálogo de variedades mejoradas de granos Andinos: chocho, quinua y amaranto, para la sierra de Ecuador* (3rd ed.). Publicación Miscelánea 151.
- Pereira, E., Encina, C., Barros, L., Gonzales, U., Cadavez, V., & Ferreira, I. (2019). Chemical and nutritional characterization of *Chenopodium quinoa* Willd (quinoa) grains: A good



- alternative to nutritious food. *Food Chemistry*, 280, 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.068>
- Ribeiro, B., Lacchini, E., Bicalho, K., Mertens, J., Arendt, P., Vanden Bossche, R., Calegario, G., Gryffroy, L., Ceulemans, E., Buitink, J., Goossens, A., & Pollier, J. (2020). A Seed-Specific Regulator of Triterpene Saponin Biosynthesis in *Medicago truncatula*. *The Plant Cell*, 32(6), 2020–2042. <https://doi.org/10.1105/TPC.19.00609>
- Risi, J., & Galwey, N. W. (1991). Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. *The Journal of Agricultural Science*, 117(3), 325–332. <https://doi.org/10.1017/S002185960006706X>
- Sadras, V., & Calderini, D. (2014). *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy* (2nd ed., Vol. 1). Academic Press-Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/crop-physiology/sadras/978-0-12-417104-6>
- Sandaña, P., & Calderini, D. (2012). Comparative assessment of the critical period for grain yield determination of narrow-leafed lupin and pea. *European Journal of Agronomy*, 40, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.02.009>
- Sandaña, P., & Calderini, D. (2018). Source–Sink Relationships in Cereals and Legumes. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, 10. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6>
- Santis, G. De, Ronga, D., Caradonia, F., Ambrosio, T. D., Troisi, J., Rascio, A., Fragasso, M., Pecchioni, N., Rinaldi, M., Santis, G. De, Ronga, D., Caradonia, F., Ambrosio, T. D., Troisi, J., Rascio, A., Fragasso, M., Pecchioni, N., & Rinaldi, M. (2018). Evaluation of two groups of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) accessions with different seed colours for adaptation to the Mediterranean environment. *Crop and Pasture Science*, 69(12), 1264–1275. <https://doi.org/10.1071/CP18143>
- Satorre, E., Benech, R., Slafer, G., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M., & Savin, R. (2015). *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (A. Pascale (ed.); 6° Reimpresión). Editorial Facultad Agronomía.
- Smith, M., Rao, I., & Merchant, A. (2018). Source-sink relationships in crop plants and their influence on yield development and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 871. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01889>

- Sosa, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2017). Phenological growth stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, *171*(1), 117–124. <https://doi.org/10.1111/aab.12358>
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A. R. (2015). Effect of deficit irrigation and different saline groundwater depths on yield and water productivity of quinoa. *Agricultural Water Management*, *159*, 225–238. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.005>
- Ugarte, C., Calderini, D., & Slafer, G. (2007). Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crops Research*, *100*(2–3), 240–248. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.010>
- Vega, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: A review. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 90, Issue 15, pp. 2541–2547). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
- Venkateswarlu, B., & Visperas, R. (1987). Source-sink relationships in crop plants. *IRRI Research Paper Series (Philippines)*, *125*, 19.
- Wang, S., & Zhu, F. (2016). Formulation and Quality Attributes of Quinoa Food Products. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 9, Issue 1, pp. 49–68). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1584-y>

## 11 ANEXOS

### 11.1 Anexo 1. Fotografías



**Figura 1.** Pasado de arado



**Figura 2.** Pasado de rastra



**Figura 3.** Trazado de parcelas



**Figura 4.** Levantamiento de camas



**Figura 5.** Nivelación de camas



**Figura 6.** Terreno preparado para la siembra



**Figura 7.** Prueba sistema de riego instalado



**Figura 8.** Siembra chorro continuo



**Figura 9.** Emergencia quinua



**Figura 10.** Desarrollo de hojas



**Figura 11.** Elongación del tallo



**Figura 12.** Desarrollo de brotes laterales



**Figura 13.** Desarrollo de partes vegetativas cosechables (emergencia de florescencia)



**Figura 14.** Desarrollo del cultivo estadio vegetativo



**Figura 15.** Aplicación de sombreos



**Figura 16.** Floración



**Figura 17.** Desarrollo de fruto



**Figura 18.** Desarrollo del cultivo estadio reproductivo



**Figura 19.** Aplicación de fungicida e insecticida



**Figura 20.** Cambio de sombreos



**Figura 21.** Toma de muestras de biomasa



**Figura 22.** Secado de muestras horno artesanal elaborado por el autor



**Figura 23.** Hojas basales amarillentas



**Figura 24.** Tallo amarillento



**Figura 25.** Visita de campo



**Figura 26.** Toma de datos



**Figura 27.** Madurez fisiológica



**Figura 28.** Cosecha



**Figura 29.** Toma de datos de altura



**Figura 30.** Peso de muestras balanza granataria.



**Figura 31.** Peso de granos, rendimiento.



**Figura 32.** Peso 1000 granos.



**Figura 33.** Segunda visita, revisión de datos en laboratorio.



**Figura 34.** Selección de muestras para análisis de saponina y proteína.



**Figura 35.** Secado de muestras de grano en estufa.



**Figura 36.** Toma de altura de espuma, estimación contenida de saponina.



**Figura 37.** Titulación, determinación de concentración de proteína.

## 11.2 Anexo 2. Análisis de suelo

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	<b>PGT/SFA/09-FO01</b>
		<b>Rev. 5</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO</b>	<b>Hoja 1 de 2</b>

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E20-0786  
 Fecha emisión Informe: 14/08/2020

### DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante<sup>1</sup>: Edwin Villavicencio

Dirección<sup>1</sup>: Zalapa Alto

Provincia<sup>1</sup>: Loja

Cantón<sup>1</sup>: Loja

Teléfono<sup>1</sup>: 0989792189

Correo Electrónico<sup>1</sup>: edwincito626@hotmail.es

N° Orden de Trabajo: 11-2020-205

N° Factura/Documento: 012-001-0654

### DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra <sup>1</sup> : Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
Cultivo <sup>1</sup> : Quinua	
Provincia <sup>1</sup> : Loja	X: ----
Cantón <sup>1</sup> : Loja	Coordenadas <sup>1</sup> : Y: ----
Parroquia <sup>1</sup> : Punzara	Altitud: ----
Muestreado por <sup>1</sup> : Edwin Villavicencio	
Fecha de muestreo <sup>1</sup> : 07-08-2020	Fecha de inicio de análisis: 11-08-2020
Fecha de recepción de la muestra: 11-08-2020	Fecha de finalización de análisis: 14-08-2020

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA <sup>1</sup>	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-20-0877	Quintas Argelia	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	5,62
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,34
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,07
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	25,8
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,18
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	2,71
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,72
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	281,1
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	13,39
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	3,06
Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60		

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.





**AGROCALIDAD**  
AGENCIA DE REGULACIÓN Y  
CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO

**LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS**

Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del  
MAGAP, Tumbaco - Quito  
Teléf.: 023828860 Ext. 2080

PGT/SFA/09-FO01

Rev. 5

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO

Hoja 2 de 2

**Observaciones:**

- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA**


PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	<3,0	<0,15	<10,0	<0,20	<2,0	<0,5	<20,0	<5,0	<1,0	<3,0
MEDIO	3,0 - 5,0	0,15 - 0,30	10,0 - 20,0	0,20 - 0,38	2,0 - 5,0	0,5 - 1,5	20,0 - 40,0	5,0 - 15,0	1,0 - 4,0	3,0 - 7,0
ALTO	>5,0	>0,30	>20,0	>0,38	>5,0	>1,5	>40,0	>15,0	>4,0	>7,0

**INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA, COSTA Y AMAZONÍA**

	ÁCIDO	LIGERAMENTE ÁCIDO	PRÁCTICAMENTE NEUTRO	LIGERAMENTE ALCALINO	ALCALINO
pH	≤ 5,5	> 5,5 - 6,5	> 6,5 - 7,5	> 7,5 - 8,0	> 8,0

FUENTE: INIAP. EESC. 2002



  
**Q. A. Luis Cacuango**  
Responsable de Laboratorio  
Suelos, Foliar y Aguas



**LABORATORIO DE SUELOS,  
FOLIARES Y AGUAS**  
TUMBACO - ECUADOR

14 AUG 2020



19 AGO 2020

**Nota:** El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.  
Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

<sup>1</sup> Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

### 11.3 Anexo 3. Plan de fertilización

#### Dosis de corrección Fosforo (P)

Déficit = (valor adecuado – valor de la muestra), en mg/kg (ppm)

$$= 15 \text{ mg/kg} - 14,2 \text{ mg/kg} = 0,8 \text{ mg/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Dosis de P}_2\text{O}_5 \text{ para corrección de P (Kg/ha)} &= (\text{Déficit} \times \text{Prof.} \times \text{DA} \times 10) / \text{Efc} \\ &= (0,8 \text{ mg/kg} \times 0,1 \text{ m} \times 1,4 \text{ g/cm}^3 \times 10) / 0,03 \\ &= 37,3 \text{ kg/ha} \end{aligned}$$

#### Dosis de corrección Calcio (Ca)

% de déficit de Ca

$$6,6 \quad 100\%$$

$$2,71 \text{ cmol/kg} \quad x$$

$$x = (2,71 \times 100) / 6,6 = 41,06\%$$

$$\% \text{ de déficit de Ca} = 55\% - 41,06\% = 13,94\%$$

$$\begin{aligned} \text{Déficit de CaO (mg/kg)} &= \text{CIC} \times \% \text{ de déficit} \times 100^{-1} \times 200 \text{ Ca cmol}^{-1} \\ &= 6,6 \times 13,94/100 \times 200 \\ &= 184,1 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dosis de CaO (Kg/ha)} &= \text{mg/kg} \times \text{Prof. (m)} \times \text{DA (g/cm}^3) \times 10 \\ &= 184,1 \text{ mg/kg} \times 0,1 \text{ m} \times 1,4 \text{ g/cm}^3 \times 10 \\ &= 257,6 \text{ kg/ha} \end{aligned}$$

#### Dosis de corrección de Potasio (K)

% de déficit de K

$$6,6 \quad 100 \%$$

$$0,18 \text{ cmol/kg} \quad x$$

$$x = (0,18 \times 100) / 6,6 = 2,73 \%$$

$$\% \text{ de déficit de K} = 4 \% - 2,73 \% = 1,27 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Déficit de K (mg/kg)} &= \text{CIC} \times (\% \text{ de déficit} \times 100^{-1}) \times 390 \text{ mg de K cmol}^{-1} \\ &= 6,6 \times (1,27/100) \times 390 \\ &= 32,7 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dosis de K}_2\text{O (kg/ha)} &= (\text{Déficit} \times \text{Prof. (m)} \times \text{DA (g/cm}^3) \times 10) / \text{Efc} \\ &= (32,7 \text{ mg/kg} \times 0,1 \text{ m} \times 1,4 \text{ g/cm}^3 \times 10) / 0,32 \\ &= 286 \text{ kg/ha} \end{aligned}$$

## Dosis de Nitrógeno (N)

Cantidad de materia orgánica en una hectárea

$$MO = \text{Volumen del suelo (m}^3/\text{ha)} * DA \text{ (t/m}^3\text{)} * (\% \text{ de MO} / 100)$$

$$MO = (10000 * 0,1) * 1,4 * (1,34/100) = 18,76 \text{ t de MO}$$

Cantidad de nitrógeno aportado por la materia orgánica en una hectárea (Nm)

$$Nm = \text{Materia orgánica (kg)} * N \text{ en la materia orgánica} * \text{Tasa de mineralización}$$

$$Nm = 18760 * (5/100) * (1,25/100) = 11,73 \text{ kg de N}$$

Cantidad de nitrógeno aportado por el suelo en una hectárea (Ni)

$$Ni = \text{Volumen del suelo (m}^3/\text{ha)} * DA \text{ (t/m}^3\text{)} * \text{Concentración de N-NO}_3 \text{ (g/t)}$$

$$Ni = (10000*0,1) * 1,4 * 35,71 = 49994 \text{ g} = 50,00 \text{ kg de N}$$

Dosis de nitrógeno para una hectárea

$$DN = [(MR * Ne) - (Nm+Ni) * Ef] / Ef$$

$$DN = [(12 * 22) - (11,73 + 50,00) * 0,6] / 0,6$$

$$DN = (264 - 37,04) / 0,6$$

$$DN = 378,27 \text{ kg N/ha}$$

## Dosis de fertilizantes

Abono Nitrato de potasio 13,5 % N(NO<sub>3</sub>) – 45 % K<sub>2</sub>O

Dosis de corrección: 286 Kg/ha

Requerimiento del cultivo: 580 Kg/ha

Dosis de aplicación: 866 Kg/ha

$$46 \% \quad 866 \text{ Kg/ha}$$

$$100 \% \quad x$$

$$x = (46 \% * 866 \text{ kg/ha}) / 100 \% = \mathbf{1882 \text{ kg de K/ha}}$$

$$1882 \text{ kg} \quad 100 \%$$

$$x \quad 13 \%$$

$$x = (13 \% * 1882 \text{ kg}) / 100 \% = \mathbf{244,66 \text{ kg de N(NO}_3\text{)/ha}}$$

Dosis de Nitrato de potasio para el proyecto

10000 m<sup>2</sup>                      1882 kg de K

192 m<sup>2</sup>                              x

$$x = (192 \text{ m}^2 \times 1882 \text{ kg de K}) / 10000 \text{ m}^2 = 36,13 \text{ kg}$$

Cal Dolomina (37,6 % Ca – 6% MgO)

10000 m<sup>2</sup>                      619,09 kg/ha de Ca

192 m<sup>2</sup>                              x

$$x = (192 \text{ m}^2 \times 619,09 \text{ kg/ha}) / 10000 \text{ m}^2 = 11,88 \text{ kg de Ca}$$

100 kg cal dolomita                      37,6 kg de Ca

x    11,88 kg de Ca

$$x = 31,6 \text{ kg de cal dolomita}$$

$$\text{Dosis de cal dolomita por parcela} = 31,6 \text{ kg} / 48 \text{ parcelas} = 0,65 \text{ kg/ parcela}$$

Urea (46% N)

Nitrógeno del Nitrato de potasio: 244,66 kg/ha

Dosis de corrección: 378,27 kg/ha

Requerimiento del cultivo: 200 kg/ha

Dosis de aplicación: 333,61 kg/ha

333,61 kg de Urea                      46 %

x    100 %

$$x = (100 \% \times 333,61 \text{ kg}) / 46 \% = 725,24 \text{ kg de Urea/ha}$$

Dosis de urea para el proyecto

10000 m<sup>2</sup>                      725,24 kg de Urea

192 m<sup>2</sup>                              x

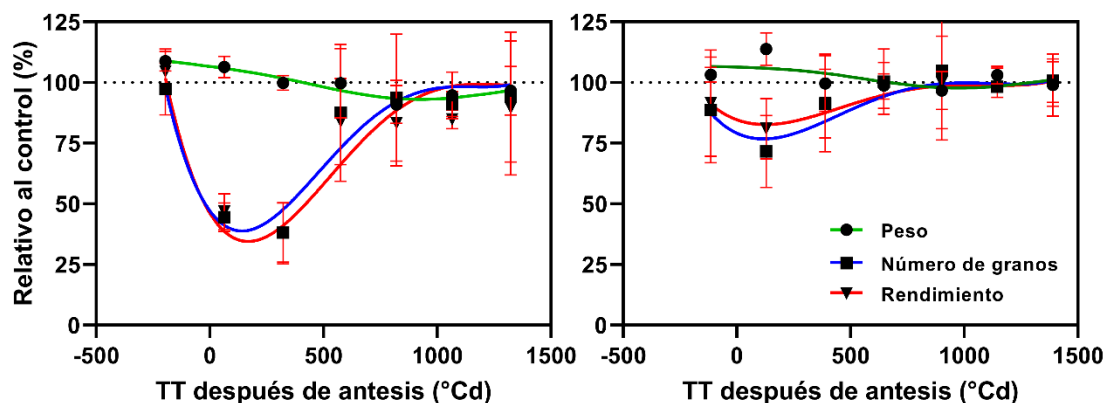
$$x = (192 \text{ m}^2 \times 725,24 \text{ kg de K}) / 10000 \text{ m}^2 = 13,92 \text{ kg}$$

## 11.4 Anexo 4. Fenología BBCH

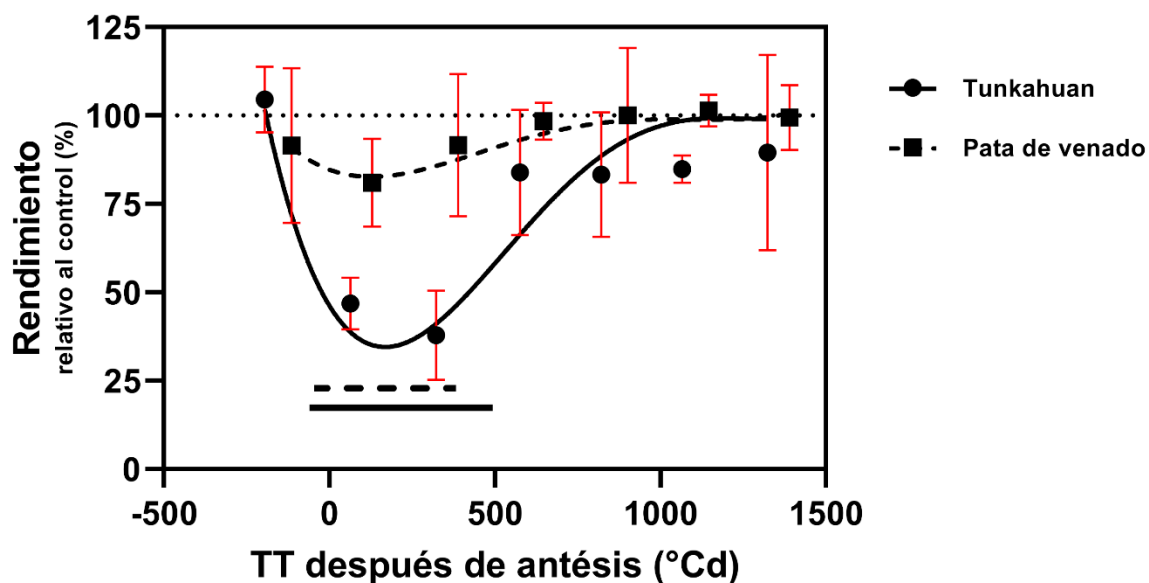
**Tabla 6.** Estadios de crecimiento fenológico de la quinua (*Chenopodium quinoa* Will.) basadas en la escala BBCH descrita por (Sosa *et al.*, 2017).

<b>ESTADIO PRINCIPAL</b>	<b>ESTADO</b>	<b>CODIGO</b>
<b>ESTADIO PRINCIPAL 0</b> Germinación	siembra	0
	emergencia de la radícula	5
	emergencia del hipocótilo	7
	hipocótilo con cotiledones que crecen hacia la superficie del suelo	8
	emergencia de los cotiledones a través del suelo	9
<b>ESTADIO PRINCIPAL 1</b> Desarrollo de hojas	cotiledones emergieron completamente	10
	primer par de hojas verdaderas	11
	segundo par de hojas verdaderas	12
	tercer par de hojas verdaderas	13
	cuarto par de hojas verdaderas	14
	se continua	1.
	noveno par de hojas verdaderas	19
<b>ESTADIO PRINCIPAL 2</b> Formación de brotes laterales	brotes laterales visibles	20
	un brote lateral visible	21
	dos brotes laterales visibles	22
	se continua	2.
	nueve brotes laterales visibles	29
<b>ESTADO PRINCIPAL 5</b> Emergencia de inflorescencia	inflorescencia presente pero todavía encerrada por las hojas	50
	las hojas que rodean la inflorescencia están separadas, la inflorescencia es visible desde arriba	51
	la inflorescencia es visible, pero todas las flores siguen cerradas	59
<b>ESTADIO PRINCIPAL 6</b> Floración	comienzo de la antesis: flores de la inflorescencia principal con las primeras anteras extruidas	60
	fin de la antesis: la inflorescencia principal florece con las primeras anteras senescentes	67
	antítesis completa: flores de la inflorescencia principal con anteras senescentes	69
	cuajada: engrosamiento del ovario y primeros granos visibles en el tallo principal	70
<b>ESTADIO PRINCIPAL 8</b> Maduración	grano lechoso, fácilmente aplastado con las uñas, contenido líquido y pericarpio verde	81
	grano grueso, fácilmente aplastado con las uñas, contenido pastoso blanco, pericarpio verde, beige, rojo o negro	85
	grano maduro, difícil de aplastar con las uñas, contenido seco, el grano tiene un color beige, rojo o negro en su exterior. Listo para cosecha	89
<b>ESTADIO PRINCIPAL 9</b> Senescencia	sólo las hojas basales están secas	91
	las hojas de la primera mitad de la planta, empezando por la base, están muertas	93
	todas las hojas están muertas; el color del tallo pasa de amarillo a marrón	95
	planta muerta y seca	97
	producto cosechado	99

## 11.5 Anexo 5. Figuras y tablas complementarias



**Figura 11.** Relación del efecto del momento del sombreo sobre los componentes del rendimiento en dos variedades de quinua figuras a la izquierda var. Tunkahuan, a la derecha var. Pata de venado; en el peso de 1000 granos; número de granos y rendimiento; respecto al control sin sombreo. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra.



**Figura 12.** Comparación del periodo más crítico para el rendimiento en dos variedades de quinua círculos var. Tunkahuan, cuadrados var. Pata de venado. La línea de puntos horizontal indica el control. Los puntos de datos corresponden al punto medio del periodo de sombra. Las líneas horizontales corresponden al periodo crítico representa dos errores estándar centrados en el mínimo, la línea continua para Tunkahuan y la entrecortada Pata de venado.

**Tabla 7.** Medias de las variables respuesta de todos los tratamientos, de dos variedades de quinua.

Variedad	Sombreo	Tratamiento	Ramificación es planta	Biomasa floración (g m <sup>-2</sup> )	Biomasa llenado (g m <sup>-2</sup> )	Biomasa cosecha (g m <sup>-2</sup> )	Rendimiento g planta <sup>-1</sup>	IC	Peso de 1000 granos	Número de granos Planta <sup>-1</sup>	Número de granos ramificación <sup>-1</sup>	Número de granos m <sup>-2</sup>	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	Concentración de saponina (%)	Concentración de proteína (%)	Rendimiento de proteína (kg ha <sup>-1</sup> )
V1	C	T1	21,41	594,00	1181,67	1189,23	27,69	0,37	2,73	10024,94	467,49	167082,28	4,61	0,020	16,76	16763,33
V1	S1	T2	19,69	343,44	952,67	1372,11	28,93	0,33	2,97	9763,73	434,26	162728,82	4,82	0,028	18,37	18370,00
V1	S2	T3	16,36	537,22	1489,78	888,23	12,96	0,24	2,90	4460,17	458,97	74336,12	2,16	0,012	18,60	18596,67
V1	S3	T4	14,87	455,11	1013,44	583,85	10,47	0,29	2,72	3827,69	501,48	63794,91	1,74	0,016	19,68	19676,67
V1	S4	T5	20,64	529,33	1475,22	1159,28	23,23	0,32	2,72	8773,57	463,24	146226,13	3,87	0,017	18,95	18953,33
V1	S5	T6	22,18	639,11	1856,33	1264,44	23,06	0,30	2,48	9406,27	369,29	156771,19	3,84	0,010	20,05	20053,33
V1	S6	T7	19,44	532,44	1275,44	1121,16	23,49	0,35	2,58	9127,70	275,10	152128,33	3,91	0,014	18,72	18720,00
V1	S7	T8	22,06	486,78	1237,56	1236,48	24,78	0,33	2,64	9420,98	270,21	157016,38	4,13	0,018	17,43	17433,33
V2	C	T9	9,60	193,00	396,50	740,11	21,63	0,49	2,27	9541,04	272,47	159017,31	3,61	0,024	16,88	16880,00
V2	S1	T10	8,26	163,78	359,78	769,50	19,79	0,43	2,34	8459,77	254,29	140996,13	3,30	0,015	17,48	17483,33
V2	S2	T11	8,02	150,33	362,67	736,98	17,51	0,40	2,58	6835,51	261,98	113925,19	2,92	0,015	17,78	17776,67
V2	S3	T12	9,16	192,78	385,44	700,11	19,81	0,49	2,26	8713,31	347,18	145221,88	3,30	0,016	18,27	18270,00
V2	S4	T13	9,20	189,67	475,33	716,81	21,29	0,49	2,24	9579,01	422,93	159650,10	3,55	0,004	18,05	18050,00
V2	S5	T14	9,63	206,33	510,44	828,20	21,64	0,42	2,19	9999,12	458,34	166651,92	3,61	0,008	18,41	18410,00
V2	S6	T15	8,73	179,56	409,78	994,11	21,93	0,38	2,34	9381,00	413,10	156349,93	3,66	0,002	18,12	18116,67
V2	S7	T16	8,28	178,11	469,44	828,87	21,51	0,44	2,25	9619,60	419,75	160326,59	3,58	0,018	17,41	17410,00
E. st			0,88	29,36	76,33	40,00	0,86	0,01	0,05	822,23	51,55	168351,56	0,014	0,0017	0,1822	182,234
V			***	**	**	**	ns	**	**	ns	***	*	ns	ns	ns	ns
S			ns	ns	*	*	**	*	*	**	**	**	**	ns	ns	**
V*S			ns	ns	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns	*

Los valores son medias de tres repeticiones ns=efecto no significativo; \*efecto significativo p<0,05; \*\* efecto muy significativo p<0,01; \*\*\* efecto altamente significativo p<0,001, E. st= error estándar.