

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“SEVERIDAD DE *Peronospora variabilis* Gäum. EN CINCO  
VARIEDADES DE *Chenopodium quinoa* Willd. EN CONDICIONES DE  
LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**HÉCTOR ANDRÉS RAMÍREZ MAGUIÑA**

LIMA-PERÚ

2020

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente  
investigación (Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“SEVERIDAD DE *Peronospora variabilis* Gäum. EN CINCO  
VARIEDADES DE *Chenopodium quinoa* Willd. EN CONDICIONES DE  
LA MOLINA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**HÉCTOR ANDRÉS RAMÍREZ MAGUIÑA**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

.....  
Ing. M. S. Andrés Virgilio Casas Díaz  
**PRESIDENTE**

.....  
Dra. Luz Leonor Mattos Calderón  
**ASESORA**

.....  
Dr. Jorge Eduardo Jiménez Dávalos  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Mg. Sc. Carlos Alberto Cadenas Giraldo  
**MIEMBRO**

LIMA-PERÚ

2020

Dedico este trabajo a mi padre, quien hubiese querido estar presente en vida durante la realización de este trabajo y en el momento de mi sustentación. Por ser mi mayor inspiración, por heredarme esa pasión inextinguible que permitió concretar esta meta y con la que seguiré enfrentando cada reto que la vida me ponga. Por darle alas a mis sueños y enseñarme que todo lo que uno se proponga es posible si lo hace con entusiasmo.

A mi madre, por ser la generosidad y el cariño hechos persona, por ser mi apoyo y consejera en los buenos y malos momentos, y por ser un motivo más por el cuál seguir esforzándome.

A todas esas personas que en algún momento conocí, amigos, profesores, colegas, muchos de ellos que ya no frecuento, pero que dejaron huella en mi vida, de quienes aprendí tantas cosas y también son mi inspiración y empuje para seguir adelante.

“La agricultura es una ciencia y un arte”

Agricultor anónimo

## **AGRADECIMIENTOS**

A los miembros de mi jurado, Ing. Carlos Cadenas, Ing. Jorge Jiménez e Ing. Andrés Casas, por sus aportes para mejorar este trabajo y en especial a la Dra. Mattos por sus consejos, enseñanzas y paciencia.

Al programa de Cereales y Granos Nativos por su apoyo en el procesamiento de muestras, en especial al Dr. Jorge Jiménez, a la Dra. Martha Ibañez y a los trabajadores de campo.

Al Ing. Alejandro Risco, por su preocupación, guía y amistad en estos últimos años y en el apoyo para la realización de esta tesis.

Al Ing. José Falconi, por tomarse el tiempo de ver mi campo experimental y atender mis consultas.

A los profesores del curso Prácticas Agronómicas I, Ing. Leonel Alvarado e Ing. Alfredo Beyer, y a sus alumnos por brindarme apoyo en las labores del campo.

A mis amigos de la universidad, en especial a María Rivas, Claudia Valdez, Jazmín Cabana y Valeria Lino por su amistad y ayudarme a concretar esta tesis, ayudándome en los momentos más difíciles.

Al círculo de investigación “Círculo de Estudiantes Molineros Fitopatólogos” por permitirme usar el terreno de cultivo que normalmente usarían para sus proyectos

Finalmente a mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria La Molina.

A todos, muchas gracias.

# ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 La quinua.....	3
2.1.1 Importancia .....	3
2.1.2 Descripción botánica.....	5
2.1.3 Morfología .....	6
2.1.4 Ecotipos y variedades .....	8
2.2 El Mildiú de la quinua.....	9
2.2.1 Taxonomía y Sistemática .....	9
2.2.2 Ciclo de vida .....	10
2.2.3 Epidemiología .....	11
2.2.4 Sintomatología.....	13
2.3 Antecedentes .....	13
III. Metodología.....	15
3.1 Ubicación .....	15
3.2 Material biológico .....	15
3.3 Campo experimental y manejo del cultivo.....	17
3.3.1 Preparación del terreno .....	17
3.3.2 Siembra .....	18
3.3.2.1 Diseño experimental y distribución de los tratamientos. ....	18
3.3.3 Riego y fertilización.....	19
3.3.4 Aplicaciones fitosanitarias .....	20
3.3.5 Deshierbo y desahije .....	20
3.3.6 Marcado de plantas .....	21
3.3.7 Aporque y entutorado .....	21
3.3.8 Cosecha y trilla .....	21
3.4 Variables de evaluación de la enfermedad: Severidad.....	23
3.5 Variables agronómicas .....	23
3.5.1 Rendimiento.....	23
3.5.2 Altura de planta.....	23
3.6 Variables de calidad .....	23

3.6.1	Peso de mil granos .....	24
3.6.2	Granulometría .....	24
3.6.3	Contenido de proteína .....	24
3.7	Análisis de datos .....	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
4. 1	Sintomatología .....	25
4.2	Desarrollo de la epidemia.....	29
4.3	Condiciones meteorológicas .....	31
4.4	Severidad.....	32
4.5	Rendimiento .....	36
4.6	Altura de planta .....	39
4.7	Peso de mil granos .....	41
4.8	Granulometría .....	43
4.9	Contenido de proteína .....	46
V.	CONCLUSIONES .....	49
VI.	RECOMENDACIONES .....	50
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de inflorescencia de la quinua.....	8
Figura 2: Vista al microscopio de granos de quinua y oosporas. ....	11
Figura 3: Oospora de <i>Peronospora variabilis</i> en el pericarpio de una semilla de quinua ..	12
Figura 4: Manchas cloróticas producidas por <i>Peronospora variabilis</i> .....	14
Figura 5: Campo experimental con cerco vivo (hileras laterales).....	15
Figura 6: Plano del campo experimental y distribución de los tratamientos según bloque	19
Figura 7: Campo experimental luego del primer aporque.....	21
Figura 8: Secado de quinua dentro del tinglado .....	22
Figura 9: Trillado en el Programa de Cereales y Granos Nativos, UNALM .....	22
Figura 10: Manchas provocadas por el mildiú en la misma hoja de la variedad Negra Collana.....	26
Figura 11: Hojas de la variedad Salcedo infectadas por mildiú .....	26
Figura 12: Quinua de la variedad Negra Collana .....	27
Figura 13: Quinua de la variedad Altiplano severamente defoliada por el mildiú.....	27
Figura 14: Manchas cloróticas provocadas por mildiú en hojas de la variedad Pasankalla	28
Figura 15: Defoliación prematura en la variedad Pasankalla .....	28
Figura 16: Manchas provocadas por el mildiú en una hoja de la variedad Amarilla de Maranganí.....	29
Figura 17: Cerco vivo con manchas cloróticas provocadas por el mildiú.....	30
Figura 18: Infección de mildiú de cotiledones .....	30
Figura 19: Curva de temperatura promedio diaria en grados centígrados (°C) de la Estación OVH .....	31
Figura 20: Curva de variación de la humedad relativa promedio diaria en porcentaje de la Estación OVH.....	32
Figura 21: Curva del progreso de la enfermedad .....	33
Figura 22: Comparación de las medias del Área bajo la curva de progreso de la enfermedad .....	34
Figura 23: Campo experimental con diferentes niveles de severidad de mildiú en cada variedad .....	34
Figura 24: Unidad experimental de la variedad Altiplano severamente afectada por el mildiú.....	36

Figura 25: Comparación de las medias del rendimiento .....	38
Figura 26: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y rendimiento.....	39
Figura 27: Comparación de las medias de la altura.....	40
Figura 28: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y altura...	41
Figura 29: Comparación de las medias del peso de mil granos. ....	42
Figura 30: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y peso de mil granos .....	43
Figura 31: Comparación de las medias del porcentaje de granos de más de 1.7 mm, de 1.7 a 1.4 mm y menos de 1.4 mm de diámetro.....	45
Figura 32: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y porcentaje de granos con más de 1.7 mm de diámetro.....	46
Figura 33: Comparación de las medias del contenido de proteína. ....	47
Figura 34: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y contenido de proteína .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadísticas de los veinte países con mayor valor en importación de quinua a nivel mundial, durante el año 2018 .....	4
Tabla 2: Comparación del valor nutricional promedio de la quinua y otros granos (100 gramos comestibles). .....	5
Tabla 3: Contenido de aminoácidos esenciales en proteína de quinua, arroz y maíz (gramos/100 gramos de proteína) .....	6
Tabla 4: Datos del material genético usado .....	16
Tabla 5: Plan de fertilización usado en el experimento.....	20
Tabla 6: Promedios mensuales de datos meteorológicos de La Molina, Lima .....	31
Tabla 7: Comparación de las medias del Área bajo la curva de progreso de la enfermedad .....	33
Tabla 8: Comparación de las medias del rendimiento.....	37
Tabla 9: Comparación de las medias de las alturas .....	40
Tabla 10: Comparación de las medias del peso de mil granos .....	42
Tabla 11: Comparación de las medias del porcentaje de granos de tres calibres .....	44
Tabla 12: Comparación de las medias del contenido de proteína .....	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos meteorológicos del Observatorio Von Humboldt .....	58
Anexo 2: Análisis de granulometría de las muestras de quinua.....	65
Anexo 3: Datos de las unidades experimentales del estudio.....	66
Anexo 4: Test de Shapiro-Wild y transformación de variables .....	67
Anexo 5: Análisis de variancia y prueba de Tukey del Área Bajo la Curva de Progreso de la enfermedad .....	68
Anexo 6: Análisis de variancia y prueba de Tukey del rendimiento. ....	69
Anexo 7: Análisis de variancia y prueba de Tukey de la altura de planta transformada .....	70
Anexo 8: Análisis de variancia y prueba de Tukey del peso de mil granos.....	71
Anexo 9: Análisis de variancia y prueba de Tukey para la granulometría (mayores a 1.7mm) transformada .....	72
Anexo 10: Análisis de variancia y prueba de Tukey para el contenido de proteína ....	73
Anexo 11: Análisis de correlación lineal entre el rendimiento y ABCPE .....	74
Anexo 12: Análisis de correlación lineal entre la altura transformada y ABCPE .....	74
Anexo 13: Análisis de correlación lineal entre el peso de mil granos y ABCPE .....	75
Anexo 14: Análisis de correlación lineal entre el la granulometría (mayor a 1.7 mm) y ABCPE.....	75
Anexo 15: Análisis de correlación lineal entre el contenido de proteína y ABCPE....	76

## RESUMEN

El mildiú, provocado por *Peronospora variabilis*, es la enfermedad más severa del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*). El presente trabajo estudió el comportamiento de cinco variedades de quinua a la infección natural de mildiú, en condiciones de campo en Lima, Perú. Los tratamientos consistieron en cinco variedades comerciales de quinua: Amarilla de Maranganí, Pasankalla, Negra Collana, Salcedo y Altiplano. Dichas variedades fueron sembradas en un Diseño de Bloques Completamente al Azar con cinco repeticiones. Las variables respuesta fueron: rendimiento, altura de planta, Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPDE), contenido de proteína, peso de mil granos y granulometría. Estas, fueron sometidas a un Análisis de Variancia y a una prueba de Tukey con 0.05 de significancia. Además, se halló el coeficiente de correlación de Pearson, entre el ABCPDE enfrentada al resto de variables. Los resultados indicaron diferencias significativas en todas las variables respuestas. La variedad Amarilla de Maranganí mostró la mejor producción y menor severidad de mildiú, con valores promedio de rendimiento de 2628.1 kg/ha, altura de 145.3 cm y peso de mil granos de 3,592 gramos y un valor de ABCPDE de 2364,1. Por el contrario, la variedad Altiplano resultó la menos productiva y la más susceptible, con valores de rendimiento de 649,2 kg/ha, altura de 83,6 cm y ABCPDE de 4771,6. Finalmente, las variables con mayor correlación con el ABCPDE fueron altura de planta, el rendimiento y el porcentaje de granos de más de 1,7 mm de diámetro.

Palabras clave: quinua, *Chenopodium quinoa*, variedades, mildiú, severidad, *Peronospora variabilis*, La Molina, Lima.

## ABSTRACT

Downy mildew, caused by *Peronospora variabilis*, is the most severe disease of quinoa (*Chenopodium quinoa*). The present work studied the behavior of five cultivars of quinoa to the natural infection of downy mildew, under field conditions in Lima, Perú. The treatments consisted of five commercial varieties of quinoa: Amarilla de Maranganí, Pasankalla, Negra Collana, Salcedo and Altiplano. These varieties were sown in a Completely Random Block Design with five replications. The response variables were: yield, plant height, Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC), protein content, weight of thousand grains and grain size. These were subjected to an Analysis of Variance and a Tukey test with 0.05 significance. On the other hand, the Pearson's correlation coefficient was found, between the AUDPC and the other variables. The results indicated significant differences in all the response variables. The Amarilla de Maranganí cultivar showed the best production and less severity of downy mildew, with average yield values of 2628.1 kg / ha, height of 145.3 cm and weight of one thousand grains of 3.592 grams and an ABCPDE value of 2364.1. On the contrary, the Altiplano cultivar was the least productive and the most susceptible, with yield values of 649.2 kg / ha, height of 83,6 cm and ABCPDE of 4771,6. Finally, the variables with the highest correlation with the ABCPDE were plant height, yield and the percentage of grains of more than 1.7 mm in diameter.

Keywords: quinoa, *Chenopodium quinoa*, cultivars, downy mildew, severity, *Peronospora variabilis*, La Molina, Lima.

## I. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un cultivo nativo del Perú que ha contribuido a la seguridad alimentaria de los pobladores de la región andina desde su domesticación hasta la actualidad. Sus propiedades nutritivas y alta adaptabilidad agronómica le confieren un alto potencial productivo para países en vía de desarrollo. En la última década se generó un importante aumento en la demanda nacional y mundial de este producto, incentivando su siembra en nuevas áreas y mejorando los precios para los productores.

Entre las mayores limitantes a los que se enfrentan los productores de quinua, en zonas en las que el cultivo es recién introducido, son los problemas fitosanitarios. El mildiú de la quinua, ocasionado por el oomyceto *Peronospora variabilis*, es la principal enfermedad en todas las zonas productoras del Perú y del mundo. La presencia de dicha enfermedad ha sido reportada fuera de la región andina, en países donde este cultivo fue introducido recientemente como Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, India y Egipto. Dada esta problemática, es importante aplicar estrategias de control del mildiú dentro del plan de manejo agronómico de la quinua. Entre los métodos de control de esta enfermedad, la resistencia es uno de los más eficaces y con menor impacto en el medio ambiente.

Es por ello, que esta investigación se realizó con el fin de estudiar el comportamiento frente al mildiú de cinco variedades de quinua, frecuentemente sembradas en el Perú. Se pretende así, valorizar la diversidad de quinua que posee el Perú y ser una herramienta en la toma de decisiones a la hora de producir quinua bajo condiciones de Lima. Por ende, los objetivos del presente trabajo se detallan a continuación:

### Objetivo principal

- Estudiar el comportamiento de cinco variedades comerciales de quinua frente al mildiú causado por *Peronospora variabilis* en condiciones de campo de La Molina.

### Objetivos específicos

- Evaluar la severidad de la infección de *P. variabilis* en condiciones de campo.

- Evaluar el rendimiento y calidad de granos de las variedades de quinua.
- Determinar en qué grado el rendimiento y calidad de producción son afectadas por el mildiú

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 La quinua

#### 2.1.1 Importancia

La quinua, desde su domesticación, ha ocupado un lugar importante en la dieta de los pobladores de la región andina y, durante la última década, se viene posicionando como un nuevo producto alimenticio en países como Estados Unidos, Alemania, Países Bajos, Bélgica, España entre otros (ver Tabla 1) (TradeMap), 2018). A lo largo de la historia, el consumo de este producto ha pasado por altos y bajos: desde ser un ingrediente habitual en la dieta de los pobladores de las culturas prehispánicas hasta sufrir el rechazo y prohibición de su consumo en la época de la Conquista. Sin embargo, el redescubrimiento de sus propiedades nutricionales y su flexibilidad agronómica pusieron los ojos del mundo sobre este grano nativo, produciendo el auge actual en su producción, consumo, comercio e investigación (Romero, 2017).

La quinua fue parte de la dieta de los pueblos prehispánicos en las tierras altas de la región andina, desde Colombia hasta Argentina y Chile. En el Perú, durante la época prehispánica, la quinua era cultivada a lo largo de toda la región Sierra. Culturas como la Huanca y Wari la cultivaron ampliamente, en las zonas del Callejón de Huaylas hasta el Valle del Mantaro y en Ayacucho, respectivamente (Bazile *et al.*, 2013).

En 1996, la quinua fue enlistada por la FAO como uno de los cultivos más prometedores de la humanidad, no solo por sus propiedades y diferentes usos, sino por ser una alternativa para resolver serios problemas en la nutrición humana (FAO, 2012). Más recientemente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) incluyó la quinua en la lista de cultivos candidatos para producir alimentos de calidad y contribuir con la seguridad alimentaria en varias regiones del mundo (FAO, 2012).

**Tabla 1: Estadísticas de los veinte países con mayor valor en importación de quinua a nivel mundial, durante el año 2018**

n°	País	Valor importando (miles de USD)	Cantidad importada (toneladas)	Porcentaje de cantidad importada (%)	Crecimiento anual entre 2014 y 2018 (%)
1	United States of America	111,239.0	58,281.0	12.4	2.0
2	Germany	99,555.0	332,615.0	11.1	-6.0
3	Netherlands	53,132.0	148,460.0	5.9	11.0
4	Belgium	42,403.0	71,607.0	4.7	0.0
5	Spain	41,329.0	115,971.0	4.6	-9.0
6	Japan	40,680.0	64,367.0	4.5	1.0
7	France	37,744.0	37,531.0	4.2	8.0
8	Canada	36,097.0	25,727.0	4.0	4.0
9	Italy	35,191.0	69,017.0	3.9	-8.0
10	Indonesia	27,331.0	72,527.0	3.0	16.0
11	United Kingdom	26,620.0	28,442.0	3.0	-6.0
12	Brazil	21,705.0	35,695.0	2.4	8.0
13	Mexico	18,117.0	32,414.0	2.0	-6.0
14	Nigeria	16,898.0	11,110.0	1.9	68.0
15	Poland	16,827.0	38,485.0	1.9	9.0
16	Austria	13,249.0	19,175.0	1.5	-9.0
17	Sweden	12,710.0	42,617.0	1.4	-36.0
18	Denmark	11,336.0	27,146.0	1.3	17.0
19	Korea, Republic of	10,390.0	16,186.0	1.2	-1.0
20	Israel	10,008.0	8,980.0	1.1	-5.0

Adaptado de Trade Map (2018).

El interés por incentivar el consumo de quinua se concretó con la declaración del año 2013 como “Año Internacional de la quinua” (o “International Year of Quinoa”, en inglés), mediado por una resolución emitida en diciembre del 2011 por la Asamblea General de las Naciones Unidas. Dicha propuesta fue emitida por el gobierno de Bolivia y secundada por varios países de la región andina, incluyendo Perú (FAO, 2012).

Una de las razones del reciente interés en la quinua es su alto valor nutricional. Este producto es considerado alimento superior respecto a otros granos debido a su contenido de proteínas, lípidos y minerales (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017). Por ello, se la recomienda para consumidores de alto riesgo como niños, ancianos, deportistas, intolerantes a la lactosa, personas con diabetes, osteoporosis, anemia, obesidad y celíacos (Navruz-Varli y Sanlier, 2016).

El contenido de proteína de las semillas de quinua oscila entre 13.1% y 16.7%, siendo 15% el promedio. (Navruz-Varli y Sanlier, 2016). Dichos valores son mayores al contenido proteico de otros granos como el arroz, trigo, maíz, centeno, y sorgo (ver Tabla 2).

**Tabla 2: Comparación del valor nutricional promedio de la quinua y otros granos (100 gramos comestibles)**

Composición	Unidades	Cultivos						
		Quinua	Arroz	Cebada	Trigo	Maíz	Centeno	Sorgo
Lípidos	Gramos	6.07	0.55	1.3	2.47	4.74	1.63	3.46
Proteínas	Gramos	14.12	6.81	9.91	13.68	9.42	10.34	10.62
Ceniza	Gramos	2.7	0.19	0.62	1.13	0.67	0.98	0.84
Fibra	Gramos	7	2.8	15.6	10.7	7.3	15.1	6.7
Carbohidratos	Gramos	64.16	81.68	77.72	71.13	74.26	75.86	72.09
Energía	kilocalorías	368	370	352	339	365	338	329

Adaptado de “Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)” de Navruz-S. Varli y N. Sanlier, 2016, *Journal of Cereal Science*, 69 (2016), p. 371-376. Copyright © 2016 Elsevier Ltd.; con datos de USDA (2015).

Sin embargo, su importancia nutricional reside en la composición de sus proteínas. La proteína de la quinua es considerada de alta calidad, debido a que contiene todos los aminoácidos esenciales y en proporciones similares al requerimiento nutricional de un adulto (Nowak *et al.* 2016, Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017). Al comparar los perfiles proteicos de la quinua con los valores de proteínas y aminoácidos recomendados en la dieta de un adulto, sugeridos por WHO/FAO/UNU (2007), se observa que la quinua posee valores iguales o mayores a los adecuados de la concentración de aminoácidos esenciales (ver Tabla 3) (Nowak *et al.*, 2016).

### 2.1.2 Descripción botánica

La quinua es una planta herbácea anual de amplia dispersión geográfica en la región andina. Presenta características peculiares en su morfología y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas. Como cultivo, muestra enorme variación y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales. Es por ello, que es cultivable desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m., desde zonas áridas hasta húmedas, de zonas templadas a cálidas y en condiciones de sequía, heladas y de alta salinidad de suelos (Mujica *et al.*, 2001).

**Tabla 3: Contenido de aminoácidos esenciales en proteína de quinua, arroz y maíz (gramos/100 gramos de proteína)**

Aminoácido	Quinua cruda	Arroz blanco	Maiz amarillo	Requerimientos de un adulto
Histidina	2.7	2.4	3	1.5
Isoleucina	3.1	4.3	3.6	3
Leucina	6	8.3	12.3	5.9
Lisina	4.8	3.6	2.8	4.5
Metionina	1.9	2.4	2.1	1.6
Cisteína	1.4	2	1.8	0.6
Fenilalanina + Tyrosina	6.3	8.7	9	3.8
Treonina	3.7	3.6	3.8	2.3
Triptófano	0.9	1.2	0.7	0.6
Valina	3.7	6.1	5.1	3.9

Adaptada de “Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)” de V. Nowak, J. Du, U. R. Charrondiére, 2016, *Food Chemistry*, 2015, p. 1-34. Copyright © 2015 Elsevier Ltd. Valores de “Requerimientos de un adulto” a partir de datos de WHO/FAO/UNU (2007).

El nombre científico de la quinua es *Chenopodium quinoa* Willd. y su posición taxonómica, según Integrated Taxonomic Information System (2011), es la siguiente:

- División: Tracheophyta
- Subdivisión: Spermatophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Superorden: Caryophyllanae
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Amaranthaceae
- Género: *Chenopodium* L.
- Especie: *Chenopodium quinoa* Willd.

### **2.1.3 Morfología**

#### Raíz

Es pivotante, profunda, bastante ramificada, pudiendo llegar a los 30 cm de profundidad y es la cual le confiere, posiblemente, resistencia a la sequía. A partir de unos pocos centímetros del cuello, comienza a ramificarse en raíces secundarias, terciarias, etc. (Gandarillas, 1979, Mujica *et al.* 2001).

## Tallo

Es cilíndrico a la altura del cuello y luego anguloso, a medida que se van formando las hojas alternas. El tamaño final varía mucho según la variedad: algunas van desde los 50 cm hasta los 2 m de alto. Asimismo, el color puede ser completamente verde, poseer pigmentación en las axilas, o ser completamente pigmentado (Gandarillas, 1979).

## Hojas

Las láminas es polimorfa en la misma planta, siendo las de las hojas inferiores de forma romboidal o triangular y las de las superiores lanceoladas (Gandarillas, 1979). Las hojas están cubiertas en ambas caras por cristales de oxalato de calcio, de colores rojo, púrpura o cristalino los cuales tienen la función de captar la humedad en la noche, controlar el exceso de evapotranspiración y disminuir la radiación directa evitando el sobrecalentamiento. La coloración de las hojas es variable según el ecotipo y variedad (Mujica *et al.*, 2001).

## Inflorescencia.

Es de tipo racimosa y por la disposición de las flores en el racimo se considera una panoja. A veces, está claramente diferenciada del resto de la planta, siendo terminal y sin ramificaciones. En otros genotipos, no existe una diferenciación clara debido a que el eje principal tiene ramificaciones que le dan una forma cónica peculiar. Puede ser laxa o compacta, dependiendo de la longitud de los ejes secundarios y pedicelos. Las primeras, tienen los ejes más largos que las segundas. Según el eje de donde nace el eje glomerular (es decir, en donde se agrupan las flores), la inflorescencia puede ser de tipo glomerulada (cuando se forman a partir de los ejes secundarios) o amarantiforme (cuando se forman directamente del eje principal) (Gandarillas, 1979). En la Figura 1 se pueden apreciar los tipos de inflorescencia anteriormente descritos:



**Figura 1: Tipos de inflorescencia de la quinua. Fuente: Gómez y Aguilar (2016)**

Inflorescencia amarantiforme (A), inflorescencia glomerulada (B), inflorescencia glomerulada laxa (C) e inflorescencia amarantiforme compacta (D). Reimpresión de “Guía del cultivo de la quinua” de L. R. Gómez y E. Aguilar, 2016, Segunda edición. Copyright © 2016 FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **2.1.4 Ecotipos y variedades**

A lo largo de años de selección, la quinua ha sido adaptada a cada medio ambiente de la región andina, con rasgos heredables adecuados para cada uno. Así, se pueden clasificar las accesiones y variedades de quinua según su ecotipo o grupo agroecológico. Existen cinco grupos: las quinuas de Yunga, Altiplano, Valles interandinos, Salares y de Nivel del mar (Tapia *et al.*, 1980 citados por Murphy *et al.*, 2018, Gómez-Pando y Aguilar, 2016). Los ecotipos de mayor importancia en el Perú, son los de Altiplano y Valles interandinos, los cuales se describirán a continuación.

Las quinuas de Altiplano son aquellas que han evolucionado en las planicies del altiplano peruano-boliviano, circundante al Lago Titicaca, en zonas comprendidas entre los 3600 y 4000 m.s.n.m. A este grupo pertenecen la mayoría de variedades tradicionales y comerciales. Se caracterizan por ser plantas sin ramificación, con una sola panoja principal altura de rango de 0.5 a 1.5 m y gran susceptibilidad al mildiú (Gómez-Pando y Aguilar, 2016).

Las quinuas de Valle son aquellas que han evolucionado en los valles de la región andina comprendidos entre los 2500 a 3000 m.s.n.m. Generalmente, son de porte alto, que pueden sobrepasar los 2.4 m, y ser ramificadas. Algunas variedades tienen resistencia, mayormente cuantitativa, al mildiú (Gómez-Pando y Aguilar, 2016).

## **2.2 El Mildiú de la quinua**

### **2.2.1 Taxonomía y Sistemática**

Los organismos causales de los mildiús se ubican dentro de la familia *Peronosporaceae*, dentro del reino Cromista. Son de hábito biótrofo y de rango de hospederos altamente específico, características que los distinguen de otros fitopatógenos como los de los géneros *Pythium* y *Phytophthora*, dentro de la misma familia (Thines & Choi, 2015). Son considerados como pseudohongos, así como el resto de oomycotas, por tener características morfológicas, fisiológicas y ecológicas muy similares a la de los hongos verdaderos (reino Fungi), pero con evidencia bioquímica, molecular y filogenética que confirma que se no están relacionados a ellos (Voglmayr, 2008).

Según Choi *et al.* (2010), el agente causal del mildiú de la quinua está identificado como *Peronospora variabilis* Gäum. Su posición taxonómica es la siguiente:

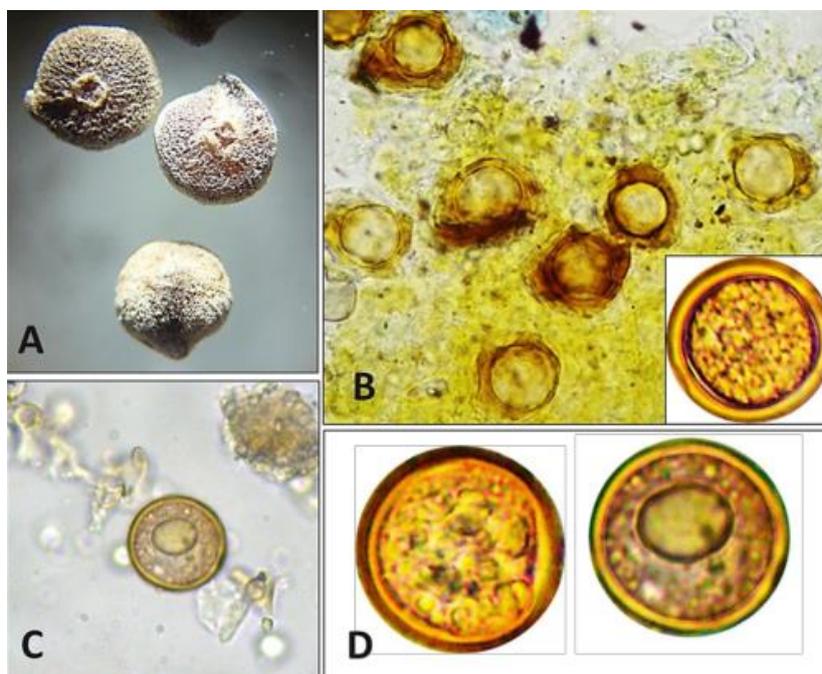
- Reino: Chromista
- Clase: Oomycota
- Orden: Peronosporales
- Familia: Peronosporaceae
- Género: *Peronospora*
- Especie: *Peronospora variabilis* Gäum.

Previo a su actual denominación, el mildiú de la quinua era identificado erróneamente como *Peronospora farinosa* f sp *chenopodii*, nombre que aún puede ser hallado en literatura sobre la enfermedad (Alandia, Otazú, & Salas, 1979; Solveig Danielsen & Ames, 2000; Solveig Danielsen, Bonifacio, & Ames, 2003). La especie *P. farinosa* fue hallada por primera vez infectando a una especie no identificada del género *Atriplex*, de la subfamilia Chenopodiaceae (Choi y Thines, 2014). Por su parte, Yerkes y Shaw (1959) propusieron denominar a todos los mildiús de las Chenopodiaceae como *P. farinosa* y distinguirlos en formas especiales (*formae speciales*) para cada rango específico de hospederos, según su concepto de “especie”. Es por ello que se consideró, por muchos años, el uso de los nombres *P. farinosa* f sp *betae* para el mildiú de la betarraga, *P. farinosa* f sp *spinaciae* para el mildiú de la espinaca y el de *P. farinosa* f sp *chenopodii* para la quinua (Choi y Thines, 2014). Finalmente, Choi *et al.* (2010), basándose en evidencia molecular y filogenética, determinaron que la especie que infecta al género *Atriplex* y a la quinua son diferentes e identificaron al agente causal del mildiú de la quinua como *P. variabilis* Gäum, organismo identificado por primera vez infectado a la maleza *Chenopodium album*. Paralelamente, Danielsen y Lübeck (2010), Testen *et al.* (2013) y Testen *et al.* (2016) confirmaron, mediante pruebas moleculares, la identidad de este oomyceto causante del mildiú de la quinua.

### **2.2.2 Ciclo de vida**

El ciclo de vida de *Peronospora variabilis* comienza con la germinación de las estructuras propagativas, los zoosporangios (también llamados esporangios), al caer sobre las hojas de quinua. Estos producen tubos germinativos, los cuales forman apresorios provistos de hifas que perforan la epidermis y, luego de un periodo de latencia, comienzan a crecer formando un micelio intercelular. De cinco a seis días desde la penetración, se inicia la producción de zooporangióforos, que se proyectan hacia la superficie inferior de la hoja (envés) a través de sus estomas. Finalmente, estos forman nuevos zoosporangios que se diseminan a través del viento, llegan a nuevas plantas e inician de nuevo el ciclo de la enfermedad. Cuando el tejido foliar se deteriora y ya no puede proporcionar al patógeno los nutrientes suficientes para su desarrollo, comienza la formación de estructuras de conservación, llamadas oosporas (ver Figura 2). Se forman por reproducción sexual, luego de la fecundación entre un anteridio y oogonio. Estas estructuras tienen alta capacidad de supervivencia dado que entran en estado de latencia. En presencia de un hospedante susceptible y suficiente humedad, las oosporas inactivas germinan e inician un nuevo ciclo de vida (Solveig Danielsen & Ames, 2000). *P.*

*variabilis* es un patógeno heterotálico, es decir, necesita de la presencia de ambos talos para poder reproducirse sexualmente (Danielsen, 2001).



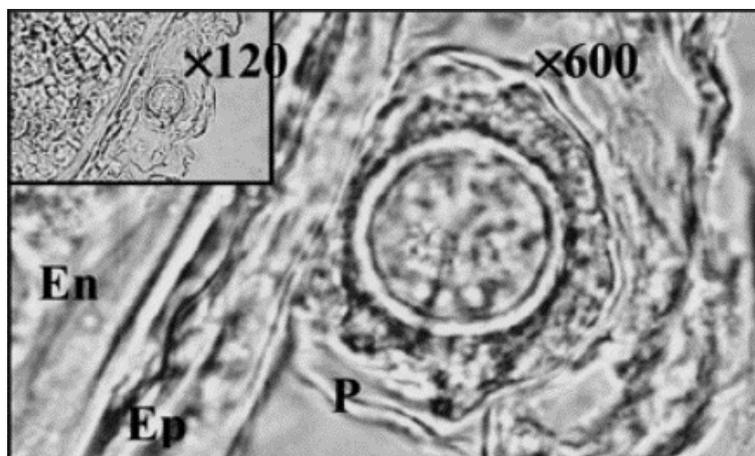
**Figura 2: Vista al microscopio de granos de quinua y oosporas. Fuente: Risco (2014)**

Grano comercial (100X) (A), Oosporas sobre hojas de quinua a 400X (B), oosporas provenientes del pericarpio (C y D). Reimpreso de Risco (2014). Reimpreso de “Severidad de *Peronospora variabilis* Gäum. en *Chenopodium quinoa* Willd. "Pasankalla" como respuesta a aplicaciones de fungicidas sistémicos y bioestimulantes” de A. Risco, 2014, Tesis para optar el grado de Scientiae, Universidad Nacional Agraria La Molina.

### 2.2.3 Epidemiología

La infección primaria se da como un foco en el campo, y la enfermedad se generaliza a partir de este durante el periodo de cultivo por medio de las estructuras propagativas del patógeno (zoosporangios). Estas, se desplazan por acción del viento e inician nuevos procesos de infección (infecciones secundarias). El inóculo primario pueden ser zoosporangios transportados por el viento a partir de campos vecinos u oosporas (ver Figura 3) (Danielsen y Ames, 2000). El rol de estas últimas en la epidemiología del mildiú de la quinua ha sido poco estudiado. Sin embargo, se ha comprobado que las oosporas se forman bajo condiciones de costa y sierra en el Perú, y que pueden estar presentes en las hojas, en la cubierta y perigonio de las semillas (Danielsen, 2001; Danielsen *et al.*, 2003; Risco, 2014; Testen *et al.*, 2016; Zárate, 2017). Además, se comprobado su capacidad de infectar plantas

recién germinadas (Danielsen *et al.*, 2004). El mildiú de la quinua es capaz de producir varios ciclos de vida lo largo de una sola campaña del cultivo, por lo que se considera una enfermedad policíclica (Danielsen y Ames, 2000).



**Figura 3: Oospora de *Peronospora variabilis* en el pericarpio de una semilla de quinua** Endosperma (En), episperma (Ep), pericarpio (P). Reimpreso de “Seed transmission of downy mildew (*Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii*) in quinoa and effect of relative humidity on seedling infection” de S. Danielsen, V. H. Mercado, T. Ames, L. Munk, 2004, *Seed Science and Technology*, 32 (1), 91-98.

En cuanto a las condiciones ambientales, el mildiú de la quinua necesita de temperaturas frescas y humedad relativa alta (mayor a 80%) para que se disemine y desarrolle. La presencia y persistencia del rocío al amanecer permite que los zoosporangios germinen y penetren el tejido de la hoja (Solveig Danielsen & Ames, 2000). Danielsen *et al.* (2004) observaron que semillas de quinua infectadas con oosporas incubadas a alta humedad relativa, presentaron mayor porcentaje de infección al germinar, con respecto a las semillas a humedad ambiental. Aun así, *Peronospora variabilis* tiene una alta capacidad de adaptación, inclusive a ambientes de condiciones extremas como el altiplano, con baja humedad ambiental y temperaturas de entre 6 a 10°C (Alandia *et al.*, 1979). Danielsen y Munk (2004) reportaron que la enfermedad se dio tanto en condiciones de costa peruana (Lima) así como en sierra (Huancayo), pero las condiciones ambientales durante la época del cultivo (temperaturas bajas, alta humedad relativa y precipitación) favorecieron la severidad de infección en sierra.

Los hospederos alternativos juegan un rol secundario en la epidemiología de *Peronospora variabilis*, ya que es un organismo de parasitismo altamente específico. La única maleza

reportada hasta el momento, capaz de infectarse por el mildiú de la quinua y ser fuente de inóculo es *Chenopodium album* (Aragón, 1991, Danielsen *et al.*, 2002).

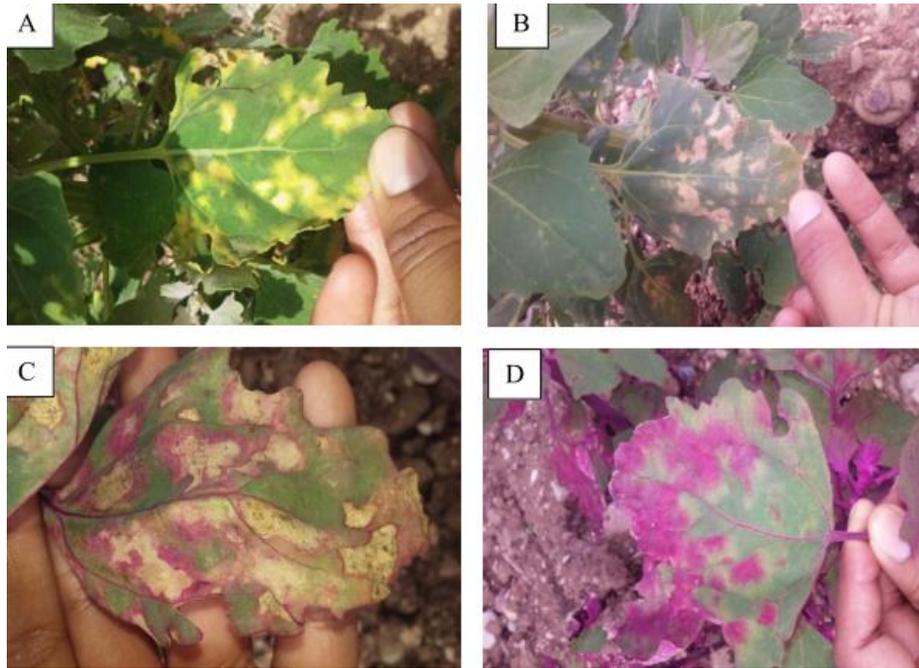
#### **2.2.4 Sintomatología**

El mildiú es una enfermedad que afecta a las hojas de las plantas, provocando la reducción su área fotosintética y, consecuentemente, afectando negativamente su desarrollo y productividad. En la quinua, el rendimiento de grano puede disminuir de 10 a 30%, pero en ataques severos y en fases críticas de la planta se puede llegar a la pérdida total de la cosecha (Bonifacio, 2001).

La enfermedad inicia como puntos cloróticos visibles desde la cara superior. Estos crecen hasta formar áreas cloróticas grandes e irregulares que posteriormente terminan en necrosis. Simultáneamente, el envés de la hoja se cubre de una esporulación grisácea que corresponde a los zoosporangioforos y zooporangios del patógeno. El color de las manchas pueden variar según el cultivar de quinua, pudiendo ser rojiza o marrón dependiendo del pigmento que predomina en las hojas de dicho cultivar (Danielsen y Ames, 2000) (ver Figura 4). También, es frecuente la distorsión de los tejidos atacados, en cuyo caso muestran depresiones pronunciadas o ampollas pálidas o coloreadas (Alandia *et al.*, 1979). Otro síntoma es la defoliación de la planta, en mayor grado a más temprana la infección (Danielsen y Ames, 2000). Las infecciones primarias a partir de oosporas se presentan en las plántulas recién germinadas, con abundante esporulación grisácea en el envés, y en algunos casos, en el haz de los cotiledones (S. Danielsen *et al.*, 2004).

#### **2.3 Antecedentes**

El mildiú de la quinua como objeto de estudio, es un tema relativamente nuevo. Gran parte de los trabajos de campo acerca de esta enfermedad se han enfocado en la búsqueda de accesiones con resistencia (Bonifacio *et al.*, 2001, Kitz *et al.*, 2009, Gabriel *et al.*, 2013, Vargas *et al.*, 2013, Kumar *et al.*, 2006, Zárate, 2017).



**Figura 4: Manchas cloróticas producidas por *Peronospora variabilis*. Fuente: Zárate (2017).**

A, B, C, D: Manchas de diferentes colores producidas en varias accesiones de quinua. Reimpreso de “R espuesta de 100 accesiones de quinua a la infección natural de mildiú (*Peronospora variabilis* Gäum) en el valle del Mantaro” de M. Zárate, 2017, Tesis para optar el grado de Ing. Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina.

En el Perú, existen estudios en los que se evalúan variedades comerciales (Danielsen y Munk, 2004, Risco, 2014, Sangster, 2018). Destaca el trabajo de Solveig Danielsen, en colaboración con Teresa Ames y el Centro Internacional de la Papa (CIP), una de las guías más completas de esta enfermedad: “El mildiú de la quinua en la zona andina” (Danielsen & Ames, 2000) además de otros estudios acerca de la biología de *P. variabilis* (Danielsen *et al.*, 2000, Danielsen, 2001, Danielsen *et al.*, 2002, 2004, Danielsen *et al.*, 2003, Danielsen & Lübeck, 2010, Choi *et al.*, 2010).

La mayoría de los trabajos citados se basan en el análisis de variables cuantitativas. En adición, los estudios de Bonifacio *et al.* (2001) y Rollano (2019) describen el comportamiento específico de cada variedad frente a la infección del mildiú. Este último, destaca por detallar la progresión de síntomas del mildiú en cada variedad y estudiar la expresión genética de defensa de la planta, identificado una posible ruta metabólica que intervendría en la mayor tolerancia de la variedad en estudio.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Ubicación

El trabajo experimental fue realizado en un terreno de cultivo del Departamento de Fitopatología, de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

#### 3.2 Material biológico

El material biológico fue semillas de quinua y el inóculo, correspondiente al pseudohongo *Peronospora variabilis*, fue de origen natural.

Previo a la siembra de las variedades a probar, con el fin de promover la cantidad y uniformidad de inóculo natural en el campo, se sembraron dos hileras de quinua de la variedad INIA Salcedo, a manera de cerco vivo. Cada una se ubicó a un lado del área central donde se instalaron las unidades experimentales (ver Figura 5). Se seleccionó dicha variedad debido a las observaciones previas de su alta susceptibilidad al mildiú, en condiciones de la Molina.



**Figura 5: Campo experimental con cerco vivo (hileras laterales)**

En la tabla 4 se muestra el origen de las semillas de las variedades usadas para el presente trabajo que fueron adquiridas de las Estaciones Experimentales Agrarias (EEA) del Instituto de Innovación Agraria (INIA).

**Tabla 4: Datos del material genético usado**

<b>Variedad</b>	<b>EEA de producción</b>	<b>Lugar</b>	<b>Categoría de semilla</b>
Amarilla de Maranganí	EEA Andenes	Cusco	Autorizada
Altiplano	EEA Illpa	Puno	Autorizada
INIA Salcedo	EEA Illpa	Puno	Autorizada
Negra Collana	EEA Illpa	Puno	Autorizada
Pasankalla	EEA Illpa	Puno	Autorizada

Las características varietales de cada una de ellas se detallan a continuación:

#### Variedad Altiplano

Pertenece al ecotipo de Altiplano (Gómez-Pando *et al.*, 2013). Corresponde a una crucea recíproca de la variedad Illpa INIA x Salcedo INIA liberada en Puno. Está adaptada a la zona agroecológica Suni y a Costa. Su periodo vegetativo es de 150 días para el altiplano y de 120 días para la costa (Apaza *et al.*, 2013).

#### Variedad INIA 415 - Pasankalla

Es una quinua de ecotipo de Altiplano (Gómez-Pando *et al.*, 2013), colectada y mejorada en Puno a través del método de selección panoja/surco. Está adaptada a la zona agroecológica Suni del altiplano entre los 3800 y 3900, valles interandinos y costa (Apaza *et al.*, 2013). Es de periodo vegetativo precoz (140 días), pericarpio de color plomo, epispermo castaño-rojo (Gómez y Aguilar, 2016).

### Variedad Amarilla de Maranganí

Es una quinua de ecotipo de Valle (Gómez-Pando *et al.*, 2013), desarrollada a través de selección masal, obtenida y liberada en Cusco, recomendada para valles interandinos (Apaza *et al.*, 2013). Es de periodo vegetativo tardío (180 a 210 días), planta erecta y poco ramificada. Es de grano grande y de color anaranjado (2.5 mm) y resistente al mildiú (Gómez y Aguilar, 2016).

### Variedad INIA Salcedo

Es una quinua de ecotipo de Altiplano (Gómez-Pando *et al.*, 2013), obtenida a partir de una selección del material segregante de la cruce de las variedades Real Boliviana x Sajama a través del método masal genealógico, realizado en Puno. Está adaptada a la zona agroecológica circunlacustre y Suni, valles interandinos y costa (Apaza *et al.*, 2013). Es de periodo vegetativo precoz (160 días), grano grande (1.8 a 2 mm de diámetro) y tolerante al mildiú (Gómez y Aguilar, 2016).

### Variedad INIA 420 - Negra Collana

Pertenece al ecotipo de Altiplano (Gómez-Pando *et al.*, 2013). Es un compuesto de 13 accesiones colectadas en Puno. Se adapta a la zona agroecológica Suni, valles interandino y costa. Su periodo vegetativo es de 138 días para el altiplano y de 115 días para valles interandinos (Apaza *et al.*, 2013).

## **3.3 Campo experimental y manejo del cultivo**

El ensayo se llevó a cabo en un terreno ubicado en el campus de la Universidad Nacional Agraria, de 400 m<sup>2</sup> y con sistema de riego por goteo instalado con cintas ubicadas en doble hilera. Se realizaron las labores propias del cultivo tal como si se tratase de una plantación con fines comerciales, con la diferencia que no se controló la infección del mildiú. Las plantas del cerco vivo se regaron mediante una sola cinta.

### **3.3.1 Preparación del terreno**

Se pasó una grada de discos para remover los restos del cultivo anterior y las malezas. A continuación, se pasó un arado de discos. Finalmente, se hizo una segunda pasada de la grada de discos para que el suelo quede bien mullido.

### **3.3.2 Siembra**

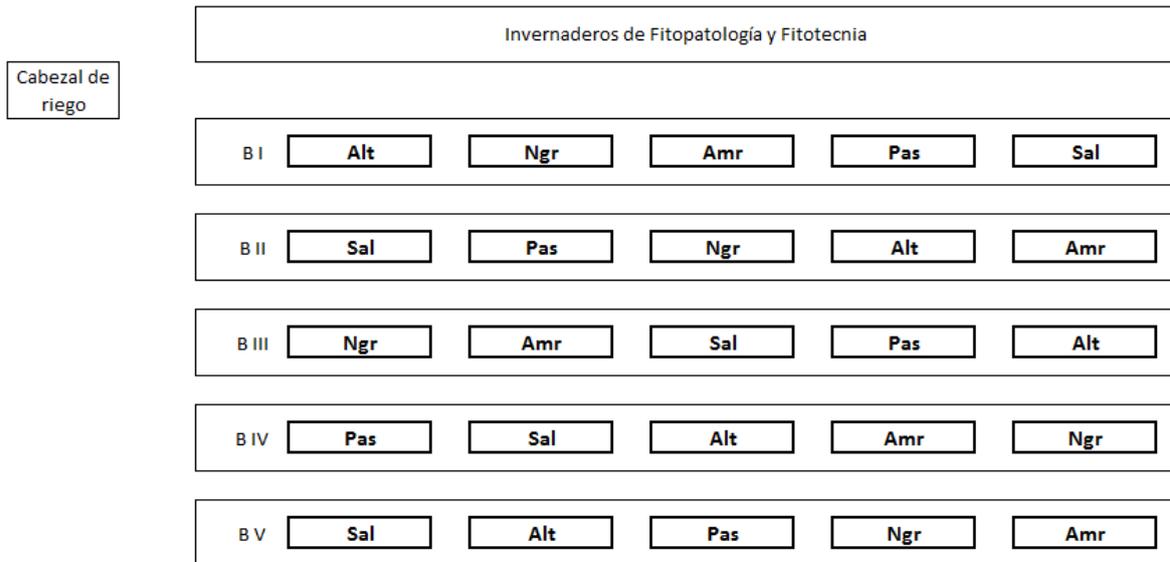
El cerco vivo se sembró 25 días antes de la siembra de las plantas del experimento. La siembra de las variedades, a doble hilera, se realizó el 25 de julio del 2018, fue a chorro continuo y a alta densidad, usando 300g de semilla de cada variedad para el total de repeticiones del experimento. Parte de las plantas recién germinadas fueron afectadas por chupadera, por gusanos cortadores (*Agrotis* sp.) y aves. A los 6 DDS (días después de la siembra) se realizó una resiembra en las áreas sin plantas.

#### **3.3.2.1 Diseño experimental y distribución de los tratamientos.**

El ensayo se dispuso en un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con cinco tratamientos, que corresponden a cada una de las variedades, y cinco repeticiones. Cada unidad experimental (o parcela) estuvo constituida por las plantas sembradas de la misma variedad a chorro continuo y a doble hilera en ocho metros a lo largo de un par de cintas de riego. Las características de la unidad experimental se detallan a continuación:

- Número de hileras de plantas: 2
- Largo de hileras: 8 m
- Distanciamiento entre hileras: 45 cm
- Distanciamiento entre parcelas del mismo bloque: 1 m
- Distanciamiento entre parcelas laterales: 1 m
- Número de plantas por metro lineal: 40

Cada bloque estuvo constituido por cinco parcelas distribuidas al azar longitudinalmente (Figura 6).



**Figura 6: Plano del campo experimental y distribución de los tratamientos según bloque**

Alt: Altiplano; Ngr: Negra Collana; Amr: Amarilla de Maranganí; Pas: Pasankalla; Sal: Salcedo; B: Bloque.

### 3.3.3 Riego y fertilización

Se usó el sistema de riego instalado en el campo, que constó de cintas de polietileno con emisores distanciados a 20 cm. La frecuencia y duración de riego se determinó realizando observaciones en el campo y mediante el tacto del suelo cercano a las plantas, teniendo en cuentas las condiciones climáticas. El primer riego (riego de enseño), inmediatamente luego de la siembra, duró tres horas. Durante los primeros meses del experimento se aplicaron riegos de 15 a 25 minutos de duración cada dos días. La duración de riegos se fue aumentando progresivamente hasta llegar a los 45 minutos, en los meses de mayor temperatura y mayor radiación.

El plan de fertilización se muestra en la Tabla 5. Se inyectó el fertilizante mediante un tubo Venturi en el cabezal de riego. Los productos usados fueron nitrato de amonio, 20-20-20, ácido fosfórico y nitrato de potasio. Se fraccionó la dosis semanal en dos mitades, las cuales fueron aplicadas dos veces por semana, durante el riego.

**Tabla 5: Plan de fertilización usado en el experimento**

		Unidades (kg/ha)			Porcentaje (%)		
		N	P	K	N	P	K
TOTAL		149	129	136	100	100	100
SEMANA	Días						
1	7	0	0	0	0	0	0
2	14	0	0	0	0	0	0
3	21	8	3	3	5	2	2
4	28	19	16	3	13	12	2
5	35	19	19	3	13	15	2
6	42	19	19	3	13	15	2
7	49	23	19	3	15	15	2
8	56	16	19	13	10	15	10
9	63	13	18	13	9	14	10
10	70	6	16	19	4	12	14
11	77	6		19	4		14
12	84	6		19	4		14
13	91	6		19	4		14
14	98	6		19	4		14
15	105						

### 3.3.4 Aplicaciones fitosanitarias

Con el fin de evitar la defoliación completa de las plantas en estadios prematuros, se realizaron aplicaciones contra el mildiú antes de comenzar con las evaluaciones. Se aplicó el cerco vivo con Ridomil (Metalaxil + Mancozeb) a una dosis de 1 g/l, a los 34 y 41 días luego de su siembra. Luego, se aplicó Fitoklin (Metalaxil) a una dosis 1 g/L, a los 51 DDS. Las variedades evaluadas fueron aplicadas con Fitoklin, a los 26 días de su siembra.

Para el control de plagas, se realizaron aplicaciones de Fiprokill (Fipronil), Midaprid (Imidaclopid), Lannate (Methomyl) según la presencia gusanos comedores de hojas y grano (*Spodoptera* sp, *Eurysacca* sp, *Chloridea* sp.), áfidos y chinches.

### 3.3.5 Deshierbo y desahije

Se hicieron dos deshierbos durante la campaña: el primero a los 43 DDS y el segundo a los 78 DDS. El desahije se realizó a los 30 DDS. Se removieron las plantas menos vigorosas, dejando 40 plantas por metro lineal en todas las variedades.

### **3.3.6 Marcado de plantas**

A los 41 DDS, en cada unidad experimental, se seleccionaron al azar 20 plantas (10 en cada una de las dos hileras) distribuidas uniformemente y dejando por lo menos 5 plantas desde los bordes. Las plantas seleccionadas fueron marcadas y numeradas para las evaluaciones posteriores.

### **3.3.7 Aporque y entutorado**

El aporque fue manual y se llevó a cabo a los 50 DDS. La variedad Amarilla de Maranganí fue aporcada por segunda vez a los 71 DDS, debido a que comenzó a acamarse. Aun así, se colocaron tutores en las variedades Amarilla de Maranganí y Pasankalla (ver Figura 7).



**Figura 7: Campo experimental luego del primer aporque**

### **3.3.8 Cosecha y trilla**

La cosecha se realizó cuando la mayoría de plantas alcanzaron la madurez fisiológica. Dicho estadio se reconoció por la condición del grano que era “rayable a la uña”, lo cual indica que la humedad del grano disminuyó hasta por lo menos 20%, y la presencia de un alto porcentaje de plantas secas. Dado que las variedades sembradas difieren en su periodo vegetativo, la cosecha se hizo en dos momentos. En la primera, a los 123 DDS, se cosecharon las variedades Salcedo, Pasankalla y Altiplano. En la segunda, a los 148 DDS, se cosecharon las variedades Amarilla de Maranganí y Negra Collana. Las plantas se cortaron con tijeras de podar desde la base de la panoja principal y laterales, y fueron

colocadas sobre tela de polietileno y puestas a secar, a temperatura ambiente, dentro de un tinglado durante dos semanas (Figura 8). Luego, fueron trilladas usando una trilladora estacionaria, pasadas por una zaranda y venteadas usando una venteadora mecánica (Figura 9).



**Figura 8: Secado de quinua dentro del tinglado**



**Figura 9: Trillado en el Programa de Cereales y Granos Nativos, UNALM**

### **3.3.9 Condiciones meteorológicas**

Se tomaron los datos de la Estación Meteorológica Von Humboldt (OVH) ubicado en La Molina a través de la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

### 3.4 Variables de evaluación de la enfermedad: Severidad

Se evaluó la severidad de la infección de las plantas marcadas de acuerdo al método de Risco (2014) modificado. Este consistió en determinar el porcentaje de la planta afectada por estimación visual, empleando valores enteros que van entre el 0 y 100, en donde 0 % representa a una planta sin infección alguna y 100 % a una sin área foliar sana, completamente defoliada o muerta a consecuencia del mildiú. Se usaron valores en un intervalo de 5 en 5 (0 %, 5 %, 10 %, 15 %, etc.). Las evaluaciones se realizaron cada 4 a 6 días, hasta la cosecha.

Con los datos de evaluaciones de severidad, se elaboró la curva del progreso de la enfermedad de cada variedad y se calculó el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE), tal como lo explican Campell y Madden (1990) citados por Danielsen y Munk (2004), usando la siguiente formula:

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} (t_{i+1} - t_i)$$

donde “n” es el número de evaluaciones, “y” es la severidad y “t” el número de días después de la siembra. Se consideró punto de inicio (t, y) = (0, 0).

### 3.5 Variables agronómicas

#### 3.5.1 Rendimiento

Se pesaron el total de granos producidos por cada unidad experimental luego del proceso de trilla. Se expresó en gramos.

#### 3.5.2 Altura de planta

Se midieron las plantas marcadas con una cinta métrica, desde la base de la planta hasta la punta de la panoja principal, un día antes que fueran cosechadas.

### 3.6 Variables de calidad

Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM. Se tomaron muestras de cada unidad experimental de 30 gramos a las cuales se

retiraron los pericarpios excedentes y se pasaron por un tamiz de 1.18mm de apertura para remover las impurezas y granos vanos. A estas muestras se le hicieron los análisis que se explican a continuación.

### **3.6.1 Peso de mil granos**

Se tomaron al azar mil granos de cada muestra (contándolos visualmente) y se pesaron con una balanza electrónica Mettler Toledo. Los datos se expresaron en gramos.

### **3.6.2 Granulometría**

Se pesaron 10 g de cada muestra y se separaron por calibres de grano usando zarandas vibratorias durante 3 minutos, con diámetros de apertura de 2 mm, 1.7 mm y 1.4 mm de apertura. Luego, se pesaron los granos que lograron pasar cada una de las zarandas y se pesaron para calcular el porcentaje de cada calibre. Los datos se expresaron en porcentaje de peso de granos mayores a 1.7 mm, de entre 1.7 y 1.4 mm y menores a 1.4 mm.

### **3.6.3 Contenido de proteína**

Se midió el porcentaje de proteína presente en los granos usando el equipo Infratec 1241 Grain Analyser. Los datos se expresaron en porcentaje de peso

## **3.7 Análisis de datos**

Se verificó la normalidad de los datos de rendimiento, altura de planta, contenido de proteína, granulometría, peso de mil granos y ABCPE, mediante el test de Shapiro-Wilk. Se realizaron las transformaciones de datos correspondientes, en el caso de las variables que no cumplieron la condición de normalidad, tal como indica Michereff (2018).

Se realizó un análisis de variancia (ANVA) y se compararon las medias mediante la prueba de Tukey con 0.05% de significancia. Además, se realizó una prueba de regresión lineal enfrentando los datos de ABCPE, como variable independiente, con las demás variables, para determinar si existía correlación entre la enfermedad y las variables de producción y calidad. Todos los análisis fueron realizados usando el programa estadístico “Statistix v9”.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4. 1 Sintomatología**

A lo largo de este ensayo, se observaron diferencias en la sintomatología del mildiú entre las variedades, además de las diferencias en el hábito de crecimiento y morfología característicos de cada variedad.

Las plantas de las variedades INIA Salcedo, Altiplano y Negra Collana fueron difíciles de distinguir, debido a que presentaron características morfológicas muy similares: ausencia de pigmentación en sus hojas, tallos e inflorescencias, altura de planta, tamaño de hojas y largo de entrenudos. En cuanto a su reacción al mildiú, también expresaron síntomas similares, pero en diferentes intensidades (esto se detallará en la siguiente sección: 4.4 Severidad). Las manchas cloróticas ocasionadas por el mildiú fueron de color amarillo, de aspecto difuso (al inicio) y de rápido desarrollo, con esporulación grisácea abundante en el envés y a lo largo de toda la mancha. Las áreas necróticas aparecían una vez que la mancha se había extendido por la mayoría de la hoja (ver Figura 10). Las hojas se desprendían una vez estaban completamente necróticas o podían secarse completamente sin desprenderse (ver Figura 11). Una característica particular de la variedad Negra Collana es que formaba nuevas hojas y ramas una vez alcanzaba niveles altos de defoliación, partiendo desde la base, las cuales se infectaban rápidamente (ver Figura 12). Por el contrario, las variedades Altiplano e INIA Salcedo se defoliaban completamente sin brotar nuevas hojas y además muchas de las plantas murieron (ver Figura 13).



**Figura 10: Manchas provocadas por el mildiú en la misma hoja de la variedad Negra Collana**

Izquierda: haz de la hoja. Derecha: envés de la hoja. Similares síntomas fueron observados en las variedades Altiplano e INIA Salcedo.



**Figura 11: Hojas de la variedad Salcedo infectadas por mildiú**

Nótese que muchas de ellas no se desprenden al alcanzar niveles altos de infección.



**Figura 12: Quinoa de la variedad Negra Collana**

Se observa el brotamiento de nuevas ramas desde la base, luego que se defoliaran por el mildiú.



**Figura 13: Quinoa de la variedad Altiplano severamente defoliada por el mildiú**

La variedad Pasankalla se diferenció por presentar pigmentación rojiza en los peciolo y tallos, dicho color también se presentó en las manchas provocadas por el mildiú. Además, en las condiciones de este experimento, presentó mayor altura en su crecimiento respecto a

las variedades previamente descritas, con entrenudos más distanciados, e inflorescencias más abiertas, dando la impresión de poseer menor cantidad de follaje que las demás variedades. A pesar de ello, fue notorio que la enfermedad se desarrolló mucho más lentamente que en el resto de variedades ya mencionadas, pues las manchas de mildiú eran más pequeñas y su esporulación fue menos profusa (ver Figura 14). Las manchas necróticas se formaban rápidamente en medio de las manchas cloróticas. Las hojas infectadas solían desprenderse con mucha facilidad sin que la mancha clorótica haya abarcado la totalidad de la hoja (ver Figura 15). Fue una de las variedades que mostró menor severidad, debido al poco desarrollo de la clorosis en las hojas, como ya se explicó.



**Figura 14: Manchas cloróticas provocadas por mildiú en hojas de la variedad Pasankalla**

Izquierda: Hoja infectada a los 50 DDS. Derecha: Hoja a los 77 DDS.



**Figura 15: Defoliación prematura en la variedad Pasankalla**

La variedad Amarilla de Maranganí mostró el mayor desarrollo vegetativo entre todas las variedades. Las plantas tenían las hojas notoriamente más grandes que el resto, se ramificaron, alcanzaron mayor altura y fueron las únicas en formar inflorescencias laterales. Las manchas provocadas por el mildiú fueron similares a las de la variedad Pasankalla, de contorno definido, de desarrollo lento y con poca esporulación, pero con una pigmentación anaranjada (Figura 16). Por otro lado, las hojas infectadas permanecían en la planta, de manera similar a las variedades Altiplano, INIA Salcedo y Negra Collana.



**Figura 16: Manchas provocadas por el mildiú en una hoja de la variedad Amarilla de Maranganí**

#### **4.2 Desarrollo de la epidemia**

El inicio de la infección se observó en el cerco de quinua INIA Salcedo (ver Capítulo III. Metodología) a los 30 días de su siembra (5 DDS de los tratamientos), formando un foco pequeño de plantas infectadas que probablemente inició días antes a su detección (Figura 17).

Dada la precocidad de los primeros síntomas y que las plantas del ensayo se encontraban en un estadio de desarrollo muy temprano, se tuvo que aplicar Ridomil (1g/l) para evitar que las plantas recién germinadas mueran a causa de ella (ver Aplicaciones fitosanitarias 3.2.4). A los 16 DDS de los tratamientos, se observó que todas las parcelas experimentales tenían plantas con esporulación en los cotiledones y/u hojas (ver Figura 18), por lo que se aplicó Fitoklin (1g/l) para un mejor control (ver Aplicaciones fitosanitarias 5.2.4).



**Figura 17: Cerco vivo con manchas cloróticas provocadas por el mildiú**



**Figura 18: Infección de mildiú de cotiledones**

Esporulación gris (signo del mildiú) en las plantas recién germinadas.

La aplicación fue efectiva y retardó el progreso de la enfermedad, permitiendo que las plantas crezcan hasta dar inicio del programa de evaluación. A los 39 DDS se observaron plantas con síntomas de mildiú en varias de las unidades experimentales por lo que la primera evaluación se realizó a los 45 días DDS. En dicha fecha, el 100 % de plantas presentaban infección en al menos una de sus hojas (en menor o mayor grado).

### 4.3 Condiciones meteorológicas

En la Tabla 6, Figuras 19 y 20 se muestran los datos meteorológicos en los que se desarrolló el experimento. A su vez, se indican las fechas de las actividades y observaciones importantes, mediante flechas las cuales también se indican en la sección 6.2 Desarrollo de la epidemia. Dichas variables son similares a los de otros trabajos, realizados en condiciones de Costa Central entre los años 2011 y 2016, en los que hubo incidencia de mildiú (Mendoza, 2013, Risco, 2014, Quispe, 2015, Deza, 2018, Yactayo, 2018, Alvarez, 2019). En el Anexo 1 se muestran los valores diarios.

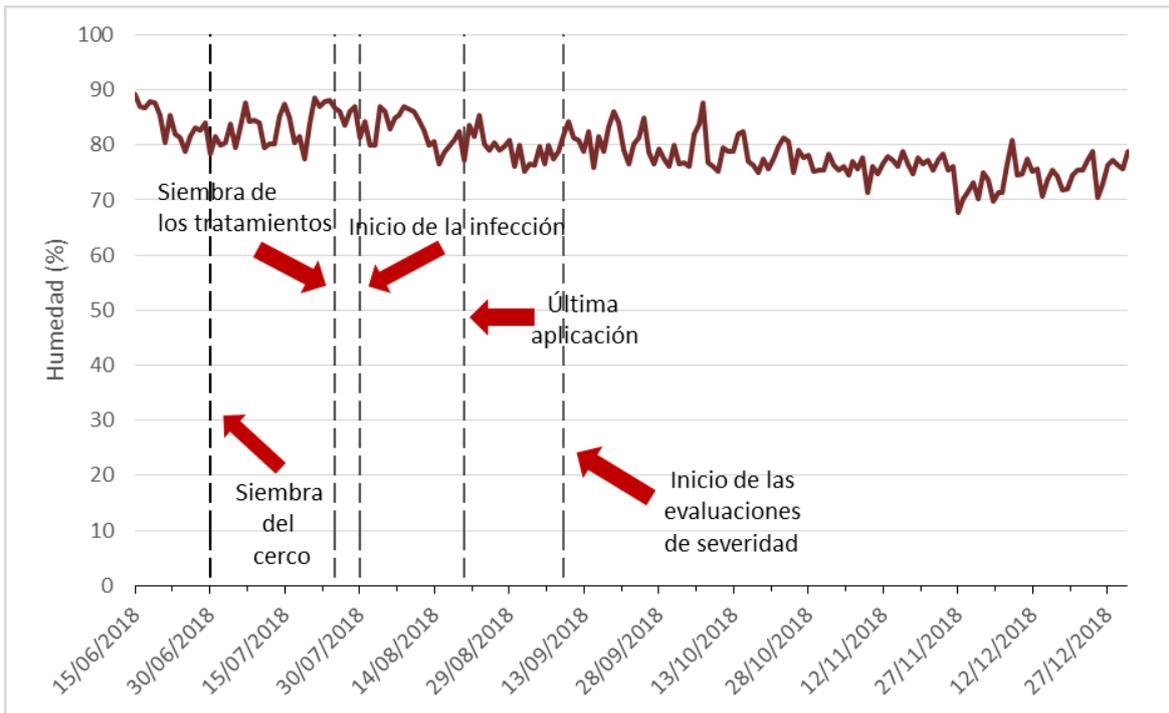
**Tabla 6: Promedios mensuales de datos meteorológicos de La Molina, Lima**

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa promedio (%)	Lluvia (mm)
Junio	16.2	27.9	14.1	84.6	0.20
Julio	16.2	27.9	14.3	83.7	0.25
Agosto	15.9	27.9	13.7	81.7	0.07
Septiembre	16.7	27.9	13.8	79.7	0.04
Octubre	17.8	28.0	15.0	78.4	0.63
Noviembre	19.2	27.9	15.6	75.6	0.02
Diciembre	21.0	27.5	17.1	74.6	0.01
<b>Promedio general</b>	17.6	27.9	14.8	79.8	0.2

Elaborado con datos de la Estación Meteorológica von Humboldt (OVH).



**Figura 19: Curva de temperatura promedio diaria en grados centígrados (°C) de la Estación OVH**



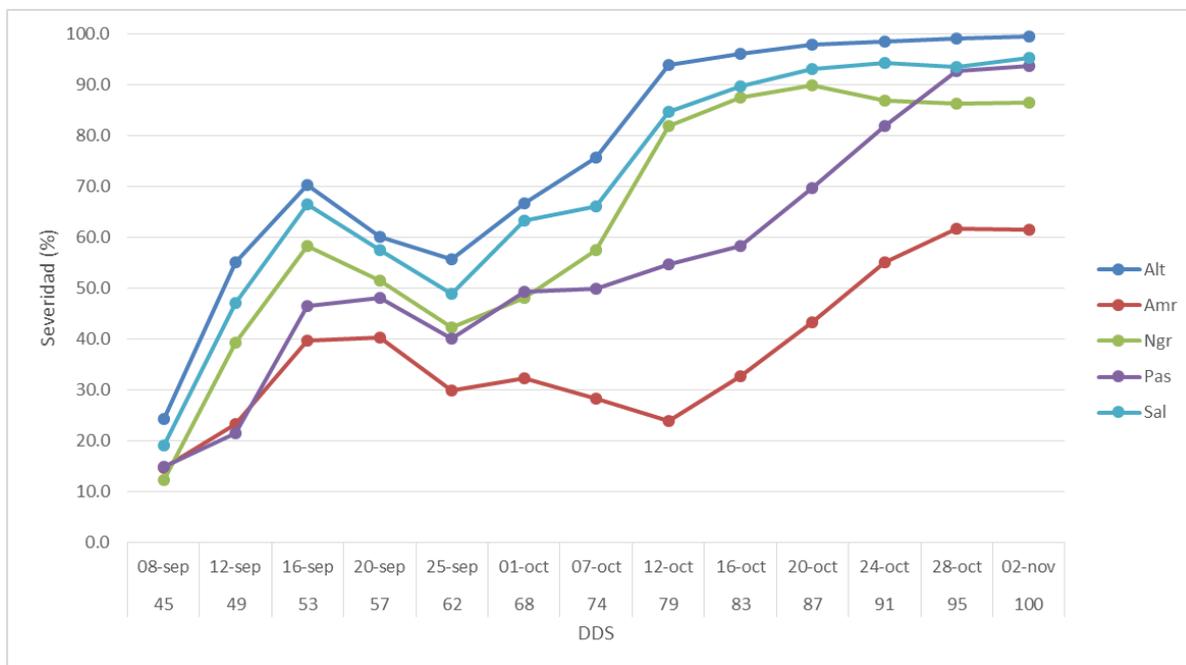
**Figura 20: Curva de variación de la humedad relativa promedio diaria en porcentaje de la Estación OVH**

#### 4.4 Severidad

Las curvas de progreso de la enfermedad de cada variedad muestran un patrón de desarrollo similar, es decir, todas las variedades presentan ascensos y descensos de severidad de manera similar pero en diferentes porcentajes (Figura 21). Esto indicaría que la enfermedad se desarrolló a diferentes velocidades en cada variedad.

En el gráfico se observa una disminución en la severidad en todas las variedades entre los días 57 y 62 DDS (que correspondería a la cuarta y quinta evaluación). Durante esta etapa, las plantas se encontraban en pleno estadio de ramificación, en el cual la formación de nuevas hojas y crecimiento vegetativo fueron rápidos. Hubo una mayor cantidad de área foliar sana y por ende, menor severidad que en las evaluaciones previas. Esto concuerda con Danielsen y Munk (2004), quienes también reportaron descensos en los valores de severidad debido a la rápida expansión de área foliar. Luego de ello, la enfermedad se incrementó en todos los tratamientos, tendiendo al 100% (defoliación completa de la planta), a excepción de la variedad Amarilla de Marangani, en la cual la enfermedad se retardó mucho más y en la variedad Negra Collana que, como ya se explicó en la anterior sección (ver 6.1 Sintomatología) formaba nuevas ramas basales como respuesta a la defoliación.

El método usado para evaluar la severidad fue por estimación visual y a pesar de ser un método subjetivo ha demostrado ser el más preciso comparado con otras metodologías de evaluación de severidad para el caso del mildiú (Risco, 2014, Risco *et al.*, 2018).



**Figura 21: Curva del progreso de la enfermedad**

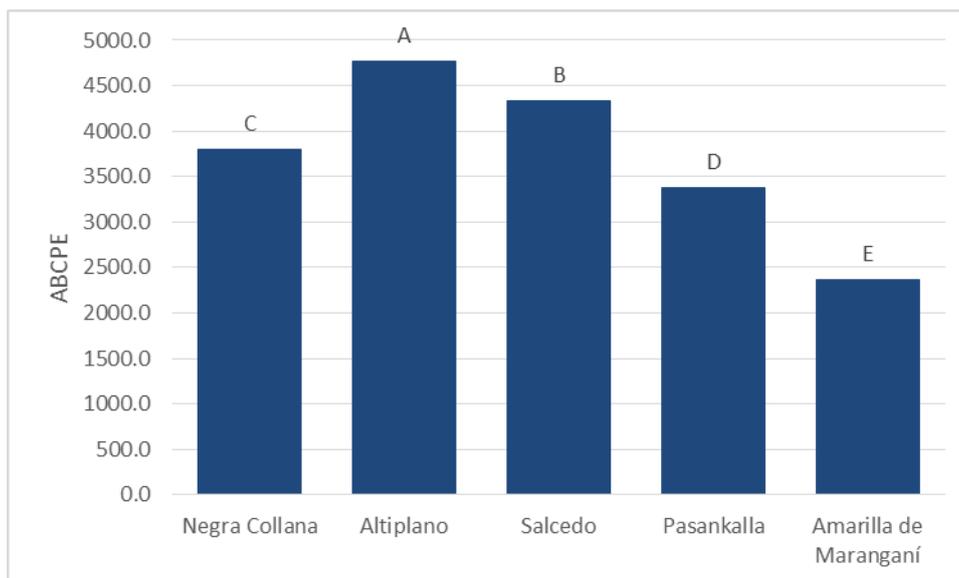
Alt: Altiplano; Amr: Amarilla de Maranganí; Ngr: Negra Collana; Pas: Pasankalla; Sal: Salcedo; DDS: Días después de la siembra.

El análisis de variancia y la prueba de Tukey con un nivel de significación de 0.05 indicaron que existen diferencias estadísticas entre los valores de las ABCPE de los tratamientos (ver Anexo 5). Cada variedad obtuvo valores significativamente diferentes al resto, como se observa en la Tabla 7 y Figura 22.

**Tabla 7: Comparación de las medias del Área bajo la curva de progreso de la enfermedad**

Variedades	Área bajo la curva de progreso de la enfermedad
Altiplano	4771.6 a*
Salcedo	4337.7 b
Negra Collana	3796.3 c
Pasankalla	3377.2 d
Amarilla de Maranganí	2364.1 e

\*Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).



**Figura 22: Comparación de las medias del Área bajo la curva de progreso de la enfermedad**

Diferentes letras representan diferencias significativas ( $\alpha=0.05$ ).

Dichos valores indican que cada variedad posee un nivel de tolerancia y/o resistencia al mildiú lo cual es sustentado por los resultados de las curvas de progreso de la enfermedad y las observaciones de la sintomatología en campo (ver Figura 23). Es importante señalar que el coeficiente de variabilidad de los datos fue de 4.2% (Anexo 5), el cual se puede considerar muy bajo e indica que el método de evaluación fue ejecutado correctamente.



**Figura 23: Campo experimental con diferentes niveles de severidad de mildiú en cada variedad**

La variedad Amarilla de Maranganí fue la variedad con el valor del ABCPE más bajo (2364.1), siendo menor que la variedad Pasankalla (3377.2), con una diferencia considerable

de más de 1000. La Amarilla de Maranganí se comportaría como una variedad marcadamente más resistente al mildiú que el resto de variedades. Esto se explica, en parte, por el hecho que la Amarilla de Maranganí es la única variedad de este ensayo que pertenece al ecotipo de valle. Las quinuas clasificadas dentro de este grupo poseen más resistencia al mildiú, mayormente cuantitativa, a comparación de las de altiplano (Gómez y Aguilar, 2016). Las quinuas de valle se domesticaron y evolucionaron en condiciones ambientales favorables para el mildiú, por lo que solo las más resistentes perduraron en el tiempo (Bonifacio, 2001). En adición a lo anterior, Danielsen y Munk (2004) reportaron que la variedad Amarilla de Maranganí fue una de las más resistentes, en condiciones de Costa y Sierra, al compararlas con otras nueve variedades, incluida la variedad INIA Salcedo, la cual fue una de las más susceptibles. Dichos autores indican que el nivel de severidad de mildiú en la Costa fue mucho menor que en la Sierra.

Las variedades Pasankalla, Negra Collama, Salcedo y Altiplano pertenecen al ecotipo de Altiplano. Dichas variedades mostraron una menor, aunque estadísticamente significativa, diferencia en el valor del ABCPE en cuanto a la susceptibilidad. Esto sería explicado por la alta variabilidad en características agronómicas, morfológicas, fisiológicas y nutricionales que poseen las quinuas de este grupo (Gómez y Aguilar, 2016). De igual forma, fue notoria la diferencia en el nivel de respuesta al mildiú. Por ejemplo, es notoria la gran diferencia en cuanto a infección del mildiú entre la variedad Pasankalla (la segunda menos afectada) y la Altiplano (la más afectada), con valores de 3377.2 y 4771.6, respectivamente (ver Figura 24).

En contraste con los resultados de esta investigación, todas las variedades usadas en este ensayo están clasificadas como “tolerantes” o “moderadamente tolerantes” al mildiú en diferentes guías de cultivo de quinua (León, 2003, Estrada, 2013, Gómez y Aguilar, 2016) y en el catálogo de variedades oficial del INIA (Apaza *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos en este trabajo revelarían que existe mayor diversidad en los niveles de expresión de síntomas entre las variedades comerciales.



**Figura 24: Unidad experimental de la variedad Altiplano severamente afectada por el mildiú**

#### **4.5 Rendimiento**

El análisis de variancia y la prueba de Tukey, con un nivel de significación de 0.05, indicaron que existen diferencias estadísticas entre los valores de los rendimientos (Anexo 6). El coeficiente de variabilidad de 19.87% indica que hubo variabilidad considerable entre los datos, debido a factores externos al de los tratamientos. La presencia de plagas que infestaron las inflorescencias durante floración y llenado de granos (*Heliothis* sp, *Eurysacca* sp, chinches) sería la principal causa de esta variabilidad. Aun así, se encuentra en un rango aceptable, considerando que se trató de un experimento de campo. Los rendimientos de las variedades Amarilla de Maranganí (2625 kg/ha) y la Pasankalla (2201.9 kg/ha) fueron los más altos y significativamente diferentes al resto. Por el contrario, la variedad Altiplano fue la de menor producción y resultó significativamente diferente a la Amarilla de Maranganí, Pasankalla y Negra Collana (1408.6 kg/ha). Los rendimientos de las variedades Salcedo (1244.4 kg/ha) y Altiplano (649.2 kg/ha) no difieren estadísticamente, sin embargo, la diferencia entre rendimientos es alta (Ver Tabla 8 y Figura 25).

Los rendimientos del cultivo de quinua varían de acuerdo a las variedades, además de otros factores, ya que existen unas con mayor capacidad genética de producción que otras (S. Mujica, Canahua, & Saravia, 2001). Los datos de rendimiento obtenidos en el presente trabajo sustentan dicha afirmación, ya que el control de plagas, fertilización, riego y manejo agronómico, fue igual para todos los tratamientos y repeticiones. Por otro lado, Gómez

Pando y Aguilar (2016), afirman que las variedades precoces rinden menos que las tardías. En este ensayo, las variedades que más tardaron en madurar fueron la Amarilla de Maranganí y Negra Collana, que quedaron en primer y tercer puesto en orden de mayor rendimiento, respectivamente.

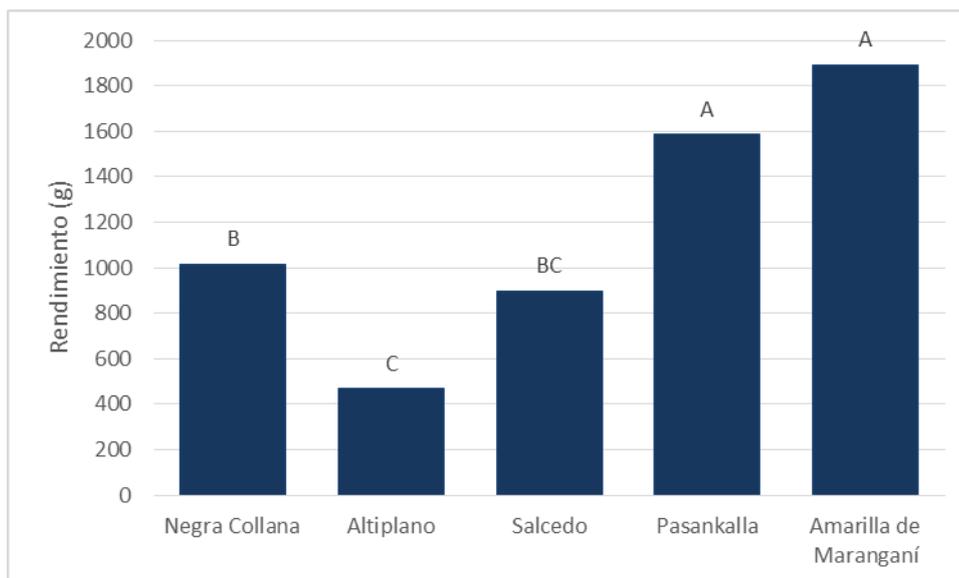
Varios trabajos de campo sustentan los resultados del presente trabajo. Deza (2018) obtuvo mayor rendimiento promedio con la variedad Amarilla de Maranganí (2458 kg/ha) que con la con la INIA Salcedo (1229 kg/ha), controlando el mildiú con aplicaciones de fungicidas, en condiciones de costa (Lima). De manera similar, Danielsen y Munk (2004) consiguieron mayores rendimientos en la variedad Amarilla de Maranganí comparada con la INIA Salcedo, tanto para parcelas tratadas contra el mildiú y en parcelas sin aplicaciones, en condiciones de Sierra (Huancayo) y Costa (Lima). Sangster (2018) reportó rendimientos sin diferencias estadísticas entre las variedades Pasankalla y Negra Collana (802.34 kg/ha y 718.9 kg/ha, respectivamente), y significativamente superiores a los de la variedad INIA Salcedo (517.32 kg/ha), sin aplicaciones contra el mildiú, en condiciones de Sierra (Junín).

En contraste con esta investigación, Yactayo (2018) obtuvo mayores rendimientos promedio con la variedad Altiplano (4827 kg/ha) que con la variedad INIA Salcedo (4003 kg/ha), con niveles altos de infección de mildiú, en condiciones de La Molina.

**Tabla 8: Comparación de las medias del rendimiento**

<b>Variedades</b>	<b>Rendimiento (gramos)</b>	<b>Rendimiento por hectárea (kilogramos)</b>
Amarilla de Maranganí	1890.0 a*	2625.0 a
Pasankalla	1585.4 a	2201.9 a
Negra Collana	1014.2 b	1408.6 b
Salcedo	896.0 bc	1244.4 bc
Altiplano	467.4 c	649.2 c

\*Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

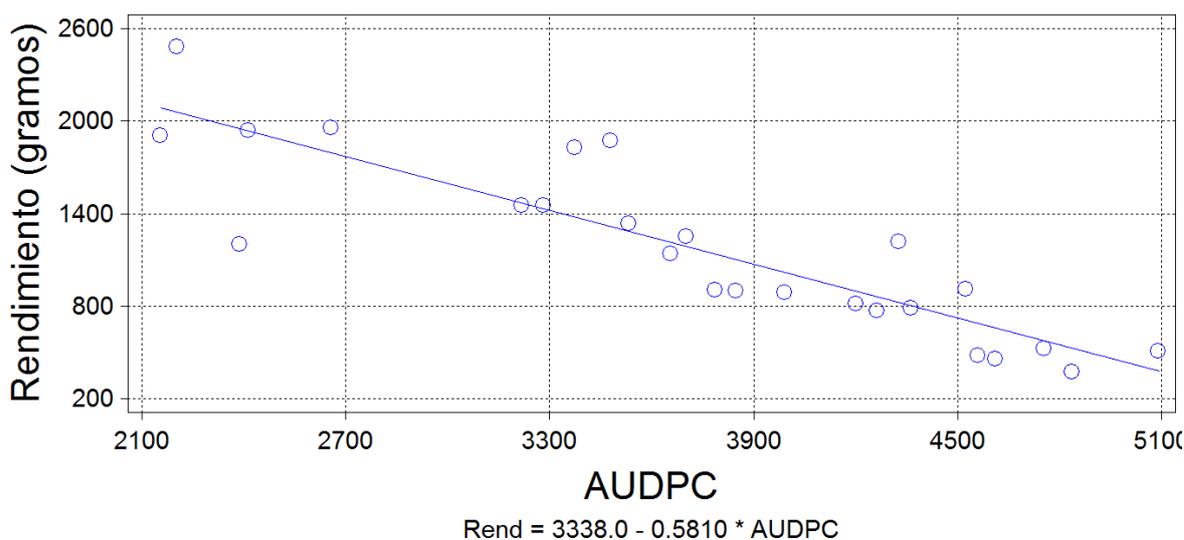


**Figura 25: Comparación de las medias del rendimiento**

Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

El análisis de regresión lineal entre el rendimiento y el ABCPE resultó en un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 77.25% (ver Anexo 11). Este dato indica una alta correlación entre las dos variables. En la Figura 26 se aprecia que son inversamente proporcionales: a mayor valor de ABCPE (es decir, mayor severidad de la infección) menor es el rendimiento. La alta correlación del rendimiento con el ABCPE demuestra que la respuesta propia de cada variedad frente al mildiú es, probablemente, un factor determinante en el rendimiento de cada variedad.

Por su parte, Danielsen y Munk (2004) encontraron alta correlación negativa entre el rendimiento y el ABCPE, al comparar los resultados de variedades comerciales en condiciones de alta severidad de mildiú. En contraste, Zárate (2017) obtuvo baja correlación negativa entre las variables mencionadas, al evaluar accesiones de germoplasma, en condiciones de alta severidad de mildiú.



**Figura 26: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y rendimiento**

#### 4.6 Altura de planta

Los datos de altura de planta no cumplieron la condición de normalidad con el test de Shapiro-Wilk. Por ende, se realizó una transformación de datos (ver Anexo 4) con los cuales se trabajaron los demás análisis. El ANOVA y la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05, indicaron diferencias significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variabilidad de 1.39% indica que los datos fueron bastante homogéneos, es decir, las fuentes de error experimental tuvieron poca influencia en ellos (ver Anexo 7). Las tres primeras variedades difieren considerablemente en sus alturas y están agrupadas en distintos grupos de significación (Tabla 9 y Figura 27). La altura de la variedad Amarilla de Maranganí (145.3 cm) fue la mayor y difiere estadísticamente del resto. La diferencia entre esta y la de la Pasankalla (117.1 cm) es en promedio de 28.1 cm y la diferencia entre la Pasankalla y Negra Collana (94.5 cm) fue de 22.6 cm. Por el contrario, las variedades Negra Collana, Salcedo (87.1 cm) y Altiplano (83.6 cm) tuvieron tamaños similares, como ya se mencionó en la sección 6.1 Sintomatología. La altura de la variedad Salcedo no difirió significativamente de la Negra Collana ni de la Altiplano.

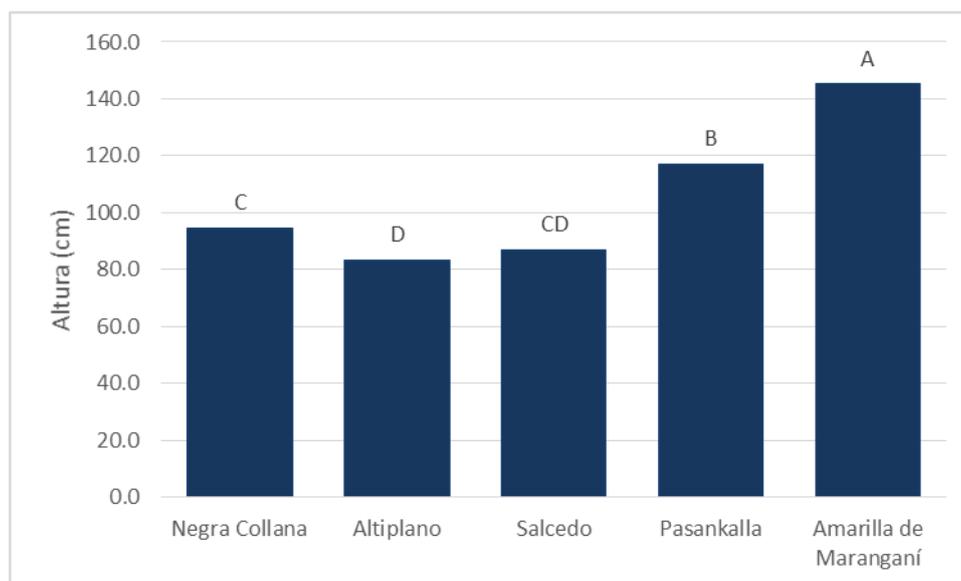
La altura es un rasgo que también está determinado, en gran medida, por el ecotipo de la variedad. Las quinuas de valle se caracterizan por la predominancia de accesiones y variedades de mayor altura que las quinuas de Altiplano (Gomez y Eguiluz, 2011, citadas por Bazile *et al.*, 2013). Las quinuas de Valle pueden alcanzar y sobrepasar los 2.4 m de

altura; mientras que, las quinua de Altiplano promedian entre los 0.5 y 1.5 m de altura (Gómez y Aguilar, 2016). Dichas afirmaciones confirman los resultados de este ensayo, dado que la única variedad de Valle (Amarilla de Maranganí) fue también la de mayor altura y por una considerable diferencia con el resto. Sin embargo también se observa variabilidad entre las alturas de las variedades de Altiplano.

**Tabla 9: Comparación de las medias de las alturas**

Variedades	Altura (centímetros)
Amarilla de Maranganí	145.3 a*
Pasankalla	117.1 b
Negra Collana	94.5 cd
Salcedo	87.1 cd
Altiplano	83.6 d

\*Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).



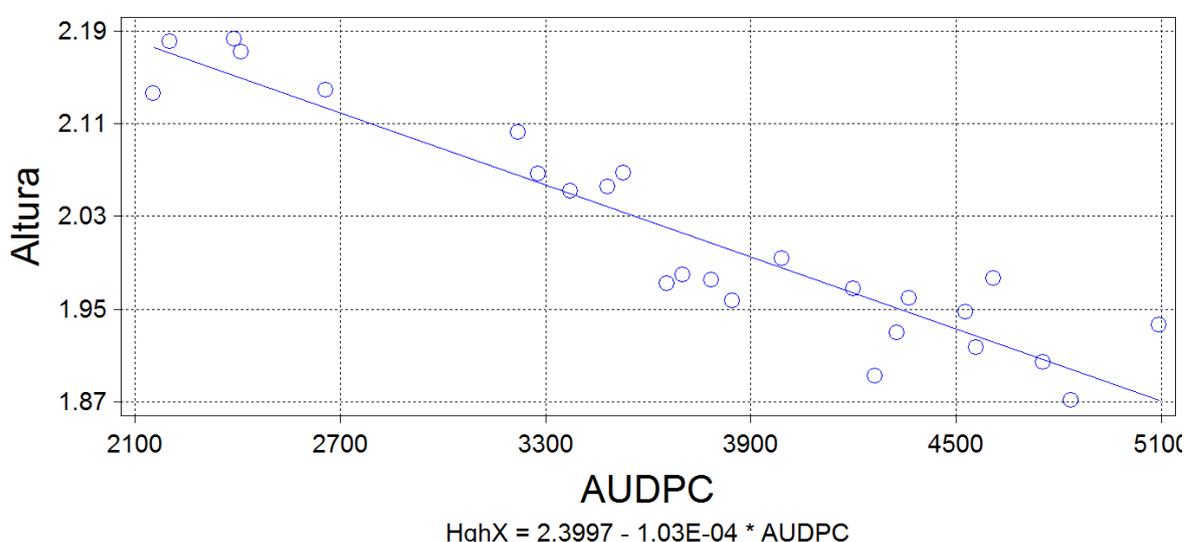
**Figura 27: Comparación de las medias de la altura**

Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

El análisis de regresión lineal entre la altura y el ABCPE de las variedades resultó en un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 88.01% (Ver Anexo 13). Las dos variables son inversamente proporcionales (Figura 28). Dichos datos sugieren que, así como el rendimiento, la altura de las plantas fue afectada negativamente por la infección de mildiú. Esto podría deberse a la pérdida de área fotosintética por efecto de la enfermedad, que

ocasionó una menor producción de biomasa y, por ende, menor altura. Se ha comprobado que el mildiú puede causar reducción de la altura en otros cultivos como mijo, cebolla y girasol (Bán *et al.*, 2004; Raziq *et al.*, 2008; Taylor *et al.*, 1996).

El coeficiente de variación de la altura fue mayor que el del rendimiento, lo cual supondría que esta variable fue afectada en mayor medida que la producción de grano. Es importante resaltar que los valores de rendimiento fueron afectados por fuentes de error experimental (ver 4.5 Rendimiento) que, como demuestran los valores de coeficientes de variación de ambas variables, afectaron menos a la variabilidad de la altura.



**Figura 28: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y altura**

#### 4.7 Peso de mil granos

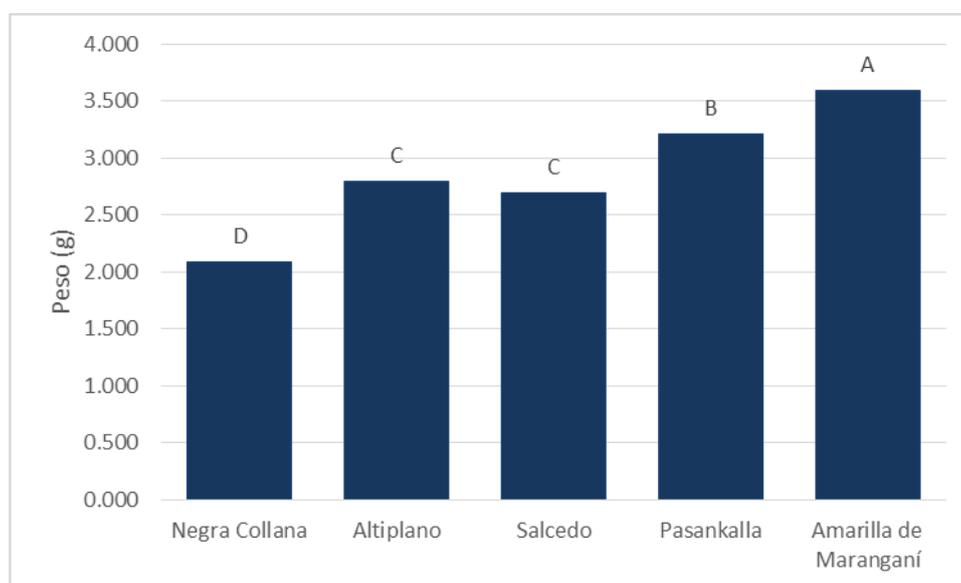
Se encontraron diferencias estadísticas entre los valores de peso de mil granos, según el ANOVA y la prueba de Tukey con un nivel de significación de 0.05 (Ver Anexo 8). El coeficiente de variación fue de 6.72%, lo cual indicaría que los datos fueron bastante homogéneos. La variedad Amarilla de Maranganí fue la de mayor peso de granos (3.592 g) y resultó estadísticamente diferente al resto. Por el contrario, la variedad Negra Collana fue la de menor peso de mil granos (2.085 g) y con diferencias significativas al resto. Los pesos de las variedades Altiplano (2.795 g) y Salcedo (2.696 g) se agruparon en el mismo grupo de homogeneidad (Tabla 10 y Figura 29).

Los valores individuales de peso de mil granos de cada variedad difieren respecto a otros ensayos, aunque con una tendencia a seguir el orden de agrupación en la prueba de Tukey. Deza (2018) halló que el peso de mil granos de la variedad Salcedo (3.04 g) supera significativamente al de la Negra Collana (2.44 g), en un ensayo en el que se controló el mildiú. Por su parte, Yactayo (2018) obtuvo un peso de mil granos significativamente mayor en la variedad Altiplano (3.05 g) respecto a la Salcedo (2.93 g), controlando el mildiú mediante aplicaciones.

**Tabla 10: Comparación de las medias del peso de mil granos**

Variedades	Peso de mil granos (gramos)
Amarilla de Maranganí	3.592 a*
Pasankalla	3.210 b
Altiplano	2.795 c
Salcedo	2.696 c
Negra Collana	2.085 d

\*Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).



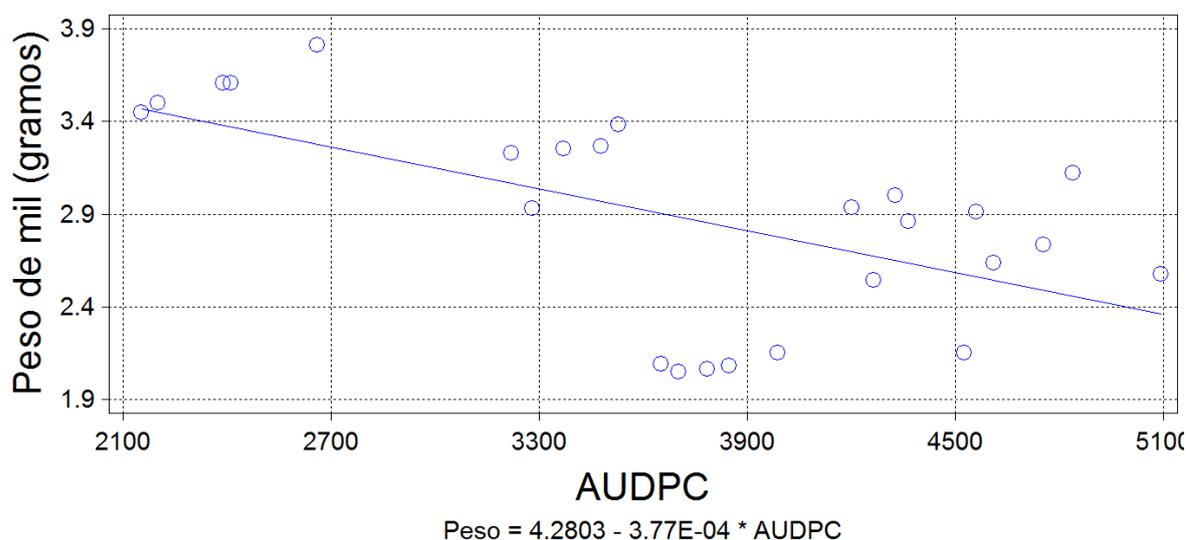
Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

**Figura 29: Comparación de las medias del peso de mil granos.**

Risco obtuvo pesos de mil granos que oscilaron entre 4.19 g y 4.45 g en la variedad Pasankalla. En condiciones de sierra, Sangster (2018) obtuvo pesos de mil granos de 3.78 g con la variedad Pasankalla, 3.21

g con la Salcedo y 2.35 g con la Negra Collana, los cuales difirieron significativamente. Las diferencias se deberían al tipo de manejo agronómico y labores en las que se realizó cada investigación.

El análisis de correlación entre el peso de mil granos y el ABCPE indicó que el coeficiente de determinación es de 34.44% y que las variables son inversamente proporcionales (ver Figura 30). El valor del coeficiente muestra que las dos variables están poco correlacionadas (ver Anexo 13). El peso de mil granos estaría determinando en gran medida por el factor genético propio de cada variedad, independientemente a la severidad que ocasionó el mildiú. Aun así, las variedades Amarilla de Marangán y Pasankalla siguen teniendo los valores más altos, al igual que con las otras variables. En concordancia con lo expuesto, Risco (2014) no halló diferencias significativas en el peso de mil granos al evaluar la misma variedad (Pasankalla) a diferentes niveles de infección de mildiú, en condiciones de costa.



**Figura 30: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y peso de mil granos**

#### 4.8 Granulometría

Los datos de los pesos de grano retenidos en cada tamiz, se presentan en el Anexo 2. Los porcentajes de granulometría, calculados a partir de estos, no cumplieron la condición de normalidad del test de Shapiro-Wilk, por lo que se transformaron los datos (ver Anexo 4). Solo se realizó el análisis ANVA a los datos de porcentaje de granos mayor a 1.7 mm. Se encontraron diferencias significativas a un nivel de significancia de 0.05 entre los porcentajes de granos de dichos diámetros. En cuanto al valor aritmético de los promedios,

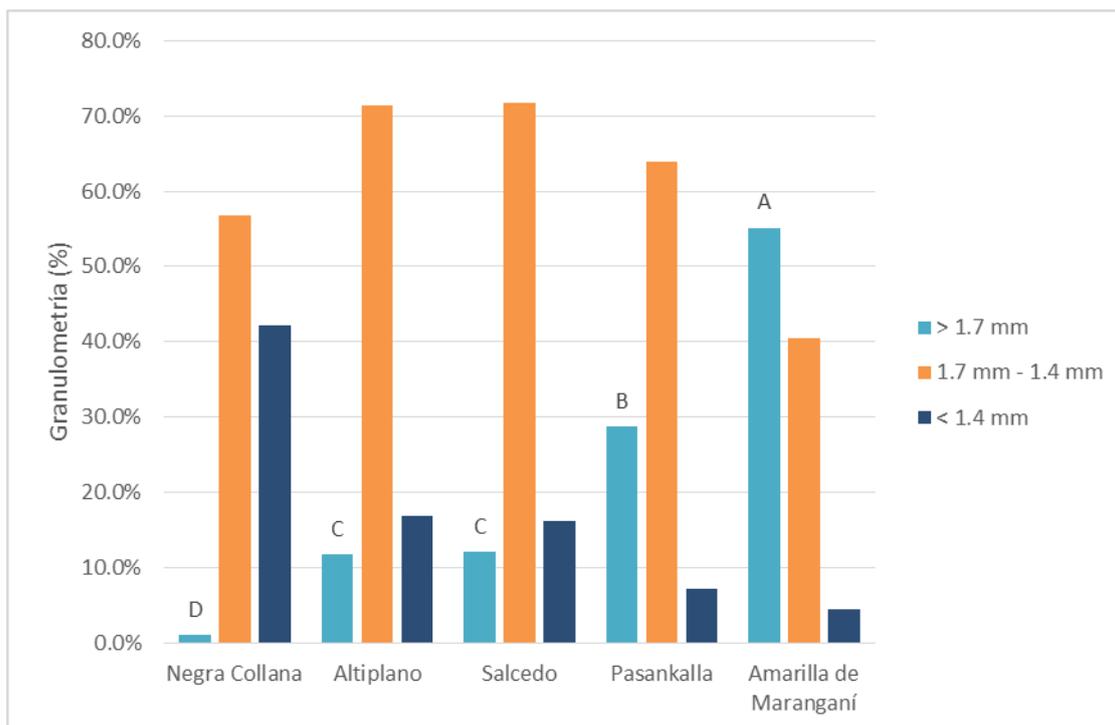
los porcentajes de granos mayores a 1.7 mm mostraron resultados más diferenciados entre distintas variedades. Por el contrario, el porcentaje de granos entre 1.7 mm y 1.4 mm obtuvo valores con menos diferencias (ver Tabla 11 y Figura 31). La variedad con mayor porcentaje de granos mayores a 1.7 mm fue la Amarilla de Maranganí, siendo estadísticamente diferente al resto. Le siguen la variedad Pasankalla, Salcedo, Altiplano (estas dos últimas dentro del mismo grupo estadístico) y Negra Collana (ver Tabla 11 y Figura 31).

Las normas técnicas de la quinua, resumidas por Solano Oré (2015) y presentadas en el Congreso Científico Internacional de la Quinua en 2013 citadas por Risco (2014), establecen los parámetros de calidad para la clasificación de granos. En ninguno de los tratamientos de este experimento se obtuvo un porcentaje mayor a 85% de granos retenidos en tamices usados, por lo que no se podrían clasificar dentro de las categorías de la norma en granos grandes, pequeños o medianos.

**Tabla 11: Comparación de las medias del porcentaje de granos de tres calibres**

Variedades	Mayores a 1.7mm (%)	Variedades	1.7 mm - 1.4mm (%)	Variedades	< 1.4 mm (%)
Amarilla de Maranganí	55.1% a*	Salcedo	71.8%	Negra Collana	42.1%
Pasankalla	28.7% b	Altiplano	71.4%	Altiplano	16.9%
Salcedo	12.0% c	Pasankalla	64.0%	Salcedo	16.2%
Altiplano	11.7% c	Negra Collana	56.8%	Pasankalla	7.2%
Negra Collana	1.0% d	Amarilla de Maranganí	40.4%	Amarilla de Maranganí	4.4%

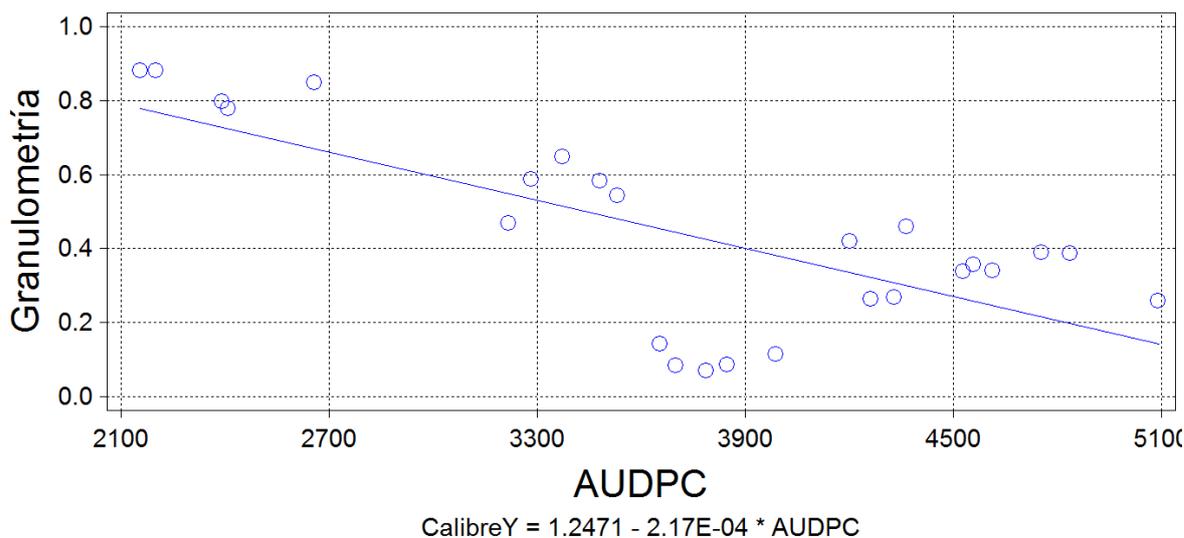
\*Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).



**Figura 31: Comparación de las medias del porcentaje de granos de más de 1.7 mm, de 1.7 a 1.4 mm y menos de 1.4 mm de diámetro**

Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

La prueba de correlación entre el porcentaje de granos mayores a 1.7 mm y el ABCPE dio como resultados un coeficiente de determinación de 52.01% y que las variables son inversamente proporcionales (Figura 32 y Anexo 14). El coeficiente de determinación no llega a un valor suficiente para afirmar que existe una fuerte correlación entre las dos variables. Es decir, el mildiú estuvo poco relacionado con el tamaño de granos de los tratamientos, el cual fue determinado en mayor medida por otros factores. Estos resultados son similares a los de Risco (2014), quien no halló diferencias significativas en la granulometría entre sus tratamientos con diferentes ABCPE, de la misma variedad de quinua.



**Figura 32: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y porcentaje de granos con más de 1.7 mm de diámetro**

#### 4.9 Contenido de proteína

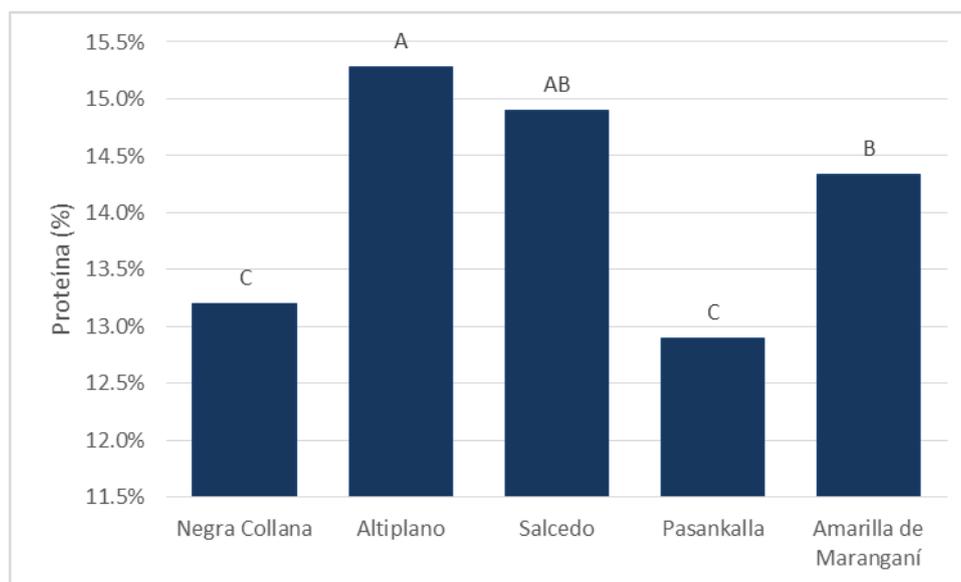
El ANOVA y la prueba de Tukey indicaron diferencias significativas entre el contenido de proteína de los tratamientos (ver Anexo 10). El orden de resultados es muy diferente al de los datos de las otras variables (ver Tabla 12 y Figura 33). La variedad con mayor contenido de proteína fue la Altiplano, pero no difiere significativamente de la Salcedo. Esta última, a su vez, no difiere significativamente de la Amarilla de Maranganí. Las últimas dos variedades con menor contenido de proteína, la Negra Collana y Pasankalla, resultaron en un grupo de homogeneidad diferente al resto.

Deza (2018) observó que la variedad Salcedo no difirió significativamente de la Negra Collana, con valores de 13.1% y 12.73%, respectivamente, en condiciones de costa. Yactayo (2018) halló mayor contenido de proteína en la variedad Altiplano (14.4%) que en la variedad Salcedo (13.1%), en condiciones de costa.

**Tabla 12: Comparación de las medias del contenido de proteína**

Variedades	Contenido de proteína (%)
Altiplano	15.3% a*
Salcedo	14.9% ab
Amarilla de Marangani	14.3% b
Negra Collana	13.2% c
Pasankalla	12.9% c

\*Valores seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

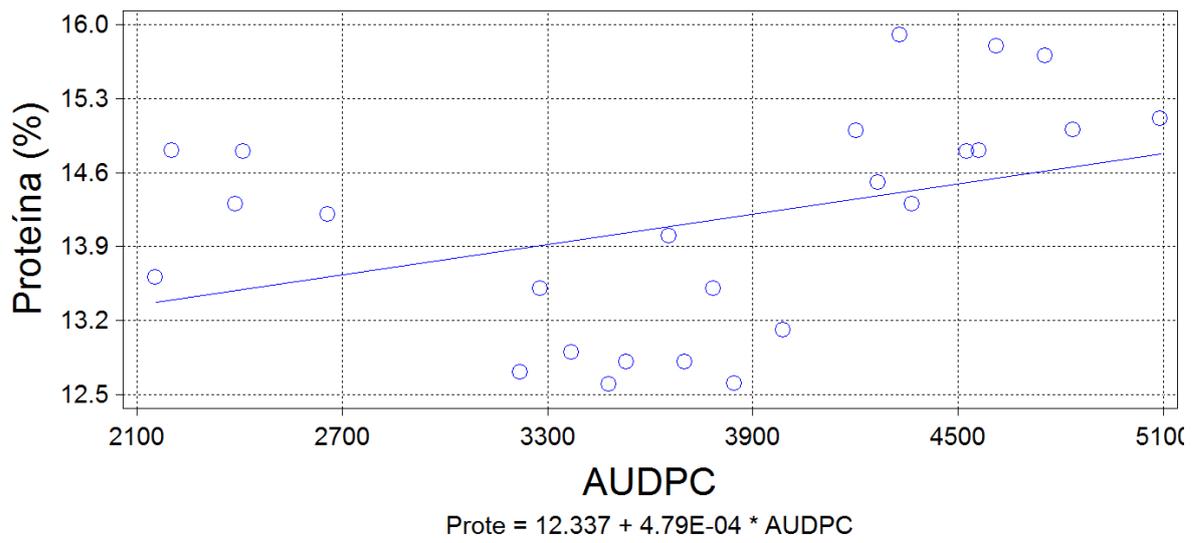


**Figura 33: Comparación de las medias del contenido de proteína.**

Tratamientos con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

El análisis de correlación entre el ABCPE y el contenido de proteína indicó un coeficiente de determinación 15.26% y que las variables son directamente proporcionales (ver Figura 34). El coeficiente de determinación es muy bajo y fue el menor de entre todas las variables. Es probable que el contenido de proteína fuese la característica que sufrió el menor impacto por la enfermedad.

Estos resultados coinciden con los de Zárate (2017), quien indica que no hay correlación entre el contenido de proteína y la severidad de mildiú en el follaje, al estudiar diferentes accesiones de quinua, en condiciones de sierra. De manera similar, Risco (2014) no halló diferencias significativas en el contenido de proteína en sus tratamientos con diferentes niveles de severidad, en condiciones de costa.



**Figura 34: Diagrama de puntos y línea de tendencia de los valores del ABCPE y contenido de proteína**

## **V. CONCLUSIONES**

La variedad Amarilla de Maranganí fue la más tolerante al mildiú y la Altiplano la más susceptible.

La variedad Amarilla de Maranganí obtuvo los mayores valores de rendimiento, altura de planta y peso de mil granos. La variedad Altiplano obtuvo el menor rendimiento y altura.

Las variables que tuvieron más correlación con la severidad del mildiú fueron el rendimiento y la altura de planta.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar más trabajos de evaluación de severidad del mildiú de la quinua usando la metodología de la planta entera, en diferentes variedades, ecotipos y estadios fenológicos, comparándolo con otros métodos. Esto, con el objetivo de lograr evaluaciones más rápidas, precisas y objetivas y reconocer los alcances y limitaciones de dicho método. También se recomienda el diseño de escalas visuales para ayudar al evaluador a tener menos subjetividad.

Continuar con los estudios de severidad del mildiú comparando otras variedades de quinua y accesiones de germoplasma, bajo las condiciones de este estudio. Adicionalmente, se recomienda incluir más variables respuesta como el peso fresco y seco de la planta, contenido de saponina, cantidad de oosporas en las semillas, cantidad de oosporas en las hojas, área foliar defoliada, pérdida de rendimiento, entre otras, para tener mayor conocimiento del efecto del mildiú en la producción y fisiología de la planta.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (2011). Amaranthaceae and Phytolaccaceae of North America. Retrieved from <https://www.itis.gov/>
- Alandia, S., Otazú, V., & Salas, B. (1979). Enfermedades. In M. Tapia, H. Gandarillas, S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, ... E. Sanabria (Eds.), *Quinia y Kañiwa*.
- Alvarez Vasquez, C. P. (2019). *Rendimiento y crecimiento de cuatro variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo tres densidades de siembra en riego por goteo*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-as890s.pdf>
- Aragón Caballero, L. M. (1991). *El mildiú en cuatro especies de Chenopodium*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Bán, R., Virányi, F., & Komjáti, H. (2004). Benzothiadiazole-induced resistance to *Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni in Sunflower. In *Advances in Downy Mildew Research: Volume 2* (pp. 265–274).
- Bazile, D., Bertero, D., Nieto, C., Salcedo, S., & Santivañez, T. (2013). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (Vol. 16). Chile: FAO. [http://doi.org/10.1016/0006-2952\(67\)90244-4](http://doi.org/10.1016/0006-2952(67)90244-4)
- Bonifacio, A. (2001a). Resistencia de la quinua al mildiu. Retrieved from [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro14/cap3.5.htm](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro14/cap3.5.htm)
- Bonifacio, A. (2001b). Resistencia de la quinua al mildiu. Retrieved from [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro14/cap3.5.htm#Top](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro14/cap3.5.htm#Top)

- Bonifacio, A., Alcon, M., Vargas, A., & Apaza, R. (2001). Resistencia de quinua frente a la enfermedad del mildiu.
- Choi, Y. J., & Thines, M. (2014). Proposal to reject the name *Botrytis farinosa* (*Peronospora farinosa*) (Peronosporaceae: Oomycetes). *Taxon*, *63*(3), 675–676. <http://doi.org/10.12705/633.19>
- Choi, Y.-J., Danielsen, S., Lübeck, M., Hong, S.-B., Delhey, R., & Shin, H.-D. (2010). Morphological and molecular characterization of the causal agent of downy mildew on Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Mycopathologia*, *169*(5), 403–412. <http://doi.org/10.1007/s11046-010-9272-y>
- Danielsen, S. (2001). Heterothallism in *Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii*, the causal agent of downy mildew of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Basic Microbiology*, *41*(5), 305–309. [http://doi.org/10.1002/1521-4028\(200110\)41](http://doi.org/10.1002/1521-4028(200110)41)
- Danielsen, S., & Ames, T. (2000). *El mildiu de la quinua en la zona andina: Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno*. The Royal Veterinary and Agricultural University. Retrieved from <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/10/AN60198.pdf>
- Danielsen, S., Bonifacio, A., & Ames, T. (2003). Diseases of Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Reviews International*, *19*(1 & 2), 43–59. <http://doi.org/10.1081/FRI-120018867>
- Danielsen, S., Jacobsen, S. E., Echegaray, J., & Ames, T. (2000). Impact of downy mildew on the yield of quinoa. *CIP Program Report*, (1999), 397–401.
- Danielsen, S., Jacobsen, S.-E., & Hockenhull, J. (2002). First Report of Downy Mildew of Quinoa Caused by *Peronospora farinosa* f. sp. *chenopodii* in Denmark. *Plant Disease*, *86*(10), 1175–1175. <http://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.10.1175B>
- Danielsen, S., & Lübeck, M. (2010). Universally primed-PCR indicates geographical variation of *Peronospora farinosa* ex. *Chenopodium quinoa*. *Journal of Basic Microbiology*, *50*(1), 104–109. <http://doi.org/10.1002/jobm.200900019>

- Danielsen, S., Mercado, V. H., Ames, T., & Munk, L. (2004). Seed transmission of downy mildew (*Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii*) in quinoa and effect of relative humidity on seedling infection. *Seed Science and Technology*, 32(1), 91–98. <http://doi.org/10.15258/sst.2004.32.1.10>
- Danielsen, S., & Munk, L. (2004). Evaluation of disease assessment methods in quinoa for their ability to predict yield loss caused by downy mildew. *Crop Protection*, 23(3), 219–228. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.010>
- Deza Montoya, D. P. (2018). *Rendimiento y calidad de la quinua (Chenopodium quinua Willd.) con dos densidades de siembra y dos sistemas de fertilización en condiciones de La Molina*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Estrada Zúñiga, R. (2013). *Cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en la región Cusco*. Cusco: Insituto Nacional de Innovación Agraria.
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2012). *Master Plan for the International Year of Quinoa : A Future Sown Thousands of Years Ago*.
- Gabriel, J., Luna, N., Magne, J., Angulo, A., La Torre, J., & Bonifacio, A. (2013). Quinoa de valle: Fuente valiosa de resistencia genética al Mildiu. In *Congreso científico de la quinua* (pp. 17–30). La Paz, Bolivia.
- Gandarillas, H. (1979). Botánica. In M. Tapia, H. Gandarillas, S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, ... E. Sanabria (Eds.), *Quinia y Kañiwa* (pp. 20–44). Bogotá, Colombia: CIID, Oficina Regional para América Latina.
- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). *Guía del cultivo de la quinua. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gómez-Pando, L. R., Mújica, Á., Chura, E., Canahua, A., Perez, A., Tejada, T., ... Ccoñas, W. (2013). Perú. In D. Bazile, D. Bertero, C. Nieto, S. Salcedo, & T. Santivañez (Eds.), *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*.

- Kitz, L., Geary, B., Stevens, M., & Hooper, G. (2009). Downy mildew resistance in four breeding lines of quinoa. *Phytopathology*, 99. Retrieved from <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHTO.2009.99.6.S180>
- Kumar, A., Bhargava, A., Shulka, S., Bahadur Singh, H., & Ohri, D. (2006). Screening of exotic *Chenopodium quinoa* accessions for downy mildew resistance under mid-Eastern conditions of India. *Crop Protection*, 25(2006), 879–889. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.11.012>
- León Hanco, J. M. (2003). *Cultivo de la Quinoa en Puno: Perú Descripción , Manejo y Producción. Ciencias Agrarias Una Puno.*
- Mendoza Soto, V. del P. (2013). *Comparativo de accesiones de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) en condiciones de la Costa Central.* Universidad Nacional Agraria La Molina. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2877/P10-L466-T.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Mercado Luyo, V. M. (2001). *El mildiú de la quinua y su transmisión por semillas.* Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Michereff, S. J. (2018). *Tutorial do programa “Statistix 9.”* Recife, Brasil: Universidad Federal Rural de Pernambuco.
- Mujica, A., Izquierdo, J., & Marathee, J.-P. (2001). Origen y descripción de la quinua. In *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.*
- Mujica, S., Canahua, A., & Saravia, R. (2001). Agronomía del cultivo de quinua. In *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.* FAO.
- Murphy, K. M., Matanguihan, J. B., Fuentes, F. F., Gómez-Pando, L. R., Jellen, E. N., Maughan, P. J., & Jarvis, D. E. (2018). Quinoa Breeding and Genomics. *Plant Breeding Reviews*, 42, 257–320. <http://doi.org/doi:10.1002/9781119521358.ch7>

- Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371–376.  
<http://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>
- Nowak, V., Du, J., & Charrondièrre, U. R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 1–34.  
<http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- Quispe Gómez, L. (2015). *Evaluación del potencial de rendimiento y calidad de líneas mutantes de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) var. Pasankalla en condiciones de la Costa Central*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Raziq, F., Alam, I., Naz, I., & Khan, H. (2008). Evaluation of fungicides for controlling downy mildew of onion under field conditions. *Sarhad J. Agric.*, 24(1), 85–92.
- Risco Mendoza, A. (2014). *Severidad de Peronospora variabilis GAÛM. en Chenopodium quinoa Willd. “Pasankalla” como respuesta a aplicaciones de fungicidas sistémicos y bioestimulantes*. Tesis Mg. Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Risco Mendoza, A., Apaza Tapia, W., & Mattos Calderon, L. L. (2018). Identificación del agente causal del mildiu de la albahaca y métodos para la estimación de su severidad Identification of basil downy mildew and severity estimation. *Anales Científicos*, 79(1), 159–167.
- Rollano-Peñaloza, O. M., Palma-Encinas, V., Widell, S., Rasmusson, A. G., & Mollinedo, P. (2019). The disease progression and molecular defense response in *Chenopodium quinoa* infected with *Peronospora variabilis*, the causal agent of quinoa downy mildew.
- Romero, C. A. (2017). *La quinua: Producción y Comercio del Perú*. Lima, Perú: DEEIA (Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria).
- Sangster, O. M. (2018). *Densidad poblacional en los caracteres agronómicos, calidad y respuesta al mildiú de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Solano Oré, C. (2015). Normalización de los granos andinos y requisitos para la exportación. Retrieved from <http://quinua.pe/wp-content/uploads/2015/12/4-Claudia-Solano-Convencion-quinua-CUSCO-normas-y-Novel-food.pdf>
- Tapia, M. E., Mujica, S., & Canahua, S. (1980). Primera reunión sobre genética y fitomejoramiento de la quinua. Puno.
- Taylor, P., Gupta, G. K., & Singh, D. (1996). Studies on the influence of downy mildew infection in yield and yield-contributing plant characters of pearl millet in India. *International Journal of Pest Management*, 42(2), 89–93. <http://doi.org/10.1080/09670879609371977>
- Testen, A. L., Jimenez-Gasco, M. del M., Ochoa, J. B., & Backman, P. (2016). Molecular Detection of *Peronospora variabilis* in Quinoa Seed and Phylogeny of the Quinoa Downy Mildew Pathogen in South America and the United States, (November 2013). <http://doi.org/10.1094/PHYTO-07-13-0198-R>
- Testen, A. L., McKemy, J. M., & Backman, P. A. (2013). First Report of Quinoa Downy Mildew Caused by *Peronospora variabilis* in the United States. *Plant Disease*, 97(6), 844–844. <http://doi.org/10.1094/PDIS-11-12-1008-PDN>
- Thines, M., & Choi, Y. (2015). Evolution, Diversity, and Taxonomy of the Peronosporaceae, with Focus on the Genus *Peronospora*. *Phytopathology*, (Thines 2014), 1–13. <http://doi.org/10.1094/PHYTO-05-15-0127-RVW>
- Trade statistics for international business development (TradeMap). (2018). List of importers for the selected product in 2018 Product : 100850 Quinoa “*Chenopodium quinoa*.” Retrieved from [https://www.trademap.org/Country\\_SelProduct.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c100850%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c1%7c1%7c%7c2%7c1%7c](https://www.trademap.org/Country_SelProduct.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c100850%7c%7c%7c6%7c1%7c1%7c1%7c1%7c%7c2%7c1%7c)
- United States Department of Agriculture (USDA). (2015). *National Nutrient Database for Standar Reference Release*. USDA: 28 p.
- Vargas, A., Bonifacio, A., Stevens, M. R., Jellen, E. N., Maughan, P. J., & Geary, B.

- (2013). Resistencia heredable de mildiu (*Peronospora variabilis*) en líneas endogámicas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Voglmayr, H. (2008). Progress and challenges in systematics of downy mildews and white blister rusts: new insights from genes and morphology. *Eur J Plant Pathol*, 122, 3–18.
- WHO/FAO/UNU. (2007). *Protein and amino acid requirements in human nutrition report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation*. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43411>
- Yactayo Coyutupa, P. M. (2018). *Rendimiento y calidad de quinua (Chenopodium quinoa Willd) con diferentes fuentes de fertilización en condiciones de la Molina*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Zárate, M. G. C. (2017). Respuesta de 100 accesiones de quinua a la infección natural de mildiú (*Peronospora variabilis* Gäum) en el valle del Mantaro, 61.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Datos meteorológicos del Observatorio Von Humboldt

Día/mes/año	Mes	T (°C) Prom	T Max	T Min	Humedad (%)	Lluvia (mm)	Presión (mb)	Velocidad Viento (m/s)
15/06/2018	junio	15.55	27.9	14.4	89.21	0.8	986.94	2.20
16/06/2018	junio	15.72	27.9	14.1	87.08	0.3	987.34	2.12
17/06/2018	junio	15.64	27.9	14.7	86.79	0.2	986.75	2.19
18/06/2018	junio	15.76	27.9	14.4	87.96	0.3	987.07	2.27
19/06/2018	junio	15.4	27.9	14.1	87.54	0.4	987.25	2.64
20/06/2018	junio	15.4	27.9	13.8	85.29	0.3	988.27	2.66
21/06/2018	junio	16.48	27.9	14.1	80.50	0.0	987.36	2.05
22/06/2018	junio	15.8	27.9	14.4	85.29	0.0	987.77	2.19
23/06/2018	junio	16.05	27.9	14.8	81.92	0.0	986.83	2.35
24/06/2018	junio	15.98	27.9	14.3	81.29	0.1	986.43	2.45
25/06/2018	junio	16.89	27.9	14.2	78.71	0.0	986.69	2.92
26/06/2018	junio	16.2	27.9	14.6	81.58	0.0	986.08	3.00
27/06/2018	junio	15.83	27.9	13.9	83.04	0.1	986.17	2.56
28/06/2018	junio	16.27	27.9	14.9	82.75	0.0	987.8	1.67
29/06/2018	junio	16.2	27.9	13.9	84.13	0.0	987.66	1.93
30/06/2018	junio	16.2	27.9	0.4	78.46		668.67	312.68
01/07/2018	julio	16.51	27.9	13.9	81.46	0.0	986.69	2.65
02/07/2018	julio	16.9	27.9	14.1	80.00	0.0	985.38	3.60
03/07/2018	julio	16.73	27.9	14.2	80.38	0.3	984.55	3.38
04/07/2018	julio	15.93	27.9	13.8	83.71	0.2	985.81	2.94
05/07/2018	julio	16.74	27.9	14.4	79.46	0.0	984.55	3.25
06/07/2018	julio	16.04	27.9	14.5	83.38	0.1	984.61	2.94
07/07/2018	julio	15.45	27.9	14.2	87.63	1.2	985.03	2.01
08/07/2018	julio	15.99	27.9	14.2	84.21	0.5	986.64	1.53
09/07/2018	julio	16.36	27.9	14.8	84.38	0.2	985.88	2.04
10/07/2018	julio	16.13	27.9	14.6	84.00	0.1	985.6	1.86
11/07/2018	julio	16.76	27.9	14.6	79.46	0.0	985.48	2.51
12/07/2018	julio	16.88	27.9	14.2	80.25	0.0	985.63	2.25
13/07/2018	julio	17.68	27.9	14.3	80.08	0.0	985.31	3.08
14/07/2018	julio	16.55	27.9	14.9	85.13	0.5	985.22	3.17
15/07/2018	julio	15.93	27.9	14.6	87.50	0.6	985.16	2.70
16/07/2018	julio	16.07	27.9	14.4	84.96	0.6	986.66	2.75
17/07/2018	julio	16.28	27.9	14.4	80.46	0.0	987.51	3.18
18/07/2018	julio	15.93	27.9	14.2	81.54	0.0	987.25	3.08
19/07/2018	julio	17.09	27.9	13.4	77.38	0.0	985.71	3.36
20/07/2018	julio	16.58	27.9	15.2	83.75	0.1	984.09	2.97
21/07/2018	julio	15.8	27.9	14.4	88.54	0.4	985.6	2.55

<b>Día/mes/año</b>	<b>Mes</b>	<b>T (°C) Prom</b>	<b>T Max</b>	<b>T Min</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>	<b>Presión (mb)</b>	<b>Velocidad Viento (m/s)</b>
22/07/2018	julio	16.03	27.9	14.8	87.04	0.2	985.5	2.45
23/07/2018	julio	15.69	27.9	14.3	87.96	1.0	986.79	2.30
24/07/2018	julio	16.01	27.9	14.4	88.00	0.2	987.66	2.30
25/07/2018	julio	16.2	27.9	14.8	86.79	0.5	987.1	2.62
26/07/2018	julio	15.71	27.9	14.2	86.04	0.6	987.76	2.52
27/07/2018	julio	15.95	27.9	14.4	83.67	0.0	987.28	2.75
28/07/2018	julio	15.48	27.9	14	85.96	0.3	987.6	2.90
29/07/2018	julio	15.31	27.9	14	87.04	0.2	987.8	2.40
30/07/2018	julio	15.99	27.9	13.9	81.21	0.0	986.71	3.38
31/07/2018	julio	15.45	27.9	13.3	84.21	0.0	987.16	2.54
01/08/2018	agosto	16.71	27.9	14.3	79.88	0.0	986.66	3.15
02/08/2018	agosto	16.9	27.9	14.5	79.88	0.0	985.93	3.34
03/08/2018	agosto	15.28	27.9	14	86.96	0.0	986.38	2.50
04/08/2018	agosto	15.61	27.9	13.9	86.00	0.1	986.29	2.84
05/08/2018	agosto	15.78	27.9	14.1	82.83	0.0	985.67	2.99
06/08/2018	agosto	15.29	27.9	13.7	85.04	0.0	984.98	2.81
07/08/2018	agosto	15.36	27.9	13.6	85.29	0.1	985.01	2.74
08/08/2018	agosto	15	27.9	13.5	86.88	0.4	985.22	2.36
09/08/2018	agosto	15.4	27.9	13.8	86.42	0.4	985.56	2.52
10/08/2018	agosto	15.25	27.9	13.9	86.13	0.2	985.88	2.45
11/08/2018	agosto	15.23	27.9	13.7	84.46	0.0	986.4	2.41
12/08/2018	agosto	15.47	27.9	13.3	82.63	0.1	987.64	2.66
13/08/2018	agosto	15.73	27.9	14.4	79.92	0.0	987.17	3.09
14/08/2018	agosto	15.63	27.9	13.4	80.54	0.0	986.45	3.03
15/08/2018	agosto	16.75	27.9	12.4	76.54	0.0	986.99	3.06
16/08/2018	agosto	16.68	27.9	13.7	78.54	0.0	987.53	2.95
17/08/2018	agosto	16.93	27.9	14.8	79.71	0.0	987.78	4.13
18/08/2018	agosto	16.1	27.9	14.5	80.92	0.1	986.86	3.28
19/08/2018	agosto	15.27	27.9	12.1	82.38	0.0	986.62	3.00
20/08/2018	agosto	16.43	27.9	11.9	77.29	0.0	986.27	2.66
21/08/2018	agosto	15.36	27.9	12.1	83.58	0.0	986.2	2.97
22/08/2018	agosto	16.03	27.9	13.4	81.46	0.3	986.6	3.6
23/08/2018	agosto	15.11	27.9	13.5	85.42	0.6	986.29	3.00
24/08/2018	agosto	16.01	27.9	13.7	80.14	0.0	985.86	2.65
25/08/2018	agosto	16.43	27.9	14	79.00	0.0	986.01	2.92
26/08/2018	agosto	16.13	27.9	14.1	80.38	0.0	985.92	3.00
27/08/2018	agosto	16.63	27.9	13.8	79.08	0.0	985.97	3.11
28/08/2018	agosto	16.2	27.9	14	79.83	0.0	985.84	2.90
29/08/2018	agosto	15.96	27.9	14.3	80.88	0.0	986.46	3.19
30/08/2018	agosto	16.93	27.9	14.3	76.08	0.0	986.72	3.49
31/08/2018	agosto	15.9	27.9	14.2	80.00	0.0	985.95	3.46

<b>Día/mes/año</b>	<b>Mes</b>	<b>T (°C) Prom</b>	<b>T Max</b>	<b>T Min</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>	<b>Presión (mb)</b>	<b>Velocidad Viento (m/s)</b>
01/09/2018	septiembre	16.56	27.9	13.5	75.25	0	985.19	3.78
02/09/2018	septiembre	16.18	27.9	12.6	76.5	0	985.21	2.94
03/09/2018	septiembre	16.9	27.9	14.3	76.38	0	984.14	3.70
04/09/2018	septiembre	16.38	27.9	12.9	79.71	0	984.62	3.26
05/09/2018	septiembre	16.88	27.9	12.7	76.54	0	985.1	3.21
06/09/2018	septiembre	16.49	27.9	11.6	80.04	0	986.49	3.07
07/09/2018	septiembre	17.68	27.9	14.3	77.46	0	987.02	3.49
08/09/2018	septiembre	17.54	27.9	14.8	78.79	0	985.41	3.81
09/09/2018	septiembre	16.71	27.9	14.7	81.75	0	985.08	3.63
10/09/2018	septiembre	16.03	27.9	14.5	84.25	0.2	986.05	3.06
11/09/2018	septiembre	16.71	27.9	14.5	81.38	0	986.78	3.36
12/09/2018	septiembre	16.23	27.9	13.5	80.83	0.1	987.18	3.44
13/09/2018	septiembre	16.66	27.9	14	78.92	0	987.1	3.53
14/09/2018	septiembre	16.13	27.9	14.2	82.50	0	986.56	3.06
15/09/2018	septiembre	17.74	27.9	14.8	75.79	0	985.85	3.71
16/09/2018	septiembre	16.58	27.9	14.4	81.54	0	985.56	3.29
17/09/2018	septiembre	17.2	27.9	14	78.75	0	985.43	3.75
18/09/2018	septiembre	16.16	27.9	14.5	83.33	0	984.28	3.49
19/09/2018	septiembre	15.33	27.9	13.9	86.00	0.2	983.7	2.88
20/09/2018	septiembre	15.55	27.9	13.6	84.04	0.3	984	3.22
21/09/2018	septiembre	16.55	27.9	13.1	79.08	0.1	984.4	3.37
22/09/2018	septiembre	17.29	27.9	13.4	76.50	0	984.62	3.22
23/09/2018	septiembre	16.79	27.9	13.7	80.17	0	983.69	3.45

<b>Día/mes/año</b>	<b>Mes</b>	<b>T (°C) Prom</b>	<b>T Max</b>	<b>T Min</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>	<b>Presión (mb)</b>	<b>Velocidad Viento (m/s)</b>
24/09/2018	septiembre	16.64	27.9	14.2	81.33	0	984.05	3.48
25/09/2018	septiembre	15.52	27.9	13.6	84.84	0.2	984.22	2.81
26/09/2018	septiembre	16.81	27.9	13.6	78.67	0	985.63	3.50
27/09/2018	septiembre	17.5	27.9	13	76.67	0	984.89	3.69
28/09/2018	septiembre	17.05	27.9	14.2	79.38	0	984.40	3.74
29/09/2018	septiembre	17.77	27.9	15.1	77.42	0	984.80	3.74
30/09/2018	septiembre	17.91	27.9	13.9	76.13	0	984.51	3.62
01/10/2018	octubre	16.48	27.9	13.3	80	0	985.25	2.97
02/10/2018	octubre	17.45	27.9	11.9	76.54	0	984.55	3.53
03/10/2018	octubre	18.25	30.3	15.1	76.88	17.8	984.78	3.21
04/10/2018	octubre	18.76	27.9	14.4	76.21	0	985.88	3.44
05/10/2018	octubre	17.82	27.9	15.6	81.96	0.3	984.73	3.08
06/10/2018	octubre	17.47	27.9	15.6	83.79	0.4	985.62	3.36
07/10/2018	octubre	17.5	27.9	15.8	87.54	1	986.91	3.04
08/10/2018	octubre	18.9	27.9	16.1	76.71	0	986.79	3.55
09/10/2018	octubre	18.93	27.9	15	76.09	0	986.69	3.37
10/10/2018	octubre	18.68	27.9	16.3	75.25	0	986.36	3.71
11/10/2018	octubre	17.52	27.9	16.4	79.42	0	987.75	3.79
12/10/2018	octubre	17.41	27.9	16	78.83	0	988.53	4.08
13/10/2018	octubre	17.62	27.9	15.2	78.88	0.1	987.92	3.05
14/10/2018	octubre	17.05	27.9	15.5	82.04	0	986.88	2.63
15/10/2018	octubre	16.85	27.9	14.4	82.50	0	986.86	2.30
16/10/2018	octubre	17.95	27.9	14.8	77.00	0	986.15	3.51
17/10/2018	octubre	17.76	27.9	15.4	76.42	0	985.83	3.42
18/10/2018	octubre	17.75	27.9	13.9	74.88	0	986.11	3.37
19/10/2018	octubre	17.14	27.9	14.2	77.42	0	986.39	3.38
20/10/2018	octubre	18.03	27.9	15.7	75.58	0	985.98	3.70
21/10/2018	octubre	17.73	27.9	15.5	77.42	0	985.42	3.13
22/10/2018	octubre	17.72	27.9	14.9	79.67	0	985.33	3.83
23/10/2018	octubre	17.2	27.9	14.9	81.42	0	986.60	3.60
24/10/2018	octubre	17.7	27.9	15.9	80.71	0	986.75	3.16
25/10/2018	octubre	18.73	27.9	15	74.90	0	985.86	3.84
26/10/2018	octubre	17.66	27.9	14.9	79.13	0	984.47	3.58
27/10/2018	octubre	17.44	27.9	13.7	77.67	0	985.12	3.77
28/10/2018	octubre	17.48	27.9	14.1	78.08	0	985.77	3.25
29/10/2018	octubre	18.03	27.9	15.4	75.25	0	985.56	3.47

<b>Día/mes/año</b>	<b>Mes</b>	<b>T (°C) Prom</b>	<b>T Max</b>	<b>T Min</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>	<b>Presión (mb)</b>	<b>Velocidad Viento (m/s)</b>
30/10/2018	octubre	18.68	27.9	14.9	75.50	0	985.76	3.72
31/10/2018	octubre	19.07	27.9	14.7	75.46	0	985.71	3.39
01/11/2018	noviembre	18.56	27.9	15.7	78.42	0	984.94	3.55
02/11/2018	noviembre	19.51	27.9	16.6	76.42	0	985.99	3.88
03/11/2018	noviembre	19.86	27.9	16.4	75.50	0	986.17	3.89
04/11/2018	noviembre	19.61	27.9	16.6	76.21	0	985.94	3.94
05/11/2018	noviembre	20.06	27.9	17	74.42	0	986.08	3.98
06/11/2018	noviembre	19.53	27.9	16.8	76.92	0	984.62	3.93
07/11/2018	noviembre	19.71	27.9	16.7	75.67	0	982.71	3.95
08/11/2018	noviembre	18.81	27.9	16.6	77.79	0	983.98	3.99
09/11/2018	noviembre	19.75	27.9	16.8	71.42	0	984.82	3.83
10/11/2018	noviembre	18.8	27.9	14.9	76.21	0	984.48	3.67
11/11/2018	noviembre	19.1	27.9	16.2	74.75	0	984.55	3.67
12/11/2018	noviembre	19.06	27.9	14.9	76.50	0	984.81	3.17
13/11/2018	noviembre	19.43	27.9	15.2	77.83	0	985.09	3.83
14/11/2018	noviembre	19.29	27.9	16.1	77.33	0.7	985.43	3.37
15/11/2018	noviembre	18.87	27.9	15.3	76.13	0	985.22	3.58
16/11/2018	noviembre	18.25	27.9	15.1	78.71	0	984.72	2.95
17/11/2018	noviembre	18.65	27.9	14.8	76.50	0	984.23	3.64
18/11/2018	noviembre	18.72	27.9	14.4	74.83	0	984.99	3.31
19/11/2018	noviembre	18.49	27.9	13.1	77.67	0	984.99	2.93
20/11/2018	noviembre	19.2	27.9	15.4	76.63	0	985.32	3.39
21/11/2018	noviembre	19.05	27.9	16.1	77.13	0	985.89	3.84
22/11/2018	noviembre	19.13	27.9	15.8	75.38	0	986.25	3.43

<b>Día/mes/año</b>	<b>Mes</b>	<b>T (°C) Prom</b>	<b>T Max</b>	<b>T Min</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>	<b>Presión (mb)</b>	<b>Velocidad Viento (m/s)</b>
23/11/2018	noviembre	18.84	27.9	14.6	77.25	0	985.2	3.57
24/11/2018	noviembre	18.69	27.9	13.9	78.46	0	984.48	3.17
25/11/2018	noviembre	19.38	27.9	16.7	75.38	0	984.84	4.00
26/11/2018	noviembre	19.48	27.9	16.6	76.08	0	986.1	3.60
27/11/2018	noviembre	20.58	27.9	16	67.83	0	985.75	4.41
28/11/2018	noviembre	19.56	27.9	14.6	70.13	0	986.05	3.47
29/11/2018	noviembre	19.43	27.9	13.2	71.67	0	986.38	3.62
30/11/2018	noviembre	20.07	27.9	16.1	73.08	0	986.55	3.74
01/12/2018	diciembre	20.85	27.9	17.2	70.13	0	986.31	3.81
02/12/2018	diciembre	19.43	27.9	13.6	74.96	0	985.43	3.32
03/12/2018	diciembre	20.11	27.9	17.6	73.71	0	985.8	3.64
04/12/2018	diciembre	20.52	27.9	15.2	69.88	0	985.6	3.45
05/12/2018	diciembre	20.26	27.9	15.3	71.29	0	986.04	3.63
06/12/2018	diciembre	20.25	27.9	13.3	71.29	0	986.29	3.78
07/12/2018	diciembre	19.77	27.9	15.1	76.50	0	986.73	3.34
08/12/2018	diciembre	18.71	27.9	14.8	80.79	0	985.35	2.91
09/12/2018	diciembre	20.2	27.9	16.1	74.42	0.3	985.22	4.03
10/12/2018	diciembre	20.02	27.9	14.6	74.71	0	986.21	3.55
11/12/2018	diciembre	19.94	27.9	15.9	77.54	0	985.88	2.97
12/12/2018	diciembre	20.66	27.9	16.2	75.17	0	984.83	3.29
13/12/2018	diciembre	20.68	27.9	15.9	75.58	0	985.49	3.60
14/12/2018	diciembre	22.12	28	17	70.58	0	986.23	3.49
15/12/2018	diciembre	21.77	27.9	17.9	73.54	0	985.27	3.70

<b>Día/mes/año</b>	<b>Mes</b>	<b>T (°C) Prom</b>	<b>T Max</b>	<b>T Min</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Lluvia (mm)</b>	<b>Presión (mb)</b>	<b>Velocidad Viento (m/s)</b>
16/12/2018	diciembre	21.39	27.9	17.1	75.46	0	985.15	3.40
17/12/2018	diciembre	21.63	27.9	17.1	74.25	0	984.49	4.18
18/12/2018	diciembre	21.84	27.9	19.1	71.75	0	985.3	4.25
19/12/2018	diciembre	22.35	27.9	17.8	72.08	0	985.03	3.58
20/12/2018	diciembre	22.27	27.9	19.2	74.50	0	984.63	4.01
21/12/2018	diciembre	21.63	27.9	19.2	75.33	0	984.88	4.06
22/12/2018	diciembre	21.84	27.9	19.1	75.32	0	985.00	3.95
23/12/2018	diciembre	21.41	27.9	18.8	77.29	0	983.38	3.82
24/12/2018	diciembre	20.15	27.9	18.7	78.88	0	983.30	2.88
25/12/2018	diciembre	22.11	27.9	18.8	70.46	0	982.28	4.30
26/12/2018	diciembre	21.83	27.4	17.7	72.92	0	982.09	3.45
27/12/2018	diciembre	21.45	26.4	17.3	76.38	0	981.71	3.59
28/12/2018	diciembre	22	26.5	18.1	77.26	0	982.08	3.39
29/12/2018	diciembre	22.15	26.6	19.2	76.29	0	983.11	3.72
30/12/2018	diciembre	22.11	25.7	19.8	75.71	0	982.28	4.08
31/12/2018	diciembre	20.81	23.8	18.5	78.71	0	981.48	3.47

## Anexo 2: Análisis de granulometría de las muestras de quinua

Se muestran los pesos de los granos que quedaron entre los tamices de diferente diámetro, luego de pasar por las zarandas vibratorias. Los valores transformados a porcentaje se mostrarán en el Anexo 3.

Variedad	Bloque	Mayores a 2mm (gramos)	Entre 2 y 1.7 mm (gramos)	Entre 1.7 y 1.4 mm (gramos)	Menores a 1.4 mm (gramos)
Altiplano	1	0.0175	1.4245	7.1138	1.4437
Altiplano	2	0.0093	1.1098	7.2873	1.5611
Altiplano	3	0.0150	1.1877	7.3294	1.4494
Altiplano	4	0.0111	0.6541	7.1725	2.1670
Altiplano	5	0.0000	1.3993	6.7413	1.8352
Amarilla de M.	1	0.3222	5.5756	3.6498	0.3476
Amarilla de M.	2	0.1776	5.5513	3.5135	0.3930
Amarilla de M.	3	0.0871	5.2778	4.9744	0.6049
Amarilla de M.	4	0.0896	4.8548	4.2277	0.4927
Amarilla de M.	5	0.1250	5.4993	3.9468	0.3933
Negra Collana	1	0.0000	0.0452	6.2456	3.7050
Negra Collana	2	0.0000	0.1995	6.3359	3.4170
Negra Collana	3	0.0000	0.0657	4.3362	5.5886
Negra Collana	4	0.0000	0.0743	5.816	4.0996
Negra Collana	5	0.0000	0.1259	5.6336	4.2277
Pasankalla	1	0.0068	3.007	6.185	0.7641
Pasankalla	2	0.0114	3.0247	6.3034	0.6496
Pasankalla	3	0.0301	2.6215	6.42439	0.9046
Pasankalla	4	0.0401	1.9967	7.29	0.6719
Pasankalla	5	0.0110	3.5919	5.7555	0.6132
Salcedo	1	0.04619	0.6514	7.2744	2.20235
Salcedo	2	0.02570	0.6447	7.4085	1.9455
Salcedo	3	0.01490	1.0582	7.3263	1.5618
Salcedo	4	0.01710	1.9292	6.9561	1.0752
Salcedo	5	0.00000	1.6324	7.0152	1.3324

**Anexo 3: Datos de las unidades experimentales del estudio.**

Variedades	Bloque	AUDPC	Altura (cm)	Rendimiento (gramos)	Peso de mil granos (gramos)	Granulometría			Contenido de proteína (%)
						Mayores a 1.7 mm (gramos)	Entre 1.7 y 1.4 mm (gramos)	Menores a 1.4 mm (gramos)	
Altiplano	1	4754.3	80.1	526	2.732	0.144	0.711	0.144	0.157
Altiplano	2	4612.3	94.7	453	2.635	0.112	0.731	0.157	0.158
Altiplano	3	4560.4	82.6	479	2.912	0.120	0.734	0.145	0.148
Altiplano	4	5092.6	86.2	505	2.575	0.066	0.717	0.217	0.151
Altiplano	5	4838.3	74.2	374	3.120	0.140	0.676	0.184	0.15
Amarilla de M.	1	2203.4	151.4	2481	3.501	0.596	0.369	0.035	0.148
Amarilla de M.	2	2156.2	136.6	1901	3.442	0.595	0.365	0.041	0.136
Amarilla de M.	3	2411.6	148.5	1935	3.602	0.490	0.455	0.055	0.148
Amarilla de M.	4	2390.5	152.3	1195	3.601	0.512	0.437	0.051	0.143
Amarilla de M.	5	2658.8	137.6	1949	3.812	0.564	0.396	0.039	0.142
Negra Collana	1	3786.3	94.5	901	2.057	0.005	0.625	0.371	0.135
Negra Collana	2	3654.5	93.7	1138	2.090	0.020	0.637	0.343	0.14
Negra Collana	3	3701.0	95.4	1251	2.051	0.007	0.434	0.559	0.128
Negra Collana	4	3848.3	90.5	899	2.081	0.007	0.582	0.410	0.126
Negra Collana	5	3991.6	98.4	882	2.145	0.013	0.564	0.423	0.131
Pasankalla	1	3481.1	113.5	1865	3.259	0.303	0.621	0.077	0.126
Pasankalla	2	3281.6	116.5	1454	2.930	0.304	0.631	0.065	0.135
Pasankalla	3	3530.9	116.9	1334	3.376	0.266	0.644	0.091	0.128
Pasankalla	4	3219.3	126.4	1453	3.229	0.204	0.729	0.067	0.127
Pasankalla	5	3373.4	112.5	1821	3.254	0.361	0.577	0.061	0.129
Salcedo	1	4330.1	85.0	1211	2.996	0.069	0.715	0.216	0.159
Salcedo	2	4264.9	78.0	763	2.541	0.067	0.739	0.194	0.145
Salcedo	3	4526.6	88.6	906	2.152	0.108	0.735	0.157	0.148
Salcedo	4	4365.8	91.1	783	2.861	0.195	0.697	0.108	0.143
Salcedo	5	4201.2	92.9	817	2.930	0.164	0.703	0.134	0.15

## Anexo 4: Test de Shapiro-Wild y transformación de variables

### Shapiro-Wilk Normality Test

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2020, 05:45:46

### Shapiro-Wilk Normality Test

Variable	N	W	P
ABCPE	25	0.9463	0.2063
Grano1	25	0.8695	0.0042
Grano1Y	25	0.9377	0.1309
Grano2	25	0.8524	0.0020
Grano2Y	25	0.8601	0.0028
Grano3	25	0.8434	0.0013
Grano3Y	25	0.9094	0.0296
Hgh	25	0.8895	0.0109
HghX	25	0.9224	0.0582
Mil	25	0.9340	0.1078
Prote	25	0.9317	0.0949
Rend	25	0.9412	0.1574

ABCPE: Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad.

Grano1: Porcentaje de granos con diámetro mayor a 1.7 mm.

Grano2: Porcentaje de granos con diámetro de entre 1.7 y 1.4 mm.

Grano3: Porcentaje de granos con diámetro menor a 1.4 mm.

Grano1Y:  $\text{Arcsin}(\text{Sqrt}(\text{Grano1}/100))$

Grano2Y:  $\text{Arcsin}(\text{Sqrt}(\text{Grano2}/100))$

Grano3Y:  $\text{Arcsin}(\text{Sqrt}(\text{Grano3}/100))$

Hgh: altura de plantas.

HghX=  $\text{Log}(\text{Hgh})$

Mil: Peso de mil granos

Prote: Contenido de Proteína

Rend: Rendimiento

## Anexo 5: Análisis de variancia y prueba de Tukey del Área Bajo la Curva de Progreso de la enfermedad

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 08:52:59

### Randomized Complete Block AOV Table for AUDPC

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	4	144068	36017		
Var	4	1.724E+07	4310900	176.11	0.0000
Error	16	391654	24478		
Total	24				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 3729.4 CV 4.20

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	11126	11125.5	0.44	0.5179
Remainder	15	380529	25368.6		

Relative Efficiency, RCB 1.06

### Means of AUDPC for Var

Var	Mean
Alt	4771.6
Amr	2364.1
Ngr	3796.3
Pas	3377.3
Sal	4337.7
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	69.969
Std Error (Diff of 2 Means)	98.951

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 08:53:34

### Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of AUDPC for Var

Var	Mean	Homogeneous Groups
Alt	4771.6	A
Sal	4337.7	B
Ngr	3796.3	C
Pas	3377.3	D
Amr	2364.1	E

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 98.951  
 Critical Q Value 4.333 Critical Value for Comparison 303.18  
 Error term used: Bloque\*Var, 16 DF  
 All 5 means are significantly different from one another.

## Anexo 6: Análisis de variancia y prueba de Tukey del rendimiento.

Statistix 9.0  
p. m.

Variables, 17/01/2019, 12:05:07

### Randomized Complete Block AOV Table for Rend

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	4	467800	116950		
Var	4	6435605	1608901	29.70	0.0000
Error	16	866690	54168		
Total	24				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 1171.0      CV 19.87

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	349349	349349	10.13	0.0062
Remainder	15	517341	34489		

Relative Efficiency, RCB 1.17

### Means of Rend for Var

Var	Mean
Alt	467.4
Amr	1892.2
Ngr	1014.2
Pas	1585.4
Sal	896.0
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	104.08
Std Error (Diff of 2 Means)	147.20

Statistix 9.0  
p. m.

Variables, 17/01/2019, 12:05:16

### Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Rend for Var

Var	Mean	Homogeneous Groups
Amr	1892.2	A
Pas	1585.4	A
Ngr	1014.2	B
Sal	896.0	BC
Alt	467.4	C

Alpha                      0.05              Standard Error for Comparison    147.20  
Critical Q Value    4.333              Critical Value for Comparison    451.00  
Error term used: Bloque\*Var, 16 DF  
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
are not significantly different from one another.

## Anexo 7: Análisis de variancia y prueba de Tukey de la altura de planta transformada

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 09:15:17

### Randomized Complete Block AOV Table for HghX

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	4	0.00166	0.00042		
Var	4	0.20293	0.05073	64.92	0.0000
Error	16	0.01250	0.00078		
Total	24				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 2.0131 CV 1.39

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0.00040	3.962E-04	0.49	0.4942
Remainder	15	0.01211	8.071E-04		

Relative Efficiency, RCB 0.90

### Means of HghX for Var

Var	Mean
Alt	1.9206
Amr	2.1617
Ngr	1.9753
Pas	2.0684
Sal	1.9393
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	0.0125
Std Error (Diff of 2 Means)	0.0177

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 09:15:38

### Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of HghX for Var

Var	Mean	Homogeneous Groups
Amr	2.1617	A
Pas	2.0684	B
Ngr	1.9753	C
Sal	1.9393	CD
Alt	1.9206	D

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0177  
 Critical Q Value 4.333 Critical Value for Comparison 0.0542  
 Error term used: Bloque\*Var, 16 DF  
 There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

## Anexo 8: Análisis de variancia y prueba de Tukey del peso de mil granos.

Statistix 9.0  
p. m.

Variables, 17/01/2019, 12:47:30

### Randomized Complete Block AOV Table for Peso

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	4	0.28709	0.07177		
Var	4	6.44134	1.61033	43.08	0.0000
Error	16	0.59808	0.03738		
Total	24				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 2.8754 CV 6.72

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0.00627	0.00627	0.16	0.6959
Remainder	15	0.59182	0.03945		

Relative Efficiency, RCB 1.13

### Means of Peso for Var

Var	Mean
Alt	2.7947
Amr	3.5917
Ngr	2.0850
Pas	3.2097
Sal	2.6960
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	0.0865
Std Error (Diff of 2 Means)	0.1223

Statistix 9.0  
p. m.

Variables, 17/01/2019, 12:48:08

### Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Peso for Var

Var	Mean	Homogeneous Groups
Amr	3.5917	A
Pas	3.2097	B
Alt	2.7947	C
Sal	2.6960	C
Ngr	2.0850	D

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.1223  
 Critical Q Value 4.333 Critical Value for Comparison 0.3747  
 Error term used: Bloque\*Var, 16 DF  
 There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

**Anexo 9: Análisis de variancia y prueba de Tukey para la granulometría (mayores a 1.7mm) transformada**

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 09:08:39

**Randomized Complete Block AOV Table for CalibreY**

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	4	0.01469	0.00367		
Var	4	1.53497	0.38374	108.08	0.0000
Error	16	0.05681	0.00355		
Total	24				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 0.4386 CV 13.58

**Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity**

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0.00135	0.00135	0.37	0.5540
Remainder	15	0.05545	0.00370		

Relative Efficiency, RCB 0.99

**Means of CalibreY for Var**

Var	Mean
Alt	0.3455
Amr	0.8371
Ngr	0.0989
Pas	0.5644
Sal	0.3474
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	0.0266
Std Error (Diff of 2 Means)	0.0377

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 09:08:53

**Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of CalibreY for Var**

Var	Mean	Homogeneous Groups
Amr	0.8371	A
Pas	0.5644	B
Sal	0.3474	C
Alt	0.3455	C
Ngr	0.0989	D

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.0377  
 Critical Q Value 4.333 Critical Value for Comparison 0.1155  
 Error term used: Bloque\*Var, 16 DF  
 There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

## Anexo 10: Análisis de variancia y prueba de Tukey para el contenido de proteína

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 09:07:30

### Randomized Complete Block AOV Table for Prote

Source	DF	SS	MS	F	P
Bloque	4	1.4656	0.36640		
Var	4	21.6856	5.42140	24.00	0.0000
Error	16	3.6144	0.22590		
Total	24				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 14.124      CV 3.37

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

Source	DF	SS	MS	F	P
Nonadditivity	1	0.07992	0.07992	0.34	0.5690
Remainder	15	3.53448	0.23563		

Relative Efficiency, RCB 1.08

### Means of Prote for Var

Var	Mean
Alt	15.280
Amr	14.340
Ngr	13.200
Pas	12.900
Sal	14.900
Observations per Mean	5
Standard Error of a Mean	0.2126
Std Error (Diff of 2 Means)	0.3006

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 09:07:50

### Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Prote for Var

Var	Mean	Homogeneous Groups
Alt	15.280	A
Sal	14.900	AB
Amr	14.340	B
Ngr	13.200	C
Pas	12.900	C

Alpha                      0.05              Standard Error for Comparison      0.3006  
Critical Q Value      4.333              Critical Value for Comparison      0.9210  
Error term used: Bloque\*Var, 16 DF  
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means  
are not significantly different from one another.

## Anexo 11: Análisis de correlación lineal entre el rendimiento y ABCPE

Statistix 9.0  
p. m.

Variabes, 17/01/2019, 12:06:53

### Least Squares Linear Regression of Rend

#### Predictor

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Constant	3338.00	251.375	13.28	0.0000
AUDPC	-0.58105	0.06574	-8.84	0.0000

R-Squared	0.7725	Resid. Mean Square (MSE)	76846.7
Adjusted R-Squared	0.7626	Standard Deviation	277.212
AICc	286.30		
PRESS	2.19E+06		

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	6002622	6002622	78.11	0.0000
Residual	23	1767473	76847		
Total	24	7770095			

Cases Included 25 Missing Cases 0

## Anexo 12: Análisis de correlación lineal entre la altura transformada y ABCPE

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 12:28:02

### Least Squares Linear Regression of HghX

#### Predictor

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Constant	2.39967	0.03051	78.66	0.0000
AUDPC	-1.036E-04	7.979E-06	-12.99	0.0000

R-Squared	0.8801	Resid. Mean Square (MSE)	0.00113
Adjusted R-Squared	0.8749	Standard Deviation	0.03364
AICc	-164.54		
PRESS	0.0312		

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.19107	0.19107	168.82	0.0000
Residual	23	0.02603	0.00113		
Total	24	0.21710			

Cases Included 25 Missing Cases 0

### Anexo 13: Análisis de correlación lineal entre el peso de mil granos y ABCPE

Statistix 9.0  
p. m.

Variables, 17/01/2019, 12:52:17

#### Least Squares Linear Regression of Peso

##### Predictor

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Constant	4.28034	0.41440	10.33	0.0000
AUDPC	-3.767E-04	1.083E-04	-3.48	0.0020

R-Squared	0.3444	Resid. Mean Square (MSE)	0.20884
Adjusted R-Squared	0.3159	Standard Deviation	0.45699
AICc	-34.096		
PRESS	5.4316		

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	2.52321	2.52321	12.08	0.0020
Residual	23	4.80330	0.20884		
Total	24	7.32651			

Cases Included 25 Missing Cases 0

### Anexo 14: Análisis de correlación lineal entre el la granulometría (mayor a 1.7 mm) y ABCPE

Statistix 9.0

15/01/2019, 12:41:40 p. m.

#### Least Squares Linear Regression of CalibreY

##### Predictor

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Constant	1.24707	0.16603	7.51	0.0000
AUDPC	-2.168E-04	4.342E-05	-4.99	0.0000

R-Squared	0.5201	Resid. Mean Square (MSE)	0.03352
Adjusted R-Squared	0.4992	Standard Deviation	0.18309
AICc	-79.830		
PRESS	0.8722		

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.83545	0.83545	24.92	0.0000
Residual	23	0.77101	0.03352		
Total	24	1.60647			

Cases Included 25 Missing Cases 0

## Anexo 15: Análisis de correlación lineal entre el contenido de proteína y ABCPE

Statistix 9.0  
p. m.

15/01/2019, 12:40:01

### Least Squares Linear Regression of Prote

#### Predictor

Variables	Coefficient	Std Error	T	P
Constant	12.3368	0.90051	13.70	0.0000
AUDPC	4.792E-04	2.355E-04	2.03	0.0536

R-Squared	0.1526	Resid. Mean Square (MSE)	0.98619
Adjusted R-Squared	0.1157	Standard Deviation	0.99307
AICc	4.7106		
PRESS	26.678		

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4.0833	4.08326	4.14	0.0536
Residual	23	22.6823	0.98619		
Total	24	26.7656			

Cases Included 25      Missing Cases 0