

CALIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE QUINUA *Chenopodium quinoa*
Willd. ALMACENADAS ARTESANALMENTE POR PRODUCTORES.

LAURA CRISTINA ARENAS RIVERA

ANGIE KATHERINE HEREDIA HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Bogotá D.C

2017

CALIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE QUINUA *Chenopodium quinoa*
Willd. ALMACENADAS ARTESANALMENTE POR PRODUCTORES.

LAURA CRISTINA ARENAS RIVERA
ANGIE KATHERINE HEREDIA HERNÁNDEZ

Presentado como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Director (a):

Bióloga PhD GLADYS ROMERO GUERRERO

Codirector:

I. A. DANNY SANJUANELO CORREDOR

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Bogotá D.C

2017

Resumen

El estudio de caso evaluó el efecto de las condiciones y tiempo de almacenamiento tradicional de los productores de quinua de la zona de Boyacá y Cundinamarca sobre la calidad física (color, forma, diámetro, contenido de humedad, imbibición) y fisiológica (viabilidad, porcentaje y velocidad de germinación) de la semilla, adicionalmente se determinó el efecto del sustrato sobre el poder germinativo para esta especie. El estudio se desarrolló en las instalaciones de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y en la Hacienda Buenos Aires en el municipio de Tibasosa-Boyacá. El análisis de datos se llevó a cabo bajo un Diseño Completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2x11 (Sustratos x Muestras); entendiendo por muestra a la combinación de los ecotipos por el tiempo y las condiciones de almacenamiento. Se determinaron diferencias físicas en la semilla de forma, color y tamaño influenciado por la mezcla de ecotipos en la zona. El contenido de humedad tuvo un posible efecto de las condiciones de almacenamiento al intervenir factores de temperatura y humedad relativa que aceleraron el proceso metabólico generando deterioro de la semilla, indicando con esto una reducción en el porcentaje y velocidad de germinación. El sustrato que proporcionó mejores condiciones para la germinación y velocidad de semillas de quinua fue la turba. Con porcentajes de germinación mayores al 80% a una velocidad de 6 días y 7.36 semillas germinadas/día, fue PCU12 la muestra que presentó mejores resultados en condiciones de campo con este sustrato.

Palabras clave: *Chenopodium quinoa* Willd, calidad de semillas, almacenamiento, sustratos, ecotipo.

Abstract

This case study evaluated the conditions effect and traditional storage time of the quinoa producers of the Boyacá and Cundinamarca zone on the physical quality (color, shape, diameter, moisture content, imbibition) and physiological quality (viability, percentage And germination rate) of the seed. In addition, the effect of the substrate on the germinative power was determined for this species. The study was developed in the facilities of the Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A and in a local farm at “Buenos Aires” (municipality of Tibasosa, Boyacá, Colombia). The data analysis was carried out under a completely randomized design (DCA) with factorial arrangement 2x11 (Substrates x Samples); Meaning the combination of ecotypes by time and storage conditions. The study determined significant differences in the physical parameters of the seed of form, color and size, condition given to the seed mixture with which the crops normally develop in the zone. The physiological quality variables were affected by the storage conditions, because these sites can intervene in the acceleration of the metabolic processes of the seed causing the deterioration of the same. The substrate that provided the best conditions for the percentage and speed of germination of quinoa was the peat substrate, allowing a better use of the water and a greater aeration during the germination process. In this substrate the sample with the best performance corresponded to PCU12 with germination values greater than 80% in a period of 6 days and 7.36 seeds germinated per day, while in soil substrate this same sample did not reach 50% of germination during the 12 days and this same had a value of 3.37 for the germination rate variable.

Key words: *Chenopodium quinoa* Willd, seed quality, storage, substrates, ecotypes.

Agradecimientos

A Dios por la fortaleza necesaria para culminar con éxito esta meta propuesta.

A nuestros familiares por ser promotores de nuestra formación académica, por el apoyo, la confianza, los buenos deseos y la lucha persistente a nuestro lado.

A nuestros asesores de Tesis por sus instrucciones, orientaciones, esfuerzos y dedicación en este proyecto.

A la comunidad de docentes que tuvieron participación en la formación académica que fortaleció el conocimiento necesario para llevar a cabo este estudio.

Al Ingeniero Humberto Zambrano por la contribución y sabiduría transmitida durante el desarrollo del proyecto de grado que se llevó a cabo en su predio, Hacienda Buenos Aires.

A la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A por el aporte económico otorgado al proyecto.

Al laboratorio de nutrición animal del programa de zootecnia de la U.D.C.A., por la colaboración en la determinación de contenido de humedad de semillas.

Contenido

Introducción	1
Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Marco teórico	4
Generalidades	4
Características botánicas y morfológicas	5
Características nutricionales	6
Características de adaptabilidad	7
Producción de quinua en Colombia y el mundo	8
Germinación, calidad y almacenamiento de semillas	9
Germinación y almacenamiento de quinua	11
Materiales y métodos	13
Localización	13
Tratamientos	14
Material vegetal.....	15

Sustratos	20
Método de siembra en campo	23
Diseño experimental	23
Métodos de evaluación	24
Calidad física de la semilla	24
Calidad fisiológica	27
Resultados y discusión.....	29
Conclusiones.....	47
Recomendaciones para el agricultor.....	48
Recomendaciones para investigadores.....	49
Bibliografía.....	49
Anexos.....	61

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Ecotipos, sitios y tiempos de almacenamiento de semillas de C. quinoa Willd. recolectadas de departamentos de Boyacá y Cundinamarca.</i>	14
Tabla 2 <i>Clasificación y descripción de la zona de Tibasosa, Boyacá.</i>	29
Tabla 3 <i>Tendencia de frecuencia para forma de semilla de quinua por tratamiento.</i>	30
Tabla 4 <i>Tendencia de frecuencia para color de semilla de quinua por tratamiento</i>	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5 <i>Calidad física de semillas de Chenopodium quinua Willd. recolectadas en los municipios de Boyacá y Cundinamarca, Colombia.</i>	33
Tabla 6 <i>Porcentaje y velocidad de germinación para muestras de Chenopodium quinoa Willd.</i>	39

Lista de figuras

<i>Figura 1</i> Cultivo de quinua <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. Ecotipo Floral, Hacienda Buenos Aires, Tibasosa-Boyacá.....	6
<i>Figura 2.</i> Representación esquemática, corte longitudinal de la semilla de quinua (PE: pericarpio; EP: episperma, EN: endosperma, F: funículo, R: radícula, H: hipocótilo, C: cotiledones y P: perisperma).	7
<i>Figura 3</i> Hacienda Buenos Aires, municipio de Tibasosa, Boyacá.....	14
<i>Figura 4</i> Ecotipo Piartal	16
<i>Figura 5</i> Ecotipo Bolivia.....	17
<i>Figura 6</i> Ecotipo Nariño	18
<i>Figura 7</i> Ecotipo Floral.....	19
<i>Figura 8</i> Mapa de suelos del departamento de Boyacá 1:100.000. FBA = Hacienda Buenos Aires	21
<i>Figura 9</i> Modelo de siembra aleatorizado en campo para suelo. A= Ecotipo R= Repetición	24
<i>Figura 10</i> Forma del grano de <i>Chenopodium quinoa</i> . 1) Lenticular, 2) Cilíndrico, 3) Elipsoidal, 4) Cónica.....	25
<i>Figura 11</i> Dimensiones de la semilla de quinua. A) Espesor B) Largo C) Ancho	26

<i>Figura 12</i> Test de viabilidad por tetrazolio al 1 % en semillas de <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. Tinción rojiza del embrión en muestra NCU12.	35
<i>Figura 13</i> Tasa de imbibición de semillas de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) Las 11 muestras se separan en a) 4FB8, TFB2, BCU12, PCU12, FFB17, NCU12 y b) PFR10, MFR18, 4FC7, 4FC9, TFB9	38
<i>Figura 14</i> Comparación del efecto entre muestra y sustrato sobre porcentaje de germinación de <i>C. quinoa</i> Willd. Sustratos 1= Turba 2=Suelo.	41
<i>Figura 15</i> Correlación entre las variables cuantitativas evaluadas en las semillas de quinua. S1= Turba S2= Suelo.	46

Introducción

La quinua es un cultivo ancestral milenario perteneciente a la familia *Chenopodiaceae* y originaria de los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia. Es denominada un pseudocereal -grano no verdadero- por características botánicas y, conjuntamente, por su composición extraordinaria y equilibrio entre ácidos grasos esenciales y ácido oléico, proteína y grasas (Ledezma & Vásquez, 2010; Vega-Gálves *et al.*, 2010). Estas propiedades nutricionales convierten a la quinua en fuente potencial para la seguridad alimentaria mundial según los estándares de nutrición humana establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Esta misma organización declaró al 2013 como el Año Internacional de la Quinua, situándole en un espacio privilegiado a nivel mundial al puntualizar sus características extraordinarias y poner como punto de partida las expectativas y próximos desafíos que se centralicen en su expansión, conservación, potencial de sus usos, demanda y consumo, entre otras.

Como requisito fundamental para el adecuado establecimiento de cualquier cultivo es necesario contar con semillas de calidad, con buena capacidad de germinación y alta viabilidad que en condiciones óptimas de suelo y ambiente garantice emergencia rápida y uniforme de las plántulas (Minuzzi *et al.*, 2007). Así mismo, es primordial tener en cuenta los factores que afectan el proceso de germinación de las semillas para la selección de variedades con posibilidad de adaptación a zonas diferentes de las que se cultiva tradicionalmente y evitar pérdidas durante el establecimiento. Aunque la quinua es considerada un cultivo rústico y resistente a factores adversos tanto climatológicos como

edáficos (Calle *et al*, 2010), su producción puede verse afectada por componentes bióticos o abióticos (Gabriel J. *et al*, 2012) en etapas tan vulnerables como la germinación. Paulsen & Auld (2004), Gubler *et al* (2005) y Kermodé (2005), afirman que la alta variabilidad genética, la introducción de variedades a nuevas regiones y las interacciones con las condiciones del entorno generan impacto negativo en la disminución del rendimiento, calidad para la industria y/o viabilidad de la semilla cosechada, que se traduce en pérdidas económicas parciales o totales.

El método que mantiene las semillas viables por lo menos entre el periodo de cosecha y la siembra es el almacenamiento (Azevedo *et al* , 2003). Los factores más influyentes durante este proceso son la humedad relativa (por su relación directa con el contenido de agua de las semillas) y temperatura (influyente en la velocidad de los procesos bioquímicos) por estar estrechamente relacionados con el deterioro de la semilla (Carvalho, 2000). Si bien la quinua presenta un comportamiento ortodoxo, semillas que permanecen viables después de una desecación de hasta el 5-10% (Pérez & Pita, 2001), puede perder viabilidad en muy poco tiempo en condiciones de mayor temperatura y humedad (Roberts & Ellis , 1989; Nieto C. C., 1988). Para esta especie esa tasa o ritmo de envejecimiento ha mostrado una variabilidad considerable entre variedades (Castellón M. L., 2008). De esta forma las técnicas de conservación requieren ser estudiadas para alcanzar la mínima actividad fisiológica a fin de prolongar la vida de las semillas en el máximo tiempo de almacenamiento (Calle *et al*, 2010) bajo condiciones en las que el agricultor almacena la semilla.

Basados en lo anterior y considerando el potencial agrícola y nutricional de esta especie de cultivo, resulta importante y de interés para los agricultores evaluar ecotipos de quinua sembrados en Colombia con el fin de determinar los mecanismos que intervienen en el proceso de envejecimiento de la semilla y analizar cómo varían las características de un ecotipo a otro, en la busca de un posible método de manejo específico para cada material, ya que una correcta conservación de las semillas asegurará el mantenimiento de su viabilidad al momento de la siembra. En muchas zonas productoras del país no se poseen protocolos de almacenamiento y se desconocen las condiciones apropiadas para la conservación de la semilla, por lo que es preciso evaluar la calidad de ecotipos para contribuir a generar información que pueda ser transmitida tanto a productores como a instituciones y comunidad científica (Yuquilema, 2013). Este trabajo de investigación busca evaluar la calidad física y fisiológica de las semillas almacenadas bajo condiciones determinadas por los agricultores e indagar las posibles causas que generan problemas en el establecimiento del cultivo por baja germinación en la zona productora de Tibasosa en el departamento de Boyacá, ya que se perciben incrementos en los costos de producción (por aumento de densidad de semilla, mayor frecuencia en aplicaciones de biológicos y agroquímicos, repetitiva preparación del suelo, aplazamiento de siembras, entre otros) situación que ha llevado a los agricultores de la zona a considerar el cambio del cultivo de quinua por maíz o cebolla, según informan en comunicación personal los productores Humberto Zambrano y Felipe Peña del municipio de Tibasosa.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la calidad y germinación de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) almacenadas bajo diferentes condiciones en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.

Objetivos Específicos

Evaluar los componentes físicos y fisiológicos de la semilla de quinua en las condiciones de almacenamiento que les dan los agricultores.

Comparar el efecto de dos sustratos de siembra sobre la germinación de once muestras de *C. quinoa* Willd.

Marco teórico

Generalidades

La quinua es una planta andina cultivada desde hace más de 7.000 años y domesticada en los alrededores del lago Titicaca entre Perú y Bolivia, donde también presenta la mayor distribución, diversidad de genotipos y progenitores silvestres (Mújica A. , 2015). Es una planta de alto contenido nutricional que fue cultivada y usada como alimento en tiempos ancestrales por su población como sustituto de las escasas proteínas animales (Mújica A *et al*, 2001; Repo-Carrasco *et al*, 2003) y reemplazada por los cereales después de la llegada de los españoles (Lozano X & Rubiano, 2007).

Cuenta con una amplia distribución geográfica que va desde Canadá hasta el sur de Chile en el continente de América, y mostrando resultados aceptables de producción y adaptabilidad en algunos países de Europa, Asia y África (Tapia & Fries, 2007). La diversidad genética de la quinua permite su siembra desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m., y consigue asociarse a ecotipos de Altiplano, Valles Inter-andinos, Salares y Yungas (Rojas *et al*, 2010). Logrando mayores producciones en el rango de 2.500-3.800 m.s.n.m., con precipitaciones anuales entre 250 y 500 mm y temperaturas medias de 5 a 14°C (Mújica *et al*, 2006).

Características botánicas y morfológicas

Es una especie perteneciente a la familia *Chenopodiaceae*. Planta herbácea de desarrollo anual o bianual y dicotiledónea; su morfología, coloración y fenología va a depender del genotipo y de las condiciones agroecológicas del cultivo (Veloza Ramírez *et al*, 2016) debido a que su alta plasticidad permite la adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas (Apaza *et al*, 2013). Sin embargo, puede presentar estados fenológicos que van desde los 90 a 240 días, coloración de los genotipos que varían del verde, púrpura, amarillo, naranja hasta el rojo (Costa, 2014) como se observa en la Figura 1.

Como órgano de importancia se tiene a la semilla, la cual constituye el fruto maduro sin perigonio. Según Vicuña & Peralta (1981), Apaza *et al* (2013) y Gómez *et al* (2016) su forma puede ser lenticular, elipsoidal, cónica o cilíndrica, de tonalidades claras u oscuras y posee diámetros pequeños, medios y grandes.



Figura 1 Cultivo de quinua *Chenopodium quinoa* Willd. Ecotipo Floral, Hacienda Buenos Aires, Tibasosa-Boyacá.

Fuente: Autores

La semilla presenta 3 partes bien definidas (Tapia, 2000; Prego *et al*, 1998) que son i) el episperma; en el cual se ubica la saponina, ii) el embrión; que está formado por dos cotiledones y la radícula, constituye el 30% del volumen total de la semilla recubriendo el perisperma como un anillo, iii) el perisperma; primer tejido de almacenamiento, constituido principalmente por granos de almidón, de color blanquecino y representa prácticamente el 60% de la superficie de la semilla (Figura 2).

Características nutricionales

Es un cultivo de alto potencial agrícola y nutricional que ha incrementado el interés mundial en los últimos años principalmente por la riqueza nutritiva de sus granos, convirtiéndose en el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos (Gonzales *et al*, 2012). Además contiene porcentajes de proteína que varían desde el 13.8

al 21.9 % dependiendo de la variedad (PROINPA, 2011), es una potencial fuente de extracción de aceite por sus altas cantidades del mismo; entre los que se destacan Omega 3, 6 y 9 (Repo-Carrasco *et al*, 2003). Presenta porcentajes de 68 % de carbohidratos (almidón), nutrientes (P, Mg, K, Fe, Zn, Ca y Mn), vitaminas naturales, proteínas (15%), entre otras cualidades (James, 2009; Hernández, 2015).

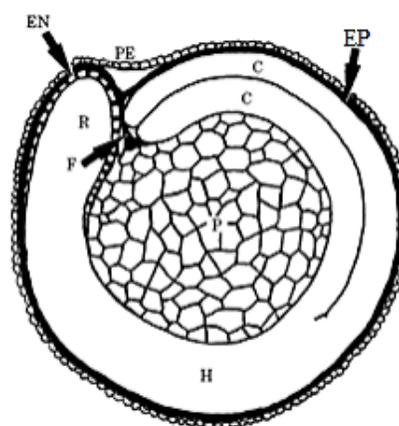


Figura 2. Representación esquemática, corte longitudinal de la semilla de quinua (PE: pericarpio; EP: episperma, EN: endosperma, F: funículo, R: radícula, H: hipocótilo, C: cotiledones y P: perisperma).

Fuente: Prego *et al*, 1998.

Características de adaptabilidad

La resistencia de quinua a factores adversos atrae el interés de investigadores y productores debido a que su plasticidad le permite adaptación a condiciones de sequía, heladas, salinidad, componentes edáficos y factores bióticos (Apaza *et al*, 2013). Las características de resistencia a salinidad, tolerancia a sequía y resistencia a heladas, fueron heredadas por *C. carnosulum*, *C. petiolare* y *C. pallidicaule*, respectivamente, en un proceso evolutivo que implicó el cruzamiento de estas especies (Mújica & Jacobsen, 2006). Varios estudios demuestran que existen cultivares provenientes de condiciones de

valle y con ciclo tardío resistentes a mildiu, sin embargo, su producción es de grano pequeño y no permite su reproducción en otras zonas (Gabriel *et al*, 2012; Danielsen & Ames, 2000) lo que indica la alta variabilidad genética de esta especie. Por otro lado, experimentos han confirmado desarrollo de mecanismos de adaptación a la sequía a través de elevada eficiencia de uso de agua y alta relación raíz/tallo (Bosque Sánchez & Van Damme, 2000; Garcia *et al*, 2004).

Producción de quinua en Colombia y el mundo

Los principales países productores en los últimos años han sido Bolivia con un área sembrada de 71mil ha (0.68 t*ha^{-1}), Perú con 45mil ha (1.16 t*ha^{-1}) y Ecuador con mil ha (0.64 t*ha^{-1}), abarcando casi un 80 % de la producción mundial de quinua (ALADI & FAO, 2014; Jaguer, 2015; PROCOLOMBIA, 2016) el restante ha sido atribuido a la producción de países como Estados Unidos, Canadá, Chile, Colombia, Argentina, Brasil y Francia (Bazile, 2015). En la actualidad Colombia ha retomado el interés por este cultivo a raíz de la importancia que se ha resaltado, para el país este retorno implicará mayor participación a nivel mundial y de forma interna la generación de empleos e ingresos a familias campesinas a través de la producción y comercialización en grano, harina, leche, coladas y aperitivos.

De acuerdo con Quintero (2014) los principales departamentos productores de Colombia son Cundinamarca, Nariño, Boyacá y Cauca. En 2015 Cundinamarca contó con una participación del 30.9 % en la exportación de quinua a un monto de US\$339.334 (ProColombia, 2016), siendo Estados Unidos el principal destino de las ventas. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR (2016) reportó para el 2007 un total

de 104 hectáreas cosechadas en todo el país y la producción era de 140 toneladas por año. Para el 2016 la misma entidad registró un área sembrada de 2.550 hectáreas cuya producción fue de 4.781 toneladas al año.

Germinación, calidad y almacenamiento de semillas

La disminución de la calidad de las semillas ocurre a un tiempo y tasa de deterioro determinado entre otras cosas por las condiciones y el tiempo en las que se almacena, esta calidad se refiere a un conjunto de cualidades que se dividen en primarias y secundarias; las primeras representan componentes de viabilidad y germinación, y las segundas incluyen peso, humedad, tamaño, forma, entre otros (Salinas *et al*, 2001; Gallo D V *et al*, 2008).

La germinación tiene tres etapas sucesivas que se superponen parcialmente en: i) imbibición: proceso de absorción de agua por la semilla que se da por las diferencias de potencial hídrico (mátrico) entre la semilla y la solución de imbibición (Melgarejo & Suárez, 2010), el tejido de reserva absorbe agua a una velocidad intermedia hasta completar su hidratación (Moreno *et al*, 2006). ii) Activación enzimática: en esta etapa se da una reducción considerable de la absorción de agua para dar inicio a transformaciones metabólicas necesarias para el completo desarrollo de la plántula. iii) Crecimiento: se asocia con la emergencia de la radícula y paralelamente un incremento de la actividad metabólica ocurriendo una nueva actividad de absorción de agua (Doria, 2010; Pérez *et al*, 1998). La germinación es un proceso que está influenciado por factores internos y externos. Dentro de los factores internos está la viabilidad, que se puede medir a través de la prueba bioquímica de tetrazolio que consiste en la diferenciación de tejidos vivos de

muertos por la tinción del formazán sobre las células vivas; al ser hidratada la semilla se incrementa la actividad de enzimas hidrogenasas que resulta en la liberación de iones hidrogeno, reduciendo a la solución de tetrazolio -2,3,5, triphenil tetrazolium cholride, incoloro-a formazán, color rojo (Ruiz, 2009), el mismo autor señala que la viabilidad será determinada en función del patrón de tinción del embrión y conjuntamente de la intensidad de la coloración.

El conocimiento de la calidad de las semillas es esencial para la toma de decisiones del manejo comercial y de conservación de las mismas, asegurando con ello la capacidad de germinación, emergencia rápida y uniforme para lograr un buen establecimiento (Ceccato *et al*, 2014). El almacenamiento de semillas tiene como objetivo mantener el valor comercial y preservar la integridad del grano por el mayor tiempo posible, para ello hay ciertos factores que se deben controlar con el fin de asegurar la calidad física, química y fisiológica de las semillas. Conservar una buena condición física y fisiológica desde la cosecha hasta la próxima siembra depende de distintos factores entre los cuales se destacan la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa (Castellión M. L., 2008; Cerovich & Miranda, 2004), aspectos que influyen indiscutiblemente sobre la humedad de equilibrio de la semilla (Baskin & Baskin, 2000). La conservación de las semillas requiere de condiciones controladas de temperatura y humedad para lograr su conservación por más tiempo y mantener la diversidad genética, adicionalmente es importante considerar los diferentes tipos y características de semillas, existiendo dos tipos principales: ortodoxas, semillas que pueden secarse hasta un 5% y almacenarse bajo temperaturas bajas o inferiores a 0°C por largos tiempos, y recalcitrantes que son aquellas

que no pueden sobrevivir si se les seca más allá de un contenido de humedad relativamente alto y que no toleran almacenamiento durante largos periodos (William, 1991).

El almacenamiento de los granos debe hacerse en recintos secos, frescos y bien aireados y teniendo como base estibas de madera (Meyhuay, 2013). La longevidad va a ser determinada por las condiciones de conservación y calidad inicial de la semilla, pero adicionalmente por una tasa de envejecimiento que normalmente es característica de la especie (Ellis & Roberts, 1980).

La conservación y recuperación de las especies vegetales es un aspecto central de su regeneración que se da mediante el proceso de germinación, este se encuentra determinado en gran forma por el conjunto de condiciones que posee cada planta (Doria *et al*, 2012; Rees, 1997). Para la germinación y emergencia entran en interacción los componentes internos o propios de la semilla como la viabilidad y la latencia (Noir & Ruiz de Riveri, 1995), y los factores abióticos más relevantes del ecosistema como son la luz, la temperatura, la humedad, aireación y sustrato (Probert, 2000; Pons, 2000).

Germinación y almacenamiento de quinua

La siembra es una de las actividades más importantes ya que de esta etapa dependerá la emergencia de plántulas, la densidad de plantas y el rendimiento final (PROINPA, 2011). De igual forma para una buena adaptación del cultivo en regiones diferentes a las tradicionales es fundamental tener en cuenta los factores que afectan el proceso de germinación de las semillas, tales como la temperatura y humedad relativa. El tiempo de germinación a campo en quinua demora entre 7 – 10 días (Gómez P & Aguilar

C, 2016). Bois *et al* (2006) evaluaron diez cultivares de quinua y encontraron que la velocidad de germinación disminuye con bajas temperaturas, la mayoría de los cultivares presentaron comportamientos similares, como el caso del cultivar Surumi que alcanzó el 100% de germinación en 10 horas a 20°C, y bajo 2°C tardó 65 horas para alcanzar su germinación. Así mismo Chilo *et al* (2009) determinaron una disminución del poder germinativo, la velocidad de germinación y el crecimiento de las plantas cuando las variedades evaluadas (Cica y Real) se sometieron a un descenso de temperatura y aumento de salinidad.

Fernandes (2013) concluyó que bajo las condiciones de almacenamiento de su experimento la temperatura fue más influyente que la humedad relativa sobre la manutención de calidad fisiológica de semillas de quinua durante el almacenamiento, manteniendo la viabilidad y vigor por hasta 180 y 240 días para los diferentes tratamientos.

Strenske *et al* (2015) reportan que los materiales evaluados de *C. quinoa* disminuyen su capacidad germinativa con el aumento del periodo de almacenamiento, retardando de igual forma el inicio de la germinación de las semillas de esta especie.

Castellón *et al* (2010) estudiaron el deterioro de las semillas de quinua indicando que la solubilidad diferencial de las proteínas puede ser un indicador apropiado del deterioro de las proteínas y de la viabilidad de las semillas durante el almacenamiento.

Calle *et al* (2010) establecieron parámetros para conservación de quinua a largo plazo con 40-60 horas de secado de semilla y almacenado a -20°C , estas condiciones no afectaron la viabilidad y calidad de la semilla.

Un alto contenido de agua mayor al 12% no es recomendable para almacenar grano de quinua porque sus semillas son higroscópicas y absorben o liberan humedad dependiendo el ambiente donde se les coloque. El contenido de humedad se estabiliza cuando esta se expone a un ambiente específico por un periodo de tiempo determinado, lo cual se le conoce como “humedad de equilibrio”, esta depende del tipo de semilla, de la temperatura y la humedad relativa del aire circundante (Cerovich & Miranda, 2004). “A pesar de que la quinua presenta un comportamiento de tipo ortodoxo, pueden perder viabilidad en muy poco tiempo, más aún en condiciones de mayor temperatura y humedad” (Ellis *et al*, 1993, págs. 75-81).

Materiales y métodos

Localización

La caracterización física (forma, color, contenido de humedad, peso, diámetro, imbibición) y la viabilidad de las semillas se determinaron, de forma previa a la siembra, en el laboratorio de fitotecnia de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A., con coordenadas geográficas de $4^{\circ}35'$ latitud Norte y $74^{\circ}04'$ longitud Oeste. Los parámetros de porcentaje y velocidad de germinación se llevaron a cabo en la Hacienda Buenos Aires, ubicada en el municipio de Tibasosa del departamento de Boyacá

(Figura 3), a 2538 m.s.n.m., con coordenadas N 05° 48.362' y W 073° 00.068', con temperatura promedio de 17°C y humedad relativa del 72%.

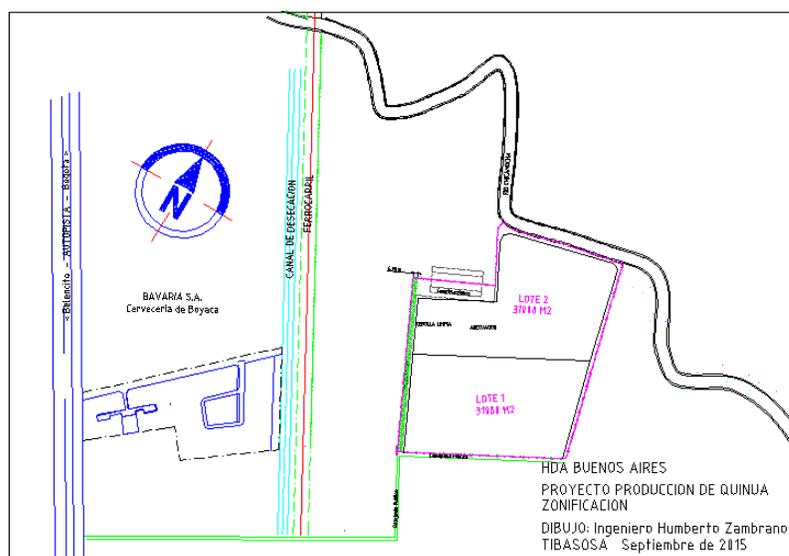


Figura 3 Hacienda Buenos Aires, municipio de Tibasosa, Boyacá.

Fuente: Ing. Humberto Zambrano. Proyecto de producción de quinua – Zonificación.

Tratamientos

Los tratamientos corresponden a 11 muestras evaluadas en 2 sustratos (turba y suelo); se entiende por muestras a la combinación de los ecotipos recolectados por el sitio y el tiempo en que permanecieron almacenados desde su cosecha, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Ecotipos, sitios y tiempos de almacenamiento de semillas de C. quinoa Willd. recolectadas en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.

Muestra	Ecotipo	Tiempo de almacenamiento (meses)	Sitio de almacenamiento
PFR10	Piartal	10	Finca “El recuerdo”
MFR18	Mezclada	18	Finca “El recuerdo”
4FC7	“4 meses”	7	Finca “El Cortijo”

4FC9	“4 meses”	9	Finca “El Cortijo”
TFB9	Tunkahuan	9	Hacienda “Buenos Aires”
FFB17	Floral	17	Hacienda “Buenos Aires”
4FB8	“4 meses”	8	Hacienda “Buenos Aires”
TFB2	Tunkahuan	2	Hacienda “Buenos Aires”
BCU12	Bolivia	12	Laboratorio U.D.C.A
PCU12	Piartal	12	Laboratorio U.D.C.A
NCU12	Nariño	12	Laboratorio U.D.C.A

Material vegetal

Para la investigación se trabajó con semilla recolectada en fincas productoras de quinua de los municipios de Tibasosa y Duitama en el departamento de Boyacá. En el departamento de Cundinamarca se obtuvieron los ecotipos del proyecto “Respuesta morfoagronómica y calidad en proteína de tres accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Sabana norte de Bogotá”, llevado a cabo por jóvenes investigadores del semillero de quinua de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Los ecotipos utilizados fueron:

Piartal (P): Originaria del norte de Ecuador. Porte alto, con estrías en el tallo color verde (G40Y), panoja glomerulada color violeta (figura 4), con ejes insertos y cortos. Semilla dulce con contenido de proteína del 16.3 %. Ciclo de 180 días con rendimientos de 260.7g/plantas para las condiciones de investigación (Veloza *et al*, 2016).



Figura 4 Ecotipo Piartal

Fuente: Ing. Claudia Veloza.

Bolivia (B): Proveniente de Bolivia, es un ecotipo con un ciclo de 210 días, rendimientos de 169.1 g/planta. Semilla dulce con proteína del 15.5 %. Coloración verde (G50Y) de sus estrías en tallo, panoja glomerulada y color verde (figura 5), con ejes insertos y cortos (Veloza *et al*, 2016).



Figura 5 Ecotipo Bolivia

Fuente: Ing. Claudia Veloza.

Nariño (N): Sembrada en el departamento de Nariño. Para las condiciones de investigación (Veloza *et al*, 2016) alcanza su madurez fisiológica a los 210 días después de la siembra, con rendimientos de 140 g/planta. Muestra axilas pigmentadas color violeta, panoja amarantiforme color violeta (figura 6). Contenido de proteína en el grano de 14.5%.



Figura 6 Ecotipo Nariño

Fuente: Ing. Claudia Veloza.

Tunkahuan (T): Originaria de Ecuador, 180 días de período vegetativo (semitardía), planta púrpura y panoja amarillo anaranjada, glomerulada, contenido de 15,73% de proteína, con rendimiento de 2.200 kg ha⁻¹ en promedio (Nieto C *et al*, 1992).

De forma general los ecotipos denominados Floral (F), Mezclada (M) y Cuatro Meses (4) son de tallo grueso, panoja amarantiforme (laxa), con ramificación abierta desde la base y grano color crema. Son caracterizadas por la baja uniformidad en altura y color de panoja (figura 7). Adicionalmente “4 meses” presenta mayor contenido de saponina. En condiciones de producción de Boyacá se obtienen rendimientos similares a Tunkahuan de 2.2t*ha⁻¹., de acuerdo a la comunicación personal de los productores de estos ecotipos en la zona.



Figura 7 Ecotipo Floral

Fuente: Ing. Claudia Veloza.

Condiciones de almacenamiento

Las muestras de quinua se tomaron de condiciones de almacenamiento rústico que tradicionalmente se utilizan en el medio rural para almacenar grano o semillas por tiempos relativamente cortos. Las muestras fueron recolectadas en los siguientes sitios y condiciones (Ver anexos):

Finca “El Recuerdo” (FR): Ubicada en el municipio de Tibasosa, Boyacá. Este almacenamiento no se lleva a cabo en recintos cerrados, las semillas se guardan en costal sobre una banca de madera, bajo sombra, a temperatura y humedad relativa ambiente.

Finca “El Cortijo” (FC): Ubicada en el municipio de Duitama, Boyacá. Las semillas se guardan en costales apilados sobre tablas de madera a una distancia de 20cm

del suelo. La bodega de almacenamiento es construida en adobe empañetada con cemento, paredes de pintura de color blanco y techo en madera.

Hacienda “Buenos Aires” (FBA): El almacenamiento se efectúa en sacos de fibra, sobre altillo construido con madera y tejado de eternit. Municipio de Tibasosa, Boyacá.

Laboratorio fitotecnia UDCA (CU): Las semillas se almacenan en mochilas de tela sobre un mesón de baldosa de 1m de alto en un ambiente fresco y seco (Ver anexos).

Sustratos

Turba Pro – Mix PGX:

De acuerdo a la ficha técnica su composición es a base de turba de *Sphagnum* canadiense de fina granulación, con 65-75 % /vol. Vermiculita – fina granulación. Cal dolomítica y calcítica. Macronutrientes y micronutrientes. Agente humectante.

Suelo:

La caracterización de los suelos, del relieve y de clima de la zona del municipio de Tibasosa se realizó por referencia del *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá* del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2005). La zona de trabajo se ubicó en el mapa de suelos del documento (Figura 8) y se identificó la unidad cartográfica (VMAa) que en su descripción pertinente nos arrojó, entre otras cosas, clasificación taxonómica (subgrupo) de acuerdo con los perfiles de los suelos encontrados. Esta clasificación de suelo se contrastó con las propiedades físicas de textura y densidad aparente evaluadas en laboratorio.



Figura 8 Mapa de suelos del departamento de Boyacá 1:100.000. FBA = Hacienda Buenos Aires

Fuente: Tomado y adaptado de Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá, 2005.

La determinación de textura y densidad aparente del suelo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la U.D.C.A, para ello se inició con la elaboración de una cajuela de 0.40 x 0.40m (Ver Anexos) y se recogió una muestra representativa del área de trabajo a 20cm de profundidad.

Textura:

Se hizo una caracterización previa a la siembra siguiendo el método del hidrómetro propuesto por Bouyoucos (1927) para determinación del contenido de arenas (Ecuación 1), arcillas (Ecuación 2) y limos (Ecuación 3).

Se tomó una muestra de 100gr y se secó a una temperatura de 150°, posteriormente se pasó la muestra al recipiente de dispersión y se llenó de agua destilada hasta las 2/3

partes, se agregó 10mL de dispersante (calgón¹) y se dejó reposar durante 12 horas; luego se agitó nuevamente la muestra por un tiempo de 15 minutos. Se vertió la suspensión de suelo contenida en una probeta de 1.000 mL con la ayuda de un frasco lavador y se llevó el nivel hasta la marca superior (aforado). Se agitó nuevamente la suspensión con un agitador por 30 segundos. Al terminar la agitación se anotó el tiempo y se sumergió el hidrómetro suavemente en la suspensión; se tomó lecturas a los 40 segundos y 2 horas leyendo el mecanismo superior del hidrómetro. Se tomó la temperatura en cada lectura, teniendo cuidado con no perturbar la muestra. Se hicieron correcciones pertinentes según la temperatura (Lora Silva & Gaitan, 2002). Consecuentemente se realizó los cálculos pertinentes que se muestran a continuación:

$$\% \text{ Arena} = \frac{\text{Lectura corregida por T}^\circ\text{C a 40 segundos} * 100}{\text{Peso de la muestra seca}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{Lectura corregida por T}^\circ\text{C a 2 horas} * 100}{\text{Peso de la muestra seca}} \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$\% \text{ Limos} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla}) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Densidad Aparente:

Se desarrolló por el método del cilindro que consiste en la toma de muestras a una profundidad deseada (20 cm para el estudio). El suelo fue descapotado con el fin de dejar

¹ Agente dispersante: solución de hexametáfosfato de sodio (NaPO₃)₆ y carbonato de sodio (Na₂CO₃).

una superficie plana para la introducción de un cilindro de 5cm de ancho y 6cm de largo. Se realizó este proceso en tres sitios del lote, posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio, se secaron en una estufa a 105° C hasta peso constante, y así se obtuvo el peso seco del suelo, para ser aplicada la Ecuación 4:

$$da = \frac{\text{Peso suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro(cm}^3\text{)}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.}$$

Método de siembra en campo.

Se realizaron labores de limpieza de maleza, remoción del suelo y disgregación de agregados. Se uniformó y aplanó el área total de trabajo y a partir de la mitad de la superficie se extendió una lona a 5cm de profundidad a fin de confinar la turba (Ver Anexos). Se delimitó el terreno para cada unidad experimental y enseguida se hizo riego abundante un día antes de la siembra. Las semillas se sobrepusieron en los sustratos con el fin de facilitar el conteo desde el inicio de germinación y consecuentemente el porcentaje acumulado a través del tiempo. El riego se hizo por método del tacto (deja un contorno de humedad en la mano) asegurando la capacidad de campo para los dos sustratos.

Diseño experimental

Se trabajó con un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 11 (sustratos x muestras) que corresponde a 22 tratamientos con 3 repeticiones para un total de 66 unidades experimentales (UE). La UE correspondió a 100 semillas sembradas en un

cuadro de 0.20 x 0.20 m distribuidos en 3 hileras y 11 columnas (Figura 9), con un área por sustrato de 1.32m² y un total de 2.64 m² para todo el experimento. El análisis de datos se procesó usando el lenguaje de programación R versión 3.3.3 y se ejecutó la prueba de comparación de Tukey HSD para definir diferencias entre tratamientos.

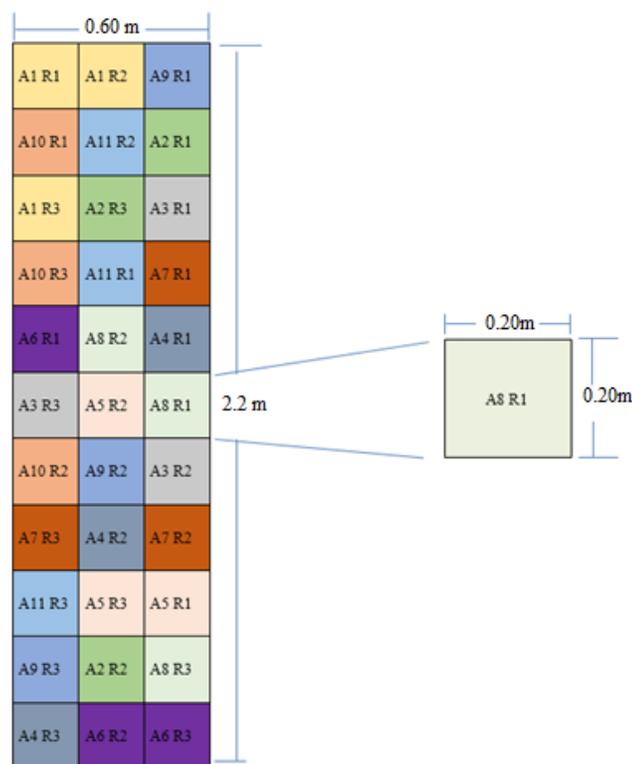


Figura 9 Modelo de siembra aleatorizado en campo para suelo. A= Ecotipo R= Repetición

Fuente: Autores

Métodos de evaluación

Calidad física de la semilla

Para los parámetros físicos de color, forma y diámetro (mm) se tomaron 15 semillas por muestra y se trabajó con ayuda de un estereoscopio *Leica S8APO*.

Color:

El color de la semilla se determinó por percepción frente a un panel de expertos; con las consideraciones del color del episperma que varía desde blanco hasta negro, pasando por color crema, café y rojo, entre otros. Se utilizó estadística descriptiva asociada a proporción de aparición de colores por muestra.

Forma:

Se determinó con base a los descriptores para quinua y sus parientes silvestres (INTERNATIONAL BIOVERSITY *et al*, 2013). Para el descriptor de forma del grano se observan semillas de tipo lenticular, cilíndrica, elipsoidal y cónica (figura 10). Se utilizó estadística descriptiva asociada a proporción de formas por muestra.

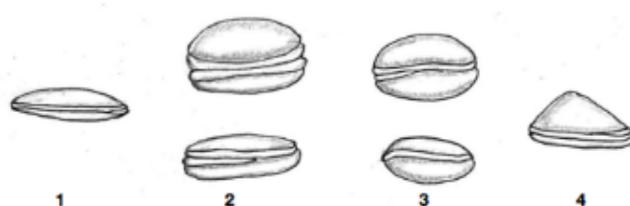


Figura 10 Forma del grano de *Chenopodium quinoa*. 1) Lenticular, 2) Cilíndrico, 3) Elipsoidal, 4) Cónica.

Fuente: INTERNATIONAL BIOVERSITY *et al*, 2013

Peso:

Se tomaron 1000 semillas al azar por muestra con tres repeticiones y se determinó peso en gramos con ayuda de una balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.

Diámetro:

Las dimensiones de la semilla de quinua se determinaron con la medida de ancho (D1), largo (D2) y espesor (e) a través de un micrómetro ocular. La medida para largo fue tomada de forma paralela desde la radícula (Figura 11B) y el ancho de forma perpendicular a la radícula (Figura 12C).



Figura 11 Dimensiones de la semilla de quinua. A) Espesor B) Largo C) Ancho

Fuente: Autores

El diámetro equivalente fue calculado mediante la ecuación 5 (Cervilla *et al*, 2012):

Diámetro equivalente (De):

$$De = (D1 * D2 * e)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Contenido de humedad:

Se calculó el contenido de humedad inicial de la semilla por diferencia de pesos (Ecuación 6), de acuerdo con la metodología propuesta por la *AOAC International* (2005).

Para la determinación de este parámetro se contó con la colaboración del laboratorio de nutrición animal del programa de zootecnia de la U.D.C.A.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad \text{Ecuación 6.}$$

Dónde:

m_1 = masa de la cápsula vacía y de su tapa (g). m_2 = masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado (g). m_3 = masa de la cápsula con tapa más la muestra secada (g). Se promediaron los valores (prueba por duplicado) y se expresó el resultado en decimales.

Imbibición:

Para la tasa de imbibición se trabajó con un peso inicial de 10g de semillas y dos repeticiones por muestra. Cada muestra fue puesta en agua destilada y con intervalos de una hora se registraron los datos de ganancia de peso de las semillas, las lecturas se condujeron hasta que el peso de las muestras se estabilizara o su variación tuviera valores estrechos entre sí (Moreno *et al*, 2006).

Calidad fisiológica

Viabilidad:

Se llevó a cabo la prueba bioquímica por tetrazolio para lo cual se tomaron 100 semillas por muestra y se cubrieron con la solución de tetrazolio al 1 %, se colocaron las

muestras en una cámara de incubación con un rango de temperatura entre 20-30°C durante dos horas. Luego se hizo lectura por intensidad de coloración (rojo) como lo refleja la figura 8.

Germinación en laboratorio

En laboratorio se hizo prueba de germinación estándar, para ello se tomaron 100 semillas con tres repeticiones para cada muestra, se colocaron en caja Petri y papel filtro. Transcurridos ocho días se tomaron datos de semillas germinadas; considerando como germinadas aquellas semillas de las que emergió una radícula de alrededor de 2 mm de longitud.

Poder germinativo:

Se tomaron 100 semillas por tratamiento con tres repeticiones cada uno. Se determinó porcentaje de germinación (Ecuación 7) con la relación de semillas germinadas (S_g) sobre número total de semillas de la muestra (S_m).

$$PG = \left(\frac{S_g}{S_m} \right) * 100 \% \quad \text{Ecuación 7.}$$

Velocidad de germinación:

De acuerdo a la ecuación 8 se tomaron registros diarios de porcentaje de germinación durante doce días para determinar el promedio de semillas germinadas por día, mediante la fórmula planteada por Maguire (1962).

$$VelG = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Dónde:

X_i = Número de semillas germinadas por día. n = Número de días transcurridos desde la siembra.

Resultados y discusión

El mapa de suelos del departamento de Boyacá (figura 4) ubica a la vereda Peña negra- Tibabosa (Hacienda Buenos Aires) dentro de la simbología o unidad cartográfica VMaA, lo que permitió hacer una descripción del perfil de los suelos de la zona de trabajo.

Tabla 2

Clasificación y descripción de la zona de Tibasosa- Boyacá.

Clima	Clasificación taxonómica	Principales características
Frio, seco	Udertic Haplustepts	Relieve plano con pendientes 0-1%, frecuentemente encharcable, suelos moderadamente profundos y muy superficiales, imperfecto y muy pobremente drenados.

Fuente: Tomado y adaptado de Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá, 2005.

Taxonómicamente los suelos de esta zona corresponden a Udertic Haplusteps (Nivel categórico de subgrupo correspondiente al orden de inceptisoles) de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) como se evidencia en la tabla 2, los cuales se caracterizan por presentar un perfil modal de nomenclatura A - B - C, el horizonte A con espesor de 17cm es de color gris muy oscuro y textura franco arcillosa, lo anterior concuerda con lo observado en campo (Cajuela) para los primeros

centímetros del suelo (20cm) donde se encontró una textura franco arcillosa y una densidad aparente de 1.6g/cm^3 , que es considerado un valor alto que puede indicar una baja porosidad en el suelo, lo que implica una baja infiltración de agua, afectando la disponibilidad de esta para la germinación, el desarrollo radicular y disponibilidad de nutrientes, ya que la densidad aparente representa el nivel de compactación del suelo, la relación entre sólidos y la distribución de macro y micro poros.

Calidad física y fisiológica de semilla de quinua

La evaluación de calidad física de granos se realiza mediante parámetros de caracterización de la semilla por forma, color, tamaño, densidad, porosidad, peso y propiedades organolépticas (Ospina , 2001). En la tabla 3 se observa la caracterización de los granos de quinua de acuerdo a su forma, donde se evidencian granos elipsoidales, lenticulares y cilíndricos; siendo esta última la que supera el 80% en todas las muestras.

Tabla 3

Tendencia de frecuencia para forma de semilla de quinua por tratamiento.

Muestra	Forma		
	Forma	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
PFR10	Cilíndrica	15	100
MFR18	Cilíndrica	14	93
	Elipsoide	1	7
4FC7	Cilíndrica	15	100
4FC9	Cilíndrica	15	100
TFB9	Cilíndrica	14	93
	Elipsoide	1	7
FFB17	Cilíndrica	13	87
	Elipsoide	2	13
4FB8	Cilíndrica	13	87
	Elipsoide	2	13
TFB2	Cilíndrica	12	80

	Elipsoide	2	13
	Lenticular	1	7
BCU12	Cilíndrica	15	100
PCU12	Cilíndrica	15	100
NCU12	Cilíndrica	15	100

Para la comercialización el tamaño y color de la semilla resulta importante debido a que los consumidores de quinua exigen o prefieren en cuanto a calidad un grano grande, de color claro y limpio (asociado a bajos contenidos de saponina) cuando esta va a ser consumida sin transformar (Anónimo, 2017). Con base a lo anterior en las muestras evaluadas predominó el color blanco, y en menor grado el color café claro (Tabla 4), lo que favorece la calidad respecto a este parámetro.

El diámetro de las semillas no mostró diferencias significativas, sin embargo los resultados permitieron clasificarlas en pequeñas (<1.4mm) y medianas (1.4 – 1.7 mm) según las normas del Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA (2007) presentando un rango desde 1.32 a 1.64 mm para las diferentes muestras (Tabla 5). Lo anterior concuerda con el estudio realizado por Fernández & Sahonero (2013) quienes indican que la característica morfológica de diámetro presenta variabilidad intra especie para los taxones de quinua evaluados.

En Colombia no se cuenta con semilla certificada de quinua y los cultivos se desarrollan normalmente a partir de la mezcla de semilla, lo cual representa variabilidad morfológica y de color en las plantas, como también se evidencia en la caracterización hecha en las diferentes muestras de semilla en cuanto a su forma, tamaño y color.

Tabla 4

Tendencia de frecuencia para color de semilla de quinua por tratamiento.

Muestra	Color		
	Color	Frecuencia absoluta	Porcentaje
PFR10	Blanco	11	73
	Crema	4	27
MFR18	Blanco	9	60
	Crema	6	40
4FC7	Blanco	11	73
	Crema	4	27
4FC9	Blanco	2	13
	Crema	10	67
	Café claro	3	20
TFB9	Blanco	7	47
	Crema	8	53
FFB17	Blanco	12	80
	Crema	3	20
4FB8	Blanco	8	53
	Crema	7	47
TFB2	Blanco	11	73
	Crema	4	27
BCU12	Blanco	15	100
PCU12	Blanco	11	73
	Crema	4	27
NCU12	Blanco	6	40
	Crema	9	60

Los resultados obtenidos en esta investigación arrojan diferencias significativas para las variables de peso de 1000 semillas (p-valor: 7.05e-07), contenido de humedad (p-valor: 9.46e-04) y viabilidad (p-valor: 9,73e-03) como se muestra en la tabla 5.

Peso de 1000 semillas: La variación entre muestras fue de 2.50 a 2.81g con diferencias significativas según la prueba de Tukey (<0.05) agrupando como aquellas de mayor peso a BCU12, PCU12, 4FC7, 4FC9, 4FB8, y de menor valor a TBF2. El peso de 1000 granos después de cosecha para los ecotipos de Bolivia, Piartal y Nariño fue de 2.8,

2.9 y 2.9g, respectivamente (Veloza *et al*, 2016), este mismo material almacenado por 12 meses para este estudio presentó una reducción en su peso de 2.5g para Nariño (NCU12) y 2.8g para Piartal (PCU12), lo que indica un efecto del tiempo y las condiciones de almacenamiento sobre esta variable.

Tabla 5

Calidad física de semillas de Chenopodium quinua Willd. recolectadas en los municipios de Boyacá y Cundinamarca, Colombia.

Muestra	P1000S (g)	Humedad (%)	Viabilidad (%)	Diámetro (mm)
PCU12	2.81 a*	11.44 abc	85.67 ab	1.330 a
BCU12	2.84 a	11.47 abc	95.00 a	1.520 a
NCU12	2.55 ab	11.16 bc	92.00 ab	1.322 a
4FC7	2.81 a	10.46 c	95.00 a	1.463 a
FFB17	2.57 ab	11.71 ab	95.00 a	1.595 a
4FC9	2.88 a	10.95 bc	96.67 a	1.639 a
4FB8	2.65 a	11.58 ab	84.67 ab	1.445 a
MFR18	2.21bc	11.10 bc	84.67 ab	1.524 a
TFB2	2.16 c	11.07 bc	69.67 ab	1.524 a
PFR10	2.22 bc	10.72 bc	93.67 a	1.428 a
TFB9	2.50abc	12.36 a	59.00 b	1.451 a

*Medias seguidas con la misma letra dentro de las columnas no difieren estadísticamente (Tukey \leq 0.05)

Vilche *et al* (2003) concluyeron que incluso con humedades del 15% el peso de 1000 granos no alcanzaba los tres gramos. Caso diferente reportó Varriano & De Francisco (1984) quienes hallaron que 350 semillas pesaron 1 gramo (1050 semillas/3g). De igual forma Von Baer *et al* (2009) reportaron que 1000 granos pesan entre 3.5 a 4.0 gramos.

Contenido de humedad (%): Para el estudio el valor más alto lo presentó la muestra TFB9 con un 12.36%, con diferencias significativas frente a los demás tratamientos evaluados. Por otro lado fue la muestra 4FC7 con 10.46% de humedad la que

presentó el valor más bajo pero a su vez es el valor más cercano al recomendado para almacenamiento de semillas ortodoxas de acuerdo a lo descrito por Pérez & Pita (2001), los mismos autores describen que semillas de este comportamiento, como la quinua (Ellis *et al*, 1993), admiten ser desecadas hasta un 5-10% permaneciendo viables después de su deshidratación. En presencia de altos contenidos de humedad en la semilla durante el almacenamiento el envejecimiento ocurre más rápido afectando los procesos bioquímicos al darse un estímulo de la actividad metabólica del embrión (Powell & Matthews, 1981; Macedo *et al*, 1999).

El estado de maduración de las plantas y la humedad ambiental al momento de la cosecha influencia el contenido final de humedad de las semillas que varía entre el 20 y 25% (Nieto & Vimos, 1992), estos contenidos de humedad no son apropiados para el almacenamiento debido a que en presencia de altas temperaturas se acelera el proceso de actividades bioquímicas como fermentaciones y oxidaciones del grano lo que implicaría una reducción en la calidad del grano (Powell & Matthews, 1981), por esta razón es necesario el secado del grano así como también para prevenir la germinación de la semillas y el crecimiento de bacterias y hongos (Gómez P & Aguilar C, 2016) por tales razones es necesario el secado de grano.

Las semillas recolectadas en la Hacienda Buenos Aires y la finca el El Cortijo (Tabla1) para su comercialización y almacenamiento se someten a una reducción de la humedad hasta alcanzar un 12% mediante el secado artificial por corrientes de aire caliente; partiendo de esta humedad inicial y en comparación con los resultados del

estudio se evidencia una disminución en el contenido de humedad para todas las muestras exceptuando TFB9 la cual presentó un porcentaje de 12.36% (tabla5).

La pérdida y ganancia de humedad del medio ambiente de las semillas de quinua se debe a su comportamiento higroscópico, por lo tanto factores de almacenamiento tales como la humedad relativa y la temperatura están estrechamente relacionadas con la calidad física (Contenido de humedad) y fisiológica de la semilla, ya que la primera incide en el control del inicio de procesos metabólicos que experimentan durante el almacenamiento y la segunda influye en la velocidad de los procesos bioquímicos e indirectamente interfiere en el contenido de agua de las semillas (Carvalho *et al*, 2000).

Viabilidad: Se determinó como semilla viable a aquella que tuvo más del 50% del embrión teñido de rojo (figura 12). El análisis de varianza permitió distinguir claramente diferencias significativas entre muestras para esta variable (p-valor: 9,73e-03) siendo 4FC9, BCU12, PCU12, NCU12, 4FC7, FFB17 con sus respectivos tiempos de almacenamiento (Tabla 1) las que presentaron un valor superior al 90%, caso contrario fue para TFB9 que tuvo el valor más lejano a este porcentaje (Tabla 5).



Figura 12 Test de viabilidad por tetrazolio al 1 % en semillas de *Chenopodium quinoa* Willd. Tinción rojiza del embrión en muestra NCU12.

SV= Semilla Viable. SNV= Semilla no Viable.

Fuente: Autores

Partiendo del supuesto de que las semillas almacenadas deben tener valores de viabilidad alta al inicio y durante el almacenamiento (Rao *et al*, 2007), los resultados de la investigación permiten observar una pérdida considerable de la viabilidad en las semillas. Según con Rossi & González (2006) una viabilidad inferior al 90% debe ser descartada para su utilización como semilla por la disminución progresiva que tendrá a través del tiempo. La prueba de viabilidad permite la determinación de la presencia, localización y naturaleza de los disturbios que pueden ocurrir en los tejidos embrionarios cuantificando de forma rápida los diferentes daños presentes en el lote de semillas (Franca Neto *et al*, 1998; Rossi & González, 2006).

Imbibición: En la figura 13 se observa que en la primera hora se da la mayor tasa de absorción de agua en todas las muestras, donde ocurre la absorción inicial de agua como estímulo físico y fisiológico al proceso de germinación (sin importar si esta se encuentra viable o no). Esta absorción es conocida como imbibición física, resultado de las fuerzas mátricas de las paredes celulares y los contenidos de las células de la semilla (Bewley & Black, 1982), aquí ocurre activación paso a paso de las vías metabólicas y como consecuencia el aumento gradual de la hidratación (Bove *et al* , 2001).

En esta fase el tejido de reserva absorbe agua de una forma proporcional al tiempo hasta completar su hidratación (Bewley & Black, 1982; Moreno *et al*, 2006), lo que es posible evidenciar en la gráfica 9 ocurriendo un incremento hasta las 4 y 5 horas; ya luego la tasa de absorción disminuye, la ganancia de peso es menor y se vuelve constante la imbibición como consecuencia de la activación del metabolismo y la movilización de nutrientes (Melgarejo & Suárez, 2010). En los cereales durante esta etapa las reservas de

nutrientes (almidón y cuerpos proteicos) son convertidos en compuestos básicos y oxidados para apoyar el crecimiento y la elongación del embrión (Taiz & Zeiger, 2006), en algunas semillas cuando el nivel de hidratación supera el 60% la velocidad de hidratación disminuye y es suficiente para la activación del metabolismo (Bove, *et al* 2001).

En los cereales debe penetrar entre el 40 al 60% del peso de la semilla seca. La cantidad de agua absorbida dependerá del tipo de sustancias de reserva que contengan, aquellas con endosperma proteico tienen un grado de hidratación mayor que aquellas con contenido amiláceo.

En el caso de la quinua como ésta posee altos contenidos proteicos la convierte en altamente hidratable. La muestra TFB2 presentó mayor absorción de agua en el mismo tiempo que los demás tratamientos (Figura 13), con menor absorción se tuvo a las muestras 4FC7, PFR10 Y 4FB8, los demás tratamientos tuvieron un comportamiento muy similar entre sí.

La prueba estándar de germinación reflejó diferencias significativas entre muestras (p-valor: $1.7e-08$). La germinación en condición de campo mostró diferencia significativa para muestras (p-valor: $2e-16$), sustrato (p-valor: $5.52e-14$) e interacción muestra*sustrato (p-valor: $1.43e-05$). La velocidad de germinación siguió un comportamiento similar al poder germinativo con diferencias significativas para muestra (p-valor: $2e-16$), sustrato (p-valor: $5.52e-14$) e interacción muestra*sustrato (p-valor: $1.43e-05$) con respecto a la velocidad de germinación, indicando una mayor obtención de semillas germinadas por día en turba que en suelo (p-valor: $2e-16$).

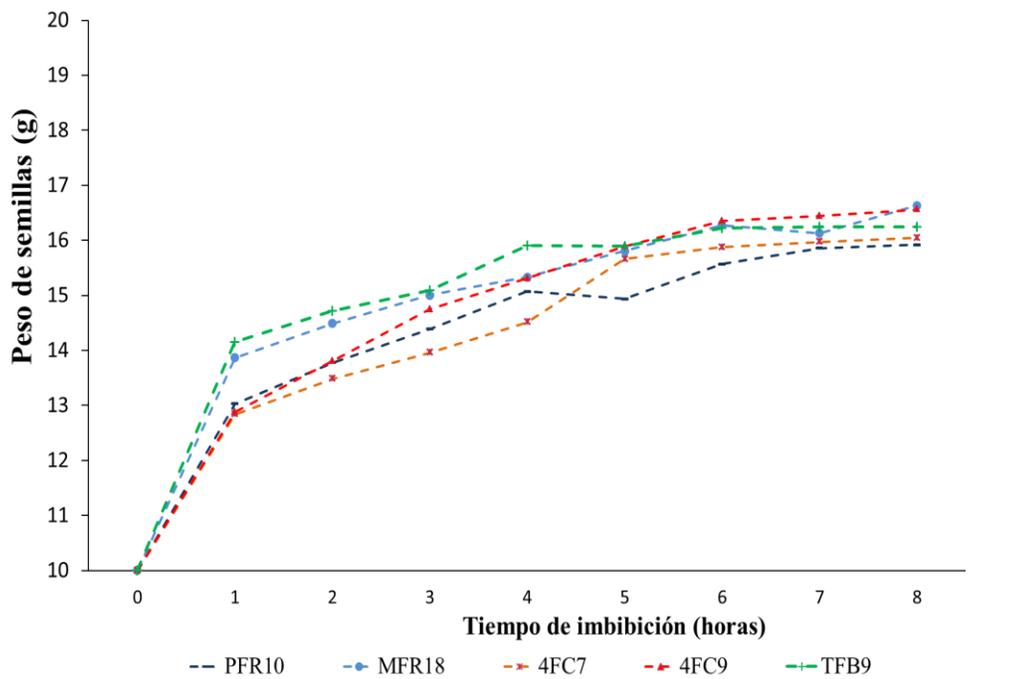
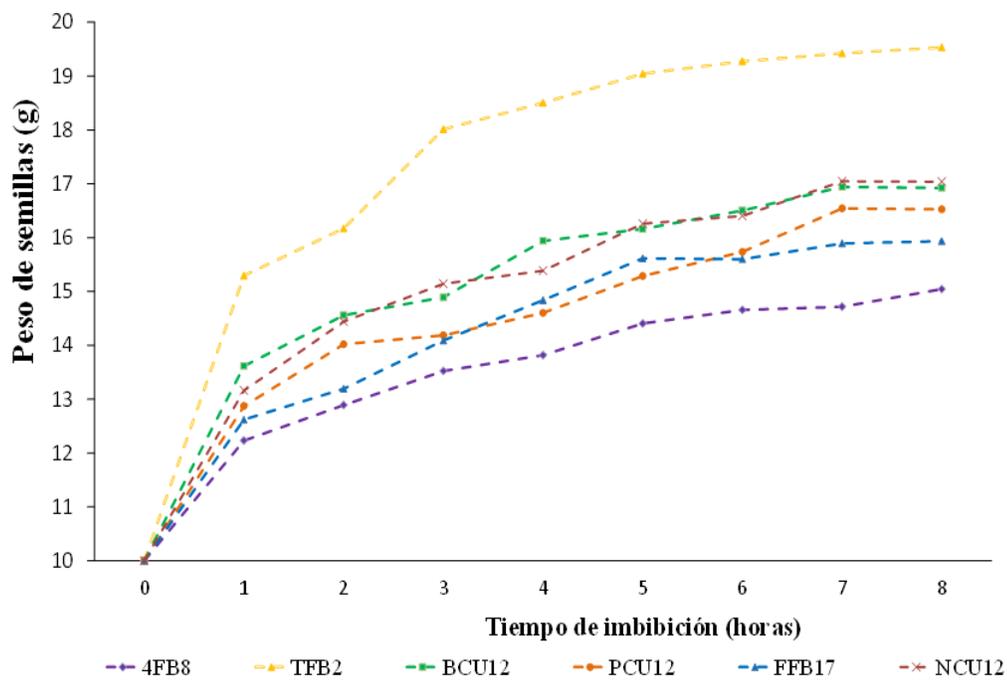


Figura 13 Tasa de imbibición de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Las 11 muestras se separan en a) 4FB8, TFB2, BCU12, PCU12, FFB17, NCU12 y b) PFR10, MFR18, 4FC7, 4FC9, TFB9

En la figura 14 los diagramas de caja comparan las dos categorías de la variable sustrato (Rojo = Turba. Azul= Suelo), mostrando la distribución por germinación (%) de cada muestra de quinua. Es decir, las distribuciones corresponden a la variable germinación y cada serie corresponde a una categoría de la variable sustrato. La figura permite observar una mayor distribución para el sustrato turba alcanzando una germinación promedio mayor que la de suelo con porcentajes superiores al 50% para las muestras BCU12, NCU12 y PCU12 (Tabla 6). De igual forma, turba proporcionó las mejores condiciones para la germinación permitiendo el mayor número de semillas germinadas por día (velocidad).

Tabla 6

*Porcentaje y velocidad de germinación para muestras de *Chenopodium quinoa* Willd.*

Muestra	Germinación (%)			Velocidad (Semillas germinadas/día)	
	Laboratorio	Turba	Suelo	Turba	Suelo
PCU12	91.33 a*	88.33 a	41.67 a	7.36 a	3.37 a
BCU12	89.67 a	84.33 a	41.00 a	7.03 a	3.42 a
NCU12	87.33 a	78.00 a	40.00 ab	6.50 a	3.33 ab
4FC7	86.67 a	49.67 b	30.67 abc	4.14 b	2.56 abc
FFB17	86.67 a	46.00 bc	28.67 abc	3.88 bc	2.40 abc
4FC9	81.67 a	45.00 bc	32.33 ab	3.75 bc	2.69 ab
4FB8	86.67 a	43.33 bc	32.00 ab	3.61 bc	2.67 abc
MFR18	77.33 a	41.00 bc	25.00 abc	3.42 bc	2.08 abc
TFB2	46.67 b	28.00 bcd	21.33 bcd	2.33 bcd	1.78 bcd
PFR10	65.33 ab	23.33 cd	12.67 cd	1.94 cd	1.06 cd
TFB9	8.670 c	5.67 d	3.000 d	0.47 d	0.25 d

*Medias seguidas con la misma letra dentro de las columnas no difieren estadísticamente (Tukey \leq 0.05)

Las variables porcentaje y velocidad de germinación de las semillas presentaron diferencias significativas entre los sustratos evaluados. Hernández (2006) reporta que

semillas con porcentajes de germinación inferiores al 80% deben ser descartadas para su siembra en campo; de acuerdo a lo evaluado solo turba proporciona condiciones óptimas para germinación del 87 % y 89 % para PCU12 y BCU12; respectivamente. Esto posiblemente se debe a las características de mayor humedad y aireación necesarias para el establecimiento del cultivo que ofrece este sustrato. Todos los ecotipos en suelo se encuentran por debajo del límite.

Durante el estudio el sustrato turba generó condiciones de mayor aprovechamiento de agua y mejor aireación a las semillas presentando los índices más altos de porcentaje y velocidad de germinación. Lo anterior posiblemente se atribuya a la baja densidad de este sustrato frente a suelos densos como los arcillosos (1.6gr/cm^3 para el estudio); esta característica en turba permite un espacio poroso total alto, además una retención de humedad mayor y una reducida conductividad eléctrica (Fernández-Bravo *et al*, 2006) como suministro a las semillas en su proceso de germinación. Según Gutiérrez *et al* (2006) los tratamientos de germinación sobre papel filtro y turba generan condiciones que favorecen la imbibición al tener la semilla un contacto con el aire en la parte superior y al formarse una película de agua debajo de las semillas.

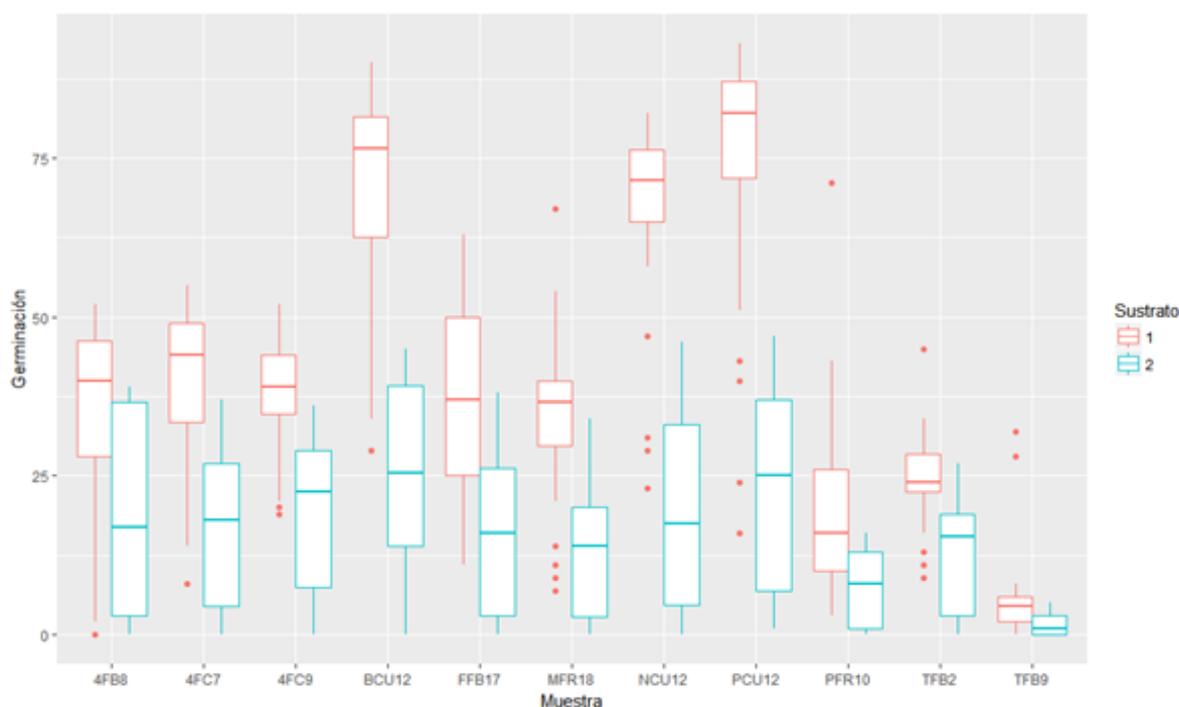


Figura 14 Comparación del efecto entre muestra y sustrato sobre porcentaje de germinación de *C. quinoa* Willd. Sustratos 1= Turba 2=Suelo.

Los suelos arcillosos presentan formación de costras en la superficie en el proceso de mojado y secado (Martin, 2000), y aunque dentro de la diversidad genética de la quinua se documentan genotipos con adaptación a este tipo de suelos (siendo necesario el aporte de nutrientes y evitar encharcamientos), cabe resaltar que el cultivo se desarrolla mejor en texturas arenosas, limosas, areno-limosas y limo-arcillosas, ya que dependiendo de la susceptibilidad del genotipo es incierto que prospere en terrenos francamente arcillosos, húmedos y mal drenados (Calla S, 2014), debido precisamente a la susceptibilidad al exceso de humedad en los primeros estados (Portilla, 1955). Por razones expuestas anteriormente, el suelo de estudio con característica franco-arcillosa es un sustrato con características deficientes para permitir el óptimo potencial germinativo de las semillas de quinua si no se realiza un buen laboreo y se conserva la humedad del suelo, por lo que es

necesario realizar un acondicionamiento previo en capa superficial para mejorar las propiedades físicas entre las que se incluya, entre otras, prácticas de incorporación de materia orgánica, arreglo de suelos que permitan la disgregación de las partículas de suelo permitiendo la aireación y la disponibilidad de agua, para garantizar un alto porcentaje de germinación de semillas de quinua, uniformidad y una velocidad apropiada.

La muestra TFB9 reflejó características no deseables en un material de siembra con los valores más bajos de germinación y velocidad frente a las demás muestras, y una viabilidad inferior al 80% (Tabla 5). Esta respuesta particular en la muestra se atribuye a efecto ambiental durante el cultivo, principalmente en la fase de floración por la coincidencia con las heladas características de la zona en los primeros meses del año, según comunicación personal del Ingeniero agrónomo de la zona Edilberto Cepeda. Delgado *et al* (2009) afirman que la variedad Tunkahuan es ligeramente susceptible a la sequía y heladas. Brandán *et al* (2013) informan que los rendimientos y la calidad de la cosecha de quinua se ven comprometidos con la presencia de heladas durante el estado fenológico de grano lechoso y pastoso. Lo anterior es posible admitir ya que de acuerdo con Gómez & Aguilar (2016) la presencia de bajas temperaturas y específicamente las heladas desde la floración hasta el estado de grano pastoso afectan la esterilidad del polen y/o producen granos inmaduros, arrugados o de bajo peso.

La muestra 4FB2 se cosechó en presencia inesperada de lluvias lo que posiblemente significó la pérdida de calidad del grano. EMBRAPA (1995) explica que el efecto higroscópico de la semilla condiciona el contenido de humedad de la misma a la del ambiente, lo que acelera la respiración con el aumento de volumen durante la absorción

del agua del ambiente y las reservas de los cotiledones son consumidas. Las constantes contracciones de la semilla hace que los tejidos internos y externos se expandan a diferentes tasas conduciendo a la formación de arrugas y fisuras en la cobertura de la semilla lo que ocasiona daño en el tejido del embrión comprometiendo la germinación y consecuentemente el vigor. Las lluvias inesperadas tienen efecto sobre la cosecha de cereales, Chaudhary *et al* (2013) plantean que el grano de arroz puede sufrir pérdidas en cantidad y calidad al ocurrir la germinación en la espiga si las panojas están húmedas debido a las lluvias. En sorgo la alta calidad requiere de escasas precipitaciones en la etapa de madurez a cosecha (Rossi & González, 2006). En trigo el aumento de humedad durante la cosecha indicó daño fisiológico produciendo reducción en el porcentaje de germinación (King & Riddolls, 1960).

Todas las muestras evaluadas se vieron posiblemente afectadas por las condiciones de almacenamiento sobre la calidad física y fisiológica de la semilla. De acuerdo con la FAO (2000) de 100 semillas de la variedad deben germinar más de 80 en un periodo de 5–7 días, para el sustrato de suelo ninguna muestra alcanzó el 50% de semillas germinadas. Por su lado fue en turba donde solo PCU12 obtuvo el 80% de germinación a los 6 días (datos no presentados), las muestras BCU12 y NCU12 alcanzaron el 80% de semillas germinadas después de los 8 días, y las demás muestras no consiguieron el 50% de germinación transcurridos los 12 días de evaluación (Tabla 6). Tanto para turba como para suelo la muestra PCU12 tuvo un promedio de semillas germinadas por día (velocidad) mayor a los demás tratamientos con 7.36 y 3.37, respectivamente; y TBF9 obtuvo el dato más bajo tanto en turba (0.47) como en suelo (0.25). La germinación representa la capacidad germinativa en una condición ambiental particular y la velocidad

expresa el tiempo en que esto ocurra, las dos variables presentan diferencias en la oportunidad de colonizar debido a que una germinación alta en poco tiempo garantiza el aprovechamiento del espacio y/o recursos de luz, agua y nutrientes frente a otras especies (Vázquez Yanes *et al*, 1997).

Es importante resaltar que en las muestras donde se tienen ecotipos de diferentes tiempos de almacenamiento no se observó una correlación frente a la viabilidad y germinación, por lo cual la calidad de la semilla cosechada y las condiciones de almacenamiento son determinantes en mantener la viabilidad a través del tiempo.

La FAO (2003) recomienda para el almacenamiento colocar los sacos sobre una estiva para evitar el contacto directo con el suelo para permitir la circulación del aire, así mismo se aconseja el uso de materiales que impidan la entrada de roedores. De igual forma recalca llevar a cabo esta actividad en un lugar fresco y seco de tal modo que la temperatura de los granos sea menor a la del ambiente exterior, logrando mayor tiempo de conservación en un almacén más frío. Las características anteriormente descritas concuerdan con las condiciones de almacenamiento de todas las muestras, exceptuando PFR10 y MFR18 quienes presentaron un deterioro más significativo en su porcentaje de germinación y consecuentemente en el número de semillas germinadas por día (Tabla 6), posiblemente porque sus condiciones de almacenamiento involucran cambios extremos y frecuentes de temperatura a las que están sometidas al estar almacenadas a condición ambiente. Por debajo de estos materiales únicamente lograron estar las muestras TFB9 y TFB2 de las cuales se comentaron los posibles efectos anteriormente.

La matriz de correlación entre cada par de características se presenta en la figura 15, donde no se encuentra significancia ($P < 0.001$) entre diámetro con porcentaje de germinación y velocidad, lo que permitió afirmar que no hay una influencia de la característica morfológica de la semilla (tamaño) sobre su calidad fisiológica para este estudio. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos por Fernández & Sahonero (2013) quienes señalan que no hay una asociación significativa entre diámetro (variable morfológica) con las variables de calidad fisiológica de germinación para quinua. Castillo (1970) comenta que el tamaño de la semilla en maíz no afecta el porcentaje de germinación, pero si puede influenciar sobre el tamaño posterior de la planta, por lo que prefieren semillas grandes para la siembra en campo; esto coincide con lo comentado para diferentes especies donde semillas de tamaño pequeño suelen tener menores porcentajes de emergencia y dan lugar a plántulas de menor vigor (Villalobos *et al*, 2009; Illipronti *et al*, 2000).

Por otro lado Boero *et al* (1997) para variedades de quinua y Faiguenbaum & Romero (1991) para distintas especies, determinaron que diversos factores físico – químicos influyen en el proceso de germinación, así mismo diferentes estudios en maíz establecen relación entre características físicas y fisiológicas en campo al señalar que una semilla grande germina de forma más rápida que las semillas pequeñas (Martinelli & Moreira de Carvalho, 1999; Hernández L., 1997; Carballo *et al*, 1998) asociando que a mayor tamaño de semillas se obtiene un embrión más grande y con mayor cantidad de sustancias de reserva (Pérez *et al*, 2006).

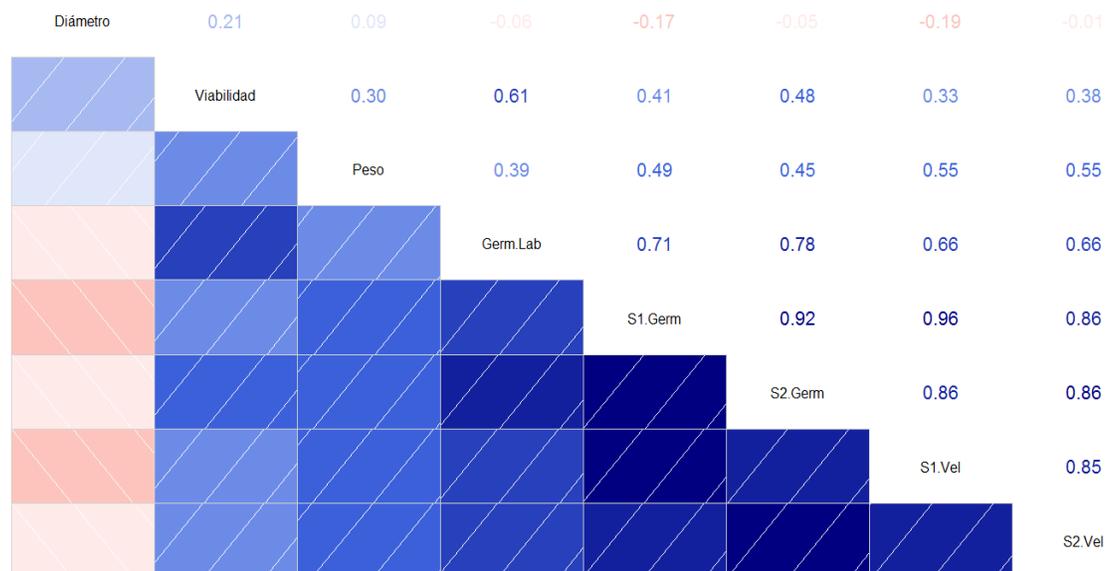


Figura 15 Correlación entre las variables cuantitativas evaluadas en las semillas de quinua. S1= Turba S2= Suelo.

Al relacionar peso de semillas con germinación y velocidad de germinación se encontró una baja relación positiva (Figura 15), de acuerdo con Hernández *et al* (2010) el peso de las semillas varía ampliamente entre y dentro de una planta individual lo que puede afectar el porcentaje y la velocidad de germinación. Willenborg *et al* (2005) reportan una relación positiva del peso de la semilla con el porcentaje y velocidad de germinación. Esto último se relaciona de forma directa con lo descrito anteriormente entre la relación tamaño de semilla por germinación de la misma, al asociarlo con un embrión más grande y mayor cantidad de reserva.

La viabilidad presenta una relación positiva con el porcentaje y velocidad de germinación (figura 15), debido a que esta permite definir la tasa máxima de germinación

que se puede obtener, al presentar un posible comportamiento de las condiciones internas de la semilla (Ossenbach, J. & Warner, 2007). La viabilidad representa tejidos vivos que realizan respiración mediante activación de enzimas deshidrogenadas indicando que la semilla es viable y es capaz de germinar (Ruiz, 2009).

Las diferencias entre porcentaje de germinación y porcentaje de viabilidad se deben principalmente a que las condiciones de germinación pueden afectar el potencial germinativo de una semilla, como se evidenció en el sustrato suelo, afectando el porcentaje de germinación comparado con los resultados en sustrato turba y en condiciones de laboratorio; también es importante resaltar que la prueba de viabilidad es subjetiva y presenta un margen de error interpretativo cuando no se dispone de protocolos estandarizados para cada especie y variedad.

Conclusiones

1. Las muestras evaluadas mostraron diferencias físicas de forma, color y tamaño de grano lo que se debe a la alta heterogeneidad intra específica en cultivos de quinua por la existencia de mezcla de genotipos en la zona al no emplearse semilla certificada.
2. El porcentaje y velocidad de germinación de quinua se ve favorecido con el uso de sustratos que permitan un mejor aprovechamiento del agua y una mayor aireación durante el proceso germinativo; en el estudio en campo fue la turba el sustrato que por sus características físicas generó las condiciones ideales para la germinación de todas las muestras en comparación con el suelo.

3. La calidad fisiológica de las semillas de quinua está relacionada con las características de la semilla cosechada y las condiciones de almacenamiento, pero no frente al tiempo de acopio para este estudio, lo anterior se evidenció al no encontrar relación frente a la viabilidad y porcentaje de germinación entre muestras que incluyen los mismos ecotipos pero con diferentes tiempos de almacenamiento.
4. Las muestras almacenadas con exposición a condiciones ambiente, por falta de barreras físicas, mostraron una baja viabilidad y porcentaje de germinación frente a muestras almacenadas en lugares secos y frescos.

Recomendaciones para el agricultor

1. Para tener semilla de calidad se propone una selección de materiales a partir de variedades adaptadas o locales mediante características de forma de panoja, color y tamaño de grano, entre otras, con el fin de purificar, elevar el rendimiento de grano y producir semilla de calidad.
2. Llevar a cabo monitoreo y control constante de los factores ambientales, especialmente de humedad relativa y temperatura de los sitios de almacenamiento debido al efecto que tienen en el deterioro de los ecotipos almacenados, se aconseja mantener un ambiente seco y frío lo que asegurará la conservación de los granos por más tiempo.
3. Tener en cuenta el calendario de siembra y cosecha de quinua para evitar presencia de condiciones ambientales que influyan en el deterioro y/o pérdidas del grano.

4. Hacer un manejo adecuado sobre el drenaje del suelo antes de la siembra para evitar encharcamientos típicos de un suelo franco arcilloso, con el fin de disminuir la pérdida en etapa de germinación al considerar la susceptibilidad al exceso de humedad de quinua en los primeros estados de desarrollo. Adicionalmente se propone incorporación de residuos de cosecha (perigonio resultado de la trilla que se someta a un lavado para extraer saponina) o materia orgánica buscando mejorar la estructura del suelo.

Recomendaciones para investigadores

1. Evaluar el efecto de las condiciones y tiempos de almacenamiento sobre crecimiento y desarrollo de la planta en campo y considerar rendimientos de quinua.
2. Es necesario hacer estudios en porcentaje de humedades de grano óptimas y específicas para el almacenamiento de quinua frente a la germinación.

Bibliografía

- Anónimo. (23 de Febrero de 2017). *Estudio de quinua 2003*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/42704850/estudio-quinua>
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Perú: Ministerio de Agricultura y Riego (Perú), Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (08 de 10 de 2014). *Tendencias y perspectivas del comercio internacional de Quinua*. Chile: Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Obtenido de Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/publications/card/es/c/90ce9b3a-7f09-5d64-b4ef-6990d4958dfb/>

- Azevedo, M., Gouveia, J. P., & Trovao, D. (2003). Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(3), 519-524.
- Baskin, C. C., & Baskin, M. J. (2000). Seed ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. *Annals of Botany*, 86(3), 705-708.
- Bazile, D. (2015). La dinámica de la expansión mundial de la quinua. *Tierra Adentro*, 108, 18-21.
- Bewley, J. D., & Black, M. (1982). *Physiology and Biochemistry of seeds in relation to germination*. (2 ed., Vol. 1). Estados Unidos: Springer verlag.
- Boero, C., Gonzales, A., & Prado, E. (1997). *Germinación de diferentes variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) bajo distintas condiciones de salinidad y pH*. Bolivia: Estación Experimental Patacamaya.
- Bois, J. P., Lhomme, J., Raillaud, J. P., & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25, 299-308.
- Bosque Sánchez, H., & Van Damme, P. (2000). Análisis ecofisiológico del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de la sequía y la salinidad. *Tropicultura*, 18(4), 198-202.
- Bouyoucos, G. J. (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soils science*, 23(5), 343-354.
- Bove, J., Jullien, M., & Grappin, P. (2001). Functional genomics in the study of seed germination. *Genome Biology*, 3(1).
- Brandán de Antoni, E. Z., González, A. G., Seco, E., Tapia, A. M., Romero, A. A., & Alemán, P. (2013). Efecto de diferentes fechas de siembra en la producción de quinua o quinua en valle de altura de Tafí del Valle, Tucumán, Argentina. *Biología en Agronomía*, 3(2), 31-40.

- Calla S, R. (2014). *Agentes y márgenes de comercialización de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) orgánica en Cabana*. Perú: Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Calle, M., Aguirre, G., & Gabriel, J. (2010). Estado del método de secado y nivel de humedad en la germinación y vigor de semillas de quinua. *Revista de Agricultura*, 62(49), 10-15.
- Carballo , C. A., Hernández, G. A., Hernández, L. A., & González, C. F. (1998). *Calidad fisiológica de semilla de maíz y establecimiento en campo. I. Prueba de germinación*. México: Memoria del XII Congreso de Citogenética.
- Carvalho, N. N. (2000). *Sementes: ciência tecnologia e produção*. Brasil: Fundacao de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia - FUNEP.
- Castellión, M. L. (2008). *Procesos de deterioro y mecanismos de protección y reparación involucrados en la pérdida diferencial de la viabilidad durante el almacenamiento de semillas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) (Tesis de doctorado)*. Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Castellión, M., Matiacevich, S., Buera, P., & Maldonado , S. (2010). Protein deterioration and longevity of quinoa seeds during long-term storage. *Food chemistry*, 121(4), 952-958.
- Castillo, Z. J. (1970). Selecciones la semilla grande de café para las siembras. *Revista Cafetera de Colombia*, 19(146), 60-68.
- Ceccato, D., Delatorre Herrera, J., Burrieza, H., Bertero, D., Martinez, E., Delfino , I., . . . Castellión, M. (2014). Fisiología de las semillas y respuesta a las condiciones de germinación. En D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto, *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013* (págs. 153-166). Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura - FAO, Centre de cooperation Internationale en Recherche Agronomique Pour Le Développement - CIRAD.
- Cerovich, M., & Miranda, F. (2004). Almacenamiento de semillas: estrategia básica para la seguridad alimentaria. . *Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela CENIAP*.
- Cervilla, N. S., Mufare, J. R., Calandri, E., & Guzmán, C. A. (2012). Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harina de *Chenopodium quinoa Willd.* cosechadas en distintos años y provenientes de la provincia de Salta. *II Jornadas*

de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes (págs. 14-15). Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.

- Chaudhary, R. C., Nanda, J. S., & Tran, D. V. (2013). *Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO.
- Chilo, G. M., Vacca Molina, M., Carbajal, R., & Ochoa, M. (2009). Efecto de la temperatura y salinidad sobre la germinación y crecimiento de plántulas de dos variedades de *Chenopodium quinoa*. *Agriscientia*, 26(1), 15-22.
- Costa, S. (11 de 12 de 2014). *Variabilidad genética de *Chenopodium quinoa* Willd. en el Noroeste Argentino y su relación con la dispersión de la especie (Tesis de doctorado)*. Argentina, La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata - UNLP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10915/43830>
- Danielsen, S., & Ames, T. (2000). *El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona andina: Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno*. Perú: CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP), ROYAL DANISH MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS, THE ROYAL VETERINARY AND AGRICULTURAL UNIVERSITY.
- Delgado, P., Adriana, I., Palacios, C., Jaime, H., & Betancourt G, C. (2009). Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(2), 159-167.
- Doria Gonzalez, J., Benitez Fernandez, B., & Soto Carreno, F. (2012). Influencia de diferentes métodos de conservación en la germinación de semillas de palma areca (*Dyopsis lutescens*, H. Wendel). *cultrop*, 33(2), 56-66.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85.
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Improved Equations for the Prediction of Seed Longevity. *Annals of Botany*, 45(1), 13-30.
- Ellis, R. H., Hong, T. D., Martin, M. C., Pérez-García, F., & Gómez-Campo, C. (1993). The long term storage of seed of seventeen crucifers at very low moisture contents. *Plant Varieties and Seeds*(6), 75-81.
- Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria Centro Nacional de Investigación sobre la soja - EMBRAPA-CNPSO. (1995). *El Cultivo de la soja en los trópicos:*

mejoramiento y producción. Roma: Organización de la Naciones Unidas para Agricultura y la Alimentación - FAO.

- Faiguenbaum, M. H., & Romero, A. L. (1991). Efecto del tamaño de semilla sobre la germinación, el vigor y el rendimiento en un híbrido de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia e Investigación Agraria*, 18(3), 111-117.
- Fernades de Jesus Souza, F. (28 de 02 de 2013). Qualidade fisiológica de sementes de quinoa (*chenopodium quinoa* Willd.) armazenadas em diferentes ambientes e embalagens. Anápolis, Goiás, Brasil.
- Fernandez, M., & Sahonero, R. (2013). Estudio de la morfología y viabilidad de semillas de ocho taxones de quinua silvestre en Bolivia. En M. Vargas, *In Congreso Científico de la Quinoa No. CIDAB-SB191.Q2-C61* (págs. 31-41). Bolivia: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (Bolivia), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal.
- Fernández-Bravo, C., Urdaneta, N., Silva, W., Poliszuk, H., & Marín, M. (2006). Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cv. Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Revista Facultad Agronomía*, 23(2), 188-195.
- Franca Neto, J. B., Kryzanowski, F. C., & Costa, N. P. (1998). *El test de tetrazolio en semillas de soja*. Brasil: EMBRAPA-Centro Nacional de pesquisa de soja CNPSo.
- Gabriel, J., Luna, N., Vargas, A., Magne, J., Angulo, A., La Torre, J., & Bonifacio, A. (2012). Quinoa de valle (*Chenopodium quinoa* Willd.): fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* Willd.). *Journal of the Selva Andina Research Society*, 3(2), 27-44.
- Gallo D V, C., Arango, M. R., & Craviotto, R. M. (2008). *Calidad fisiológica y efecto de la presencia de semillas verdes de soja (Glycine max L, Mer) en lotes destinados a simiente (Tesis de maestría)*. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Garcia, M., Raes, D., Allen, R., & Herbas, C. (2004). Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). *Agricultural and forest meteorology*, 125(1), 67-82.
- Gómez P, L., & Aguilar C, E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Perú: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, Universidad Nacional Agraria La Molina - UNAM.

- Gonzales, J., Knishi, Y., Valoy, M., & Padro, F. (2012). Interrelationships among seed yield, total protein and amino acid composition of ten quinoa *Chenopodium quinoa* Willd. cultivars from two different agroecological regions. *Science Food Agriculture*, 92(6), 1222-1229.
- Gubler, F., Millar, A., & Jacobsen, J. V. (2005). Dormancy release, ABA and preharvest sprouting. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(2), 183-187.
- Gutiérrez, C., Herrera, J., & Alizaga, R. (2006). Optimización de las condiciones de germinación de cuatro especies de pastos tropicales I. *Brachiaria decumbens* y *B. bryantha*. *Tecnología en marcha*, 19(2), 41-52.
- Hernández L., A. y. (1997). Pruebas de germinación y vigor en semillas de maíz de diferentes áreas de adaptación. *Agrociencia*, 31(4), 397-403.
- Hernández, R. J. (2015). La quinua, una opción para la nutrición del paciente con diabetes mellitus. *Revista Cubana de Endocrinología*, 26(3), 0-0.
- Hernández-Verdugo, S., López-España, R. G., Porras, F., Parra-Terraza, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Enciso, T. (2010). Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia*, 44(6), 667-677.
- Illipronti, R. A., Langerak, C. J., Lommen, J. M., & Struik, P. C. (2000). Uniformity performance and seed quality of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed crops grown from sub-samples of one seed lot obtained after selection for physical seed attributes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183, 81-88.
- Instituto boliviano de Normalización y Calidad - IBNORCA. (2007). *Norma Boliviana Granos Andinos-Pseudocereales-Quinoa en grano- Clasificación y requisitos, NB NA 0038. Compendio Normas Técnicas y Guías de Implementación de Normas del Sector Quinoa*. Bolivia: IBNORCA.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi Subdirección De Agrología; Colombia. Departamento Administrativo Nacional De Estadística. (2005). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá*. Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- INTERNATIONAL BIOVERSITY; FAO; PROINPA; INIAF; FIDA. (2013). *Descriptor para quinua *Chenopodium quinoa* Willd. y sus parientes silvestres*. Bolivia, Chile: Bioersity International.

- Jaguer, M. (2015). *La Quinoa: a la conquista del mundo*. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA.
- James, L. E. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in food and nutrition research*, 58, 1-31.
- Kermode, A. (2005). Role of abscisic acid in seed dormancy. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(4), 319-344.
- King, D. L., & Riddolls, A. W. (1960). Damage to wheat seed and pea seed in threshing. *Journal of agricultural engineering research*, 5, 387-398.
- Ledezma, C. Q., & Vásquez, R. E. (2010). Evaluación de la calidad nutricional y morfología del grano de variedades amargas de quinua beneficiadas en seco, mediante el novedoso empleo de un reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor. *Revista investigación & Desarrollo*, 1(10), 49-62.
- Lora Silva, R., & Gaitan, M. (2002). *Manual de prácticas Laboratorio de Suelos*. Colombia: Asociación de editores universitarios de Colombia - ASEUC.
- Lozano X, C., & Rubiano, A. J. (2007). CARACTERIZACIÓN DE TRES ECOTIPOS DE QUINUA " CHENOPODIUM QUINOA WILLD" MEDIANTE TÉCNICAS AGROECOLÓGICAS, EN DOS ZONAS AGROCLIMATOLÓGICAMENTE DIFERENTES DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. *Revista Inventum*, 4(2), 89-101.
- Macedo, E. C., Groth, D., & Soave, J. (1999). Influência da embalagem do armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de arroz. *Rev. Brasil de Sementes*, 21(1), 67-65.
- Maguire, J. D. (1962). Speeds of germination -aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Martin, E. C. (2000). *Métodos para Medir la Humedad del Suelo para a Programación del Riego ¿Cuándo?*. Estados Unidos: Collegue of Agriculture & Life Sciences.
- Martinelli, A., & Moreira de Carvalho, N. (1999). Seed size and genotype effects on maize (*Zea mays* L.) yield under different technology levels. *Seed Sci. Tech*, 27, 999-1006.

- Melgarejo, L., & Suárez, D. (2010). Biología y germinación de semillas. En L. Melgarejo, *Experiments in plant Physiology* (págs. 13-24). Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Meyhuay, M. (2013). *QUINUA: Operaciones de poscosecha*. Mejia, Danielo; Berverly, Lewis.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo. (30 de 03 de 2016). *MINAGRICULTURA*. Obtenido de *MINAGRICULTURA*: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/La-quinua-en-Colombia-es-uno-de-los-cultivos-con-gran-potencial-de-crecimiento.aspx>
- Minuzzi, A., Mora, F., Sedrez Rangel, M. A., & Scapim, C. A. (2007). Características fisiológicas, contenido de aceite y proteína en genotipos de soya, evaluadas en diferentes sitios y épocas de cosecha, Brasil. *Agricultura Técnica*, 67(4), 353-361.
- Moreno, F., Plaza, G. A., & Magnitskiy, S. V. (2006). Efecto de la testa sobre la germinación de la semilla de caucho (*Hebea brasiliensis* M.). *Agronomía Colombiana*, 24(2), 290-295.
- Mújica, A. (2015). El origen de la quinua y la historia de su domesticación. *Tierra Adentro*(108), 14-17.
- Mújica, A., & Jacobsen, S. (2006). La quinua *Chenopodium* sp y sus parientes silvestres. En R. M. Moraes, *Botánica Económica de los Andes Centrales* (págs. 449-457). Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Mújica, A., Jacobsen, S. E., Izquierdo, J., & Marathee, J. P. (2001). Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. *FAO*.
- Mújica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G., & Romero, A. (2006). *Informe final proyecto quinua: Cultivo multipropósito para los países Andinos*. Perú: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD.
- Nieto C, C., Vimos N, C., Monteros J, C., Caicedo V, C., & Rivera M, M. (1992). *INIAP-INGAPIRCA E INIAP - TUNKAHUAN DOS VARIEDADES DE QUINUA DE BAJO CONTENIDO DE SAPONINA*. Ecuador: Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo - CIID, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP.
- Nieto, C. C. (1988). *Caracterización, mantenimiento y multiplicación de colecciones de germoplasma de quinua, Amaranthus y capulí*. Ecuador: INIAP. Obtenido de

<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=GREYLIT.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=017414>

- Nieto, C., & Vimos, C. (1992). *La Quinua, Cosecha y Poscosecha. Algunas experiencias en Ecuador*. Ecuador: Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias - INIAP.
- Noir, A., & Ruiz de Riveri, M. (1995). *Laboratorio de semillas forestales: bosques y desarrollo*. Organización Internacional de Maderas Tropicales.
- Ospina, J. E. (2001). *Características fisicomecánicas y análisis de calidad de granos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ossenbach, C., J., A., & Warner, J. (2007). Almacenamiento de semillas de diferentes especies de orquídeas para su conservación en un banco de germoplasma: Deshidratación, almacenamiento y pruebas de viabilidad de las semillas. *Tierra Tropical*, 3(1), 47-59.
- Paulsen, G., & Auld, A. (2004). Preharvest Sprouting of Cereals. En R. S. Benech-Arnold, *Handbook of Seed Physiology Applications to Agriculture* (págs. 199-214). New York: The Haworth Press.
- Pérez García, F., & Pita Villamil, J. M. (1998). *Germinación de Semillas*. España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Pérez, F., & Pita, J. (2001). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas* (Vol. 2112). España: LG Saljen SL.
- Pérez, L., Hernández, A., González, F., Garcia de los Santos, G., Carballo, A., Vásquez, T., & Tovar, M. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México*, 32(3), 341-352.
- Pons, T. L. (2000). Seed Response to Light. En M. Fenner, *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities* (págs. 237-260). Reino Unido: CAB International.
- Portilla, A. (1955). La quinua. *Revista de la Facultad de Medicina*, 13(4), 178-189.
- Powell, A., & Matthews, S. (1981). Evaluation of controlled deterioration, a new vigour test for small seeds vegetables. *Seed Sci. Technol*, 9(3), 633-640.

- Prego, I., Maldonado, S., & Otegui, M. (1998). Seed Structure and Localization of Reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82(4), 481-488.
- Probert, R. (2000). The role of temperature in germination ecophysiology. En M. Fenner, *Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities* (págs. 261-292). Reino Unido: CAB International.
- ProColombia. (21 de 7 de 2016). *DINERO*. Obtenido de <http://www.dinero.com/edicion-impres/negocios/articulo/el-mercado-de-la-quinua-en-colombia/225920>
- PROCOLOMBIA. (14 de 04 de 2016). *PROCOLOMBIA*. Obtenido de PROCOLOMBIA: <http://www.procolombia.co/memorias/oportunidades-comerciales-la-quinua-en-canada>
- PROINPA. (2011). La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. *Año Internacional de la Quinoa* (págs. 1-66). Bolivia: FAO.
- Quintero, D. M. (2014). Vigilancia competitiva de la quinua: potencialidad para el departamento de Boyacá. *Suma de Negocios*, 5(12), 85-95.
- Rao, N. K., Hanson, J., Dullo, M. E., Ghosh, K., Novell, D., & Larinde, M. (2007). *Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma* (Vol. 8). Roma, Italia: Bioversity International.
- Rees, M. (1997). *Seed dormancy*. Reino Unido: Blackwell Publishing Ltd.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C., & Jacobsen, S. E. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinua (*Chenopodium quinoa*) and kañiwua (*Chenopodium pallidicaule*). *Food reviews international*, 19(1-2), 179-189.
- Roberts, E., & Ellis, R. (1989). Water and seed survival. *Annals of Botany*, 63(1), 39-52.
- Rojas, W., Pinto, M., & Soto, L. (2010). Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos. En W. S. Rojas, *Granos Andinos: avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia* (págs. 11-23). Italia, Roma, Italia: Biodiversity International.
- Rossi, C., & González, S. (2006). Problemas en la calidad de semillas de soja. Unidad Técnica Semillas INIA. *Revista INIA*, 9, 34-36.
- Ruiz, M. A. (2009). El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. *EEA INTA Anguil Argentina*, 77, 1-19.

- Salinas, A. R., Yoldjian, A. M., Craviotto, R. M., & Bisaro, V. (2001). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(2), 371-379.
- Strenske, A., Soares De Vasconcelos, E., Michelon Herzog, N. F., & De Matos Malavasi, M. (2015). Germinação de sementes de quinoa com diferentes períodos. *Scientia Agraria Paranaensis*, 14, 286-290.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. Estados Unidos: Universitat Jaume.
- Tapia, M. (2000). *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO.
- Tapia, M., & Fries, A. M. (2007). *Guía de campo de los Cultivos Andinos*. Perú, Lima, Perú: FAO y ANPE. Obtenido de Quinoa.pr.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardoso, A., & Mújica, A. (1979). *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos*. Colombia: Bib. Orton IICA / CATIE.
- Varriano Martson, E., & De Francisco, A. (1984). Ultrastructure of quinoa fruit (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal Food microstructure*, 3(2), 165-173.
- Vázquez Yanes, C., Orozco, A., Rojas, M., Sánchez, M. E., & Cervantes, V. (1997). *La reproducción de las plantas: semillas y meristemas*. Fondo de cultura Económica.
- Vega-Gálves, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541-2547.
- Veloza Ramírez, C., Romero Guerrero, G., & Gómez Piedras, J. (2016). Respuesta morfoagronómica y calidad en proteína de tres accesiones de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Sabana norte de Bogotá. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.*, 19(2), 325-332.
- Vicuña C, J. C., & Peralta I, M. E. (1981). *Estudio de cinco ecotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), con cuatro densidades de siembra, en Cañar*. Quito, Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIAP.
- Vilche, C., Gely, M., & Santalla, E. (2003). Physical properties of quinoa seeds. *Biosystems engineering*, 86(1), 59-65.

- Villalobos, F. J., Mateos, L., Orgaz, F., & Fereres, E. (2009). Densidad y competencia en los cultivos. En F. J. Villalobos, L. Mateos, F. Orgaz, & E. Fereres, *Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola* (págs. 163-188). España: Mundi-Prensa Libros.
- Von Baer, I., Bazile, D., & Martinez, E. (2009). Cuarenta años de mejoramiento de quinoa, (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Araucanía: Origen de "La Regalona-B". *Rev Georg Valparaíso*, 42, 34-44.
- Willenborg, C. J., Wildeman, J. C., Miller, A. K., Rosnagel, B. G., & Shirliffe, S. J. (2005). Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials. *Crop Science*, 45, 2023-2059.
- William, R. L. (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales: con especial referencia a los trópicos*. ROMA: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO.
- Yuquilema, J. C. (2013). *Colecta de Germoplasma y Evaluación de la Calidad de las Semillas Orgánicas de Quinoa (Chenopodium quinoa willd) de los Productores de Escuelas Radiofónicas Populares del Ecuador (ERPE), en la provincia de Chimborazo*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Anexos



ANEXO A Condiciones de almacenamiento de quinua en banca de la finca 'El Recuerdo', Duitama- Boyacá.



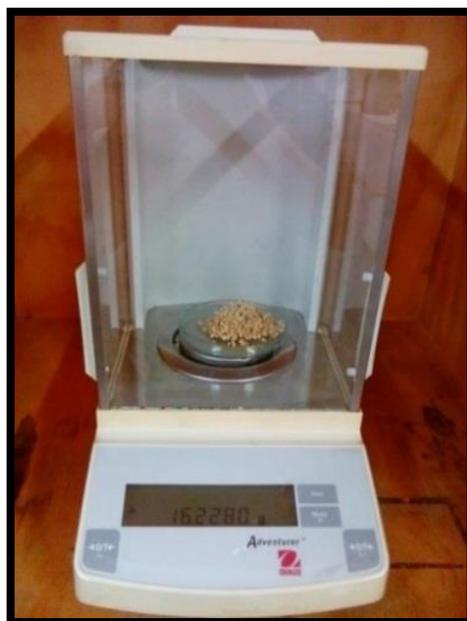
.ANEXO B Condiciones de almacenamiento de quinua en bodega de la finca 'El Cortijo', Tibasosa- Boyacá.



ANEXO C Condiciones de almacenamiento de quinua en altillo de la finca 'Buenos Aires', Tibasosa- Boyacá.



ANEXO D Condiciones de almacenamiento de quinua en laboratorio de fitotecnia U.D.C.A., Cundinamarca.



ANEXO E Peso de la muestra TFB2 a las 7 horas de embebidas las semillas (Peso inicial 10g). Metodología para curva de imbibición.



ANEXO F Determinación de humedad en la semilla. Licuadora industrial para triturar las semillas de quinua.



ANEXO G Cajuela 0.40 x 0.40 m, suelo de Hacienda Buenos Aires, Tibasosa - Boyacá.



ANEXO H Base en costales para la confinación de turba (5 cm de profundidad).



ANEXO I Área de siembra (2.64 m²) de ecotipos de quinua en campo en Hacienda Buenos Aires, Tibasosa.



ANEXO J Siembra de semilla de quinua en condiciones de campo.