

Caracterización de tres ecotipos de Quinoa "*Chenopodium quinoa Willd*" Mediante Técnicas Agroecológicas, en dos zonas agroclimatológicamente diferentes del Departamento de Cundinamarca

Resúmen

El presente artículo recoge los resultados de una investigación que tuvo en cuenta las nuevas tendencias de comercialización y producción agrícola que se rigen bajo los términos de productividad, calidad y competitividad; la inexistencia de variedades de quinoa que ofrezcan al agricultor características ideales de cultivo (adaptación al medio y buen rendimiento); la selectividad genética producto de la participación de factores ambientales y la intervención del hombre, que de alguna manera ha orientado su evolución hacia las variables más convenientes para su utilización agrícola.

Teniendo en cuenta los antecedentes descritos, se realizó la investigación con el objeto de caracterizar tres ecotipos de quinoa "*Chenopodium quinoa willd.*" en dos zonas agroclimatológicamente diferentes y donde se evaluó y comparó su comportamiento, desarrollo, rendimiento y adaptabilidad.

Abstract

The present article gathers the results of an investigation that had in one tells the new trends of marketing and agricultural production that they govern under the terms of productivity, quality and competitiveness; the non existence of varieties of quinoa that they offer to the farmer ideal characteristic of a good yield; the genetic selectivity product of the participation of environmental factors and the intervention of the man, who somehow has orientated its evolution towards the most suitable variables for his agricultural utilization.

Taking into account the precedents, the research was developed with the objective of characterizing three quinoa "*Chenopodium quinoa Willd.*" ecotypes in two different regions, each one with specific microclimate. The behavior, development, adaptation and yield were evaluated and compared within three ecotypes.

Ing. ASTRID XIMENA CORTÉS LOZANO
axcortes@uniminuto.edu
Ing. ALVARO JR. RUBIANO

Introducción

Este trabajo fue realizado como proyecto de grado, con el objeto de caracterizar tres ecotipos de quinoa (Ch. quinoa) mediante técnicas agroecológicas de producción.

La investigación fue desarrollada en los municipios de Suesca y Madrid; desde el año 2004 hasta 2005, se sembraron tres ecotipos de quinoa, denominados E1, E2 y E3, bajo un diseño de bloques completamente al azar, con 3 tratamientos y 3 repeticiones.

Las variables evaluadas fueron los periodos fenológicos en días, rendimiento de semillas por planta y contenido de saponinas.

Se destaca que el comportamiento fenológico de los ecotipos durante las dos primeras etapas presenta variabilidad. Al inicio de panojamiento, en la floración completa y la madurez fisiológica, la fenología se estabiliza, es decir no se presentan diferencias entre los materiales.

En cuanto a precocidad, a pesar de que no existieron diferencias estadísticamente significativas, el E2 presentó una mayor precocidad, en relación con los otros ecotipos E1 y E3.

La fenología de la planta no es un aspecto determinante en la producción final, contrario a los parámetros meteorológicos, que intervienen de manera directa sobre el rendimiento.

Para su elaboración, se contó con bibliografía de autores especializados en el tema, con la información recogida en campo y su respectivo análisis estadístico.

Revisión de Literatura

La quinoa Ch. quinoa W., es una planta originaria de los Andes; de amplia dispersión geográfica y de alto contenido nutricional, que fue utilizada como alimento desde tiempos inmemoriales, se calcula que su domesticación ocurrió hace más de 7.000 años antes de Cris-

to (Mujica, 1988). Según Heiser y Nelson (1974), la quinua fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas y reemplazada por los cereales después de la llegada de los españoles, a pesar de constituir un alimento básico de la población de ese entonces.

Todos los cultivos de quinua, contienen sustancias glucósidas que interfieren la utilización biológica de los nutrientes, denominadas saponinas y se encuentran impregnadas en la membrana o tegumento que rodea el epispermo; por esta razón los granos que no hayan sido lavados son amargos.

En cuanto a biodiversidad, la quinua tiene una gran variabilidad genética y, según Nieto (1986), no es posible hablar de variedades puras, sino más bien, de poblaciones seleccionadas que presentan cierto grado de pureza y uniformidad. Las flores en esta especie pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles, lo cual indica que puede tener hábito autógamo y halógamo; pero en general, la quinua se considera una especie autógama, ya que el porcentaje de polinización cruzada natural no sobrepasa el 10% (Mujica, 1997).

Las investigaciones en la biología floral han mostrado una diversidad en las estructuras florales. Simmonds (1965) al estudiar las chenopodiáceas del altiplano ha encontrado flores femeninas y hermafroditas en una misma inflorescencia. Por su parte, Gandarillas (1979), menciona que la quinua presenta flores con gineceo y androceo (flor perfecta), flores pistiladas (flor imperfecta) y flores androestériles. Los tres tipos de flores se encuentran distribuidos en diferentes plantas de una misma variedad o en diferentes partes de una misma inflorescencia. Lescano (1994) reporta resultados similares sobre la biología reproductiva y una posible protandria.

Como complemento a esto, Tapia y Gandarillas (1979) determinaron el porcentaje de alogamia en dos campos de cultivos de quinua de plantas verdes que se encontraban contiguas a otras plantas coloreadas. En su trabajo, cosecharon plantas que se encontraban a 1.5, 10 y 20 m. para estudiar la distancia máxima a la que podría llegar el polen arrastrado por el viento. Los porcentajes de polinización cruzada disminuyeron a medida que aumentó la distancia entre las plantas desde 9.9 % a un metro de distancia, hasta 1.5 % a 20 m.; por lo cual se llegó a la conclusión que la quinua es una especie autógama ya que el porcentaje de alogamia no sobrepasa el 10%.

El grado de alogamia de las plantas depende de varios factores inherentes a la planta y al medio ambiente. En el caso de la quinua, el grado de alogamia depende de las características en la morfología floral, aspectos genéticos y la influencia del medio ambiente.

Risi y Galvey (1984), sostienen que el cruzamiento puede estar influenciado por la velocidad del viento, la proporción de flores femeninas y flores androestériles y la autoincompatibilidad. A esto se debe agregar la presencia de flores pistiladas y flores protógamas en una misma planta o en distintas plantas de la misma variedad. A mayor frecuencia de estos tipos de flores o mayor frecuencia de plantas con estos caracteres, mayor será el grado de polinización y fecundación cruzadas. Otros factores que influyen son la temperatura y la presencia de insectos. Las temperaturas mayores a 30 °C afectan negativamente sobre la factibilidad de la antesis retardando o impidiendo este proceso como también reduciendo la viabilidad del polen; por otra parte, temperaturas frías inducen a la androesterilidad temporal en algunos ecotipos y variedades.

Pérdida de la diversidad genética

A la fecha no se ha podido cuantificar la existencia de la erosión genética en quinua, puesto que para ello se requiere de presupuesto y una planificación adecuada para poder realizar el muestreo correspondiente de las localidades y realizar la cuantificación comparativa de los genotipos existentes en la recolección inicial y la recolección objeto del muestreo (FAO, 1996).

Hasta épocas relativamente recientes, la diversidad de las plantas cultivadas se ha mantenido e incrementado de forma eficaz en los ecosistemas agrarios. Sin embargo, desde hace 200 años como consecuencia del desarrollo agrícola e industrial y la progresiva unificación de hábitos culturales y alimenticios, el número de cultivos y la heterogeneidad dentro de los mismos han ido descendiendo progresivamente y, en la actualidad, el 90% de la alimentación mundial está basada en sólo unas 30 especies vegetales y unas docenas de variedades (FAO, 1994).

La pérdida de diversidad se acentuó entre los años 40 a 50 cuando el desarrollo del mejoramiento genético dio lugar a la introducción de variedades comerciales, uniformes y mucho más adaptadas a las técnicas modernas de cultivo y a los nuevos sistemas de comercialización, siendo

incuestionable el beneficio obtenido de ello por una población mundial creciente y subalimentada (IICA, 1997).

Sin embargo, como contrapartida, las variedades modernas, con una base genética muy reducida, han ido desplazando a innumerables variedades tradicionales, heterogéneas y menos productivas, pero altamente adaptadas a su ambiente local y poseedoras de una gran diversidad genética. La consecuencia paradójica es que la aplicación masiva de los logros del mejoramiento vegetal ha puesto en marcha un proceso que destruye los materiales esenciales de abastecimiento de los propios fitomejoradores (Esquinas y Alcazar, 1993).

Conservación de recursos fitogenéticos

Los métodos de conservación de recursos fitogenéticos pueden clasificarse en dos grandes categorías: métodos de conservación *in situ*, los cuales consisten en preservar las variedades o poblaciones vegetales en sus hábitat originales y métodos de conservación *ex situ*, en los cuales la conservación se realiza en los denominados bancos de germoplasma e implica el desarrollo de colecciones de recursos fitogenéticos y presenta ventajas como reducción en costos, control y facilidad en el suministro de material a científicos y usuarios en general, debido a la concentración del material genético y a la información asociada al mismo (FAO, 1994).

Fenología del cultivo

La fenología son los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, los cuales son el resultado de las condiciones ambientales, cuyo seguimiento es una tarea muy importante para agrónomos y agricultores, puesto que ello servirá para efectuar futuras programaciones de las labores culturales, riegos, control de plagas y enfermedades, aporques e identificación de épocas críticas; así mismo le permite evaluar la marcha de la campaña agrícola y tener una idea concreta sobre los posibles rendimientos de sus cultivos, mediante pronósticos de cosecha (Nieto y Vimos, 1992).

Autores (Mujica y Canahua, 1989; Rea y Tapia, 1979) coinciden en que la quinua presenta fases fenológicas bien marcadas y diferenciadas las

cuales permiten identificar los cambios que ocurren durante el desarrollo de la planta, se han determinado trece fases fenológicas: germinación, emergencia, dos hojas verdaderas, cuatro hojas verdaderas, seis hojas verdaderas, ramificación, formación de panoja, floración o antesis y madurez fisiológica.

Caracterización del germoplasma

Una de las tareas asociadas a los bancos de germoplasma y que facilita en gran medida la utilización de los materiales es la adecuada descripción de los mismos.

En la descripción de colecciones se distinguen normalmente dos aspectos: la caracterización y la evaluación. La caracterización tiene sobre todo un objetivo de identificación de las entradas y se refiere principalmente a atributos cualitativos que pueden considerarse invariables (color de la flor, forma de la semilla, composición isoenzimática, etc.). La evaluación persigue fundamentalmente determinar caracteres de interés agronómico que normalmente se ven influidos por las condiciones ambientales (precocidad, contenido en proteína, resistencia a plagas y enfermedades, etc.). En la práctica, los bancos de germoplasma suelen realizar una tarea mixta de caracterización y evaluación sencilla que, en los materiales conservados por semillas, suele llevarse a cabo durante los procesos de multiplicación de las muestras (Brown, 1995).

A partir de 1965 en la estación experimental de Patacamaya, Bolivia, con base en un programa contra el hambre de la FAO, financiado por la institución inglesa Oxford Famine Relief (OXFAM) y el Gobierno de Bolivia se inicia a nivel mundial el mejoramiento genético de la quinua.

Para alcanzar el resultado en el mejoramiento de quinua se requiere un conocimiento cabal y exacto de su estructura genética y su interacción con los diferentes factores ambientales (Mujica, 1988).

El mejoramiento genético de la quinua tiene por finalidad la generación de variedades más eficientes, obtener productos aprovechables por el hombre como alimento, como materias primas para la industria, como forraje para los animales domésticos, etc. (Gandarillas, 1979).

Dado que las colecciones, no solo se tienen para conservarlas, sino que también para incorporar-

los en Programas de Mejoramiento Genético, por ello es necesario tener información sobre las características botánicas y agronómicas de cada entrada, consignadas dentro de un registro y con los datos preliminares del colector.

Fenotipo y genotipo

La expresión de los caracteres de una planta, quiere decir, aquello que se puede ver o medir (pe. color, rendimiento, precocidad, resistencia), se llama fenotipo. El fenotipo es el resultado de las influencias interactivas del genotipo (totalidad de los genes) y del ambiente (Simmonds, 1965). El genotipo fija el potencial de la planta. Un mal manejo o un clima desfavorable no permite aprovechar este potencial al máximo. De otro lado, ni el mejor manejo puede llegar a resultados buenos, si el genotipo no ofrece el potencial suficiente (Gandarillas, 1967).

Según Simmonds (1965), la quinua cultivada tiene 36 cromosomas, repartidos en 4 genomios con el número básico de $x = 9$ cromosomas, quiere decir, la quinua es un tetraploide con $4x = 36$ cromosomas. Como esta tetraploidia es el resultado, de un cruce de dos diferentes especies diploides (con $2n = 18$), la quinua es más específicamente un alotetraploide con $2n=4x=36$ cromosomas. No se han podido identificar, hasta el momento, las 2 especies parentales de la quinua, pero se sospecha, que ya no existen o que se encuentran entre las especies silvestres.

El genotipo es la totalidad de los genes, que se encuentran en los cromosomas. Un gen sometido a mutaciones en el transcurso del tiempo, puede tener diferentes estados. Estos estados se llaman alelos. Como la quinua es un tetraploide, un gen puede tener en la misma planta 4 diferentes alelos del mismo gen, uno en cada uno de los 4 genomios. Los alelos pueden reaccionar dominantes, recesivos o aditivos. Si los 4 alelos de un gen son idénticos, la planta es homocigótica para este carácter. Si un alelo o más son diferentes, la planta es heterocigótica para este carácter (Lescano, 1994).

Según Piñeros (1987), un parámetro para evaluar en una caracterización agronómica, es la altura de las plantas, para lo cual propone tres rangos de clasificación: enanas (0.9 m), medianas (0.9-1.35 m) y altas (1.35 m). Investigaciones en el Departamento de Nariño, añaden que las alturas de la quinua oscilan entre 90 y 1.40 m (Cerón, 2002).

Dentro de algunos materiales cultivados en Colombia encontramos; la variedad Nariño, cuyo período vegetativo es largo (180-200 días), de hábito erecto, con poca ramificación, hojas grandes, color de planta verde claro, tipo de panoja glomerulada abierta, grano grande de color blanco claro, bajo contenido de saponina, se ha efectuado selecciones de plantas más precoces, se obtiene un rendimiento de grano que supera los 2500 kg/ha, susceptible al mildew, gran producción de materia verde, pudiendo utilizarse como forraje a la floración (Nieto, 1997).

Dulce de Quitopamba, de origen nariñense, con plantas de tamaño medio (0.90-1.10 m), tallo blanco y panoja blanca, amarantiforme (presencia de una panoja principal en el eje primario del tallo), con un ciclo de vida entre 110-130 días y producción de 1350 a 1830 kg/ha. Los granos son blancos, con tamaño de 1.3 - 1.6 mm. De la variedad mencionada, se tiene una selección precoz de tamaño pequeño y ciclo menor de 110 días a 2760 m.s.n.m, pero los rendimientos son menores de una tonelada de grano seco por hectárea (Tapia, 1976).

Metodología

El estudio se realizó en el departamento de Cundinamarca en los municipios de: Suesca, en la vereda Ovejeras (Finca La Primavera) a una altura de 2.750 m.s.n.m., una temperatura de 14°C, precipitación promedio anual de 800 - 900 mm y una humedad relativa del 79% y Madrid, en la vereda Puente Piedra (Instituto Cooperativo Técnico Agrícola ICTA), a una altitud de 2.570 m.s.n.m., con una temperatura de 14°C, precipitación de 600 - 700 mm. y una humedad relativa del 79%.

En ambas localidades, después de la preparación de suelo, se trazaron surcos con arado de chuzo con tracción animal, a una profundidad de 10 cm. y una distancia de 0.7 m. entre ellos. En la localidad de Suesca, se fertilizó con 2160 Kg/ha de Lombricompost al fondo del surco. En la localidad Puente Piedra, se aplicaron 2160 Kg/ha de porquinaza al voleo.

Se sembraron tres ecotipos de quinua denominados E1, E2 y E3 (Figuras 1, 2 y 3), bajo un diseño de bloques completamente al azar (Gráfica 1), con 3 tratamientos y 3 repeticiones. El lote de Suesca se sembró el 18 de mayo y el lote de Puente Piedra el 20 de agosto de 2004.



Figura 1. Características fenotípicas del ecotipo 1 (Blanca)
Fotografía: Alvaro Rubiano



Figura 2. Características fenotípicas del ecotipo 2 (Roja)
Fotografía: Alvaro Rubiano



Figura 3. Características fenotípicas del ecotipo 3 (Verde)
Fotografía: A. Ximena Cortés



Gráfica 1. Mapa de distribución en campo de los tratamientos en ambas localidades.

La semilla de los tres ecotipos provino de una selección masal realizada en el año 2002 en el municipio de Suesca, la cual se sembró a chorrillo continuo, con una densidad de siembra de 9 Kg/ha.

En las dos localidades, el tamaño del bloque fue de 3.5 m de ancho (5 surcos) con una distancia entre ellos de 0.7 m por 30 m de largo, o sea 105 m² en cada bloque, con 1 m de calle entre bloques. Las parcelas diseñadas en cada bloque

fueron de 3.5 m (5 surcos), por 9 m cada una, o sea 31.5 m², donde se sembraron cada uno de los tres ecotipos, con el modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + B_k + (\alpha B)_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- μ Promedio General
- i 1,2,3,4,5,6,7,8,9 bloques
- j 1,2,3 genotipos de quinta
- k 1,2 Localidades
- ρ_i Efecto del bloque pésimo
- α_j Efecto j-ésimo de los genotipos
- B_k Efecto k-ésimo de las localidades
- $(\alpha B)_{jk}$ Interacción del genotipo y error experimental
- ϵ_{ijk}

A la emergencia del cultivo se fertilizó con EM (microorganismos eficientes) dirigido a la base de la planta, procedente de la Fundación de Asesorías para el Sector Rural FUNDASES, en dosis de 2 litros/Bomba de espalda (20 litros). Hasta el inicio de floración se realizaron aplicaciones foliares cada 15 días de EM en dosis de 1.5 litros más 0.5 litros de Agroplus Desarrollo (Green) por Bomba de espalda (20 litros).

Después del periodo de emergencia de las plantas, se realizó un raleo cada 15 días hasta dejar

120 plantas por parcela, o sea 360 plantas por bloque. Para el manejo de plagas se aplicaron productos biológicos a base de *Bacillus Thuringiensis* y extractos vegetales (Agrocid).

Se seleccionaron por parcela 20 plantas al azar, ubicadas en los 3 surcos centrales, buscando mitigar el efecto de bordes, sobre las cuales se llevaron registros de las siguientes variables:

Para la fenología de la planta: días a emergencia, días a ramificación, días a inicio de formación de panoja, días a panojamiento completo, días a floración completa, días a madurez fisiológica; para la morfología de los ecotipos: altura de la planta, presencia de axila pigmentada, tipo de panoja, rendimiento de semillas por planta y contenido de saponinas, para lo cual se empleó la metodología utilizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del Perú, INIAP.

Resultados y Discusión

Los resultados de la presente investigación en quinua (*Ch. quinoa*) siguen el orden propuesto en la metodología.

Días a emergencia de plántulas

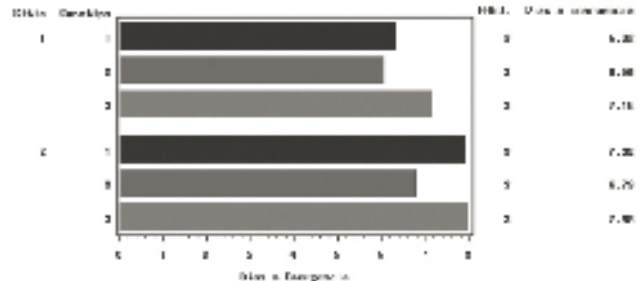
Los resultados que se pueden observar en la Gráfica 1, indican que dentro de un modelo estadístico lineal general, para el periodo a emergencia, existe una diferencia estadísticamente significativa de 1.14 días entre los tratamientos 2 y 3, ya que la duración en días para el ecotipo 2 fue de 6.42, para el ecotipo 3, de 7.56 y 7.12, para el ecotipo 1; con un periodo promedio de emergencia de 7.03 días.

De otra parte, cuando se comparó la interacción ecotipo localidad, se encontró que en la vereda Puente Piedra fue 1.05 días más largo, ya que en Suesca esta etapa ocurrió a los 6.51 días y en Puente Piedra a los 7.56 días. (Gráfica 1), (Tablas 1 y 2).

Estos resultados se debieron probablemente a factores climatológicos como la precipitación, ya que en la localidad Suesca, este factor durante la época inicial del cultivo fue de 143.4 mm y en Puente Piedra fue de 26.7 mm. IDEAM 2004. (Tabla 3).

Mujica y Canahua (1989), sostienen que siendo la emergencia la etapa fenológica de mayor importancia, se relaciona directamente con el cli-

ma, ya que el déficit de humedad, puede incidir en la germinación, debido a que los granos se hinchan y desplazan a los cotiledones y a la raíz con cierta cantidad de agua. Rea y Tapia (1979), señalan que la emergencia ocurre de los 7 a 10 días de la siembra, datos que concuerdan con los obtenidos en la presente investigación.

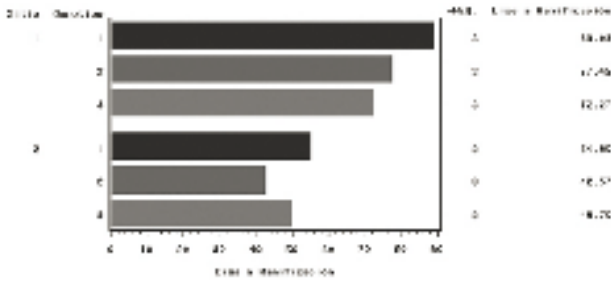


Gráfica 1. Relación días a emergencia Vs. Ecotipos y lugar.

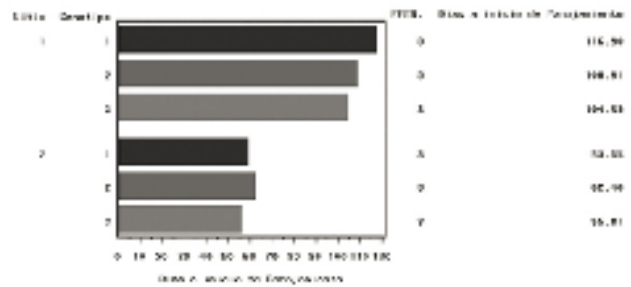
Días a ramificación

Los resultados obtenidos para esta etapa revelan que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos 1 Vs. 2 y 1 Vs. 3, como se muestra en la Gráfica 2; indicando que el ecotipo 2, tiene un periodo de duración de 60.01 días, el ecotipo 3, de 61.00 días y el ecotipo 1, de 72.02 días, es decir, que la ramificación para este último es 11 días más tardía que para los otros, lo cual no constituye ninguna ventaja o desventaja elemental ya que el factor tiempo para este período no es determinante en la productividad del ecotipo, no obstante, debe tenerse en cuenta que esta fase es susceptible a las bajas temperaturas, que según Mujica y Canahua (1989), producen el colgado del ápice, por lo tanto, la época climatológica en que se presente puede afectar el rendimiento. (Tabla 1).

Los resultados en función de las localidades (Gráfica 2), dejan ver que el promedio en días para Suesca fue de 79.60 y para Puente Piedra de 49.09, existiendo una diferencia estadísticamente significativa de 30.51 días (Tabla 1). Condición que posiblemente se presentó por las altas precipitaciones expuestas en la localidad 1, que para este ciclo fueron de 125.0 mm y en Puente Piedra de 73.5 mm (Anexo 1), que según Rea y Tapia (1979), perturban el desarrollo de la quinua, puesto que es la ramificación, la etapa fenológica de mayor resistencia a la sequía y mayor susceptibilidad a la humedad.



Gráfica 2. Relación días a ramificación Vs. ecotipos y lugar.



Gráfica 3. Relación días a inicio de formación de panoja Vs. Ecotipos y lugar.

Días a inicio de formación de panoja

En los resultados arrojados para esta fase, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, indicando que la duración en días para el ecotipo 3, es de 80.19, para el ecotipo 2, de 85.65 y para el ecotipo 1, de 88.22. (Gráfica 3), (Tabla 1).

En cuanto a las localidades, la Gráfica 3 muestra que existen diferencias estadísticamente significativas, señalando que en Puente Piedra, las plantas de quinua iniciaron formación de panoja a los 59.25 días y en Suesca a los 110.13 días, diferenciándose en 50.87 días (Tabla 1). Este resultado se atribuye, posiblemente a factores climáticos, especialmente la precipitación, que para esta etapa fue de 143.1 mm en Suesca y 78.4 mm en Puente Piedra (Tabla 3). De acuerdo con Rea y Tapia (1979), que atestatan que en este periodo, se aprecia el amarillamiento de las dos primeras hojas verdaderas y la caída de las que ya no son fotosintéticamente activas, fenómeno que se acelera en épocas secas y ocasiona una evolución fisiológica de las plantas, ya que desecha órganos que no están aportando nada para su desarrollo y produce una fuerte elongación y engrosamiento del tallo.

A pesar de que los promedios para cada ecotipo divergen de los obtenidos por Rea y Tapia (1979), en un estudio realizado en Perú con las variedades amarilla de Marangani, Kcancolla y Blanca de Juli, los cuales establecen que la emergencia de la inflorescencia en el ápice de la planta ocurre de los 50 a 60 días después de la siembra; el número de días a esta etapa en la localidad 2 concuerda con lo encontrado por estos autores.

Días a panojamiento completo

Los ecotipos de quinua no presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la duración en días, desde la emergencia de plántulas hasta la formación completa de la panoja como se observa en la Gráfica 4, la cual muestra que este periodo tuvo una duración de 89.85 días, para el ecotipo 3, 92.46 días, para el ecotipo 1 y 94.89 días, para el ecotipo 2. (Tabla 1).

Para las localidades, existieron diferencias estadísticamente significativas, como se observa en la Gráfica 4, demostrando que para Suesca la duración de este periodo fue de 119.72 días y para Puente Piedra de 65.08, con una discrepancia de 54.63 días (Tabla 1), lo cual corrobora que factores climáticos, como la precipitación, pueden influir directamente en la fenología de la planta. que para la localidad 1 fue de 65.9 mm y para la localidad 2 de 6.4 mm (Tabla 3). En la localidad 2, los datos concuerdan con los trabajos de Mujica y Canahua (1989) quienes dicen que para el Perú, en las variedades Compaya y Amarilla Interandina, éste periodo está comprendido entre los 65 a los 70 días después de la siembra.

La conformación de la panoja para cada ecotipo, se observa en las Figuras 4, 5 y 6.



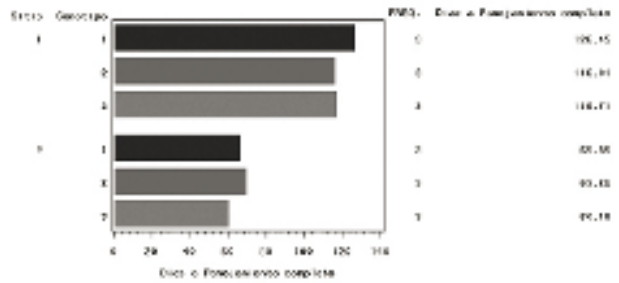
Figura 4. Conformación de la panoja de Quinua del ecotipo 1 (Blanca). Obsérvense la coloración blanca amarillenta de la panoja
Fotografía: A. Ximena Cortés



Figura 5. Conformación de la panoja de Quinoa del ecotipo 2 (Roja). Obsérvense la coloración roja de la panoja Fotografía: A. Ximena Cortés



Figura 6. Conformación de la panoja de Quinoa del ecotipo 3 (Verde). Obsérvense la coloración verde claro de la panoja Fotografía: Alvaro Rubiano



Gráfica 4. Relación días a panojamiento completo Vs. Ecotipos y lugar.

Tipo de panoja

Los resultados sobre el tipo de panoja en los materiales E1, E2 y E3, en ambas zonas de estudio demuestran que un alto porcentaje de plantas presentó panojas de tipo amarantiforme (Gráficas 5 y 6). Contrario a lo que Cerón (2002) encontró en sus trabajos realizados en el Departamento de Nariño, donde la mayoría de las plantas de la variedad Nariño, exhibieron panoja de tipo glomerulada. Ésta característica fenotípica en una misma variedad difiere considerablemente; de acuerdo con Nieto (1986), quien afirma, que en quinua, por poseer gran variabilidad genética, no existen variedades puras sino poblaciones que presentan cierto grado de uniformidad y que para establecer este parámetro en los ecotipos, se debe realizar de acuerdo al tipo de panoja que se encuentre en mayor proporción dentro de la totalidad de las plantas. (Figuras 8, 9 y 10).

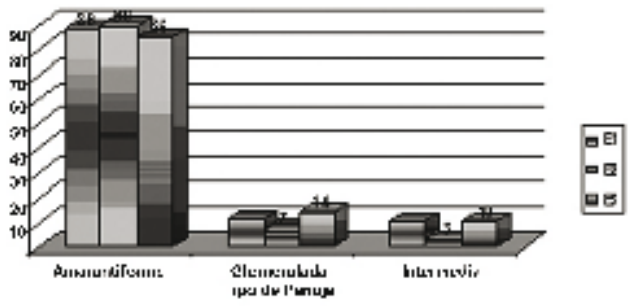
Las panojas de tipo amarantiforme, presentan desventaja frente a las de tipo glomerulado, ya que el rendimiento en grano es menor (Viñas, 2000).



Gráfica 5. Tipo de panoja para los tres ecotipos, en la localidad de Suesca

Ver Gráfico 6 en la siguiente página

Tipos de panoja en Puente piedra



Gráfica 6. Tipo de panoja para los tres ecotipos, en la localidad de Puente Piedra

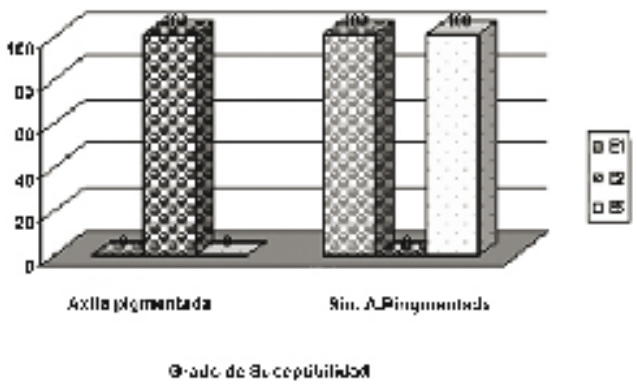
Presencia de axilas pigmentadas

Los resultados, demostraron que únicamente el E2, en ambas localidades, posee esta característica.

Álvarez, M. y Von Rütte, S. afirman que la mayoría de quinuas cultivadas en Perú y Bolivia presentan axila pigmentada, lo que indica que probablemente la progenie de este ecotipo proviene originalmente de materiales de alguno de estos países y que por el proceso conocido como domesticación, la población sufrió fuertes presiones selectivas debidas a las prácticas agrícolas, ocasionando la alteración de algunos de sus caracteres, coincidiendo únicamente en esta variable con el ecotipo de la presente investigación. (Gráfica 7).

Autores como Piñeros (1987) y Giusti (1970) coinciden en que la presencia de esta característica no tiene ninguna influencia sobre el desarrollo y la productividad de los ecotipos.

Presencia de axila en los ecotipos

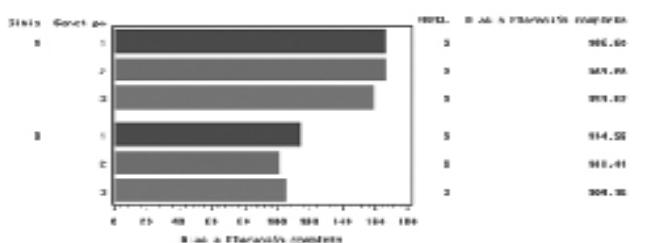


Gráfica 7. Porcentaje de plantas con axila pigmentada en los tres ecotipos

Días a floración

Para la evaluación de este periodo se tuvo en cuenta que el 50% de las flores de la inflorescencia estuvieran abiertas. Los resultados entre ecotipos indicaron para este periodo, que no existen diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1); encontrándose que su duración en días fue de 111.95, para el ecotipo 3, 114.33, para el ecotipo 2 y 117.87, para el ecotipo 1, (Gráfica 8); datos que difieren de las investigaciones realizadas por Mujica y Canahua (1989) en variedades peruanas como la ILLPA-INIA, cuya floración ocurre entre 75 a 100 días después de la siembra.

Respecto a las localidades (Gráfica 8), se observaron diferencias estadísticamente significativas, ya que para Suesca la duración de este periodo fue de 163.76 días y para Puente Piedra de 106.61, discrepando en 57.15 días. (Tabla 1). De acuerdo con Mujica y Canahua (1989) esta fase es muy sensible a heladas, pudiendo en general la quinua, resistir temperaturas sólo hasta -2°C, factor que probablemente incidió en los resultados obtenidos, ya que para esta fase del cultivo, el IDEAM reportó temperaturas de -2.6°C en las madrugadas, para la localidad 1 (Tabla 3). Así mismo y de acuerdo con Rea (1978), altas temperaturas durante el día pueden provocar el aborto de flores y mermar el rendimiento.



Gráfica 8. Relación días a floración Vs. Ecotipos y lugar

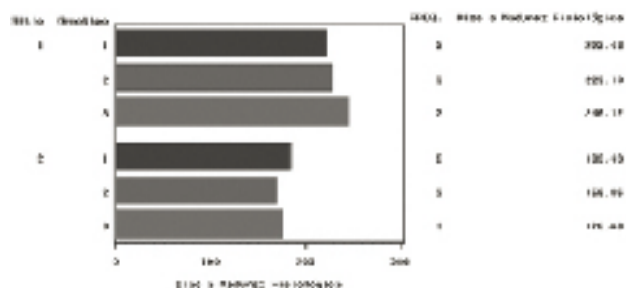
Días a madurez fisiológica

La duración del periodo en días a madurez fisiológica fue de 198.98, para el ecotipo 2, 202.96 para el ecotipo 1 y 211.30, para el ecotipo 3 (Tabla 1), estableciéndose que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Gráfica 9). Nieto y Vimos (1992), sostienen que variedades como la Ingapirca, en Ecuador, maduran en un rango de 100 a 160 días, lo cual demuestra que la latitud puede afectar esta etapa fenológica.

Para las localidades, se observaron diferencias significativas (Gráfica 9), indicando que en Suesca esta fase ocurrió a los 232.54 días y en Puente Piedra a los

176.28, divergiendo en 56.26 días (Tabla 1). Una vez más, el comportamiento fenológico puede atribuirse probablemente a factores como las altas precipitaciones, para el caso de Suesca, en donde se presentó durante esta época un rango de 83.9 mm y la escasez para el caso de Puente Piedra (17.1 mm), que pudo incidir directamente en el llenado de grano, ya que según Rea, Tapia y Mujica (1979) la quinua en este periodo presenta susceptibilidad al déficit de humedad y a las altas temperaturas, mostrado en casos severos una disminución del 20% en el rendimiento de grano.

En general, no se puede hablar de precocidad en ninguno de los ecotipos, ya que esta variable, junto con la altura no presenta diferencias, lo cual puede estar relacionado con la biodiversidad de Ch. quinoa que ha sido directamente afectada por la evolución natural y antrópica como lo sustenta Mujica (1988), que en su trabajo determinó, que no es la duración de cada etapa fenológica, la que determina la precocidad sino el número de días a la madurez fisiológica.



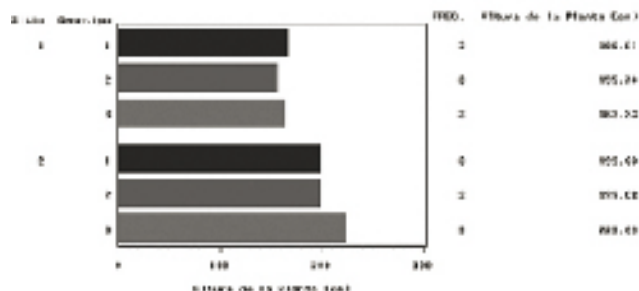
Gráfica 9. Relación días a madurez fisiológica vs. ecotipos y lugar.

Altura de la planta en su madurez fisiológica

La medición de altura de las plantas de los Materiales E1, E2 y E3 (Gráfica 10), no mostró diferencias estadísticamente significativas, observando que el ecotipo 2, midió 1.77 m, el ecotipo 1, 1.82 m y el ecotipo 3, 1.93 m. (Tabla 1). Teniendo en cuenta la clasificación por altura establecida por Piñeros (1987), quien sostiene que los materiales determinados como altos son de 1.35 m, los ecotipos estudiados en la presente investigación sobrepasaron esta cifra, al igual que las obtenidas por (Ceron, 2002), quien añade que en general la altura de las quinuas, en Nariño, oscila entre 90 y 1.40 m.

El parámetro altura de plantas para las dos zonas de estudio (Gráfica 10), indicaron que existen diferencias estadísticamente significativas, denotando que en Suesca la altura promedio de los ecotipos

fue de 1.61 m y en Puente Piedra de 2.07 m. (Tabla 1). Según Mujica (1997) la quinua crece generalmente de 0.8 a 3 m de alto, característica que depende del genotipo y de agentes externos. De acuerdo con esto y como se ha relacionado en las variables anteriores, factores climáticos como la altitud y las altas precipitaciones presentadas en la Localidad 1, posiblemente influyen de manera negativa en el tamaño de las plantas.



Gráfica 10. Relación altura a madurez fisiológica vs. ecotipos y lugar

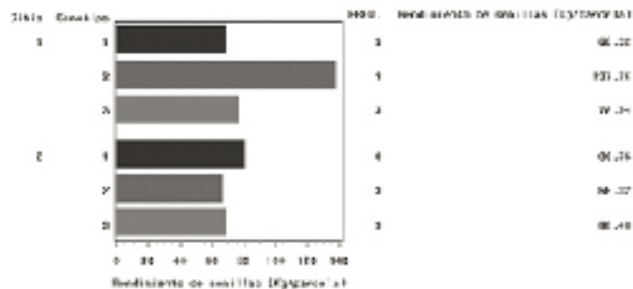
Rendimiento de grano por planta

Los resultados de rendimiento en gramos por planta (Gráfica 11), revelaron que existen diferencias estadísticamente significativas entre los ecotipos 1 Vs. 2 y 2 Vs. 3, estableciendo que el ecotipo 2 tuvo un rendimiento de 102.03, el ecotipo 1, de 74.83 y el ecotipo 3, de 72.36 (Tabla 1). Comparando estos datos con los obtenidos en un estudio de diez variedades diferentes de Ch. quinoa realizado en el municipio de Pasto-Nariño (Ceron, 2002) se observó que existe similitud en el rendimiento en Kg/ha, dado que para la presente investigación el promedio fue de 3164 Kg/ha y para el estudio en el sur del país fue de 1333 y 4033 Kg/ha. Este rango se confirma en las variedades Nariño (Nieto, 1997), Dulce de Quitopamba y Tukahuan (Tapia, 1976).

En cuanto a las localidades, se observaron diferencias estadísticamente significativas, ya que para Suesca el promedio general de rendimiento fue de 94.30 gr/planta y para Puente Piedra fue de 71.85 gr/planta, con una discrepancia de 22.44 gr/planta. (Tabla 1).

Es importante resaltar, que durante el ciclo del cultivo, la precipitación promedio anual en la Localidad 1 fue de 998.7 mm, mayor que en la Localidad 2 donde el valor anual fue de 518.6 mm (IDEAM, 2004 - 2005), por lo tanto es posible que este factor, sea el determinante para los resultados de esta variable. (Tabla 3)

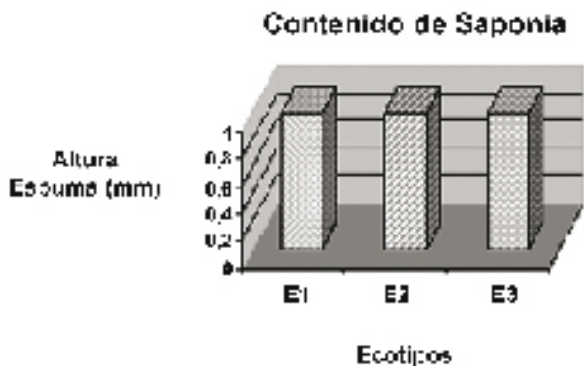
La baja precipitación influyó durante todas las etapas fenológicas del cultivo en Puente Piedra, mostrando diferencias significativas en días a ramificación, días a inicio de panojamiento, días a panojamiento completo, días a floración completa, días a madurez fisiológica e incluso rendimiento por planta, en comparación con Suesca. Esta situación es común en todas las plantas cuando sufren estrés hídrico, las cuales tienden a acelerar su ciclo de vida y la formación de sus estructuras como mecanismo de defensa ante las adversidades climáticas conllevando al escaso rendimiento.



Gráfica 11. Relación rendimiento de semillas (gr/planta Vs. Ecotipos y lugar)

Contenido de saponinas en los diferentes ecotipos de quinua

Los resultados del porcentaje de saponinas en los diferentes materiales (E1, E2 y E3), indicaron que en los tres tratamientos, la altura de espuma fue de 1 mm y que según la metodología utilizada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del Perú INIAP, se clasifican como ecotipos semidulces, lo cual demuestra importantes ventajas en la calidad del grano, ya que disminuye las operaciones de limpieza y por lo tanto los costos de producción, sumado a esto, los problemas por intoxicación en especies como aves y peces no se hacen limitantes si se considerara la producción de éstos ecotipos para su alimentación. (Gráfica 12)



Gráfica 12. Contenido de saponinas (mm) en los tres ecotipos

Riesgos fitosanitarios

Es necesario resaltar que dentro de los componentes culturales en el desarrollo de la investigación, los riesgos fitosanitarios fueron los de mayor relevancia, indicando que durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo y en el periodo de floración se pudieron observar ataques de estados inmaduros (larvas), de Copitarsia consueta (Lepidoptera:Noctuidae), preferencialmente en hojas y panoja, cuya evaluación del daño fue cercana al 10%. Además, se encontraron ataques esporádicos de Spodoptera sp. (Lepidoptera:Noctuidae), relacionados con hojas y panojas. (Figuras 11 y 12).

Las observaciones sobre incidencia de enfermedades en los diferentes materiales indicaron que únicamente el hongo Alternaria sp. se presentó causando síntomas en tallos y hojas en la última etapa del cultivo con ataques cercanos al 30%. (Figura 13).

ECOTIPOS	DÍAS A EMERGENCIA	DÍAS A RAMIFICACIÓN	DÍAS A INICIO DE PANOJAMIENTO	DÍAS A PANOJAMIENTO	DÍAS A FLORACIÓN COMPLETA	DÍAS A MADUREZ FISIOLÓGICA	ALTURA DE LA PLANTA A LA MADURACIÓN (cm)	RENDIMIENTO DE SEMILLAS (gr.)
1	7.12 ab	72.0233 a	88.225 a	96.150 a	117.877 a	202.962 a	182.822 a	74.8397 ab
2	6.42167 a	60.0117 b	85.655 a	92.613 ab	114.33 a	198.98 a	177.392 a	102.038 a
3	7.56667 a	61.0083 b	80.1967 a	88.443 b	11.953 a	211.302 a	193.133 a	72.36 b
Contraste	Diferencia							
1_2	0.698333	*12.0117	2.57		3.54667	3.98167	5.43	-27.1983
1_3	-0.44667	*11.015	8.02833		5.92333	-8.34	-10.3117	2.47967
2_3	*-1.145	-0.99667	5.45833		2.37667	-12.3217	-15.7417	29.6779

Tabla 1. Comportamiento fenológico y fisiológico de los ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)

LOCALIDAD	DÍAS A EMERGENCIA	DÍAS A RAMIFICACIÓN	DÍAS A INICIO DE PANOJAMIENTO	DÍAS A PANOJAMIENTO	DÍAS A FLORACIÓN COMPLETA	DÍAS A MADUREZ FISIOLÓGICA	ALTURA DE LA PLANTA A LA MADURACIÓN (cm)	RENDIMIENTO DE SEMILLAS (gr.)
suesca	6.51111 b	79.6044 a	110.130 a	119.721 a	163.768 a	232.549 a	161.848 b	94.3033 a
Puente Piedra	7.56111 a	49.0911 b	59.254 b	65.0833 b	106.614 b	176.28 b	207.05 a	7108551 b
Contraste	Diferencia							
Puente piedra suesca	*-1.05	*-30.5133	-50.8756	*-54.6378	*-57.1533	*-56.2689	*45.2022	-22.4483

Tabla 2. Comportamiento fenológico y fisiológico de los ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), en función de las localidades



Fotografía 11. *Copitarsia consueta* (Lepidoptera:Noctuidae). Obsérvese el estado larval.

Fotografía: A. Ximena Cortés



Fotografía 12. *Spodoptera* sp. (Lepidoptera:Noctuidae) Fotografía: A. Ximena Cortés



Fotografía 13. Síntomas de *Alternaria* sp. Obsérvese el tallo afectado. Fotografía: Alvaro Rubiano

Conclusiones

El comportamiento fenológico de los ecotipos durante las dos primeras etapas presenta variabilidad. Al inicio de panojamiento, en la floración completa y la madurez fisiológica, la fenología se estabiliza, es decir no se presentan diferencias entre los materiales.

La emergencia de los diferentes ecotipos en las localidades de Suesca y de Puente Piedra, ocurrió en un periodo promedio de 7 días después de la siembra.

El ecotipo 2 (rojo), presentó una mayor precocidad (198.92 días), en relación con los otros ecotipos E1 (202.96 días) y E3 (211.30), aunque no existieron diferencias estadísticamente significativas.

La baja precipitación presentada, en la localidad Puente Piedra, influyó en la aceleración del ciclo del cultivo, al observarse una disminución estadística en la variable días a madurez fisiológica.

La fenología de la planta no es un aspecto determinante en la producción final, contrario a los parámetros meteorológicos, principalmente la precipitación, que intervienen de manera directa sobre el rendimiento.

De acuerdo al análisis de saponinas realizado a los tres ecotipos, se pudo determinar que son semidulces y como consecuencia pueden ser utilizadas en la alimentación humana y animal.

Bibliografía

1. Álvarez, M. Y Von Rütte, S. 1990. Quinua. Hacia un cultivo comercial. Quito-Ecuador. LARINRECO-Nestlé. 206 p.
2. Ceron, E. 2002. La Quinua, un Cultivo para el Desarrollo de la Zona Andina. Pasto-Colombia. UNIGRAF. 147 p.
3. Esquinas y Alcazar, J. T. 1993. La diversidad genética como material básico para el desarrollo agrícola. Madrid. En: La Agricultura del Siglo XXI. Mundi-Prensa. p. 79-102.
4. FAO. 2001. El estado de la Inseguridad Alimentaria en el mundo. Italia. Roma. 58 p.
5. _____. 1994. Código Internacional de Conducta para la Recolección y Transferencia de Germoplasma Vegetal. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
6. _____. 1996. Informe sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos en el Mundo. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
7. _____. 1996. Plan de Acción Mundial para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
8. Gandarillas, H. 1967. Observaciones sobre la Biología Reproductiva de la Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). La Paz-Bolivia. Saya. Socie-

- dad de Ingenieros agrónomos de Bolivia. 4 p.
9. Giusti, K. 1970. El Género *Chenopodium* en la Argentina. Número de cromosomas. En: Darwiniana 16, p. 98-105.
10. Heiser, C y D. Nelson. 1974. On The Origen of the Cultivated *Chenopods* (*Chenopodium*). En: Genetics 78; p. 503-505.
11. IICA. 1997. Proyecto fomento de la Quinua en dos regiones Plante de Colombia. Bogotá.
12. Lescano R. J. L. 1994. Genética y Mejoramiento de Cultivos Alto Andinos. La Paz-Bolivia. CIMA.
13. Mujica, A. 1988. Parámetros Genéticos e Índices de Selección en Quinua. (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Centro de Genética. Montecillos, México. 122 p.
14. _____ 1997. Cultivo de Quinua. Lima. Instituto Nacional de Investigación Agraria. 130 p.
15. Mujica, A. y Canahua. 1989. Fases Fenológicas del Cultivo de la Quinua. (*Chenopodium quinoa* Willd.). Curso Taller. Fenología de Cultivos Andinos y Uso de la Información Agrometeorológica. Salcedo, 7-10 Agosto, Puno-Perú. INIAA. p. 23-27.
16. Mujica, A. y Jacobsen. 2000. Agrobiodiversidad de las "aynokas" de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y la seguridad alimentaria. Seminario-Taller Agrobiodiversidad en la Región Andina y Amazónica, 24-25 November 1998, Lima-Perú. UNALM. p. 151-156.
17. Nieto, C. y Vimos C. 1992. La Quinua, Cosecha y Poscosecha. Algunas experiencias en Ecuador. Quito Ecuador. (INIAP: Boletín Divulgativo N° 224), Estación "Santa Catalina". 42 p.
18. Nieto, C. y Vimos C., Monteros C., Caicedo C. y Rivera C. 1992. "INIAP-INGAPIRCA-TUNKAHUAN. Dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina". Quito Ecuador. INIAP: Boletín Divulgativo N° 228, Estación "Santa Catalina". 23 p.
19. Piñeros J. 1987. Tesis: Observación del comportamiento agronómico de 240 introducciones de quinua en la sabana de Bogotá. Universidad Nacional. Bogotá, D.E. p. 10-53.
20. Rea, J. Tapia, M y Mujica A. 1979. El cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) La paz - Bolivia. p. 83-120.
21. Rosas, E y Calderón, G. 1977. Curso de Quinua. Semilleros Básicos y de Fundación. Universidad Nacional Técnica del Altiplano. IICA. p. 83-89.
22. Simmonds N. W. 1965. The Grain *Chenopods* of the Tropical American Highlands. En: Economic Botany 19. p. 223-235.
23. Tapia M, Gandarillas H. y otros. 1979. La Quinua y la Kañiwa. Cultivos Andinos. Bogotá-Colombia. Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo CIID e Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).