

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



**Rendimiento de forraje de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)
bajo tres densidades de población.**

Por:

EUSEBIO RAMOS DEL ANGEL

TESIS

Presentada como Requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2004

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**Rendimiento de forraje de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)
bajo tres densidades de población.**

TESIS

Presentada por:

Eusebio Ramos del Angel

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador
como requisito para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en Producción

Dra. Diana Jasso Cantú

Presidente del Jurado Examinador

Dr. Raúl Rodríguez García
Asesor

Ing. Carlos Rojas Peña
Asesor

Dr. José Angel Villarreal Quintanilla
Asesor

M.C. Arnoldo Oyervides García
Coordinador de la División de Agronomía

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo de 2004

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por haberme dado la oportunidad de concluir mis estudios y de formar parte de su comunidad universitaria.

A la Dra. Diana Jasso Cantú por su colaboración en la realización de éste trabajo y por su amistad y confianza brindada.

Al Dr. Raúl Rodríguez García por su colaboración en la revisión de éste trabajo.

Al Ing. Carlos Rojas Peña por su colaboración en la revisión de éste trabajo.

Al Dr. José Angel Villarreal Quintanilla por su colaboración en la realización de este trabajo.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) del estado de Coahuila por estimular la realización de la presente investigación a través de una beca.

Al personal de laboratorio de Fitoquímica del Departamento de Fitomejoramiento, a la T.A. Maria Guadalupe Moreno Esquivel por los análisis de contenido de saponinas de *quinua*, a la T.A. Maria Leticia Rodríguez González por los análisis de contenido de proteínas, a la T.A. Olga Leticia Solís Hernández por el apoyo en la limpieza de la semilla de *quinua*, a la T.A. Edith E. Chaires Colunga por la revisión de los datos de los informes de *quinua*, y a los señores: Apolinar Rangel Garibaldi, José Cabrera Álvarez y Jaime Alvarado Vázquez por el apoyo brindado durante la siembra, manejo, toma de datos de la cosecha y rendimiento del cultivo.

A mis compañeros y amigos de la generación XCVI de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción con quienes compartí innumerables momentos dentro y fuera de la institución.

DEDICATORIA

A DIOS NUESTRO SEÑOR

Por haberme dado la vida y porque siempre está presente en todo tiempo y en todo lugar.

A mi familia con mucho cariño y afecto, ya que ellos son la base fuerte y sólida que le dan sentido a mi vida y que me motivan a salir adelante.

A mis Padres

Sr. Donaciano Ramos

Sra. Virginia del Ángel

Por su apoyo incondicional en los momentos difíciles y por todos aquellos momentos alegres que hemos vivido, por la gran educación moral que nos han dado a mí y a mis hermanos y con la cual hemos logrado muchas satisfacciones y por la gran confianza que existe entre nosotros.

A mis hermanos

Bertha, Juventino, José, Aniceto, Joaquín y Adriana.

Con quienes he compartido innumerables momentos de felicidad y por el apoyo que siempre me han dado.

INDICE DE CONTENIDO

	Páginas
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	ix
I INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.2. HIPOTESIS.....	2
II REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Historia.....	3
2.1.1. Época precolombina.....	3
2.1.2. Época de la conquista.....	3
2.1.3. Época post-colombina.....	4
2.2. Origen.....	5
2.3. Distribución geográfica.....	6
2.4. Taxonomía.....	7
2.5. Morfología.....	7
2.5.1. Raíz.....	7
2.5.2. Tallo.....	8
2.5.3. Ramas.....	8
2.5.4. Hojas.....	8
2.5.5. Inflorescencia.....	10
2.5.6. Flor.....	10
2.5.7. Fruto.....	11
2.5.8. Semilla.....	12
2.6. Aspectos genéticos.....	12
2.7. Biología reproductiva.....	13
2.7.1. Duración de la floración.....	13
2.7.2. Tipo de reproducción.....	13
2.8. Etapas fenológicas.....	14
2.9. Características agronómicas.....	19
2.10. Requerimientos climáticos.....	19
2.11. Requerimientos edáficos.....	20
2.12. Fertilización.....	20
2.13. Fisiología y resistencia a la sequía.....	21
2.14. Producción de grano.....	24
2.15. Producción de materia seca.....	27
2.16. Composición nutritiva.....	27
2.17. Contenido de saponinas.....	32

III MATERIALES Y METODOS.....	35
3.1. Descripción del sitio experimental.....	35
3.1.1. Localización geográfica.....	35
3.1.2. Características del clima.....	35
3.1.3. Análisis físico – químico del suelo.....	35
3.2. Material genético.....	36
3.3. Tratamientos evaluados.....	37
3.4. Descripción del experimento.....	37
3.4.1. Establecimiento del experimento.....	37
3.4.2. Manejo del cultivo.....	38
3.5. Variables evaluadas.....	38
3.6. Análisis estadístico de la información.....	42
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. Condiciones climáticas.....	43
4.2. Número de plantas por metro lineal.....	44
4.3. Número de ramas vegetativas y ramas florales.....	45
4.4. Número de panojas terminales.....	47
4.5. Altura de plantas.....	48
4.6. Densidad de población.....	50
4.7. Rendimiento de materia verde y seca.....	51
4.8. Contenido de proteína.....	56
4.9. Contenido de saponinas.....	59
V CONCLUSIONES.....	62
VI RESUMEN.....	63
VII BIBLIOGRAFIA CITADA.....	66
VIII APÉNDICE.....	73

INDICE DE CUADROS

	Páginas
2.1. Estadíos de desarrollo de <i>quinua</i>	15
2.2. Composición química de la planta de <i>quinua</i>	28
2.3. Comparación de la composición química de la <i>quinua</i> con algunos cereales y legumbres.....	29
2.4. Patrón de requerimientos de aminoácidos de los humanos en sus diferentes niveles de desarrollo y concentración de aminoácidos de <i>quinua</i>	30
2.5. Concentración de vitaminas de <i>quinua</i> y diferentes cereales.....	31
3.1. Características físico-químicas del suelo del área experimental en Buenavista, 2003.....	36
4.1. Promedios de temperatura (°C) máxima, mínima y media, precipitación (mm) y humedad relativa H.R. (%) por semana ocurridos durante el desarrollo del cultivo.....	43
4.2. Comparación múltiple de medias de número de plantas de <i>quinua</i> por metro lineal.....	45
4.3. Valores medios de ramas vegetativas en <i>quinua</i> en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.....	46
4.4. Valores medios de ramas florales en <i>quinua</i> en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.....	46
4.5. Análisis de varianza de número medio panoja terminal en <i>quinua</i> en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.....	47
4.6. Valores medios de panoja terminal por planta de <i>quinua</i> a los 67 DDS.....	47
4.7. Comparación múltiple de medias de altura de plantas de <i>quinua</i> en la etapa de ramificación a los 48 DDS.....	48
4.8. Comparación múltiple de medias de altura de plantas de <i>quinua</i> en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.....	49
4.9. Comparación múltiple de medias de densidad de población de <i>quinua</i> a los 67 DDS.....	50

	Páginas
4.10. Valores medios del porcentaje de participación de los órganos de la planta de <i>quinua</i> sobre el peso seco total en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.....	54
4.11. Peso seco promedio por planta de <i>quinua</i> registrados en laboratorio a los 84 DDS.....	55
4.12. Peso seco por planta calculado a partir del peso medio de materia seca (kg ha^{-1}) y la densidad de población de plantas (ha) en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.....	55
4.13. Contenido total de proteína de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.....	57
4.14. Contenido medio de proteína (%) en los diferentes órganos de la planta de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada (84 DDS).....	58
4.15. Contenido medio de saponinas (% y ppm) en los diferentes órganos de la planta de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada (84 DDS)	60
4.16. Contenido total de saponinas de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.....	61

INDICE DE FIGURAS

	Páginas
2.1. Hojas polimorfas de <i>quinua</i>	9
2.2. Configuración del fruto de <i>quinua</i>	11
2.3. Etapas fenológicas de la <i>quinua</i>	18
4.1. Número de plantas por metro lineal a los 67 DDS.....	44
4.2. Número medio de ramas vegetativas y ramas florales en <i>quinua</i> en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.....	45
4.3. Altura media de plantas de <i>quinua</i> (m) en la etapa de ramificación (48 DDS), panojamiento (67 DDS) y floración avanzada (84 DDS).....	49
4.4. Densidad media de población de plantas de <i>quinua</i> por hectárea en la etapa de panojamiento.....	50
4.5. Rendimiento de materia verde de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.....	51
4.6. Rendimiento de materia seca de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.....	52
4.7. Contenido de proteína en los diferentes órganos de la planta de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada.....	56
4.8. Contenido de saponinas en los diferentes órganos de la planta de <i>quinua</i> en la etapa de floración avanzada.....	59

I INTRODUCCIÓN

La *Quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd), es una especie nativa de Sur América que ha sido cultivada por mas de 5,000 años en la región de los Andes, produce un grano semejante a un cereal, con un alto contenido de proteína y una composición de aminoácidos mejor balanceada que la mayoría de los cereales. Esta *Chenopodacea* es uno de los pocos recursos de elevado valor nutritivo que prospera a más de 3,000 msnm en condiciones completamente desfavorables de clima y suelo siendo por ello una planta alternativa para cultivo en las zonas semiáridas.

El estado de Coahuila al norte de la República Mexicana se caracteriza por tener zonas áridas y semiáridas con baja precipitación y distribución irregular de las lluvias en donde las principales especies forrajeras son la avena, cebada, maíz, sorgo, trigo y triticale, cuyos rendimientos en estado verde en el ciclo agrícola 2002 fluctuaron entre 8.337 t ha⁻¹ (avena) a 13.512 t ha⁻¹ (cebada) en las áreas de temporal, mientras que en las áreas de riego fueron de 25.907 t ha⁻¹ (cebada) a 43.472 t ha⁻¹ (maíz).

Por las características de la región y la habilidad de la especie de adaptarse a condiciones adversas, la *quinua* promete ser a mediano plazo una alternativa mas y de excelente calidad dentro de las especies forrajeras.

1.1. OBJETIVOS

- ◆ Evaluar el rendimiento de materia verde total de *quinua* bajo tres densidades de población.
- ◆ Determinar el rendimiento de materia seca total y por órganos de *quinua* bajo tres densidades de población.
- ◆ Estimar el efecto de tres densidades de población en los contenidos de proteína y saponinas en la materia seca de *quinua*.

1.2. HIPOTESIS

- ◆ Existe una respuesta diferencial en la producción de materia verde y seca cuando el cultivo es sometido a diferentes densidades de siembra.

II REVISION DE LITERATURA

2.1. Historia

La *quinua* (*Chenopodium quinoa* Willd.) también se le conoce con el nombre de “Grano de los Incas”, pero según hallazgos arqueológicos se sabe que el hombre Andino la domesticó hace 6,000 años antes de la existencia Incaica, sin embargo son tres las épocas principales en la historia de la *quinua* (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

2.1.1. Época precolombina

En la época precolombina cuando los Incas establecieron su reino (1,100 a 1,533 años D.C.) en el Cuzco, reconocieron a la planta por sus extraordinarias cualidades nutritivas y agrícolas dándole el nombre de quichua “Chisiya mama” que significa “Grano madre”, además le atribuyeron fuerzas mágicas convirtiendo la siembra y la cosecha en fiestas religiosas y gracias a la habilidad de adaptarse a las diversas condiciones climáticas, la *quinua* pronto se utilizó en todo el reino Incáico como fuente de alimento importante, también probablemente fue domesticada en muchos sitios de Bolivia, Ecuador y Perú hace unos 3,000 a 5,000 años.

2.1.2. Época de la conquista

En la época de la conquista, cuando los Españoles llegaron a los países Andinos, al inicio del siglo XVI, se enteraron de la importancia de la *quinua*, no obstante la rechazaron activamente por su status religioso en la comunidad Inca (Cusack, 1984). Sin embargo no sucedió lo mismo con los cultivos de maíz y

papa, esto provocó una marcada disminución en su uso y crecimiento. Algunas explicaciones hipotéticas que ayudan a explicar esta actitud son: la introducción de cereales, ovejas y bovinos por los Españoles; al miedo de los conquistadores a la “quinua mágica”, se sabe que la religión hizo mucho daño en estos países al imponerles su doctrina mediante la fuerza y la violencia en el nombre de un “dios más moderno”; y a su sabor amargo debido al contenido de saponinas.

2.1.3. Época post-colombina

En la época post-colombina, durante los siguientes 400 años y hasta 1980, el cultivo disminuyó resultando una escasa producción y precios bajos, debido al desconocimiento de su valor nutritivo, falta de programas de investigación y a la discriminación del consumo (comida de indio). Esta situación toca fondo en los años setenta, cuando en Perú y Bolivia se cultivaba *quinua* en un 1% de la superficie arable, en Chile y Ecuador la especie estaba en proceso de extinción.

En la época moderna el gran cambio llega cuando científicos y políticos, presionados por el incremento drástico de la población en los países Andinos y la necesidad de mejorar la situación alimenticia, recordaron finalmente el valor alimenticio excepcional del cultivo, la FAO en 1986 definió a la *quinua* como alimento estratégico para la zona Andina, numerosos artículos fueron lanzados en la prensa nacional e internacional, quitando la etiqueta de alimento de segunda y provocando un gran interés fuera del país, estos hechos sacaron al cultivo de la condición de marginalidad.

2.2. Origen

Tres especies de *Chenopodium* son conocidas y cultivadas como plantas comestibles: *C. pallidicaule* Aellen y *C. quinoa* Willd en el sur de América y *C. nuttalliae* Safford en México (Heiser y Nelson, 1974).

Simmonds (1965), mencionó que estas especies reciben diferentes nombres según la lengua de cada región, así para *C. pallidicaule* Aellen su nombre es “Cañahua” y sus variantes, especialmente “Cañihua”, sin embargo en Ecuador también a sido registrada como “Cuchi-quinua”. Para *C. quinoa* Willd el nombre mas usado en Quechua es “Quinoa”, pero este nombre es usado algunas veces para *Amaranthus caudatus*, en Aymará se le conoce como “Hupa” o “Jupa”, en Chileño, “Dahue” y en Atacameño, “Secksaholor”, no obstante la versión *Quinoa* es generalmente la más usada con la misma escritura en inglés y español. *C. Nuttalliae*, en lenguaje mexicano moderno es conocida como “huauzontle” o “guausoncle”, en Azteca “uauhtzontli” según Hunziker (1952), es también comúnmente llamado “huautli” pero causa confusión con “michihuautli” que corresponde a *Amaranthus hybridus*.

El nombre distintivo de este grupo de plantas se deriva del vocablo griego Chen (ganso) y Pous (pata), en alusión a la supuesta semejanza con la forma en que se sostienen las hojas a la planta y la forma palmípeda de las patas de los gansos (Grieve, 1995).

Chenopodium quinoa Willd, es un pseudo cereal nativo de los Andes, cuyo centro de origen se encuentra en los valles de la zona andina; también se a encontrado variabilidad genética desde las orillas del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Sin embargo Capelo (1983) mencionó que *quinua* es una planta cuyo centro de origen posiblemente se encuentre en la zona Perú-Boliviano, noreste Chileno-Argentino y sur de Colombia e indica que solamente en esta faja podemos encontrar esta especie en estado silvestre, y con mayor diversidad en la hoya del Titicaca.

Investigaciones realizadas por Heiser y Nelson (1974) en donde realizaron trabajos de cruzas entre *C. quinoa* y *C. nuttalliae*, y las plantas progenitoras usadas fueron ambas homocigotas para el color claro del fruto, las plantas F1 resultantes presentaron frutos negros, esto fue interpretado por Nelson (1968) como un caso de complementación genética, lo que implica que el cambio de color de negro a blanco representa mutaciones en diferentes loci de las dos especies parentales.

Por otra parte el hecho de que las semillas desarrollaran en tamaño y cambiaran su color de negro a amarillo, rosado y blanco, es un síntoma claro de que el hombre Andino practicó con éxito el mejoramiento genético (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

2.3. Distribución geográfica

La *quinua* es común encontrarla en las regiones altas de Perú y Bolivia sobre los 4,000 metros de altitud, sin embargo, esta es rara y disminuye en Argentina; se encuentra pocas veces en Chile y Ecuador y a sido comparativamente perdida en Colombia en años recientes. El rango latitudinal es cerca de los 5° Norte y 30° Sur (Simmonds, 1965).

En la actualidad se cultiva desde el sur de Colombia hasta Chile, incluyendo la parte Andina que corresponde a la república de Argentina, pero las mayores áreas productivas corresponden a Perú en las zonas agro ecológicas Quechua y Suni, y a Bolivia (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

2.4. Taxonomía

Según el GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001), la *quinua* tiene la siguiente clasificación taxonómica.

Clase:	Dicotiledóneas
Subclase:	Angiospermas
Orden:	Centropermales
Familia:	Quenopodiáceas
Género:	Chenopodium
Sección:	Chenopodia
Subsección:	Cellulata
Especie:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.

2.5. Morfología

2.5.1. Raíz

La raíz es fibrosa, pivotante con muchas ramificaciones alcanzando una profundidad de hasta 0.6 m. Mientras mas alta sea la planta, mas profundo será su sistema radicular (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Gandarillas (1979b) mencionó que *quinua* tiene un profundo y vigoroso sistema radicular, y justo debajo del cuello ésta se divide en raíces secundarias y terciarias, alcanzando la raíz principal una profundidad de hasta 30 cm.

Esto también es reportado por Canahua (1977), quien sembró diferentes cultivares de *quinua* y observó que después de diez semanas alcanzaron profundidades radiculares con rangos entre 14 y 18 cm.

2.5.2. Tallo

Reportes del GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001) indican que el tallo es erecto, cilíndrico a la altura del cuello, mientras que arriba de éste, es glabro angular y según la variedad puede alcanzar una altura de 100 a 230 cm. La parte interior del tallo es fibrosa con coloración blanca, crema o marrón y en estadíos tempranos de crecimiento es sólido y suave pero puede hacerse hueco y esponjoso al acercarse a la madurez, en contraste la corteza es firme y compacta (Jacobsen y Stolen, 1993). Su color es verde y puede presentar axilares o líneas con coloración púrpura-verde o púrpura-rojo, pero principalmente rojo (Gandarillas, 1979b).

2.5.3. Ramas

Las ramas se originan de cada una de las axilas de las hojas en el tallo y es posible que su longitud varíe de unos pocos centímetros al mismo largo del tallo principal, según el tipo de cultivo y las condiciones ambientales, estos extremos son clasificados como simple (ramas cortas) y ramificado (ramas largas) (Jacobsen y Stolen, 1993).

2.5.4. Hojas

Las hojas son polimorfas (diferentes formas de hojas en la misma planta), simples con bordes dentados de color verde rojo o púrpura, las hojas superiores son mas pequeñas que las inferiores, de formas lanceoladas o triangulares, planas u onduladas, algo carnosas, las mas jóvenes están cubiertas de papilas esferoidales o globosas de 1.4 mm de diámetro, blancas, púrpuras o rojas, algunas son brillantes y carecen de papilas, mientras que las inferiores son triangulares o romboidales; presentan pecíolos largos y acanalados en la parte superior (Fig. 2.1.) (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001; Jacobsen y Stolen, 1993).

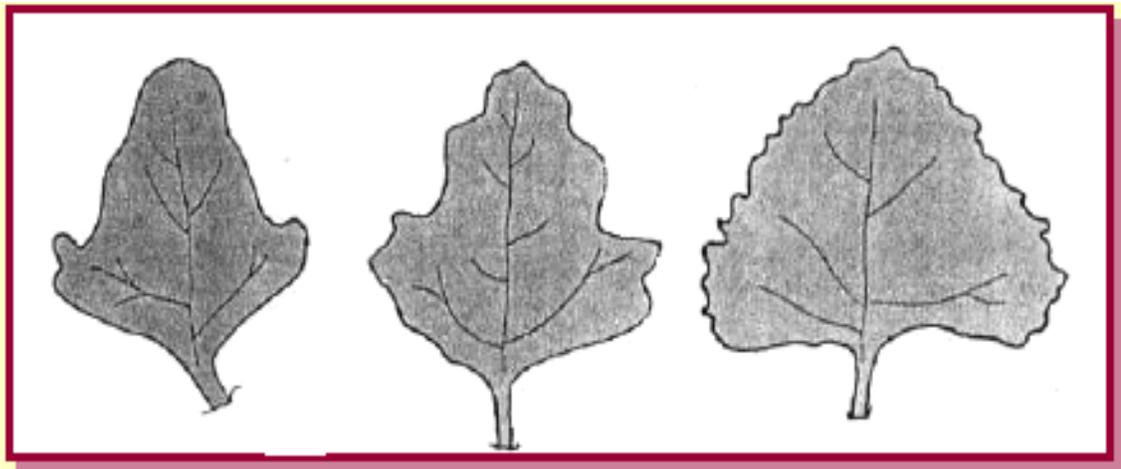


Figura 2.1. Hojas polimorfas de *quinua* Fuente: GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001)

Jacobsen y Stolen (1993), coincidieron con lo anterior al realizar un experimento en Dinamarca con material genético colectado en Perú, Chile y Bolivia, en el cual reportaron que las hojas jóvenes, tallo y las primeras flores están cubiertas con papilas de forma de estrella color blanco, púrpura o rojo. También encontraron en el material colectado en Bolivia, que las hojas inferiores llegaron a medir hasta 15 por 12 cm.

Ochoa y Peralta (1988), evaluaron un gran número de ecotipos de *quinua* y mencionan que las hojas triangulares en la parte inferior son mas frecuentes que las romboidales y que las hojas lanceoladas superiores son totalmente dominantes.

2.5.5. Inflorescencia

La característica floral más importante para la clasificación de la *quinua* es el tipo de inflorescencia y el tamaño y color de la semilla (Jacobsen y Stolen, 1993).

La inflorescencia es una panoja típica, constituida por un eje central, ejes secundarios y terciarios que sostienen a los glomérulos (grupo de flores), el largo varía entre 15 y 70 cm. Si los glomérulos nacen directamente del eje terciario, la panoja es glomerulada y si estos nacen de ejes secundarios la panoja es amarantiforme. Si los ejes y los pedículos son cortos, la panoja es compacta, por el contrario si son largos es laxa (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001; Jacobsen y Stolen, 1993).

Jacobsen y Stolen (1993), también indicaron que la inflorescencia consiste en un número de racimos que se originan en toda la planta comenzando en la parte de arriba. Cuando los racimos en la parte superior en relación con la parte inferior son vigorosos y con espacios estrechos, la inflorescencia puede ser fácilmente diferenciada del resto de la planta y dar la impresión de ser terminal, es posible que otros tipos carezcan de alguna diferenciación como se observa en especies silvestres.

2.5.6. Flor

Todos los miembros de las *Chenopodaceas* incluyendo al género *Chenopodium*, tienen flores incompletas que carecen de pétalos, las flores son hermafroditas y varían en tamaño entre 2 y 5 mm y consisten de perigonio, pistilo y un ovario elipsoide con dos o tres estigmas ramificados rodeados por cinco estambres. Las flores femeninas (pistiladas) tienen un tamaño de 1 a 3 mm, poseen perigonio y pistilo con o sin pedicelo (Jacobsen y Stolen, 1993).

La planta de *quinua* tiene tres tipos de flores: hermafroditas, femeninas y androsteriles, el porcentaje de cada una depende de la variedad (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

2.5.7. Fruto

El fruto es un aquenio cubierto por el perigonio el cual puede ser removido frotándose cuando se encuentra en estado seco. Consiste de una semilla y el pericarpio que constituye la cáscara. El pericarpio contiene saponinas que son compuestos ampliamente distribuidos en toda la planta (Jacobsen y Stolen, 1993).

Reportes del GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001) indican que el fruto es un aquenio compuesto por el perigonio el cual tiene forma de estrella y cubre una sola semilla, en estado maduro su color puede ser gris, amarillo, rojizo, café o negro (Fig. 2.2.).

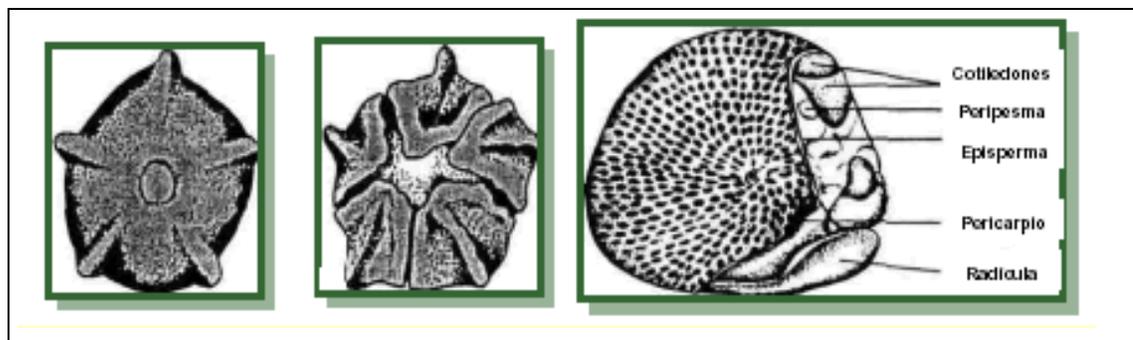


Figura 2.2. Configuración del fruto de *quinua* Fuente: GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001).

Jacobsen y Stolen (1993), reportaron que los diferentes colores presentes en la inflorescencia son causados por la coloración del perigonio, el pericarpio y el episperma (membrana que cubre el embrión).

Simmonds, (1965), cita que el peso del grano muestra un rango entre 250 y 220 frutos por gramo.

2.5.8. Semilla

Justo debajo del pericarpio está el episperma que cubre al embrión. El embrión está formado por dos cotiledones y la raíz, y envuelve al perisperma, este último es el órgano de reserva, consiste principalmente de almidón, su color es blanco, se deriva de las nucelas y por esta razón es diploide (Jacobsen y Stolen, 1993).

Quispe *et al.* (1976), indicaron que las semillas pueden ser cónicas, cilíndricas o elipsoides en el extremo y varían en tamaño, clasificándose en grandes (2.2 a 2.6 mm), medianas (1.8 a 2.1 mm) y chicas (menor a 1.8 mm), su peso está en un rango de 2 a 6 mg.

Cabe destacar que el embrión representa la mayor porción de la semilla (30% de peso), mientras que en los cereales corresponde solamente al 1%, de allí resulta el alto valor nutritivo (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

2.6. Aspectos genéticos

Considerable variación puede ser encontrada en el color de las plantas y semillas, tipo de inflorescencia y adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales (Jacobsen y Stolen, 1993).

La *quinua* cultivada tiene 36 cromosomas repartidos en cuatro genomas con un número básico de $X = 9$ cromosomas, quiere decir que la *quinua* es un tetraploide con $4X = 36$ cromosomas, que es el resultado de la cruce de dos diferentes especies diploides con $2n = 18$; la *quinua* es más específicamente un alotetraploide con $2n = 4X = 36$ cromosomas. La alopoliploidia resulta cuando una especie durante su origen recibe el equipo completo de cromosomas de dos especies diferentes, como consecuencia los cromosomas no son homólogos pero sí similares. No se ha podido identificar hasta el

momento las dos especies parentales de la *quinua*, pero se cree que ya no existen o que se encuentran entre las especies silvestres. Otras especies de *Chenopodium* pueden ser diploides, tetraploides, hexaploides u octaploides (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001; Simmonds, 1971).

2.7. Biología reproductiva

2.7.1. Duración de la floración

Gandarillas (1979a), encontró que las flores en la inflorescencia, abrieron por un espacio de 12 a 15 días después del inicio de floración, mientras que Erquinigo (1970) y Rea (1948), encontraron que todas las flores permanecieron abiertas de 5 a 13 días.

La floración inicia en el ápice de cada glomérulo y su máxima intensidad durante el día ocurre entre las 10:00 h y 14:00 h, tiempo en el cual abre el 90% de las flores, el resto florea a las 16:00 h aproximadamente, mientras que la dehiscencia permanece durante todo el día (Ignacio y Vera, 1976).

2.7.2. Tipo de reproducción

Rea (1969), en un estudio de *Chenopodium quinoa* encontró que mientras algunas plantas producen solo flores hermafroditas, otras producen tanto flores hermafroditas como femeninas (pistiladas), así también menciona que el cruzamiento entre plantas es posible.

La *quinua* es una especie autógama (autofecundación) con cierto porcentaje de alogamia (cruzamiento con otras plantas), el cual depende de la variedad y de la distancia con las plantas con que se pueda cruzar y éste oscila entre el 2% y 10% (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Gandarillas (1979a), obtuvo similar resultado al cruzar plantas verdes con púrpura y observar que el nivel de polinización cruzada en diferentes localidades en Bolivia presentó un rango de 2% a 9%. En otro experimento donde las plantas púrpura fueron sembradas a diferente distancia de las plantas verdes, observó que el grado de cruzamiento disminuyó progresivamente de 9.9% a una distancia de 1 m, a 0.5% a una distancia de 20 m.

Grieve (1995), indicó que las pequeñas flores bisexuales carentes de pétalos son fertilizadas por la acción del viento.

2.8. Etapas fenológicas

Las etapas fenológicas definen los diferentes estadios de desarrollo del ciclo biológico de la planta, depende de la variedad y condiciones del medio ambiente (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Jacobsen y Stolen (1993), en un trabajo de investigación sobre mejoramiento genético en Dinamarca, estudiaron la fenología de la *quinua* llagando a identificar 21 estadios a lo largo del ciclo de desarrollo, que comprendió desde los inicios de la fase vegetativa hasta la madurez fisiológica de las plantas como se observa en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Estadíos de desarrollo de *quinua* (Jacobsen y Stolen, 1993).

Estadio	Descripción	Estadio	Descripción
0	Fase vegetativa	11	Dehiscencia floral
1	Formación de la yema Yema cubierta	12	La mayoría de las flores están dehiscentes
2	Yema visible	13	Marchitamiento de las anteras presentes
3	Yema diferente	14	Formación de la semilla 33% de formación de la semilla
4	Aparición de la yema, 0.5 cm de largo	15	50% de formación de la semilla
5	Aparición de la yema, 1.0 cm de largo.	16	67% de formación de la semilla
6	Inicio de formación de la pirámide	17	100% de formación de la semilla
7	Formación de la pirámide	18	Maduración
8	Antesis Inicio de floración	19	Color de planta verde > amarillo amarillo > verde
9	50 % de floración	20	Madurez
10	100 % de floración	21	Marchitamiento

Por otra parte reportes del GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001), mencionan que la *quinua* consta de las siguientes etapas fenológicas (Fig. 2.3.)

0 Germinación

El grano se hincha con cierta cantidad de humedad, después de 48 horas la semilla desplaza a los cotiledones y la radícula, el desarrollo de la plántula comienza, pero se abastece todavía de las reservas nutritivas de la semilla.

I Emergencia

A los 3 o 7 días después de la siembra (DDS) los cotiledones rompen la superficie del suelo y la raíz comienza a desarrollarse abasteciéndose a través de la raíz con agua y nutrientes del suelo, se inicia el proceso de fotosíntesis en sus hojas. Es una época crítica por el ataque de pájaros y gusanos tierreros.

II Estado de dos hojas verdaderas

Es el inicio de la fase vegetativa, en este estado la planta se encuentra en una época crítica por el ataque del gusano cortador y también a sequías prolongadas, porque la raíz todavía no está bien desarrollada.

III Estado de cuatro a seis hojas verdaderas

Ocurre entre los 35 a 45 DDS, es una época crítica por la competencia con las malezas ya que las plantas no cubren completamente la superficie del terreno.

IV Ramificación

Se presenta de los 45 a 60 DDS, se desarrolla completamente el sistema vegetativo y se define el número de panojas por planta, es una etapa crítica por daños por heladas.

V Panojamiento

Es el fin de la fase vegetativa y en ésta se puede determinar si se trata de una variedad glomerulada o amarantiforme, se define el número de granos por panoja, ocurre entre los 65 a 70 DDS.

VI Floración

Se presenta entre los 100 a 130 días, inicia en la parte apical de la panoja y sigue hasta la base, es un estado crítico por ataque de mildiú, granizo y heladas que hacen infértil al polen.

VII Maduración

Etapa en la que ocurre el llenado de grano y maduración.

VIII Madurez

La madurez consta de tres estados fisiológicos.

- a) **Madurez morfológica.** Todas las sustancias de reserva están almacenadas en el grano, el cual todavía está verde, suave y al aplastarlo sale una masa lechosa; el contenido de agua es de alrededor de 50 %, es una etapa crítica por daños por heladas.

b) Madurez fisiológica (Estado de masa). La planta pierde su coloración original, se torna amarilla, han caído casi todas sus hojas comenzando por las basales. El grano presenta resistencia a la uña y su contenido de humedad oscila entre el 20 % y 25 %, es el momento apto para la cosecha manual con un secado final en parvas.

c) Madurez tecnológica (Estado de madurez completa). La planta es totalmente amarilla, a perdido casi todas sus hojas, el grano ya no se rompe con la uña y el contenido de humedad es de 14 % a 16 %, es el momento apto para la cosecha con la trilladora combinada.

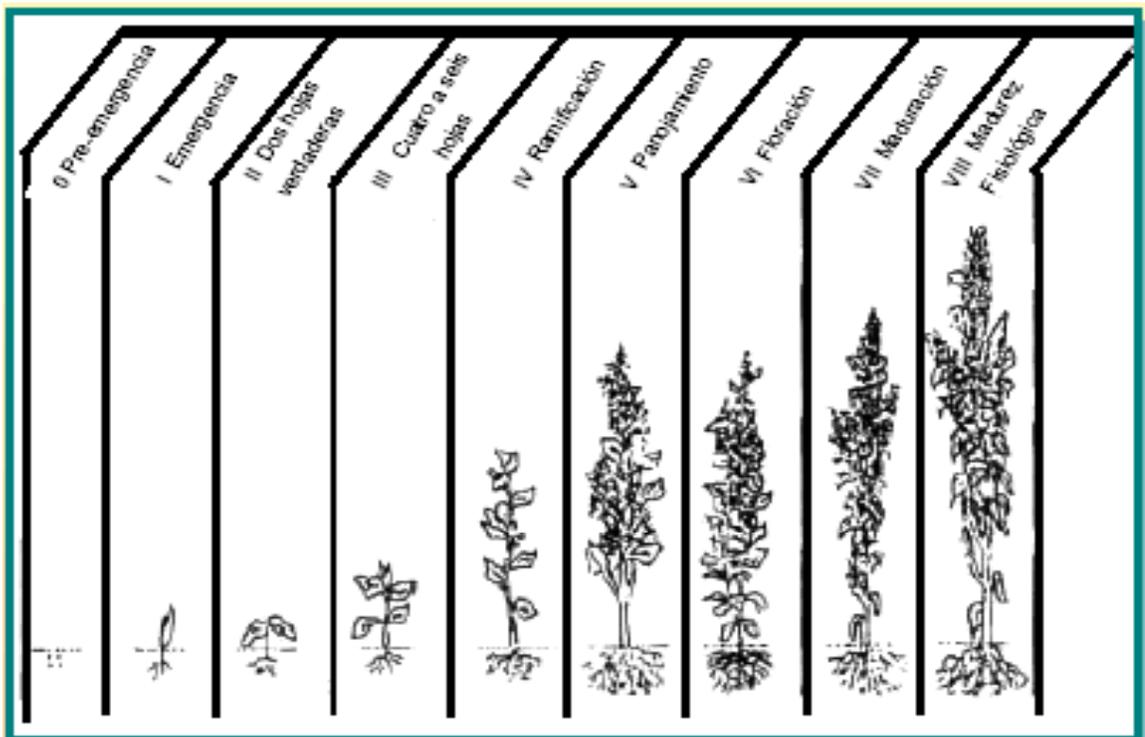


Figura 2.3. Etapas fenológicas de la *quinua*. Fuente: GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001).

El GTZ, IICA, INIAP, ERPE, (2001) mencionan que el ciclo vegetativo de la *quinua* es de 5 a 8 meses, pero puede variar entre 150 y 240 días (ANAPQUI, 2001).

2.9. Características agronómicas

Galwey (1989) y Tapia (1979), propusieron cuatro tipos principales de *quinua*, basándose en la localización geográfica y altitud: 1) *Quinua* de valles que va de los 2,000 a 4,000 msnm; 2) *Quinua* de altiplano, mayores a 4,000 m; 3) *Quinua* de suelos salinos, superiores a los 4,000 m y con suelos de pH elevado y 4) los tipos de *quinua* que crecen a nivel del mar.

2.10. Requerimientos climáticos

La *quinua* prospera bien en zonas cuya altitud se encuentra entre los 2,000 a 3,500 msnm; las temperaturas en las regiones con buena producción tienen un promedio anual entre los 9° C a 16° C, pero la presencia de veranillos con altas temperaturas diurnas forzan a la formación de la panoja y su maduración causando rendimientos bajos. En cuanto a la precipitación, las más apropiadas para el cultivo se encuentran entre los 600 a 2,600 mm (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Espíndola y Rodríguez (1988), mencionaron que es posible encontrar variedades que crecen en condiciones deficientes de humedad del altiplano (3,000 a 3,800 msnm con 200 a 400 mm de precipitación), cuyos rendimientos económicamente favorables están en función de la regularidad de la precipitación.

Con respecto al fotoperíodo los sectores de mas alta iluminación solar son mas favorables para el cultivo ya que contribuyen a una mayor actividad fotosintética, sin embargo la respuesta al fotoperíodo varía de acuerdo a su origen, así variedades que crecen cerca de la línea ecuatorial son cultivos de día corto, necesitan como mínimo de 15 días con menos de 10 horas luz para inducir la floración y también para la maduración de los frutos, mientras que variedades de latitudes altas, son plantas de fotoperíodo indeterminado, estas

variedades responden bien a su cultivación en Europa y Estados Unidos (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

2.11. Requerimientos edáficos

La *quinua* se adapta a muchos tipos de suelo, pero los mas adecuados para el cultivo son los de textura franco, franco-arenoso, limosos con arena muy fina, areno-arcillosos, arena fina a media es decir sueltos, ricos en materia orgánica y buen drenaje. Considerando que la semilla es muy pequeña los suelos arcillosos, pedregosos no son los ideales. El pH es de 6.3 a 7.3, ligeramente ácido a neutro (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

2.12. Fertilización

Jacobsen *et al.* (1994), estudiaron la demanda de nitrógeno (N) en *quinua* aplicando dosis de fertilización de 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹ de N, con espacios entre surco de 12.5, 25 y 50 cm. en Roskilde (1988) y Tastrup (1988 y 1989), en Dinamarca, en el que encontraron que el efecto de las diferentes dosis fue similar para todos los experimentos y concluyeron que no existió diferencia significativa en la producción al aplicar dosis de 80 y 120 kg ha⁻¹ de N, mientras que con 160 kg ha⁻¹ de N observaron una disminución en la producción.

Barboza *et al.* (1980), estudiaron tres niveles de fertilización: 0, 50 y 100 kg ha⁻¹ de N, P, K, en la región de Puno en Perú, en el cual encontraron diferencias altamente significativas entre tratamiento y aplicaciones de nitrógeno (N), mientras que no hubo diferencias altamente significativas para fósforo (P) y potasio (K), sin embargo concluyeron que por vías de estadística y química, un rango de fertilización nitrogenada de 65 a 70 kg ha⁻¹ es recomendable. Con relación al potasio, advirtieron que es el elemento mas utilizado por la planta y que para 5,000 kg ha⁻¹ de biomasa requiere de 130 kg

ha⁻¹ de este elemento. Para el caso de fósforo el cual es deficiente en los suelos del altiplano de Puno, el cultivo no respondió a sus aplicaciones, concordando así con datos que la definen como una planta pobre extractora de P (Blasco, 1979). Una posible explicación de este resultado es que el cultivo se ha adaptado por milenios a vivir en un medio de escasa disponibilidad de P, o bien sea una de sus características fisiológicas, en todo caso la producción de una biomasa de 5,000 kg ha⁻¹ requiere de 10 kg ha⁻¹ de P.

2.13. Fisiología y resistencia a la sequía

Espíndola y Rodríguez (1988), indicaron que la adaptabilidad, resistencia a la sequía y los aspectos fisiológicos que pudieran explicar alguno de los mecanismos que utilizan estas plantas para prosperar bajo condiciones adversas, se han estudiado muy poco.

Meteorológicamente la sequía es aquel periodo con precipitación menor al promedio e insuficiente para propiciar la continuación del crecimiento y reproducción de las plantas (May y Milthorpe, 1962); pero agronómicamente, resistencia a la sequía es la habilidad de un cultivo para desarrollarse y rendir satisfactoriamente en áreas sujetas a déficit hídrico, habilidad que involucra respuestas de tipo fisiológico, morfológico, anatómico y fenológico (Kozlowski, 1983).

May y Milthorpe (1962), identificaron tres tipos de resistencia a la sequía: escape, tolerancia con altos potenciales hídricos, que involucra un alto flujo de agua desde el suelo a través de las raíces y el tallo hasta las hojas y tolerancia con bajos potenciales hídricos, que habilita a la planta a tolerar cierto grado de deshidratación, suspendiendo el crecimiento y reanudándolo cuando hay disponibilidad de agua.

Begg y Turner (1976), indicaron que la condición de agua en la planta puede ser cuantitativamente expresada en términos de potencial hídrico, que resulta ser mejor indicador que el potencial osmótico. El descenso del potencial osmótico puede ser consecuencia del descenso del potencial hídrico o bien de una acumulación activa de solutos en respuesta al déficit hídrico, el cual permite a la planta el mantenimiento de la expansión celular y la apertura estomática y por lo tanto la continuación del crecimiento.

Por otra parte, el sistema enzimático de fijación de CO₂ atmosférico en la fotosíntesis se distingue entre plantas tipo C3 y C4, en donde las plantas C4 como la caña de azúcar, mijo, amaranto o maíz, son más eficientes en aprovechar el CO₂ y agua para producir masa vegetal, por el contrario las plantas tipo C3 necesitan dos a tres veces más agua que las C4 para producir la misma cantidad de biomasa, ya que aprovechan solamente el 30 % de CO₂ del aire comparado con las C4 que fijan de 80 % a 100 % del CO₂. La *quinua* ha sido clasificada como planta C3 (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Kramer (1983), indicó que la transpiración, aunque es un proceso vital para la planta por su asociación directa con la captura de CO₂, es el principal factor involucrado en el desequilibrio hídrico cuando la tasa transpiratoria es mayor que la absorción de agua por las raíces.

La tasa transpiratoria más alta ocurre cuando el potencial hídrico es alto (Pallas *et al.*, 1967).

Begg y Turner (1976), mencionan que la tasa transpiratoria puede variar mucho de un cultivo a otro, de manera que mientras para unos, la tasa transpiratoria más copiosa ocurre entre -2 y -10 bares, para otros ya existe una declinación a partir de -6 bares.

Muñoz (1983), señaló que esta variabilidad entre y dentro de especies podría explicarse por la sensibilidad estomática; pero puede responder tanto a factores ambientales externos como al déficit de presión de vapor (Losch y Tenhunen, 1981); mientras que los factores internos de la planta responden al déficit hídrico mediante la acumulación de sustancias endógenas. El déficit hídrico también promueve el cierre estomatal reduciendo la transpiración (Loveys y Kriedemann, 1973).

La resistencia a la sequía se basa en dos comportamientos fisiológicos frente a la escasez de agua en el suelo: 1) la fuerza de la planta para la extracción de agua del suelo y la retención de esta en sus tejidos se llama potencial foliar mínimo ($P_{fmin.}$). Esta fuerza aumenta con el aumento del déficit de agua en el suelo. La *quinua* es capaz de aumentar su $P_{fmin.}$ hasta valores altos de 30 bares, mientras que la papa en las mismas condiciones solamente llega a valores de 14 bares. 2) La resistencia estomática (R.E.) es el mecanismo de la planta de cerrar sus estomas en condiciones de sequía para evitar una transpiración excesiva, con una transpiración limitada la fuerza de extraer agua del suelo y de fotosintetizar se disminuye; sin embargo la *quinua* no cierra sus estomas, sino que sigue transpirando y produciendo. Con estos dos comportamientos la *quinua* se comporta de manera similar a una planta de desierto, es decir constante transpiración, extracción de agua y producción de biomasa a pesar del déficit hídrico (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Jacobsen y Stolen (1993), reportaron que las hojas poseen adaptaciones morfológicas que les ayudan a soportar la sequía durante su crecimiento, como una cutícula cerosa, estomas protegidos por una epidermis gruesa y la presencia de papilas en ambos lados de las hojas jóvenes, tallo y primeras flores.

Canahua (1977), indicó que a causa del contenido de oxalato de calcio en las papilas, estas funcionan como un agente higroscópico, controlando de este modo la excesiva evapotranspiración y el régimen de agua durante los periodos críticos de sequía.

Jacobsen y Stolen (1993), en el experimento realizado en Dinamarca encontraron que la sequía afecta en mayor grado a la *quinua*, cuando ocurre durante la fase vegetativa y que afortunadamente esta es la fase con la más abundante distribución de papilas.

2.14. Producción de grano

Recientemente la *quinua* ha tenido considerable interés en Europa y fue introducida a Inglaterra en 1980 (Galwey, 1989).

En Dinamarca las experimentaciones iniciaron en 1984, juzgando las observaciones de campo de los resultados preliminares en 1984 y 1985 y de la literatura, es evidente que la producción, propiedades y características de crecimiento del cultivo, la han hecho interesante en la agricultura Danesa (Jacobsen y Ramírez, 1986).

Alberts (1946), menciona que la producción varía grandemente y su promedio es de 840 kg ha⁻¹. En el Ecuador los rendimientos promedios oscilan entre 0.2 a 0.8 t ha⁻¹, pero en campos bien manejados se logra rendimientos hasta de 2 t ha⁻¹, mientras que en parcelas experimentales es de 5 t ha⁻¹ (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Bolivia es el mayor productor de grano con un 46 % de la producción mundial, seguido de Perú con un 42 % y Estados Unidos con un 6.3 %, sin embargo la producción nacional de *quinua* en los años setenta era de aproximadamente 9,000 tm/año, en una superficie aproximada de 12,000 ha y

en los últimos años se ha incrementado a un promedio de 22,000 tm/año, producidas en una extensión de cerca 36,000 ha (CAF, CID, CLACDS-INCAE, 2001).

Risi y Galwey (1991), en un experimento de *quinua* sembrado el 15 de marzo de 1984 en Cambridge Inglaterra, con las variedades Baer (de nivel del mar) y Amarilla de Marangani (de valles) con espacios entre surco de 0.4 m y 0.2 m y densidades de siembra de 15, 20 y 30 kg ha⁻¹ de semillas, encontraron que Baer presentó el mas alto rendimiento de grano (6.96 t ha⁻¹) a un espacio de 0.2 m y con la densidad de 20 kg ha⁻¹ de semilla, mientras que Amarilla de Marangani tuvo una alta producción a una densidad de 30 kg de semilla que con 20 kg, lo cual fue sorprendente ya que esta variedad es sembrada normalmente a bajas densidades.

Etchevers y Ávila (1981), evaluaron el comportamiento agronómico de diversos ecotipos de *quinua* en la región de Chillán en Chile, sembrados el 13 de septiembre, 10 de octubre y 21 de noviembre con distancia entre surco de 0.4, 0.6 y 0.8 m, en el que promediaron los resultados de rendimiento de distancia entre surco y ecotipos (Baer, Litu, Pichaman y Faro), el cual fue de 3,610, 3,110 y 70 kg ha⁻¹ de grano respectivamente y mencionan que los dos primeros valores se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura para condiciones experimentales, pero son muy superiores a los rendimientos reportados en Perú y Bolivia (Romero, 1976). Los autores también mencionan que la tercera fecha de siembra fue totalmente inadecuada para la zona de Chillán, no obstante la mayor producción se logró con los ecotipos Faro y Pichaman, sin embargo el rendimiento disminuyó a medida que se atrasó la fecha de siembra, por otra parte la distancia entre surco no afectó significativamente el rendimiento y el menor número de plantas obtenido al aumentar la distancia entre surco fue parcialmente compensado por un mayor número de panojas laterales y semillas por panoja, pero para fines prácticos la siembra en surcos a 50 cm es más recomendable.

Risi y Galwey (1991), en experimentos sembrados el 25 de marzo, 14 de abril y 7 de mayo de 1982 en Cambridge Inglaterra con las variedades Baer y Blanca de Junín (de valles) con espacios entre surco de 0.8 m y 0.4 m que corresponde a una densidad de siembra de 2.5, 5, 7.5 y 5, 10.0 y 15 kg ha⁻¹ de semilla respectivamente, indican que la proporción de ramas en las plantas fue mas alta en Blanca de Junín que en Baer. Esto también fue observado en plantas oleaginosas de similar arquitectura (Lewis y Knight, 1982; Triboli y Robelin, 1983).

Risi y Galwey (1991), en el otro experimento establecido en marzo de 1984 en Cambridge Inglaterra, observaron un patrón similar expresado aun más claramente en la proporción de ramas, el cual también bajó al disminuir el espacio entre surco a pesar de corresponder las mismas densidades usadas dentro del surco, y señalan que es mas importante la competencia entre surco que la competencia dentro de surco para disminuir la ramificación de las plantas y a su vez sugieren que altas densidades pueden ser usadas para reducir la ramificación, aun en variedades con ramas abundantes y obtener una maduración mas uniforme.

Jacobsen y Stolen (1993), mencionaron que las ramas no son deseadas para la producción de grano, por esta razón son minimizadas con técnicas de cultivo.

Gandarillas y Espíndola (1981), realizaron un trabajo de investigación entre el rendimiento de grano y la forma glomerulada y amarantiforme de la panoja, en el que concluyeron que ésta no afecta el rendimiento, sin embargo mencionaron que en ciertas localidades se presenta cierta clase de inflorescencia preferentemente.

2.15. Producción de materia seca

Capelo (1983), estudió el potencial forrajero y alimenticio de la *quinua* dulce (Sajama) y amarga (Chauca), y mencionó que estas alcanzaron su altura máxima a los 105 días del ciclo vegetativo, en este mismo período el peso de la planta en estado verde fue el mas alto (54 t ha^{-1}) y en estado seco al aire se registró el mayor peso en el período de maduración a los 135 DDS con un rendimiento de 14.3 t ha^{-1} , mientras que el porcentaje de producción de hoja en peso fresco y seco fue alto a los 75 DDS (33 y 39 % respectivamente en relación al peso fresco y seco total de la planta), en tanto que a los 135 DDS la producción fue mínima, indicando también que el mayor porcentaje de la producción está dado por el tallo con un 80 % y 90 % de humedad a los 105 DDS y a los 135 DDS desciende a 70 %.

Díaz y González (1994), evaluaron en Cuba los rendimientos de materia seca (MS) de las plantas de *quinua* con fines alimenticios durante la 4^a, 5^a, 6^a, 7^a y 8^a semana después de la siembra, en la que obtuvieron resultados de 0.57, 1.26, 1.94, 2.68 y 2.91 t ha^{-1} de MS respectivamente, sin embargo concluyeron que el tiempo óptimo de cosecha bajo las condiciones del experimento es a la 7^a semana, en el que se tiene un adecuado balance entre la producción de MS y el contenido de proteína.

2.16. Composición nutritiva

La *quinua* contiene mas proteína que los demás cereales, pero su verdadero valor no está en la cantidad sino en la calidad de la proteína, la cual esta formada por aminoácidos esenciales como la histidina y lisina (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Blasco (1979), en los resultados preliminares de investigación realizados en el altiplano de Puno en Perú reportó resultados en los que demuestra que la semilla de *quinua* contiene promedios cercanos al 14 % de proteína, 4.5 % de grasa y 63 % de carbohidratos, mientras que la concentración de elementos mayores en toda la planta sigue la constante de aumentar desde la raíz hacia las semillas, a su vez señala que el comportamiento de Ca y Mg es similar entre sí acumulándose en las hojas mientras que el Na se acumula en el perigonio y las raíces. En lo que respecta a los oligoelementos y considerando los límites obtenidos para otras plantas se podría decir que las concentraciones de Mn, Cu y Zn son normales, no obstante el fierro es relativamente alto en el perigonio, hoja y raíz como se observa en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Composición química de la planta de *quinua* según Blasco (1979).

	%					ppm				
	N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn	Cu	Fe	Zn
Perigonio	1.82	0.23	4.51	0.82	0.50	390	90	12	788	46
Hojas	1.80	0.16	4.33	2.19	1.52	50	44	12	572	50
Tallos florales	1.15	0.05	1.90	0.89	0.41	50	64	8	88	28
Tallo	0.71	0.04	1.60	0.60	0.21	90	72	6	94	46
Raíz	0.63	0.03	1.59	0.33	0.14	100	44	6	546	40

Koziol (1992), mencionó que en el análisis de materia seca, el grano de *quinua* presentó un alto contenido de proteína (16.5 %) superior a las encontradas en cereales como arroz, cebada, maíz y trigo, pero es mucho menor que lo reportado en legumbres como lupino, haba y soya, como se muestra en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Comparación de la composición química de la *quinua* con algunos cereales y legumbres (100 g de peso seco).

	Grasa	Proteína	Cenizas	Fibra	Carbo- hidratos	Kcal/ 100g
Quinoa ^a	6.3	16.5	3.8	3.8	69.0	399
Arroz ^b	2.2	7.6	3.4	6.4	80.4	372
Cebada ^b	1.9	10.8	2.2	4.4	80.7	383
Maíz ^b	4.7	10.2	1.7	2.3	81.1	408
Trigo ^b	2.3	14.3	2.2	2.8	78.4	392
Lupino ^b	7.0	39.1	4.0	14.6	35.3	361
Haba ^b	1.1	28.0	4.7	5.0	61.2	367
Soya ^b	18.9	36.1	5.3	5.6	34.1	451

^a Cálculos sobre la base de valores medios globales.

^b Valores medios calculados por Duke y Atchley, (1986), para arroz, cebada, maíz, trigo, lupino, haba y soya

Sin embargo se debe hacer notar que en ausencia de un factor específico de conversión nitrógeno a proteína para *quinua*, ésta fue estimada multiplicando el valor de porcentaje de nitrógeno obtenido por el valor default de 6.25, si el contenido de proteína se estimara con el factor general N a P de 5.7 que se utiliza para los cereales, el resultado sería de 15.0 % el cual es mas alto que el del arroz, cebada, maíz, pero similar al del trigo (Koziol, 1992).

Ruales y Nair (1992 a y b); Kent (1984), encontraron que el contenido de proteína en el grano de *quinua* es de 15 % en base seca, el cual es mas alto que en cereales tal como trigo, cebada, avena, arroz y sorgo, e indican también que contiene mas caroteno, rivotlamina, tocoferoles y ácido fólico que el trigo, avena y maíz y puede suplir a los requerimientos diarios de ciertas vitaminas y varios minerales en niños de entre 1 y 3 años de edad.

Capelo (1983), reportó que las variedades dulce (Sajama) y amarga (Chauca) contienen 35 % y 34 % de proteína en la hoja y la panoja principalmente en prefloración y disminuye con la edad, mientras que el contenido de grasa se incrementa en igual magnitud en las dos variedades. La proteína de la planta completa contiene 16 aminoácidos a excepción de cistina, la metionina y tirosina aumentan con la edad de la planta, además menciona que la *quinua* reúne excelentes condiciones nutritivas y se puede utilizar en la alimentación animal, especialmente en rumiantes.

Koziol (1992), también señaló que la *quinua* contiene 14.6 % de proteína (peso fresco) y que las albuminas + globulinas forman la mayor porción de éstas (44 % a 77 % del total) y un bajo porcentaje de prolaminas (0.5 % a 7.0 %), lo que indica que la *quinua* posiblemente esté libre de glúten, la proteína es particularmente de alta calidad rica en histidina (2.2 %) y lisina (6.1 %).

La *quinua* se acerca mucho al patrón dado por la FAO / WHO / UNU (1985), para los requerimientos humanos como se muestra en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.4. Patrón de requerimientos de aminoácidos de los humanos en sus diferentes niveles de desarrollo y concentración de aminoácidos de *quinua* (g/100g de proteína).

	His	Iso	Leu	Lis	M + C	F + T	Tre	Tri	Val
Quinoa ^a	3.1	3.8	6.5	6.1	4.2	7.6	3.9	1.3	4.5
Infantes ^b	2.6	4.6	9.3	6.6	4.2	7.2	4.3	1.7	5.5
Preescolares ^b	1.9	2.8	6.6	5.8	2.5	6.3	3.4	1.1	3.5
Adolescentes ^b	1.9	2.8	4.4	4.4	2.2	2.2	2.8	0.9	2.5
Adultos ^b	1.6	1.3	1.9	1.6	1.7	1.9	0.9	0.5	1.3

^aKoziol, (1992); ^bRecomendaciones de WHO / FAO / UNU, (1985).

His= Histidina, Iso= Isoleucina, Leu= Leucina, Lis= Lisina, M+C= Metinina+Cistina, F+T= Fenilalanina+Tirosina, Tre= Treonina, Tri= Triptofano, Val= Valina.

En lo que respecta a las vitaminas de la *quinua* comparativamente con otros cereales (Cuadro 2.5.), la *quinua* supera en vitaminas B2 y E a todos los cereales; en vitamina C, la *quinua* es mayor en contenido que los cereales a excepción de la papa; en vitaminas B3 y B1 el contenido de *quinua* es menor que los cereales y no se presentan reportes de vitamina A para estos últimos (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Cuadro 2.5. Concentración de vitaminas de *quinua* y diferentes cereales

Vitaminas	Quinua ppm	Arroz ppm	Trigo ppm	Frijol ppm	Papa ppm
Niacina (B3)	10.7	57.3	47.5	25.7	51.8
Tiamina (B1)	3.1	3.5	6	5.3	4.4
Riboflavina (B2)	3.9	0.6	1.4	2.1	1.7
Acido ascórbico (C)	49	0	1.2	22.5	694
Alfa Tocoferol (E)	52.3	0	0	0.2	0.3
R Carotenos (A)	5.3				

Fuente: GTZ, IICA, INIAP, ERPE, (2001)

Koziol (1992), indicó que sobre la base de 1 kg de peso seco, el cultivo contiene mas Ca (1487 mg), Fe (132 mg), K (9267 mg), Mg (2496 mg), Cu (51 mg), Mn (100 mg) y Cl⁻ (1533 mg) que algunos cereales.

2.17. Contenido de saponinas

Uno de los factores que limita la utilización de quinua es su sabor amargo causado por la presencia de saponinas (Ruiz y Amaya, 1979). Las saponinas están formadas por moléculas de carbón, nitrógeno, oxígeno y azufre, llegando a producir enlaces glucosídicos (Robinson, 1991). Son tal vez el principal factor antinutricional y se encuentran en por lo menos 500 plantas representando más de 90 familias (Basu y Rastogi, 1967; Chandel y Rastogi, 1980). Las plantas pueden contener varias saponinas en sus diferentes partes o tener algunos órganos libres de éstas (George, 1965).

La palabra saponina según Font Quer (1978) proviene de la palabra latina *Sapa onis* = Jabón. Este compuesto de acuerdo a Valencia (1995) y CICA (1998) son glucósidos de alcoholes tanto triterpenoides como esteroides con una cadena espiroacetal, soluble en agua y en etanol e insoluble en éter, comprende dos grupos de saponinas, los glucósidos y las agliconas. Según Meyer *et al.* (1990) las saponinas son glucósidos de triterpenoides, específicamente de los esteroides, de grupo hidroxilo de tres carbonos, que forman enlaces glicosídicos con el resto de los oligosacáridos que contienen glucosa, por lo que se cree que el sabor amargo de las semillas es atribuido a este compuesto y generalmente están presentes en los glucósidos de ácido oleanólico.

Burnouf-Radossvich *et al.*, (1983) identificaron las agliconas de saponinas como el ácido oleanólico y la hederagenina, sus contenidos oscilan de 1.4 a 3.0 mg/g, respectivamente; los valores de saponina pueden variar según la variedad (0.01 a 11.5 %).

Romero (1981), encontró en ocho variedades de *quinua* concentraciones de saponinas estimadas por un método afrosimétrico (habilidad de producir espuma en agua) en rangos de 0.4 a 5.6 % sobre la base de peso seco.

Koziol (1990a) analizó 69 variedades de *quinua* también con un método afrosimétrico y encontró rangos de concentración de 0.01 a 4.65 % sobre la base de materia seca.

Con respecto a los efectos de las saponinas, Jenkins (1988) señaló que estos compuestos en niveles altos (40 mg/g) pueden actuar como antinutritivos y frecuentemente están asociados con los lípidos de las plantas. Por su parte Isquierdo *et al.* (1997) identificaron la presencia de saponinas en soya (36 mg/kg), la misma composición fue encontrada en *Lupinus luteus*, en una cantidad de 55.3 mg/kg, en cambio las saponinas en *quinua* contenían el ácido oleanólico en cantidades de 55 mg/g, el cual resultó ser el principal componente de las saponinas en el grano amarillo de la especie. Con referencia a los niveles de saponinas, Koziol (1993) clasificó a la *quinua* en dos tipos de acuerdo a sus concentración en dulces y amargas, las dulces están libres de saponinas o tienen menos del 0.11 % sobre la base de peso fresco y las amargas contienen mas del 0.11 %.

En cuanto a la clase de saponinas CICA (1998); Ma *et al.*, (1989) y Ruales y Nair (1993), reportaron análisis efectuados mediante estudios cromatográficos (HPLC) de las agliconas obtenidas mediante extractos hidrolizados de *Chenopodium quinoa*, confirmando la presencia del ácido oleanólico y de la hederagenina como principales agliconas de la *quinua*. Mastebroek *et al.*, (2000) trabajaron con genotipos de *quinua* de carácter dulce y amarga, llegando a identificar compuestos de saponinas de 0.2 a 0.4 g/kg en grano y de 4.7 a 11.3 g/kg en materia seca. En otros estudios Renard *et al.* (1999) analizaron la existencia de los ácidos ferúlico y dehidrodiferúlico en las hojas, tallos y raíces de las plantas maduras de *quinua*, señalando que estos ácidos estuvieron presentes en todos los órganos vegetativos y en mayores concentraciones en las hojas con 0.5 y 2.1 mg/g.

Ward (2000) en un estudio de mejoramiento genético por selección genealógica para reducir el contenido de saponinas en grano de *quinua*, concluyó que éste no es un método eficiente para combinar bajos contenidos de saponinas y madurez temprana en el cultivo, y menciona tres posibles razones a la limitada respuesta a la selección: La primera es la heredabilidad que fue estimada de 0.37 de las cruas S_1 (hijos) sobre los S_0 (progenitores) la cual es un valor medio. El segundo factor es la posible polinización cruzada sin que haya sido detectada y que mantuvo altos niveles de heterocigosidad causando la continuación de la segregación para diferentes niveles de saponinas. El tercer factor fundamental más probable es el efecto de la dominancia como componente mayor de la variación genética e indica que un factor adicional es que la *quinua* es alotetraploide con recombinación ocasional entre cromosomas homólogos.

La *quinua* siendo un pseudocereal es consumida tradicionalmente por la población rural de la región Andina, el pericarpio de las semillas que contiene las saponinas es parcialmente removido por escarificación (lavado) antes del consumo, sin embargo, resulta tóxico para animales de sangre fría (Koziol, 1990a y Oelke *et al.*, 1992). Gee *et al.*, (1993) indicaron que las semillas de quinua que contienen niveles significativos de saponinas son potencialmente antinutritivos para la alimentación, en este estudio identificaron otro compuesto que resultó ser el “sapogenol”, con un contenido total en la saponina de hasta 50 por ciento. En los últimos años, Schlick y Bubenheim (1996) efectuaron estudios minuciosos llegando a obtener resultados de interés especial, entre los que destacan: Las saponinas son altamente tóxicas para animales de sangre fría (0.16 %), en cambio la toxicidad para mamíferos resulta muy baja; concluyeron que las saponinas en alimentos comunes no representan problemas antinutricionales, entre ellas están incluidas las saponinas de *quinua*. Price *et al.*, (1987) mencionaron que la toxicidad depende sobre todo del tipo de saponinas, el método de absorción y el tipo de organismo.

III MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del sitio experimental

3.1.1. Localización geográfica

El presente trabajo se realizó en el jardín hidráulico de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. La universidad se encuentra ubicada en el kilómetro 07 de la carretera Saltillo – Concepción del Oro, Zacatecas, entre los 15° 23' de latitud norte, 101° 00' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1743 msnm.

3.1.2. Características del clima

El clima predominante según la clasificación de Koepen modificado por García (1989) corresponde al tipo BW hv (x') (e), que corresponde a un clima muy seco, semicálido, con invierno fresco, extremoso y verano cálido; la temperatura media anual es de 16.9° C, con un régimen de lluvias predominantes en verano, la precipitación media anual alcanza 345 mm y una evaporación promedio anual de 2167 mm.

3.1.3. Análisis físico – químico del suelo

Para el análisis físico – químico del suelo se tomaron seis muestras de suelo en el área de estudio en forma de zigzag a una profundidad de 0 a 30 cm, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Características físico-químicas del suelo del área experimental en Buenavista, 2003.

Prof. cm	pH	C.E. Ds/m	MO %	NT %	P Kg/ha	K Kg/ha	CT %	arcilla	limo	arena	Textura
0-30	7.83	0.49	2.87	0.143	92.25	396.0	67.19	34.4	28.0	37.6	M.A.

Fuente: Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN.

pH = Potencial Hidrogeno; C. E. = Conductividad Eléctrica; MO = Materia Orgánica; NT = Nitrógeno Total; P = Fósforo; K = Potasio; CT = Carbonatos Totales; M. A. = Migajon Arcilloso.

Los datos del análisis reportan suelos medianamente alcalinos, la conductividad eléctrica indica que es un suelo no salino; medianamente pobre en nitrógeno total pero rico en fósforo y potasio, con altos contenidos de carbonatos totales, en tanto que su textura es migajón arcilloso.

3.2. Material genético

La variedad de *quinua* que se utilizó fue la Chucara, que posee cualidades de tolerancia a sequía (Risi y Galwey, 1991). Presenta niveles moderados de saponinas en grano (0.01 a 11.5 % según Burnouf-Radosovich *et. al.*, 1983). Esta variedad fue proporcionada de la estación experimental de Patacamaya de la Paz, Bolivia.

3.3. Tratamientos evaluados

Los tratamientos evaluados fueron tres considerando las densidades de siembra.

Tratamiento 1 o densidad de siembra 1 = 12 kg ha⁻¹ de semilla

Tratamiento 2 o densidad de siembra 2 = 9 kg ha⁻¹ de semilla

Tratamiento 3 o densidad de siembra 3 = 6 kg ha⁻¹ de semilla

3.4. Descripción del experimento

3.4.1 Establecimiento del experimento

Previo al establecimiento del experimento se preparó el terreno mediante un barbecho, posteriormente se fertilizó con la dosis 80-40-00 (N-P-K) utilizando como fuente de nitrógeno el sulfato de amonio (20.5 % N) y como fuente de fósforo el pentóxido de fósforo (18.5 % P), después se rastreó para incorporar el fertilizante y se emparejó el área experimental.

La siembra se realizó el 22 de julio de 2003 bajo un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones. El tamaño del bloque fue de 29.4 m² (7.35 m x 4 m) y cada unidad experimental (u.e.) de 9.8 m² (7 surcos por 4.0 m de largo), con separaciones entre surco de 0.35 m.

3.4.2. Manejo del cultivo

Los riegos se aplicaron por aspersión tres veces por semana durante las primeras tres semanas para favorecer el establecimiento del cultivo, después de este tiempo la presencia de lluvias frecuentes fueron suficientes para el desarrollo del cultivo (362.2 mm), la emergencia ocurrió a los 10 DDS; el 15 de agosto se presentó una infestación de pulgón verde (*Myzus persicae*) el cual fue controlado con la aplicación del insecticida Tamaron 600 a una dosis de 2 ml por litro de agua, mientras que los deshierbes se efectuaron a los 36 y 55 DDS con azadón.

3.5. Variables evaluadas

La evaluación de los tratamientos comprendió básicamente el número de plantas por metro lineal, densidad de población por hectárea, número de ramas vegetativas y ramas florales, número de panoja terminal, altura de planta, rendimiento de materia verde total y rendimiento de materia seca por órgano y total (kg ha^{-1}), contenido de proteínas y contenido de saponinas durante el desarrollo del experimento.

a) Número de plantas por metro lineal y densidad de población por hectárea

Para determinar el número de plantas por metro lineal se realizó un conteo a los 67 DDS en la etapa de panojamiento tomando en cuenta todas las plantas en 1 m lineal por surco al centro de seis surcos por unidad experimental, posteriormente se calculó su valor medio.

b) Número de ramas vegetativas y ramas florales

Para la evaluación del número de ramas vegetativas y ramas florales se realizó un conteo a los 67 DDS considerando 48 plantas por unidad

experimental, las ramas vegetativas fueron aquellas que presentaron panojas pequeñas, por el contrario las ramas florales fueron aquellas con panoja mas desarrollada, en general ambos tipos de ramas fueron de tamaño pequeño a intermedio.

c) Número de panoja terminal

Para el caso de la panoja terminal se consideró el número de estas en la parte apical de 48 plantas por unidad experimental a los 67 DDS.

d) Altura de planta

Para la altura de planta se realizaron tres mediciones a los 48, 67 y 84 DDS a partir de 48 plantas por unidad experimental.

e) Rendimiento de materia verde y seca

Para la determinación de materia verde y seca en la etapa de floración avanzada se cosechó una superficie de 2 m² donde las plantas tuvieron competencia completa, las plantas cosechadas fueron pesadas inmediatamente con una báscula modelo JOGUA – DIN 10 y se tomó una submuestra del 10 % con base en el peso verde de cada unidad experimental, estas fueron trasladadas al laboratorio donde se separaron los tallos (tallo + ramas), hojas con pecíolo, panoja de ramas florales y panoja terminal por unidad experimental y repetición y colocadas en bolsas de papel para su posterior secado en la estufa por 80 h a una temperatura de 70° C. Después se separo los glomérulos del eje central, primario y secundario de ambas panojas mencionadas, dichos ejes fueron mezclados con los tallos, a continuación se efectuaron los cálculos de rendimiento de materia seca por unidad de superficie para cada u.e. de la siguiente manera: Los pesos medios de los órganos de las plantas fueron multiplicados por el número de plantas registradas en las

submuestras y así obtener el peso total por órgano; como se mencionó anteriormente este peso corresponde al 10 % del peso verde cosechado en 2m^2 por lo tanto se extrapola al 100 % para obtener el peso en el área muestreada y enseguida calcular el rendimiento de materia seca en kg ha^{-1} así como el porcentaje de participación de las partes sobre el peso seco total.

f) Análisis químico de contenido de proteínas

Para el análisis de proteínas, las muestras utilizadas para la determinación de materia seca fueron molidas por separado según las partes de la planta en un molino Thomas Wiley Mill Model 4, utilizando un tamiz de 2 mm. Después se mezcló cada órgano de las plantas por tratamiento a sus respectivas repeticiones para homogeneizar la muestra en los tratamientos T1 y T3, para el caso del tratamiento dos (T2) se analizaron los glóbulos juntos. Después se pesaron dos muestras de un gramo cada una del tejido vegetal por tratamiento homogeneizado, luego se procedió a digerir las muestras en el digestor Kjeldahl, utilizando ácido sulfúrico concentrado y mezcla reactiva de selenio, a continuación se le agregó agua destilada y una solución de hidróxido de sodio al 45 %, enseguida la muestra fue destilada y recuperada en una solución de ácido bórico al 4 % y posteriormente ésta muestra fue titulada con ácido sulfúrico 0.1 N para obtener el contenido de nitrógeno. El contenido de proteína se calculó multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor de 6.25 de acuerdo con AOAC (1980).

g) Análisis químico de contenido de saponinas

Las muestras de tejido de *quinua* preparadas para determinar el contenido de proteínas fueron homogeneizadas nuevamente y se tomó una muestra de 15 g por tratamiento la cual se introdujo en un dedal de extracción whatman de 33 por 80 mm que se colocó en el sifón del extractor Soxhlet en donde la muestra fue sometida a extracciones sucesivas con disolventes de diferente polaridad y a tiempos determinados de extracción: Cloroformo, metanol, acetato de etilo y butanol, de acuerdo a la técnica de Meyer *et. al.*, (1990). Posteriormente el disolvente del extracto de butanol fue evaporado en un rotavapor Buchii y enseguida el matraz se colocó en la estufa de secado a 60° C por 24 h, a continuación el matraz fue enfriado en un desecador para su pesado en una balanza analítica y efectuar los cálculos para obtener el rendimiento y contenido de saponinas.

También se calculó el contenido total de proteínas y saponinas a partir del contenido medio de éstas y el peso seco medio de las partes de la planta según la fórmula reportada por Jasso de Rodríguez *et. al.* (2000).

Una vez que el cultivo llegó a la madurez fisiológica se cosechó la semilla a los 134 DDS y también se analizó su contenido de proteínas y saponinas como se indicó anteriormente.

3.6. Análisis estadístico de la información

El modelo utilizado para el análisis estadístico de la información fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \xi_{i,j}.$$

Donde:

i = 1,2,....., T (Tratamientos).

j = 1,2,....., R (Repeticiones).

Y_{ij} = Respuesta de la j – ésima repetición del tratamiento i – ésimo.

μ = La media general.

τ_i = Efecto de i – ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j – ésimo bloque.

$\xi_{i,j}$ = Error de la j – ésima repetición del tratamiento i – ésimo.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones climáticas

En el cuadro 4.1. se presentan los valores medios de temperatura, precipitación y humedad relativa por semana ocurridos durante el desarrollo del cultivo.

Cuadro 4.1. Promedios de temperatura (°C) máxima, mínima y media, precipitación (mm) y humedad relativa H.R. (%) por semana ocurridos durante el desarrollo del cultivo.

Mes	Semanas	Temp. máx. (°C)	Temp. min. (°C)	Temp. media (°C)	Precipitación (mm)	H.R. (%)
22/JUL/03	1	26.6	16.0	21.3	6.2	70.5
JUL./AGO.	2	26.4	16.0	21.2	22.3	67.0
AGO.	3	29.0	15.8	22.4	0.0	63.1
AGO.	4	22.4	13.1	17.7	66.0	88.1
AGO.	5	24.7	14.8	19.7	27.3	78.1
AGO.	6	26.8	14.7	20.7	0.0	76.5
SEP.	7	23.0	14.8	18.9	48.0	86.3
SEP.	8	25.0	14.1	19.5	13.4	74.0
SEP.	9	20.0	13.0	16.5	74.0	79.4
SEP.	10	22.4	14.0	18.2	15.0	82.7
SEP./OCT.	11	20.6	10.4	15.5	0.0	74.0
13/OCT/03	12	22.6	14.0	18.3	90.0	84.4
TOTAL					362.2	

Fuente: Departamento de Agrometeorología UAAAN 2003.

La máxima temperatura se registró a la 3ª semana después de la siembra con un valor de 29.0 °C en tanto que la mínima fue de 10.4 °C a la 11ª semana, la temperatura media osciló entre los 15.5 °C (semana 11) y 22.4 °C (semana 3). Las temperaturas para una buena producción de quinua tienen un promedio anual entre lo 9 °C a 16 °C (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001).

Las lluvias fueron frecuentes durante el desarrollo del cultivo excepto para la 3ª, 6ª y 11ª semana, fue un periodo de lluvias excepcionalmente abundante para la región. Espíndola y Rodríguez (1988) mencionan que los rendimientos económicamente favorables están en función de la regularidad de la precipitación.

4.2. Número de plantas por metro lineal

De acuerdo con el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el cual T1 y T3 son estadísticamente diferentes pero ambos similares con T2 (Cuadro 4.2).

El número de plantas a los 67 DDS muestran una tendencia de disminución de T1 a T3 como se muestra en la figura 4.1.

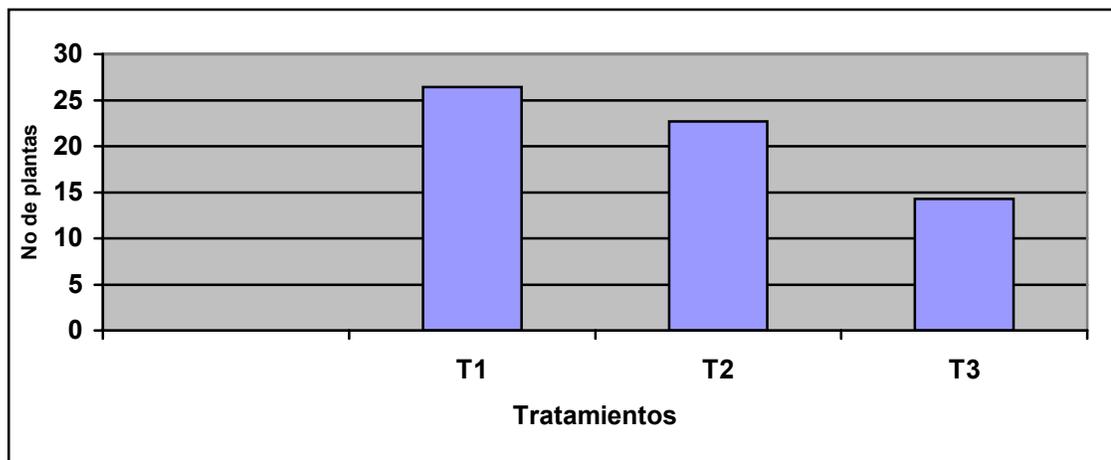


Figura 4.1. Número de plantas por metro lineal a los 67 DDS.

Cuadro 4.2. Comparación múltiple de medias de número de plantas de *quinua* por metro lineal.

Tratamientos (Densidad de siembra)	No de plantas / m lineal
T1 (12 kg ha ⁻¹)	26.43 A ⁺
T2 (9 kg ha ⁻¹)	22.70 AB
T3 (6 kg ha ⁻¹)	14.3 B

+ Dentro de la columna, valores medios de los tratamientos con diferente letra son significativamente diferentes a P = 0.05 determinado por Tukey.

Las medias para las variables mencionadas se muestran en el cuadro 4.2. en el que se observa que el mayor número de plantas es de 26.4 para T1 mientras que para T2 y T3 fue de 22.7 y 14.3 respectivamente.

4.3. Número de ramas vegetativas y ramas florales

En la Fig. 4.2. se presentan los resultados del comportamiento de las ramas vegetativas y florales a los 67 DDS, en el que esta última fue siempre menor excepto en T3, sin embargo ambos órganos no presentan diferencias significativas entre tratamientos.

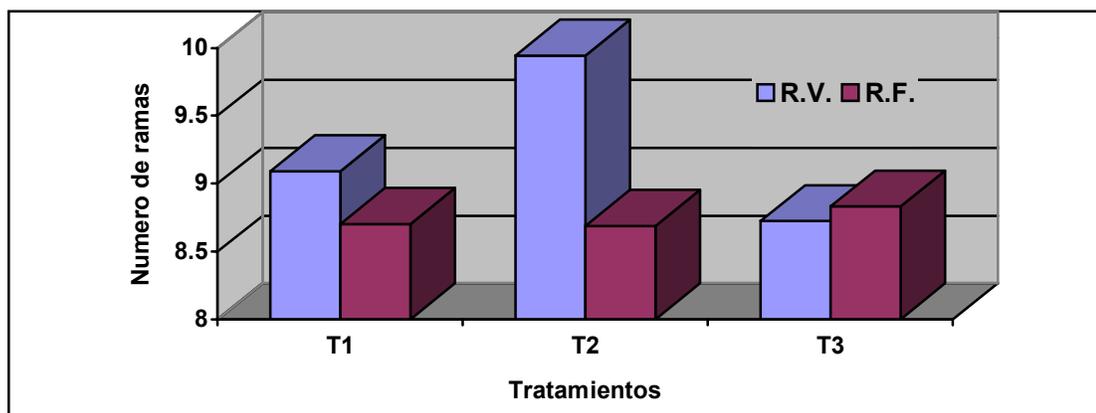


Figura 4.2. Número medio de ramas vegetativas y ramas florales en *quinua* en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.

En el cuadro 4.3. se observa que el valor mínimo de ramas vegetativas esta representado por T3 con una media de 8.724 en tanto que el valor mas alto se registro en T2 con una media de 9.942.

Cuadro 4.3. Valores medios de ramas vegetativas en *quinua* en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.

Tratamientos (Densidad de siembra)	Número de ramas vegetativas
T1 (12 kg ha ⁻¹)	9.090
T2 (9 kg ha ⁻¹)	9.942
T3 (6 kg ha ⁻¹)	8.724

Cuadro 4.4. Valores medios de ramas florales en *quinua* en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.

Tratamientos (Densidad de siembra)	Número de ramas florales
T1 (12 kg ha ⁻¹)	8.704
T2 (9 kg ha ⁻¹)	8.688
T3 (6 kg ha ⁻¹)	8.832

Los valores medios de ramas florales oscilaron de 8.688 en T2 a 8.832 en T3 tal como se muestra en el cuadro 4.4.

Risi y Galwey (1991) en dos experimentos sembrados en 1982 y 1984 en el que utilizaron las variedades Baer, Amarilla de Marangani y Blanca de Junin y diferentes espacios entre surco y densidades de siembra, indican que la proporción de ramas desciende únicamente al disminuir el espacio entre surco y que la competencia entre surco es más importante que la competencia dentro del surco. Lo anterior concuerda con esta investigación al no encontrarse diferencias significativas en los resultados obtenidos, sin embargo es importante mencionar que la variedad Chucara según las observaciones realizadas, tiene

hábito de crecimiento simple, es decir con ramas cortas (Jacobsen y Stolen, 1993).

4.4. Número de panojas terminales

El análisis de varianza para número de panojas terminales no presenta diferencias significativa entre tratamientos como se muestra en el cuadro 4.5., los valores medios oscilaron entre 1.020 en T3 a 1.052 en T2 (Cuadro 4.6), lo anterior confirma que la variedad Chucara tiene hábito de crecimiento simple con una sola panoja en la parte terminal de la planta y según las observaciones realizadas esta puede ser laxa o compacta (GTZ, IICA, INIAP, ERPE, 2001; Jacobsen y Stolen, 1993).

Cuadro 4.5. Análisis de varianza de número medio panoja terminal en *quinua* en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	0.002613	0.001307	1.4965	NS 0.280
BLOQUES	4	0.005976	0.001494	1.7111	0.240
ERROR	8	0.006985	0.000873		
TOTAL	14	0.015574			

C.V. = 2.86%

Cuadro 4.6. Valores medios de panoja terminal por planta de *quinua* a los 67 DDS.

Tratamientos (Densidad de siembra)	Número de panoja terminal
T1 (12 kg ha ⁻¹)	1.032
T2 (9 kg ha ⁻¹)	1.052
T3 (6 kg ha ⁻¹)	1.020

4.5. Altura de planta

Los resultados del análisis de varianza para altura de plantas en la etapa de ramificación a los 48 DDS indican que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P < 0.01$). El cuadro 4.7. muestra que T2 y T3 son diferentes pero ambos iguales a T1.

Cuadro 4.7. Comparación múltiple de medias de altura de plantas de *quinua* en la etapa de ramificación a los 48 DDS.

Tratamientos (Densidad de siembra)	Altura de planta (m)
T2 (9 kg ha ⁻¹)	0.55 A ⁺
T1 (12 kg ha ⁻¹)	0.52 AB
T3 (6 kg ha ⁻¹)	0.43 B

⁺ Dentro de la columna, valores medios de los tratamientos con diferente letra son significativamente diferentes a $P = 0.01$ determinado por Tukey.

En la segunda medición de altura de planta en la etapa de panojamiento a los 67 DDS también hay diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P < 0.01$), en donde T1 y T2 son estadísticamente iguales pero diferentes a T3, los resultados se presentan en el cuadro 4.8. En la tercera medición de altura en la etapa de floración avanzada, debido a que no se tomaron estos datos en todas las repeticiones de cada tratamiento no se realizó el análisis de varianza, no obstante en la fig. 4.3. se observa un comportamiento similar que en las mediciones anteriores en donde T2 presenta la mayor altura seguido de T1 y T3 respectivamente.

Cuadro 4.8. Comparación múltiple de medias de altura de plantas de *quinua* en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.

Tratamientos (Densidad de siembra)	Altura de planta (m)
T2 (9 kg ha ⁻¹)	1.17 A ⁺
T1 (12 kg ha ⁻¹)	1.14 A
T3 (6 kg ha ⁻¹)	1.00 B

⁺ Dentro de la columna, valores medios de los tratamientos con diferente letra son significativamente diferentes a P = 0.01 determinado por Tukey.

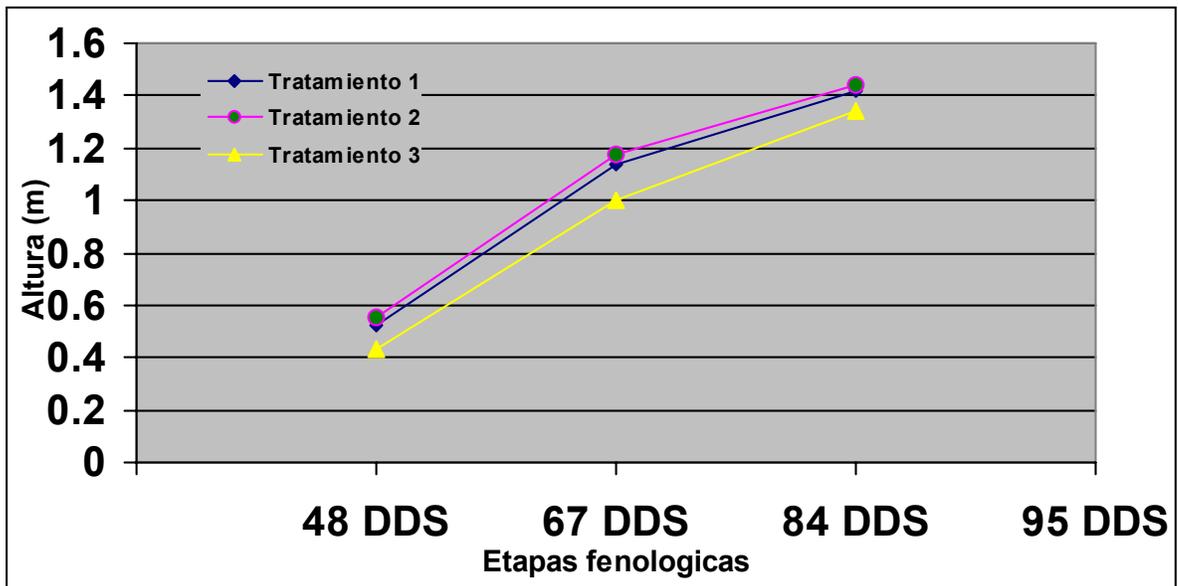


Figura 4.3. Altura media de plantas de *quinua* (m) en la etapa de ramificación (48 DDS), panojamiento (67 DDS) y floración avanzada (84 DDS).

4.6. Densidad de población

En la Fig. 4.4. se observa que la densidad de población de plantas por hectárea a los 67 DDS disminuye en orden descendente de T1 a T3, esto es confirmado con el análisis de varianza al presentar diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$), la comparación de medias muestra que T1 y T3, son estadísticamente diferentes entre sí, pero similares a T2.

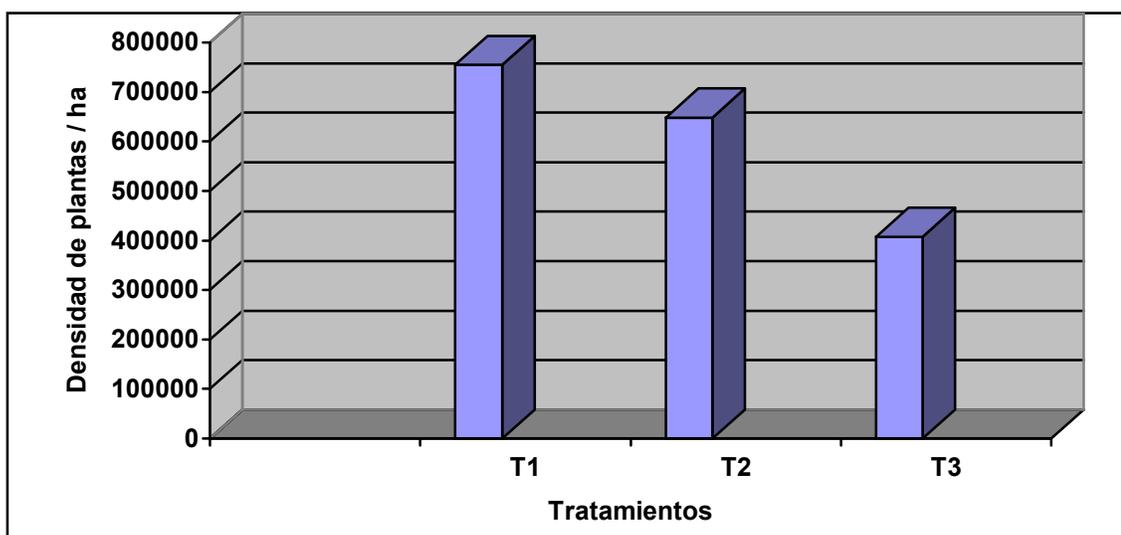


Figura 4.4. Densidad media de población de plantas de *quinua* por hectárea en la etapa de panojamiento.

Cuadro 4.9. Comparación múltiple de medias de densidad de población de *quinua* a los 67 DDS.

Tratamientos (Densidad de siembra)	Densidad de población
T1 (12 kg ha ⁻¹)	755,199.9 A ⁺
T2 (9 kg ha ⁻¹)	648,742.8 AB
T3 (6 kg ha ⁻¹)	407,771.5 B

⁺ Dentro de la columna, valores medios de los tratamientos con diferente letra son significativamente diferentes a $P = 0.05$ determinada por Tukey.

En el cuadro A1. en el apéndice se presentan los resultados generales de densidad de población por tratamiento y repetición.

4.7. Rendimiento de materia verde y seca

Los resultados del análisis de varianza indican que no hay diferencias significativas en la producción de materia verde y seca entre tratamientos en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS, sin embargo en la Fig. 4.5. se observa que T2 presento el mayor rendimiento de forraje verde con una media de 33,750.0 kg ha⁻¹ seguido de T1 y T3 con una producción media de forraje verde de 33,500.0 y 27,475.0 kg ha⁻¹ respectivamente.

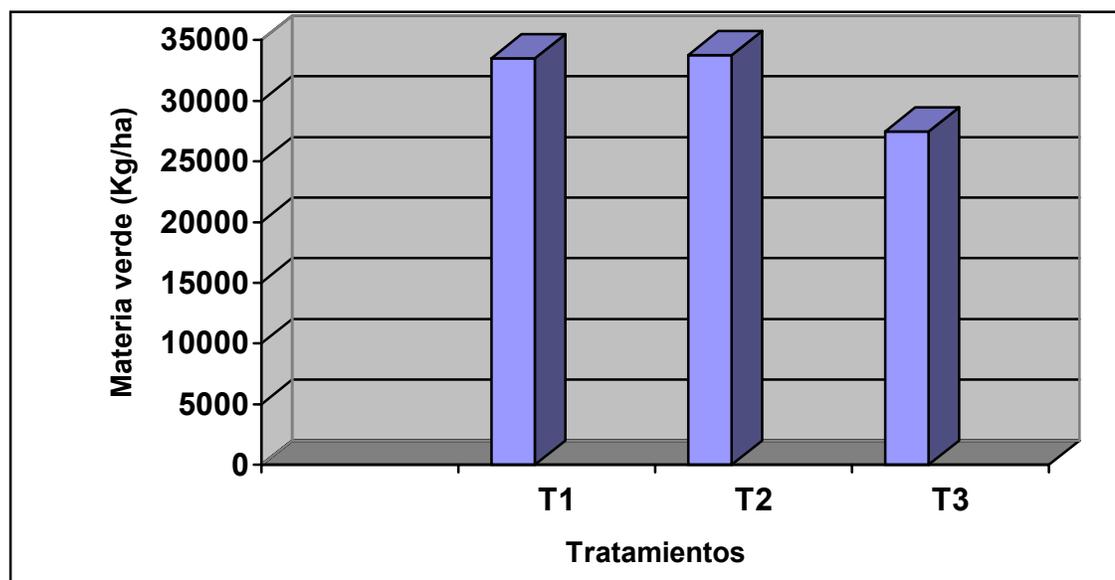


Figura 4.5. Rendimiento de materia verde de *quinua* en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.

En cuanto a la producción de materia seca la Fig. 4.6. muestra que la mayor producción se obtuvo con T1 con un valor medio de 6,684.54 kg ha⁻¹ mientras que el rendimiento para T2 y T3 fue de 6,073.04 y 5,488.18 kg ha⁻¹ de forraje seco respectivamente.

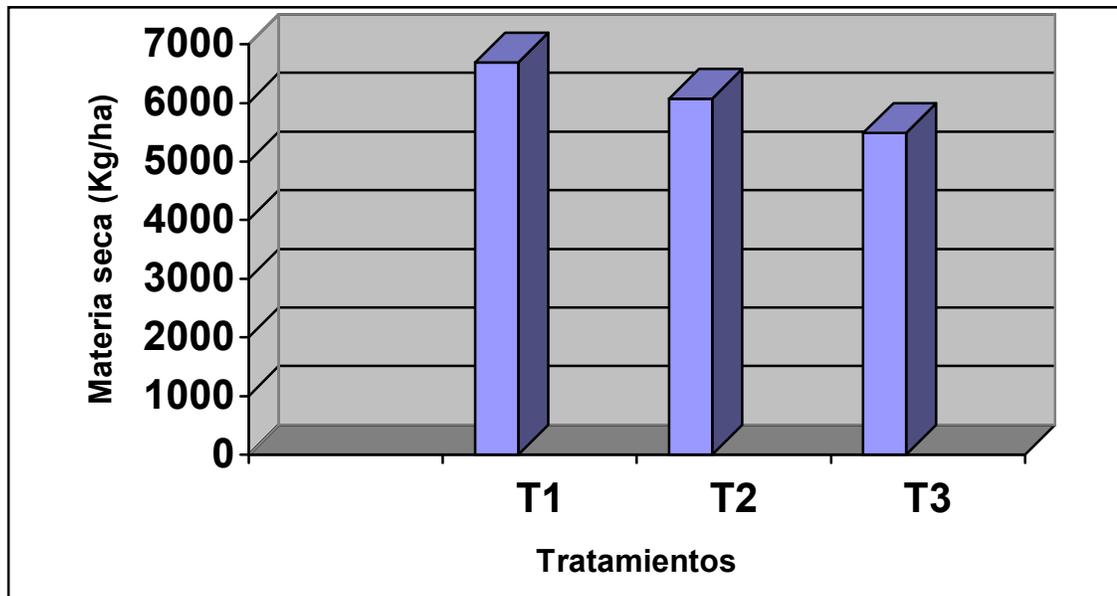


Figura 4.6. Rendimiento de materia seca de *quinua* en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.

Capelo (1983) evaluó el potencial forrajero de *quinua* dulce (Sajama) y amarga (Chauca) reportó que la mayor producción de forraje en estado verde fue de 54 t ha^{-1} a los 105 días, mientras que en estado seco registró el mayor peso en el periodo de maduración a los 135 días con un rendimiento de 14.3 t ha^{-1} .

Solíz (2002) en los experimentos sembrados en Jagüey de Ferniza (2000) y Buenavista (2001) en Saltillo Coahuila utilizando la variedad Chucara con una densidad de siembra de 12 kg ha^{-1} de semilla y con espacios entre surco de 0.3 m y tres déficit de humedad en el suelo, reportó resultados para déficit de humedad bajo (50 – 60 % de abatimiento máximo de humedad) de materia verde en la etapa de floración de $62,501.8 \text{ kg ha}^{-1}$ y de materia seca de $10,607.9 \text{ kg ha}^{-1}$ en Jagüey de Ferniza, mientras que para las siembras de primavera (marzo), verano (junio) y otoño (septiembre) el rendimiento de materia verde fue de 69,654.0, 73,344.0 y $41,538.0 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente en Buenavista. En cuanto a la producción de materia seca reporta resultados que van de $9,894 \text{ kg ha}^{-1}$ a $16,962 \text{ kg ha}^{-1}$ en 2001; estos resultados son mas altos

que los obtenidos en este experimento, esta diferencia posiblemente se debe a que el cultivo en Jagüey de Ferniza y Buenavista se desarrolló con mas horas de iluminación solar por día, propiciando una mayor actividad fotosintética e incremento de biomasa, y a la influencia de la temperatura, la cual afecta la actividad metabólica de las plantas (Billings, 1970). Solíz (2002) también reporta que el número de plantas por surco (6 m) fue de aproximadamente 250, el cual corresponde a 41 plantas por metro lineal con una altura 1.2 m, mientras que para este experimento el número de plantas por metro lineal fluctuó entre 14.3 (T3) a 26.4 (T1) (Cuadro 4.2.), sin embargo las plantas presentaron mayor altura tal como se muestra en el cuadro A4 en el apéndice. Por otra parte, analizando la información climatológica ocurrida en esta investigación se encontró que la regularidad de las lluvias y los días nublados provocaron menos iluminación solar por día, por lo tanto menos actividad fotosintética. La cantidad de precipitación registrada durante el desarrollo del cultivo fue de 362.2 mm que es equivalente a la precipitación que ocurre durante todo el año (345 mm) en esta región.

En el cuadro 4.10. se presentan los resultados medios del porcentaje de participación de cada órgano de la planta en el cual el tallo contribuye con el mayor peso con un valor medio mínimo de 62.033 % para T3 y de 63.732 % y 63.434 % para T1 y T2 respectivamente. La hoja es el segundo órgano con mayor peso con valores medios que fluctuaron de 20.45 % en T2 hasta 22.918 % (T1) y 23.78 % (T3), con respecto a los glomérulos de las panojas de ramas florales los valores medios oscilaron entre 6.974 % en T1 a 7.718% en T2, mientras que para los glomérulos de la panoja terminal fue de 6.376 % a 8.398 % para T1 y T2 respectivamente, ambos tipos de glomérulos contribuyen aproximadamente en la misma proporción en el peso seco de *quinua*. En los cuadros A7, A8 , y A9 en el apéndice se presentan los resultados generales del porcentaje de participación de las partes de la planta por tratamiento y repetición.

Cuadro 4.10. Valores medios del porciento de participación de los órganos de la planta de *quinua* sobre el peso seco total en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.

Tratamientos	Tallo + Ramas (%)	Hojas + peciolo (%)	GPRF (%)	GPT (%)
T1	63.732	22.918	6.974	6.376
T2	63.434	20.45	7.718	8.398
T3	62.038	23.78	7.214	6.968

GPRF = Glomérulos de Panojas de Ramas Florales.

GPT = Glomérulos de la Panoja Terminal.

Después de evaluar las variables se encontró para el caso de número de plantas por metro lineal y la densidad de población de plantas por hectárea registrados a los 67 DDS, que estas presentan diferencias significativas con similar resultado tal como se esperaba ya que dichas variables miden lo mismo solo que en diferente área, no obstante estas no influyen en la producción de materia verde y seca ya que los resultados de rendimiento muestran que son estadísticamente iguales entre tratamientos para ambos casos.

Al analizar los resultados del peso seco promedio por planta registrado con las plantas analizadas en laboratorio como se presenta en el cuadro A6 en el apéndice y de calcular el peso seco por planta al dividir los resultados medios de producción de materia seca (kg ha^{-1}) entre la densidad media de población como se muestra en el cuadro 4.11. y 4.12. se observan diferencias de casi el doble de peso entre el primero y segundo resultado, esto puede ser explicado debido a que las muestras analizadas en laboratorio fueron plantas de altura intermedia representativas de la población y en el caso de la densidad de plantas, esta se determinó considerando todas las plantas contadas en el área muestreada (1 metro lineal), incluyendo plantas pequeñas, por esta razón los resultados en el cuadro 4.12. son mas bajos ya que el peso se distribuye en toda la población de plantas.

Cuadro 4.11. Peso seco promedio por planta de *quinua* registrados en laboratorio a los 84 DDS.

Tratamientos (Densidad de siembra)	Peso seco (g / planta)
T1 (12 kg ha ⁻¹)	31.93
T2 (9 kg ha ⁻¹)	24.03
T3 (6 kg ha ⁻¹)	29.74

Cuadro 4.12. Peso seco por planta calculado a partir del peso medio de materia seca (kg ha⁻¹) y la densidad de población de plantas (ha) en la etapa de panojamiento a los 67 DDS.

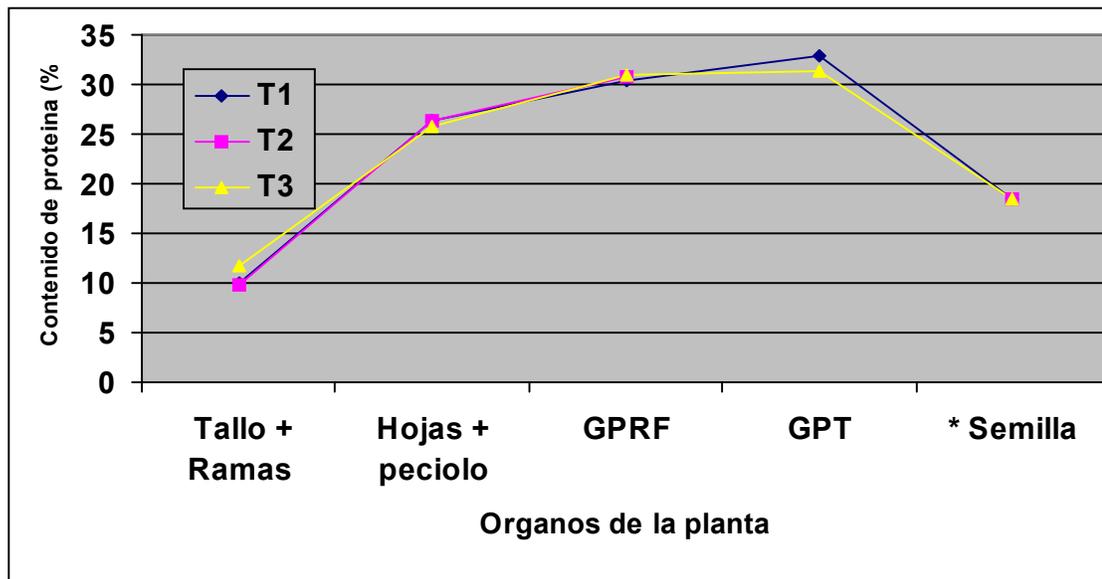
Tratamientos (densidad de siembra)	Rendimiento medio de materia seca (Kg ha⁻¹)	Densidad media de población (ha)	Peso seco (g / planta)
T1 (12 kg ha ⁻¹)	6,684.54	755,200.0	8.85
T2 (9 kg ha ⁻¹)	6,073.04	648,742.8	9.36
T3 (6 kg ha ⁻¹)	5,488.18	407,771.5	13.45

En los resultados que se presentan en el cuadro 4.12. se observa que el peso seco por planta tiende a incrementar a medida que disminuye la densidad de siembra representada por los tratamientos y es aun mas claro en T3, esto puede ser explicado posiblemente debido a que una alta densidad de siembra provoca mayor competencia por requerimientos comunes y las plantas que emergen y desarrollan primero aventajan sobre las que lo hacen después no permitiéndoles así su desarrollo normal, por el contrario una baja densidad de siembra es compensado por un mayor peso por planta debido a la menor competencia y mayor desarrollo de las mismas.

En la Fig. 4.5. de la pagina 51 se observa que el mayor rendimiento de forraje verde esta dado por T2, el incremento en la producción aunque no es significativo se debe a que este tratamiento presenta la mayor altura tal como se muestra en la Fig. 4.3. de la pagina 49.

4.8. Contenido de Proteína

En la Fig. 4.7. se presenta el contenido de proteína en las diferentes partes de la planta, en el que el tallo tuvo una tasa de 9.795 % en T2 hasta 11.705 % en T3. Con respecto a la hoja, los resultados son muy similares entre tratamientos los cuales fueron de 26.405 %, 26.280% y 25.720% para T1, T2 y T3 respectivamente; los valores mas altos de proteína se registraron en ambos glomérulos de la panoja de ramas florales y la panoja terminal, siendo para el primero de 30.325 % en T1 y 30.985 % en T3, mientras que para el segundo fue de 32.85 % en T1 y 31.26 % en T3; en la semilla el contenido de proteína disminuye hasta 18.53 %.



* El resultado para semilla corresponde a la cosecha realizada a los 134 DDS (19 semanas de desarrollo del cultivo)

GPRF = Glomérulo de la Panoja de Ramas Florales.

GPT = Glomérulo de la Panoja Terminal.

Figura 4.7. Contenido de proteína en los diferentes órganos de la planta de *quinua* en la etapa de floración avanzada.

Capelo (1983) reporta que las variedades dulce (Sajama) y amarga (Chauca) contienen 35 % y 34 % de proteína en la hoja y la panoja en prefloración y esta disminuye con la edad de la planta.

Con respecto a la semilla diversos estudios reportan valores de proteína sobre la base seca de 14 % a 16.5 %, mientras que en materia fresca es de 14.6 % (Blasco, 1979; Koziol, 1992), por lo que nuestros resultados fueron superiores en contenido de proteína.

Ruales y Nair (1992 a y b); Kent (1984) encontraron que el contenido de proteína en grano de *quinua* es de 15 % en base seca, el cual es mas alto que en cereales como trigo, cebada, avena, arroz y sorgo.

Solíz (2002) en los experimentos sembrados en Jagüey de Ferniza y Buenavista, encontró que el contenido de proteína de la variedad Chucara en el forraje seco en la etapa de floración fue de 15.8 % para la siembra realizada en el 2000, mientras que para las siembras de primavera (marzo), verano (junio) y otoño (septiembre) del año agrícola 2001, el contenido fue de 14.5 %, 13.8 % y 15.4 % respectivamente, estos resultados son mas bajos que los obtenidos en esta investigación (Cuadro 4.13.).

Cuadro 4.13. Contenido total de proteína de *quinua* en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.

Tratamientos	Contenido total de proteína (%)
T1	16.63*
T2	16.58*
T3	17.77*

* Datos calculados de acuerdo a la formula de Jasso de Rodríguez *et al.* (2000).

En el cuadro 4.14. se presentan los resultados de contenido de proteína en los diferentes órganos de la planta.

Cuadro 4.14. Contenido medio de proteína (%) en los diferentes órganos de la planta de *quinua* en la etapa de floración avanzada (84 DDS).

Tratamiento 1	Nitrógeno (%)	Proteína (%)
Tallo + Ramas	1.605	10.045
Hoja + Pecíolo	4.22	26.405
GPRF	4.85	30.325
GPT	5.255	32.85
Tratamiento 2		
Tallo + Ramas	1.560	9.795
Hojas + Pecíolo	4.204	26.28
GPRF + GPT	4.91	30.73
Tratamiento 3		
Tallo + Ramas	1.865	11.705
Hoja + Pecíolo	4.11	25.72
GPRF	4.955	30.985
GPT	4.995	31.26
* Semilla	2.96	18.53

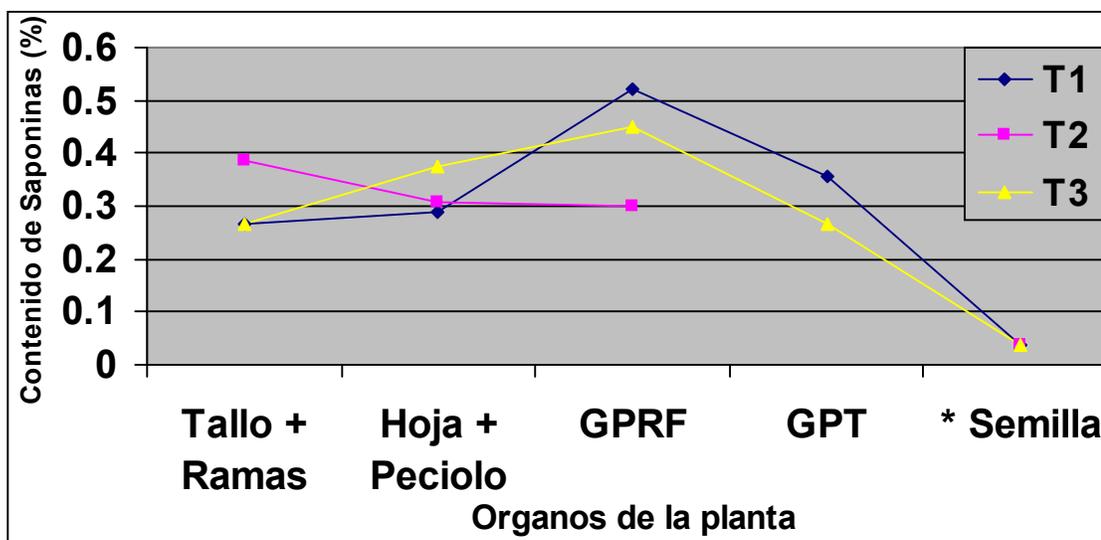
* El resultado para semilla corresponde a la cosecha realizada a los 134 DDS (19 semanas de desarrollo del cultivo).

GPRF = Glomérulo de la Panoja de Ramas Florales.

GPT = Glomérulo de la Panoja Terminal.

4.9. Contenido de Saponinas

La Fig. 4.8. presenta el contenido de saponinas en cada órgano de la planta en donde T1 y T3 presentan contenidos de 0.2645 % y 0.2671 % respectivamente en el tallo y aumenta en T2 con un valor de 0.3865 %. La hoja presenta concentraciones de 0.2904 % a 0.3092 % en T1 y T2 y aumenta hasta 0.3753 % en T3, con respecto a los glomérulos de la panoja de ramas florales, presentan el mas alto valor con 0.4493 % en T3 y 0.5219 % en T1, en tanto que en los glomérulos de la panoja terminal los resultados fluctuaron de 0.2649 % (T3) a 0.3565 % (T1); en T2 en el cual se mezcló ambos órganos (glomérulos) el resultado fue de 0.2983 %. El contenido de saponina en la semilla disminuyó hasta 0.0366 %, este resultado coincide con Burnouf-Radosovich (1983) quienes mencionan que la variedad Chucara posee niveles moderados de saponina en el grano. De manera general se observa que el contenido de saponinas es literalmente bajo en el tallo, aumenta en la hoja y los glomérulos de ambas panojas y disminuye en la semilla.



* El resultado para semilla corresponde a la cosecha realizada a los 134 DDS (19 semanas de desarrollo del cultivo)

GPRF = Glomérulo de la Panoja de Ramas Florales.

GPT = Glomérulo de la Panoja Terminal.

Figura 4.8. Contenido de saponinas en los diferentes órganos de la planta de *quinua* en la etapa de floración avanzada.

En el cuadro 4.15. se muestra el contenido de saponinas en % y ppm en los diferentes órganos de la planta de *quinua* en la etapa de floración avanzada.

Cuadro 4.15. Contenido medio de saponinas (% y ppm) en los diferentes órganos de la planta de *quinua* en la etapa de floración avanzada (84 DDS).

Tratamiento 1	Saponina (%)	Saponina (ppm)
Tallo + Ramas	0.2645	2645
Hoja + Pecíolo	0.2904	2904
GPRF	0.5219	5219
GPT	0.3565	3565
Tratamiento 2		
Tallo + Ramas	0.3865	3865
Hojas + Pecíolo	0.3092	3092
GPRF + GPT	0.2983	2983
Tratamiento 3		
Tallo + Ramas	0.2671	2671
Hoja + Pecíolo	0.3753	3753
GPRF	0.4493	4493
GPT	0.2649	2649
* Semilla	0.0366	366

* El resultado para semilla corresponde a la cosecha realizada a los 134 DDS (19 semanas de desarrollo del cultivo).

GPRF = Glómulo de la Panoja de Ramas Florales.

GPT = Glómulo de la Panoja Terminal.

El GTZ, IICA, INIAP, ERPE (2001) indican que la toxicidad de las saponinas dado a la hemólisis de los glóbulos rojos y las irritaciones en las mucosas intestinales, en alta concentración es tóxico para el ser humano, pero como estas se descomponen en el intestino antes de ser absorbidas y las concentraciones en el grano son reducidas, no causa intoxicación vía oral a través del consumo de *quinua* amarga; sin embargo a partir de una dosis de 50 mg/kg de peso, la saponina es tóxica para animales de sangre caliente.

Los principales componentes de las saponinas son el ácido oleanólico y la hederagenina (CICA, 1998; Ma *et al.*, 1989 y Ruales y Nair, 1993). Mastebroek *et al.*, (2000) trabajaron con genotipos de carácter dulce y amarga, llegando a identificar compuestos de saponinas de 0.2 a 0.4 g/kg en grano y de 4.7 a 11.3 g/kg en materia seca.

Solíz (2002) en los trabajos de investigación realizados en Jagüey de Ferniza y Buenavista, reportó concentraciones de saponinas de 0.82 %, 0.70 % y 0.68 % en las siembras de primavera (marzo), verano (junio) y otoño (septiembre) del ciclo agrícola 2001 respectivamente, mientras que para la siembra efectuada en el 2000 (Jagüey de Ferniza) fue de 0.61 %, en tanto que en este experimento fue de 0.2937 % para T1 (12 kg ha⁻¹ de semilla), 0.355 % (T2, 9 kg ha⁻¹ de semilla) y 0.3049 % (T3, 6 kg ha⁻¹ de semilla) los cuales son mas bajos (Cuadro 4.16.).

Cuadro 4.16. Contenido total de saponinas de *quinua* en la etapa de floración avanzada a los 84 DDS.

Tratamientos	Contenido total de saponinas (%)
T1	0.2937*
T2	0.3555*
T3	0.3049*

* Datos calculados de acuerdo a la formula de Jasso de Rodríguez *et al.* (2000).

V CONCLUSIONES

- Las condiciones climáticas en que se desarrolló el cultivo debido a las lluvias provocaron condiciones similares de humedad entre tratamientos.
- Los rendimientos de materia verde y seca no se ven afectados con las densidades de siembra.
- Una alta densidad de siembra provocó un menor peso por planta, por el contrario una baja densidad de siembra fue compensada por un mayor peso de plantas.
- El efecto de las densidades de siembra podría ser evaluado por la proporción de plantas chicas, medianas y grandes.
- El contenido de proteína no es afectado por las densidades de siembra, sin embargo el tallo presenta el menor contenido de proteína, aumenta en las hojas y en ambos glomérulos de la panoja de ramas florales y panoja terminal y disminuye en la semilla.
- El contenido de saponinas no es afectado por las densidades de siembra, los resultados muestran que el contenido de esta es menor en el tallo, aumenta en las hojas y en ambos glomérulos y disminuye en las semillas.
- Los contenidos de saponinas en el ciclo 2003 son menores a los reportados en 2000 y 2001 posiblemente debido a las frecuentes lluvias presentadas durante el ciclo.

VI RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de las densidades de siembra sobre el rendimiento de materia verde y seca y determinar la respuesta de contenido de proteína y saponinas de *quinua* (*Chenopodium quinoa* Willd) para aplicación forrajera se realizó el presente estudio.

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, ubicada en el kilómetro 07 de la carretera Saltillo – Concepción del Oro, Zacatecas, entre los 15° 23' de latitud Norte y 101° 00' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1743 msnm, el clima en esta región tiene una temperatura media anual de 16.9° C y la precipitación media anual es de 345 mm, el tipo de suelo corresponde a migajón arcilloso.

El material genético utilizado fue la variedad Chucara, la cual fue proporcionada de la estación experimental de Patacamaya de la Paz, Bolivia. Se evaluaron tres tratamientos de densidad de siembra: T1 = 12 kg ha⁻¹ de semilla, T2 = 9 kg ha⁻¹ de semilla, T3 = 6 kg ha⁻¹ de semilla.

Se preparó el terreno convenientemente y se fertilizó con la dosis 80-40-00 (N-P-K), la siembra se realizó el 22 de julio de 2003, el diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con cinco repeticiones, las separaciones entre surco fueron de 0.35 m por 4.0 m de largo.

Las variables evaluadas en la etapa de panojamiento (67 DDS) fueron: número de plantas por metro lineal, densidad de población por hectárea, número de ramas vegetativas y ramas florales, y número de panoja terminal; en las etapas de ramificación (48 DDS), panojamiento (67 DDS) y floración avanzada (84 DDS) la variable altura de plantas (m), mientras que en la etapa de floración avanzada (84 DDS) las variables fueron: Rendimiento de materia verde y seca (kg ha^{-1}), contenido de proteínas y contenido de saponinas. Las condiciones climáticas ocurridos durante el desarrollo del cultivo destaca la alta precipitación pluvial (362.2 mm).

Después de realizar el análisis de varianza para las diferentes variables se encontró que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en el número de plantas por metro lineal en la etapa de panojamiento en el cual T1 y T3 son diferentes pero ambos similares a T2, los valores medios fueron de 26.4 (T1), 22.7 (T2) y 14.3, (T3), la densidad de siembra en esta etapa también presenta diferencias significativas ($P < 0.05$) entre T1 y T3, los resultados medios fueron de 755,200.0 plantas por ha^{-1} en T1, 648,742.85 plantas ha^{-1} en T2 y 407,771.43 plantas ha^{-1} en T3. Para altura de plantas los resultados presentan diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en la etapa de ramificación y panojamiento, en la primera etapa T2 y T3 son diferentes pero ambos iguales a T1, los valores medios fueron de 0.52 m (T1), 0.55 m (T2) y 0.43 m (T3), en la segunda etapa los resultados indican que T1 y T2 son iguales pero diferentes a T3, los valores medios fueron de 1.14 m (T1), 1.17 m (T2) y 1.0 m (T3), en la tercera etapa (floración avanzada) no se realizó el análisis de varianza, sin embargo los resultados medios fueron de 1.41 m (T1), 1.44 m (T2) y 1.34 m (T3), se observó que T2 fue el que presentó la mayor altura en las tres etapas. Con respecto al rendimiento de materia verde y seca, no presentan diferencias entre tratamientos, los resultados de las medias para rendimiento de materia verde fueron de 33,500 kg ha^{-1} (T1), 33,750 kg ha^{-1} (T2) y 27,475 kg ha^{-1} (T3), mientras que los rendimientos medios de materia seca fueron de 6,684.54 kg ha^{-1} (T1), 6,073.0 kg ha^{-1} (T2) y 5,488.18 kg ha^{-1} (T3). El contenido de proteínas

no fué afectado por la densidad de siembra, sin embargo los resultados de contenido de proteína en los diferentes órganos de la planta muestran una tendencia de incrementar desde el tallo hacia las hojas y los glomérulos (grupo de flores) de la panoja de ramas florales y panoja terminal y disminuye en la semilla, los resultados de contenido total de proteína fueron de 16.63 % (T1), 16.58 % (T2) y 17.77 % (T3). El contenido de saponinas tampoco fué afectada por la densidad de siembra y presentó la misma tendencia de aumentar desde el tallo, hojas y glomérulos y disminuye en la semilla, los resultados de contenido total de saponinas fueron de 0.2937 % (T1), 0.3555 % (T2) y 0.3049 % (T3).

Debido a las condiciones en que se desarrolló el cultivo a causa de las abundantes lluvias, se consideró que el cultivo estuvo bajo condiciones similares de humedad entre tratamientos. Los rendimientos de materia verde y seca no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, se observó que una alta densidad de siembra provocó un menor peso por planta, por el contrario una baja densidad de siembra fue compensada por un mayor peso de plantas, para evaluar mejor el efecto de las densidades de siembra, este puede ser medido por la proporción de plantas chicas, medianas y grandes. Los contenidos de proteína y saponinas no fueron afectados por las densidades de siembra, pero los contenidos reportados en este experimento son menores que los de los ciclos 2000 y 2001, lo que podría ser atribuido a las frecuentes lluvias presentadas durante el ciclo de desarrollo.

VII BIBLIOGRAFIA CITADA

- Alberts, H. W. 1946. *Quinoa* – ancient food crop in South America. *Agric. Am.* 7: 150-152.
- AOAC (Association off Official Analytical Chemist). 1980. Official methods of Analysis. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists. USA.
- ANAPQUI. 2001. *Quinoa* Real en Bolivia. La Paz Bolivia.
- Barboza, J. B., Blasco, M. y Calderón, G. 1980. Fertilización del cultivo de *quinua* en condiciones del Altiplano de Puno, Perú. *Turrialba* 30: 2, 226-228.
- Basu, N. and Rastogi, R. P. 1967. Triterpenoid saponins and sapogenins. *Phytochemistry* 6: 1249-1270.
- Begg, J. E. y Turner, N. C. 1976. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*, 28: 161-217.
- Billings, W. D. 1970. Las plantas y el ecosistema. 2^a ed. Ed. Herrero Hermanos Sucesores, S. A. México. pp. 12-18.
- Blasco, L. M. 1979. Composición de la *quinua* cultivada en el Altiplano de Puno, Perú. *Turrialba* 29: 3, 219-221.
- Burnouf – Radossvich, M., Burnouf, T. and Delfel, N. E. 1983. Saponin content and protein composition in *Chenopodium quinoa*. *Abstr. Amer. Assoc, of Cereal Chem.* Kansas City, USA.
- CAF, CID, CLACDS – INCAE, Competitividad. 2001. La Paz Bolivia.
- Canahua, A. 1977. Observaciones del comportamiento de la *quinua* a la sequía. In: *Proceedings from I Congreso Internacional de Cultivos Andinos, Ayacucho, Perú*, pp. 390-392.
- Capelo, B.W. 1983. Evaluación del potencial forrajero de la *quinua* dulce “Sajama” y la *quinua* amarga “Chauca” (*Chenopodium quinoa* W.) en tres épocas de corte. *Ecociencia.* 1: 212-222.

- Chandel, R. S., and Rastogi, R. P. 1980. Triterpenoid saponins and sapogenins: 1973-1978. *Phytochemistry* 19: 1889-1908.
- CICA (Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas). 1998. Propiedades y aplicaciones de las saponinas. *Khainata*. Bolivia. pp. 2-11.
- Cusack, D. 1984. *Quinoa*: Grain of the Incas. *Ecologist* 14: 21-31.
- Diaz, M. F. and Gonzalez, A. 1994. The obtainment of leaf protein concentrates in *Chenopodium quinoa*. *Cuban J. Agric. Sci.* 28: 213-219.
- Duke, J. A., and Atchley, A. A. 1986. CRC Handbook of proximate analysis of higher plants. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Erquínigo, F. 1970. Biología floral de la *quinoa*. Tesis Ing. Agr., Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Puno, Perú.
- Espíndola, G. y Rodríguez, J. 1988. Respuestas fisiológicas y del rendimiento de la *quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd) a déficit hídrico. *Agrociencias* 74: 297-312.
- Etchevers, B. J. y Ávila, P. 1981. Efecto de la fecha de siembra, distancia entre surco y ecotipos sobre el rendimiento y comportamiento de *quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd) en Chillan. *Ciencia e investigación Agraria* 8: 1, 19-26.
- FAO / WHO / UNU (1985). Energy and protein requirements. World Health Organization, Geneva.
- Font Quer, P. 1978. *Botánica pintoresca*. Ed. Ramón Sopena. España. pp. 431-450.
- Galwey, N. W. 1989. Exploited plants-*quinoa*. *Biologist* 36: 267-274.
- Gandarillas, H. 1979a. Mejoramiento genético. In: *Quinoa y Kañiwa* (Eds. Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, R., Otazu, V., Rea, J., Salas, B. and Zanabri, E.), pp. 65-82. CIID/IICA.
- Gandarillas, H. 1979b. Botánica. In: *Quinoa y Kañiwa* (Eds. Tapia, M., Gandarillas, H., Alandia, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, R., Otazu, V., Rea, J., Salas, B. and Zanabri, E.), pp. 20-44. CIID/IICA.
- Gandarillas, S. C. H. y Espíndola, G. 1981. Relación entre el rendimiento y la forma de la panoja en la *quinoa*. *Turrialba* 31: 4, 385-388.
- García, E. 1989. *Apuntes de Climatología*. 6ta. Ed. LARIOS. México. 155 p.

- Gee, J. M., Price, K. R., Ridout, C. L., Wortley, G. M. and Hurrell, R. F. 1993. Saponins of *quinoa* (*Chenopodium quinoa*): Effects of processing on their abundance in *quinoa* products and their biological effects on intestinal mucosal tissue. *J. Sci. Food Agric.* 63: 201-209.
- George, A. J. 1965. Legal status and toxicity of saponins. *Food Cosmet. Toxicol.* 3. 85-91.
- Grieve, M. 1995. *Chenopodiums*. A modern herbal home page. Electric Newt. UK., pp.1-5.
- GTZ, IICA, INIAP, ERPE. 2001. Manual de Producción de *quinua* de calidad en el Ecuador.
- Heiser, C.B. and Nelson, D.C. 1974. On the origin of the cultivated *Chenopods* (*Chenopodium*). *Genetic* 78: 503-505.
- Hunziker, A.T. 1952. Los pseudocereales de la agricultura indígena de América. Acme Agency, Buenos Aires, pp. 1-104.
- Ignacio, J. and Vera, R. 1976. Observación durante las diferentes horas del día, efectuada en *quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd.). In: Proceedings from Segunda Convención Internacional de *Quenopodiaceae*, Potosí, Bolivia, pp. 102-104.
- Isquierdo, J., Roca, W., Scannerini, S. and Bakes, A. 1997. Proceedings of the Symposium on plant biotechnology as a tool for the exploitation of mountain lands. Turin, Italy. pp. 25-30.
- Jacobsen, S. E. and Ramírez, D. 1986. *Quinoa* en Sydamerikansk Proteinfgrøde. *Agrologist Tidsskrift Marken* 12: 23-25.
- Jacobsen, S.E. and Stolen, O. 1993. *Quinoa*-morphology, phenology, and prospects for its production as a new crop in Europe. *Eur. J. Agron.* 2: 19-29.
- Jacobsen, S. E., Jorgensen, I. and Stolen, O. 1994. Cultivation of *quinoa* (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *Journal of Agricultural Science, Cambridge.* 122:47-52.
- Jasso, R. D., Angulo, S. J. L. and Rodríguez, G. R. 2000. Correlation and path coefficient analyses of the agronomic trait of a native population of guayule plants. *Industrial Crops and Products.* 14: 93-103.
- Jenkins, D. 1988. Carbohydrates (B) dietary fiber. In: Shil, M. and Young, V. (eds). *Modern nutrition in health and disease.* Lea and Febiger. Philadelphia. pp. 52-71.

- Kent, N. L. 1984. Technology of Cereals. Pergamon press, Oxford, UK, 3rd edn, pp. 125-7, 181.
- Koziol, M. J. 1990a. Afrosimetric estimation of threshold saponin concentration for bitterness in *quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd). J. Sci. Food Agric. 54: 211-219.
- Koziol, M. J. 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of *Chenopodium quinoa* Willd. Journal of Food Composition and Analysis. 5: 35-68.
- Koziol, M. J. 1993. *Quinoa*: A potential new oil crop. In: Janick, J. and Simon, J. E. (eds) New Crops. Wiley, New York, USA. pp. 328-336.
- Kozlowski, T. T. 1983. Water deficit and plant growth. Vol. VII. Additional woody crop plants. Academic Press Inc., N.Y. 250 pp.
- Kramer, P. J. 1983. Water deficits and plant growth. In: Water Relations of Plants. Dept. of Botany, Duke University, Durhan, N. Caroline. Academic Press Inc.
- Lewis, G. E. and Knight, C. W. 1982. Rapeseed response to seeding rate, row spacing and nitrogen application. Agroborealis 14: 50-51.
- Losch, R. and Tenhunen, J. O. 1981. Stomatal responses to humidity phenomenon and mechanism. In: Stomatal Physiology. P.G. Jarvis, and T. A. Mansfield (eds), Cambridge University Press.
- Loveys, B. R. and Kriedemann, P. E. 1973. Rapid changes in abscisic acid-like inhibitors following alterations in vine leaf water potential. Physiol. Plant. 28: 476-79.
- Ma, W. W., Heinstein, P. F. and McLaughlin, J. L. 1989. Additional toxic, bitter saponins from the seeds of *Chenopodium quinoa*. Journal of Natural Products 52: 1132-1135.
- Mastebroek, H. D., Limburg, H., Gilles, T. and Marvin, H. J. P. 2000. Occurrence of sapogenins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). J. Agric. Food Chem. 38: 205-208.
- May, L. H. y Milthorpe, F. L. 1962. Drought resistance of crop plants. Field Crop Abstracts 15: 3, 171-179.
- Meyer, B. N., Heinstein, P. F., Radosevich, M. B., Delfel, N. E. and McLavghlin, J. L. 1990. Bioactivity – directed isolation and characterization of quinoside A: One of the toxic / bitter principles of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd). J. Agric. Food Chem. 38: 205-208.

- Muñoz, O. A. 1983. Transpiración, fotosíntesis, eficiencia en el uso de agua y potencial hídrico en maíces resistentes a sequía y a heladas. *Agrociencia* 51: 115-153.
- Nelson, D. C. 1968. Taxonomy and origins of *Chenopodium quinoa* and *Chenopodium nuttalliae*. Ph.D. thesis, Indiana University. (University microfilms, Ann Arbor, Mich., no. 69-4792).
- Ochoa, J. and Peralta, E. 1988. Evaluación preliminar morfológica y agronómica de 153 ecotipos de *quinoa* en Santa Catalina, Pinchincha. In: Proceedings from VI Congreso Internacional sobre cultivos Andinos, Quito, Ecuador, pp. 137-142.
- Oelke, E. A., Putnam, D. H., Teynor, T. M. and Oplinger, E. S. 1992. *Quinoa*. Alternative field crops manual. University of Wisconsin – Extension, Cooperative Extension University of Minnesota. USA.
- Pallas, J. E., Michel, B. E. and Harris, D. G. 1967. Photosynthesis, transpiration, leaf temperature, and stomatal activity of cotton plants under varying water potentials. *Plant Physiol.* 42: 76-88.
- Price, K. R., Johnson, I. T., and Fenwick, G. R. 1987. The chemistry and biological significance of saponins in foodstuffs and feedingstuffs. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 26: 27-135.
- Quispe, J. I., Fernández, C. and Cortes, G. 1976. Contribución al estudio morfológico del grano de *quinoa*. In: Segunda Convención Internacional de *Quenopodiáceas*, Potosí, Bolivia.
- Rea, J. 1948. Observaciones sobre biología floral y estudio de saponinas en *Chenopodium quinoa* Willd. *Seria técnica* 3, p. 17.
- Rea, J. 1969. Biología floral de la *quinoa* (*Chenopodium quinoa*). *Turrialba* 19: 91-96.
- Renard, C., Wende, G. and Booth, E. J. 1999. Cell wall phenolics and polysaccharides in different tissues of *quinoa* (*Chenopodium quinoa* Willd). *J. Sci Food Agric.* 79: 2029-2034.
- Risi, J. and Galwey, N. W. 1991. Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of *quinoa* (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. *Journal of Agricultural Science, Cambridge.* 117: 325-332.

- Robinson, D. S. 1991. Bioquímica y valor nutritivo de los alimentos. Ed. Acribia. España. pp. 35-50.
- Romero, A. 1976. El cultivo de la *quinoa* en la sabana de Bogotá. In: Mesa redonda sobre investigación de la *quinoa* en Colombia. 1976. Bogotá, Colombia, Instituto colombiano de Bienestar Familiar. 14-16 pp.
- Romero R., J. A. 1981. Evaluación de las características físicas, químicas y biológicas de ocho variedades de *quinua* (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis de Maestro, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Ruales, J. and Nair, B. M. 1992a. Nutritional quality of the proteins in *quinoa* (*Chenopodium quinoa*, Willd). Plant Foods For Human Nutr. 42: 1-11.
- Ruales, J. and Nair, B. 1992b. Content of fat, vitamins and minerals in *quinoa* (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. Food Chem.(submitted).
- Ruales, J. and Nair, B. M. 1993. Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in *quinoa* (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. Food Chemistry 48: 137-143.
- Ruíz, W. A. and Amaya, J. 1979. Métodos cuantitativos para determinar saponinas en *quinoa*. (*Chenopodium quinoa* Willd, cultivar Kancolla). Bol. Soc. Quím. del Perú, 45: 4, 387-94.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación); SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2002. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos, por Estado. pp. 112-720.
- Schlick, G. and D. L. Bubenheim. 1996. *Quinoa*: Candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems. In: J. Janick (ed), progress in New Crops. ASHS Press, Arlington, VA. pp. 632-640.
- Simmonds, N.W. 1965. The grain *Chenopods* of the Tropical American Highlands. Economic Botany 19: 223-235.
- Simmonds, N. W. 1971. The breeding system of *Chenopodium quinoa*. I. Male sterility. Heredity 27: 73-82.

- Solíz, G. J. 2002. Producción de materia seca y concentración de proteína y saponinas en *quinua* (*Chenopodium quinoa* W.) para aplicación forrajera, bajo diferentes déficit de humedad en el suelo y ambientes. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Septiembre 2002. 110 pp.
- Tapia, M. 1979. El cultivo de la *quinua*. En: Manual de la agricultura Andina. IICA, IBTA, La Paz, Bolivia. pp. 106-115.
- Triboli, A . M. and Robelin, M. 1983. Influence de la densité et de la fertilisation azotée sur le rendement et les composants du rendement du colza d’hiver. In : 6 th International Rapeseed Conference, Paris, France, p. 298.
- Valencia, D. C. 1995. Fundamentos de fitoquímica. Ed. Trillas. México. pp. 214-223.
- Ward, S. M. 2000. Response to selection for reduced grain saponin content in *quinua* (*Chenopodium quinoa* Willd). Field Crops Research 68: 157-163.

VIII APÉNDICE

Cuadro A1. Número medio de plantas por metro lineal y densidad de población (ha) en la etapa de panojamiento de *quinua* (67 DDS).

Repeticiones	T1	T2	T3	Densidad de población T1	Densidad de población T2	Densidad de población T3
R I	43	23.5	15.0	1,228,571.4	671,428.57	428,571.43
R II	18	23.1	11.1	514,285.7	660,000.0	317,142.86
R III	24.5	23.0	17.6	700,000.0	657,142.86	502,857.14
R IV	20.5	26.6	16.0	585,714.2	760,000.0	457,142.86
R V	26.16	17.33	11.66	747,428.5	495,142.86	333,142.86
Media	26.43	22.70	14.30	755,199.9	648,742.85	407,771.43

Cuadro A2. Número medio de ramas vegetativas y ramas florales de *quinua* en la etapa de panojamiento (67 DDS).

Repeticiones	Ramas vegetativas			Ramas florales		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
R I	10.49	10.28	10.43	6.83	7.7	7.41
R II	8.08	10.18	7.86	8.13	7.72	9.12
R III	9.18	9.54	9.2	10.17	10.16	10.08
R IV	9.52	9.33	9.17	9.65	8.47	8.26
R V	8.18	10.38	6.96	8.74	9.39	9.26
Media	9.09	9.942	8.724	8.704	8.688	8.832

Cuadro A3. Número medio de panoja terminal de la planta de *quinua* en la etapa de panojamiento (67 DDS).

Repeticiones	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
R I	1.03	1.0	1.02
R II	1.00	1.06	1.03
R III	1.08	1.12	1.02
R IV	1.05	1.04	1.00
R V	1.0	1.04	1.03
Media	1.032	1.052	1.02

Cuadro A4. Altura media de plantas de *quinua* (m) en la etapa de ramificación (48 DDS), panojamiento (67 DDS) y floración avanzada (84 DDS).

	48 DDS (Ramificación)		
Repeticiones	T1	T2	T3
R I	0.553	0.510	0.436
R II	0.368	0.440	0.285
R III	0.559	0.614	0.513
R IV	0.610	0.648	0.499
Media	0.52	0.55	0.43
	67 DDS (Panojamiento)		
R I	1.09	1.04	0.91
R II	0.83	1.01	0.78
R III	1.23	1.25	1.11
R IV	1.30	1.33	1.18
R V	1.25	1.24	1.02
Media	1.14	1.17	1.0
	84 DDS (Floración avanzada)		
R I			
R II	1.43	1.27	1.41
R III			1.18
R IV	1.40	1.58	1.47
R V		1.47	1.31
Media	1.41	1.44	1.34

Cuadro A5. Peso verde (kg) cosechado en 2 m² y rendimiento de materia verde (kg ha⁻¹) de *quinua* en la etapa de floración avanzada (84 DDS).

	Peso verde cosechado en 2m² (kg)	Rendimiento de materia verde (kg ha⁻¹)
R I T1	7.1	35,500
R II T1	5.95	29,750
R III T1	7.5	37,500
R IV T1	8.6	43,000
R V T1	4.35	21,750
Media		33,500
R I T2	5.0	25,000
R II T2	6.9	34,500
R III T2	8.85	44,250
R IV T2	8.5	42,500
R V T2	4.5	22,500
Media		33,750
R I T3	6.5	32,500
R II T3	3.75	18,750
R III T3	6.1	30,500
R IV T3	6.725	33,625
R V T3	4.4	22,000
Media		27,475

Cuadro A6. Peso seco medio por órgano y peso seco medio total de la planta de *quinua* en la etapa de floración avanzada (84 DDS).

	Peso seco de tallo + ramas (g)	Peso seco de hojas + pecíolo	Peso seco de GPRF (g)	Peso seco de GPT (g)	Peso seco total (g)
R I T1	10.723	3.981	1.246	1.125	16.985
R II T1	24.85	9.066	2.3	2.65	38.866
R III T1	25.262	8.325	2.95	2.452	38.989
R IV T1	23.14	8.55	2.425	2.71	36.825
R V T1	18.0	6.55	2.1	1.35	28.0
Total	101.975	36.382	11.021	10.287	159.665
Media	20.395	7.2764	2.2042	2.0574	31.93
R I T2	10.385	2.856	0.733	1.11	15.084
R II T2	10.1	3.2	0.737	1.775	15.812
R III T2	22.05	7.925	2.75	2.55	35.275
R IV T2	21.462	6.6	2.58	2.726	33.368
R V T2	11.88	4.29	2.805	1.65	20.625
Total	75.877	24.871	9.605	9.811	120.164
Media	15.1754	4.9742	1.921	1.9622	24.0328
R I T3	14.018	5.152	1.972	1.65	22.792
R II T3	16.916	6.833	1.8	0.783	26.332
R III T3	19.25	7.65	1.675	3.975	32.55
R IV T3	26.716	9.933	3.133	2.316	42.098
R V T3	15.42	5.797	1.98	1.735	24.932
Total	92.32	35.365	10.56	10.459	148.704
Media	18.464	7.073	2.112	2.0918	29.7408

Cuadro A9. Procedimiento de cálculo indicado en materiales y métodos (pagina 39) para determinar el rendimiento de materia seca por unidad experimental del tratamiento 3, así como el porcentaje de participación de los órganos de la planta de *quinua* sobre el peso seco total en la etapa de floración avanzada (84 DDS).

Tratamiento 3	Peso seco de tallo + ramas (g)	Peso seco de hojas + pecíolo (g)	Peso seco de GPRF (g)	Peso seco de GPT (g)	Peso seco total (g)	Número de plantas	Porcentaje de participación de las partes de la planta			
							1 (kg)	2 (kg)	3 (kg)	4 (kg)
R I	14.018	5.152	1.972	1.65	22.792	5				
R II	16.916	6.833	1.8	0.783	26.332	3				
R III	19.25	7.65	1.675	3.975	32.55	4				
R IV	26.716	9.933	3.133	2.316	42.098	3				
R V	15.42	5.797	1.98	1.735	24.932	4				
R I	70.09	25.76	9.86	8.25	113.96					
R II	50.748	20.499	5.4	2.349	78.996					
R III	77.0	30.6	6.7	15.9	130.2					
R IV	80.148	29.799	9.399	6.948	126.294					
R V	61.68	23.188	7.92	6.94	99.728					
							Porcentaje de participación de las partes de la planta			
	1 (kg)	2 (kg)	3 (kg)	4 (kg)	(kg)	Peso seco (kg ha⁻¹)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)
R I	0.7009	0.2576	0.0986	0.0825	1.1396	5,698.0	61.5	22.6	8.7	7.2
R II	0.50748	0.20499	0.054	0.02349	0.78996	3,949.8	64.24	25.95	6.84	2.97
R III	0.770	0.306	0.067	0.159	1.302	6,510.0	59.14	23.5	5.15	12.21
R IV	0.80148	0.29799	0.09399	0.06948	1.26294	6,314.7	63.46	23.6	7.44	5.5
R V	0.6168	0.23188	0.0792	0.0694	0.99728	4,968.4	61.85	23.25	7.94	6.96
Media						5,488.18	62.038	23.78	7.214	6.968

GPRF = Glomérulo de la Panoja de Ramas Florales

GPT = Glomérulo de la Panoja Terminal

Cuadro A10. Análisis de varianza para la variable número de plantas por metro lineal de *quinua* en la etapa de panojamiento (67 DDS).

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	388.134277	194.067139	5.4226	* 0.032
BLOQUES	4	174.696289	43.674072	1.2203	0.374
ERROR	8	286.309082	35.788635		
TOTAL	14	849.139648			

C.V. = 28.30%

Cuadro A11. Análisis de varianza para la variable número de ramas vegetativas de *quinua* en la etapa de panojamiento (67 DDS).

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	3.905518	1.952759	2.8149	NS 0.118
BLOQUES	4	6.544434	1.636108	2.3585	0.140
ERROR	8	5.549683	0.693710		
TOTAL	14	15.999634			

C.V. = 9.00%

Cuadro A12. Análisis de varianza para la variable número de ramas florales de *quinua* en la etapa de panojamiento (67 DDS).

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	0.062256	0.031128	0.0909	NS 0.913
BLOQUES	4	12.967651	3.241913	9.4693	0.005
ERROR	8	2.738892	0.342361		
TOTAL	14	15.768799			

C.V. = 6.69%

Cuadro A13. Análisis de varianza para la variable altura de planta de *quinua* en la etapa de ramificación (48 DDS).

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	0.030982	0.015491	18.0180	** 0.004
BLOQUES	3	0.088663	0.029554	34.3760	0.001
ERROR	6	0.005158	0.000860		
TOTAL	11	0.124803			

C.V. = 5.83%

Cuadro A14. Análisis de varianza para la variable altura de planta de *quinua* en la etapa de panojamiento (67 DDS)

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	0.085054	0.042527	17.5875	** 0.002
BLOQUES	4	0.305777	0.076444	31.6141	0.000
ERROR	8	0.019344	0.002418		
TOTAL	14	0.410175			

C.V. = 4.45 %

Cuadro A15. Análisis de varianza para la variable densidad de población de *quinua* en la etapa de panojamiento (67 DDS).

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	316844015616	158422007808	5.4226	* 0.032
BLOQUES	4	142609481728	35652370432	1.2203	0.374
ERROR	8	233721298944	29215162368		
TOTAL	14	693174796288			

C.V. = 28.30%

Cuadro A16. Análisis de varianza para la variable rendimiento de materia verde de *quinua* en la etapa de floración avanzada (84 DDS).

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	126231552.0	63115776.0	2.3675	NS 0.155
BLOQUES	4	617921536.0	154480384.0	5.7945	0.018
ERROR	8	213277696.0	26659712.0		
TOTAL	14	957430784.0			

C.V. = 16.35%

Cuadro A17. Análisis de varianza para la variable rendimiento de materia seca de *quinua* en la etapa de floración avanzada (84 DDS).

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	2	3578816.0	1789408.0	2.3121	NS 0.161
BLOQUES	4	14201920.0	3550480.0	4.5877	0.032
ERROR	8	6191360.0	773920.0		
TOTAL	14	23972096.0			

C.V. = 14.46%