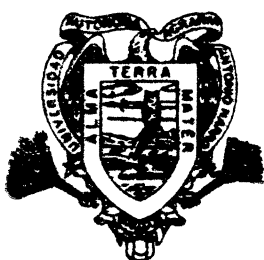


PRODUCCION DE MATERIA SECA Y CONCENTRACION DE
PROTEINA Y SAPONINAS EN QUINUA (*Chenopodium
quinoa* W.) PARA APLICACION FORRAJERA, BAJO DIFERENTES
DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO Y AMBIENTES

JOSE BERNARDO SOLIZ GUERRERO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: SISTEMAS DE PRODUCCION



Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

SEPTIEMBRE DE 2002



13795

BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.A.N.

**PRODUCCION DE MATERIA SECA Y CONCENTRACIÓN DE
PROTEINA Y SAPONINAS EN QUINUA (*Chenopodium quinoa* W.)
PARA APLICACION FORRAJERA, BAJO DIFERENTES DEFICIT DE
HUMEDAD EN EL SUELO Y AMBIENTES**

JOSE BERNARDO SOLIZ GUERRERO

T E S I S

**Presentada como requisito parcial para
obtener el grado de:**

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



**Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"
Programa de Graduados**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
SEPTIEMBRE DE 2002**

13795



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCION DE POSTGRADO

PRODUCCION DE MATERIA SECA Y CONCENTRACION DE PROTEINA Y
SAPONINAS EN QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) PARA APLICACIÓN
FORRAJERA, BAJO DIFERENTES DEFICIT DE HUMEDAD EN EL SUELO Y
AMBIENTES

TESIS

POR

JOSE BERNARDO SOLIZ GUERRERO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: SISTEMAS DE PRODUCCION

COMITE PARTICULAR

Asesor principal:



Dra. Diana Jasso Cantú

Asesor:



Dr. Raúl Rodríguez García

Asesor:



Dr. Edmundo Peña Cervantes

Asesor:

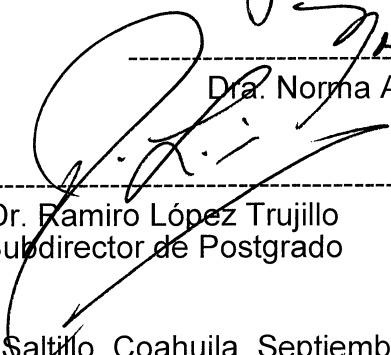


Dr. Heriberto Díaz Solís

Asesor:



Dra. Norma A. Ruiz Torres



Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Septiembre 2002

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis corresponde a los estudios realizados con una beca otorgada por el gobierno de México, a través del Instituto Mexicano de Cooperación Internacional (IMEXCI) de la Secretaría de Relaciones Exteriores.

Expreso mi reconocimiento a la Facultad de Agronomía de La Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Bolivia, por brindarme la oportunidad para proseguir y culminar con mis objetivos propuestos.

Al Comité particular conformado por los doctores: Diana Jasso Cantú, Raúl Rodríguez García, Edmundo Peña Cervantes, Heriberto Díaz Solís, Norma Ruiz Torres, por su colaboración, revisión y contribuciones técnicas.

Un especial reconocimiento a mi asesor principal, Dr. Diana Jasso C., por su atención, colaboración, revisión y aportes de conocimientos para la ejecución de este trabajo. Al Dr. Raúl Rodríguez G., mi gratitud por su valiosa asesoría en la planeación de la investigación, contribución de conocimientos y apoyo técnico.

Al Dr. Edmundo Peña C., por sus observaciones constantes. Al Dr. Heriberto Díaz S. por su comprensión y empuje. A la Dra. Norma Ruiz T., mi agradecimiento especial por su atención, revisión y observaciones del mismo.

Al personal Académico del Laboratorio de Fitoquímica por la asistencia en el análisis de muestras: T.A. Ma. Gpe. Moreno, T.A. Ma. L. Rodriguez, T.A. Edith Chaires C; a los Sres. Fco. Cruz, A. Rangel, J. Cabrera, J. Alvarado y J. Nieto, por sus servicios. A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por acogerme y a los maestros de la UAAAN por su contribución en mi formación.

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con mucho amor y cariño a Isabel del Rosario Ureña de Soliz, mi esposa por su compañía, comprensión, tolerancia y apoyo en todo instante; sin ello, vanos hubiesen sido los esfuerzos desplegados hasta el presente. A mis dos tesoros de mi vida, José Rodriguito y Marcelita quienes constituyen la razón de mi existencia. A mis padres Bernabé y Dionisia por la educación que supieron inculcarme, a mis hermanas y hermanos quienes alentaron desde la distancia mi superación.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	ix
CAPITULO I.	
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Planteamiento de las hipótesis	4
CAPITULO II.	
REVISION DE LITERATURA	5
Caracteres botánicos de la quinua	5
Características agronómicas	6
Fases fenológicas de la quinua	9
Producción de grano y materia seca de quinua	12
Composición nutritiva	13
Contenido de saponinas	16
Requerimientos hídricos	20
Alternativas forrajeras de la quinua	22
Eficiencia en el uso de agua	24
Efectos de los ambientes	26
CAPITULO III.	
MATERIALES Y METODOLOGIA	30
Experimento en el año 2000	30
Distribución de los tratamientos	32
Establecimiento del experimento	32
Manejo del cultivo	34
Aplicación de riegos	35
Variables estudiadas	36
Materia verde y seca.....	37

Análisis químico del contenido de proteínas	37
Análisis químico de concentración de saponinas	38
Eficiencia en el uso del agua	38
Caracteres morfológicas de las variedades de quinua	40
Análisis estadístico de la información	40
Experimentos en el año 2001	43
Localización del experimento	44
Distribución de los tratamientos en el campo.	45
Establecimiento del experimento	45
Contenidos de Humedad	46
Manejo del cultivo	47
Evaluación del experimento	47
Aspecto agronómicos complementarios	48
Análisis estadístico de la información	49
Efectos de ambientes	50
CAPITULO IV.	
RESULTADOS Y DISCUSION	52
Experimento en el año 2000	52
Materia verde y materia seca	53
Contenido de proteína	57
Contenidos de saponinas	59
Eficiencia en el uso del agua.	61
Experimento del año 2001	63
Siembra de primavera	63
Siembra de verano	71
Siembra de otoño	73
Eficiencia en el uso del agua	78
Análisis del efecto de los ambientes	80
Caracterización agronómica de la quinua	85
Aspectos agronómicos	87
CONCLUSIONES	89
RESUMEN	91
LITERATURA CITADA.	94
APENDICE	103

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
2.1 Composición nutricional de alimentos de plantas forrajeras y de la quinua (grano y planta)	17
3.1 Resultados del análisis físico-químico del área experimental en Jaguey de Ferniza, donde se estableció la quinua en el 2000	33
3.2 Constantes específicas del área experimental en Jaguey de Ferniza, donde se estableció la quinua en el 2000	33
3.3 Descripción morfológica de dos variedades de quinua con carácter forrajero sometido a diferentes condiciones de manejo en Jaguey de Ferniza y en Buenavista en los años 2000 y 2001	42
4.1 Cuadros medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y seca (MS), contenidos de proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) en tres tratamientos de déficit de humedad, dos variedades de quinua y cinco etapas fenológicas, siembra en Jaguey de Ferniza, 2000.	55
4.2 Eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca y proteína en dos etapas fenológica en quinua	63
4.3 Cuadros medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y seca (MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP), bajo dos niveles de déficit de humedad en el suelo de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas y en dos fechas de siembra 2001 y localidad.	69
4.4 Cuadros medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y seca (MS), contenidos proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) en dos tratamientos de déficit de humedad y dos etapas fenológicas para la variedad Chucara en la tercera siembra en Buenavista, 2001	76

4.5	Eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca y proteína, medido durante dos etapas fenológicas en quinua en Buenavista, 2001	80
4.6	Cuadrados medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y seca (MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) en dos etapas fenológicas a dos niveles de humedad, bajo cuatro ambientes para la variedad Chucara	81
4.7	Comparación de medias de materia verde (MV), materia seca (MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) del cultivo de quinua Var. Chucara en cuatro ambientes, dos déficit de humedad y dos etapas de desarrollo	83
4.8	Valores promedios diarios durante el ciclo de la temperatura Media del aire (T), evaporación (EV), insolación (Ins), radiación, valores totales de lluvia (LI) y evapotranspiración (Et)	84
4.9	Caracterización del comportamiento agronómico de dos variedades de quinua bajo condiciones locales en función de la disponibilidad de humedad en el suelo	86

INDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
4.1 Evolución del contenido de humedad en el suelo o abatimiento de la humedad disponible (AHD) para los tratamientos establecidos en el cultivo de quinua en El Jaguey de ferniza, 2000	54
4.2 Rendimiento de materia verde (MV) de dos variedades de quinua en tres déficit de humedad en el suelo en Jaguey de Ferniza.	56
4.3 Rendimiento de materia seca (MS) de dos variedades de quinua en tres déficit de humedad en el suelo en Jaguey de Ferniza, 2000	56
4.4 Contenido de proteína (%) de dos variedades de quinua bajo tres déficit de humedad en el suelo, en Jaguey de Ferniza 2000.	58
4.5 Valores medios de concentración de saponinas de dos variedades de quinua bajo tres déficit de humedad en el suelo. Jaguey de Ferniza, 2000	60
4.6 Evolución del contenido de humedad en el suelo o abatimiento de la humedad disponible (AHD) para los tratamientos establecidos en el cultivo de quinua en la siembra primavera 2001 en Buenavista, Saltillo	65
4.7 Rendimiento de materia verde (MV) de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas bajo dos déficit de humedad en el suelo en tres fechas de siembra en Buenavista.	65
4.8 Rendimiento de materia seca (MS) de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas bajo dos déficit de humedad en el suelo en tres fechas de siembra en Buenavista	66

4.9	Contenidos de proteína (%) de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas a dos déficit de humedad en el suelo en tres fechas de siembra en Buenavista.	68
4.10	Concentración de saponinas (%) de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas a dos déficit de humedad en el suelo en tres fechas de siembra en Buenavista.	68
4.11	Evolución del contenido de humedad en el suelo o abatimiento de la humedad disponible (AHD) para los tratamientos establecidos en cultivo de quinua en la siembra de verano de 2001 en Buenavista, Saltillo.	71
4.12	Evolución del contenido de humedad en el suelo o abatimiento de la humedad disponible (AHD) para los tratamientos establecidos en el cultivo de quinua en la siembra de otoño, 2001. Buenavista.	74
4.13	Efecto del potencial hídrico en la concentración de saponinas en quinua bajo dos niveles de déficit de humedad bajo y alto en Buanavista, Saltillo.	88

COMPENDIO

Producción de Materia Seca y Concentración de Proteína y Saponinas en Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) para Aplicación Forrajera, bajo Diferentes Déficit de Humedad en el Suelo y Ambientes

POR

José Bernardo Soliz Guerrero

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
AREA: SISTEMAS DE PRODUCCION

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO, SEPTIEMBRE 2002

Dr. Diana Jasso Cantú - Asesor -

Palabras claves: Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.), déficit de humedad, Sajama, Chucara, etapas fenológicas, materia verde y seca, saponinas, proteínas, eficiencia en el uso de agua.

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) por su calidad nutritiva y por su amplio rango de adaptación a los diferentes ecosistemas, podría constituir una alternativa en la producción de forrajes en las zonas semiáridas; por ende es de interés estudiar su comportamiento bajo diferentes condiciones de manejo. Los objetivos fueron: i) Determinar la influencia del déficit de humedad en el suelo en la producción de materia verde y seca, contenidos de proteínas y saponinas en las etapas de desarrollo del cultivo para identificar la etapa de corte más

apropiada para aplicación forrajera; ii) Evaluar la influencia de los ambientes en la producción de materia verde y seca, proteínas y saponinas bajo dos déficit de humedad en el suelo y en dos etapas de desarrollo para identificar el ambiente más favorable en la producción de forrajes y iii) determinar la eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca y proteína.

La evaluación del cultivo se realizó durante dos años, en 2000 en El Jaguey de Ferniza se sembró, bajo el diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones; tres déficit de humedad: bajo (Db), medio (Dm) y alto (Da); variedades Sajama y Chucara y cortes en las etapas: vegetativa inicial (Vi), ramificación (R), panojamiento (Pa), floración (F) y llenado de grano (LG) y en 2001 en Buenavista (UAAAN) se realizaron tres siembras en primavera, verano y otoño. En Primavera y verano se utilizó el mismo diseño del 2000; dos déficit de humedad (Db y Da); variedades y cortes en Pa y F. En Otoño se sembró la var. Chucara bajo el diseño de bloques al azar; con cuatro repeticiones, dos déficit de humedad (Db y Da) y cortes en Pa y F. Para ambientes se empleó el diseño factorial (4x2x2); cuatro siembras; dos déficit de humedad (Db y Da); cortes en Pa y F. Las variables fueron: materia verde y seca (MV y MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP), eficiencia en el uso de agua (EUA).

En Jaguey se registraron diferencias en déficit de humedad y en etapas ($P < 0.01$) para MV y MS. La MV producida en Pa, F y LG en Db fueron: 41,737, 61,323, 62,934 kg/ha y 5,859; 10,707; 13,490 kg/ha de MS; en Dm y Da, la reducción con respecto a Db fue de 33% y 39% de MV y MS, respectivamente.

La PC a través de las etapas se redujo de 24.2% a 14.5%, en Pa y F contenían 17.9 y 15.9%, las diferencias ($P<0.01$) se registraron en etapas. En SAP la diferencia ($P<0.05$) fue en déficit de humedad y los valores medios en R, F y LG fueron: 0.30%, 0.56% y 0.31%, respectivamente. La EUA en Pa para MS en Db, Dm y Da fueron 1.90, 1.27 y 1.35 kg/m^3 , respectivamente y la media de PC fue 0.28 kg/m^3 ; en F aumentaron en 25% (Db), 60% (Dm) y 55% (Da).

En las tres siembras hubo diferencias ($P<0.01$) en déficit de humedad y en etapas para MV y MS; en Pa y F la producción media fue en MV de 47,116 y 53,809 kg/ha y en MS de 8,574 y 12,530 kg/ha , respectivamente; en Da se redujo en 36% de MV y 33% de MS. En PC hubo diferencias ($P<0.01$) en etapas para Pa (17.5%) y F (14.9%); en déficit de humedad para SAP existió diferencias ($P<0.05$) y los valores en Db fueron: 0.64% (Pa) y 0.77% (F) y en Da 0.72% (Pa) y 0.96% (F). La EUA en Db predominó con respecto a Da en las tres siembras con 2.4 y 3.1 kg/m^3 en Pa y F; la media de PC registró 0.42 kg/m^3 .

En Ambientes se presentaron diferencias ($P<0.01$) para MV, MS y SAP y también en déficit de humedad para MV y MS; en etapas existieron diferencias ($P<0.01$) para todas las variables. La prueba de medias (DMS 0.05) detectó que primavera y verano son similares para MV y MS y son diferentes al de Jaguey (2000) y Otoño; en déficit de humedad se identificó mayor producción de MV y MS en Db y en etapas se establece que la PC es mayor en Pa que en F.

ABSTRACT

Dry Matter Production and Protein and Saponins Concentration in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) for Forage Application, under Different Soil Humidity Water Deficits and Environments

BY

José Bernardo Soliz Guerrero

DOCTOR IN AGRICULTURAL SCIENCES
AREA: PRODUCTION SYSTEMS

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO, SEPTEMBER 2002

Dr. Diana Jasso Cantú - Advisor -

Key words: Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.), humidity deficits, Sajama, Chucara, phenology stage, harvest, green and dry matter, saponins, proteins, water use efficiency.

The quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) for its nutritional quality and its wide range of adaptation to different ecosystems, it could constitute an alternative in the forage production semi-arid areas; therefore it is of interest to study its behavior under different management conditions. The objectives were: i) To determine the influence of the soil humidity deficit in the production of green and dry matter and proteins and saponins contents in different crop phenology stages in order to identify the most appropriate stage for forage application; ii) To evaluate the environment effect in the green and dry matter production and

proteins and saponins contents, under two humidity deficit and two phenological stages to identify the most favorable environment for forage production and iii) To determine the water use efficiency for dry matter and protein production.

The crop evaluation was carried out during two years, in El Jaguey de Ferniza it was sown in 2000, under an split plot design with four replications; three soil humidity deficit:: low (Db), medium (Dm) and high (Da); Sajama and Chucara varieties; five harvest stages: initial vegetative (Vi), ramification (R), panicle (Pa), flowering (F) and grain filling (LG); and the in spring, summer and autumn of 2001 it was planted in Buenavista, Saltillo (UAAAN). In spring and summer it was used the same design than in 2000 with two soil humidity deficit (Db and Da); two varieties with harvests in Pa and F. The Chucara was sown in autumn under a complete block desing, four replications, two soil humidity deficit (Db and Da); two harvest dates in Pa and F. For environments was a factorial design (4x2x2) was used; four sowing dates; two soil humidity deficit (Db and Da) with harvests in Pa and F. The variables were: green and dry matter (MV and MS), row protein (PC) and saponins (SAP), water use efficiency (WUE).

In El Jaguey there were differences in soil humidity deficit and harvest stages ($P < 0.01$) for MV and MS. The MV production in Pa, F and LG in Db was: 41,737, 61,323 and 62,934 kg/ha, respectively and 5,859, 10,707 and 13,490 kg/ha for MS, respectively; in Dm and Da the means reduction with regard to Db was of 33% and 39% of MV and MS, respectively. The PC through the stages decreased from 24.2% to 14.5%; in Pa and F it contained 17.9 and 15.9%.

respectively. Significant differences ($P < 0.01$) were found in stages. In SAP significant differences ($P < 0.05$) were in soil humidity deficit and the means values in R, F and LG were: 0.30%, 0.56% and 0.31%, respectively. The WUE in Pa for MS in Db, Dm and Da were 1.90, 1.27 and 1.35 kg/m^3 respectively and the PC was 0.28 kg/m^3 and the WUE in F increased in 25% (Db) and 55% (Da).

In the three planting dates there were differences ($P < 0.01$) in soil humidity deficit and in harvest stages for MV and MS; in Pa and F the mean production was in MV 47,116 and 53,809 kg/ha respectively and in MS 8,574 and 12,530 kg/ha , respectively; the decreased in Da was 36% of MV and 33% of MS. In PC there were differences ($P < 0.01$) in stages for Pa (17.5%) and F (14.9%); in soil humidity deficit for SAP there were differences ($P < 0.05$) and the values in Db were: 0.64% (Pa) and 0.77% (F) and in Da gives 0.72% (Pa) and 0.96% (F). The WUE prevailed in Db with regard to Da in the three planting dates with 2.4 and 3.1 kg/m^3 in Pa and F. PC registered a mean of 0.42 kg/m^3 .

In environment there were differences ($P < 0.01$) for MV, MS and SAP as well as in soil humidity deficit for MV and MS; in stages there were differences ($P < 0.01$) for all the variables. The means test (DMS 0.05) detected that spring and summer were similar for MV and MS and different from El Jaguey (2000) and Autumn (2001). In Db these was larger MV and MS production and in stages the PC was higher in Pa than in F.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En las zonas semiáridas la producción agrícola bajo temporal resulta insuficiente debido a la escasa precipitación que caracteriza a estas zonas y que tiene una incidencia directa en el desarrollo normal de las plantas y en la baja productividad de los cultivos por unidad de superficie.

Ante esta situación la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), una especie originaria de los Andes representa una alternativa de cultivo para estas zonas, que se caracteriza por tener un amplio rango de adaptación y por ser tolerante a la sequía, por sus requerimientos mínimos de agua durante su ciclo (208.0 mm), y a las condiciones de temperaturas extremas. Además tiene la facilidad de adaptarse en suelos pobres o de escasa fertilidad, así como en suelos alcalinos y salinos.

Por otra parte la quinua posee un buen potencial productivo con un alto contenido de proteína cruda en grano (15.14 por ciento), por lo que se puede considerar como un alimento de elevada calidad desde el punto de vista del valor nutritivo. Una de las principales limitantes del consumo del grano es el

elevado contenido de saponinas que son compuestos glicósidos terpenoides, que producen un sabor amargo en el grano que lo hace poco apetecible.

En las zonas productoras de la región Andina (Bolivia, Ecuador y Perú), por la importancia que tiene entre la población, la quinua es un alimento básico para los agricultores y fuente principal de ingresos económicos, la parte comestible de la planta es la semilla (grano) la cual se puede preparar de una forma variada de platillos, panes y bebidas.

La quinua en sus primeras etapas fenológicas de desarrollo presenta características forrajeras promisorias, ya que es consumida por el ganado; sin embargo, una de las limitaciones que presenta durante su desarrollo es la acumulación gradual de saponinas, por lo que resulta poco apetecible. Otro aspecto negativo que influye en el rechazo de las plantas por el animal, es la rigidez o dureza de sus tallos, que suelen registrarse con frecuencia en las últimas etapas de su desarrollo como consecuencia de la lignificación de las ramificaciones y de las panojas.

Ante la situación de escasez permanente de forrajes que se da en las zonas áridas y semiáridas, la quinua podría constituirse a mediano plazo en una alternativa de provisión de forraje de buena calidad para el ganado en estas zonas, donde la ganadería representa una de las actividades de mayor importancia económica de los productores.

Por los antecedentes señalados, se consideró de interés especial investigar con propósitos forrajeros dos variedades de la especie *quinoa*, con los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Evaluar la producción y calidad forrajera de la quinua bajo diferentes condiciones de manejo como cultivo alternativo para las zonas semiáridas del norte de México.

Objetivos Específicos:

1. Determinar la influencia del déficit de humedad en el suelo en la producción de materia verde y seca, concentración de proteínas y saponinas en las distintas etapas fenológicas de desarrollo del cultivo, para identificar la etapa de corte mas apropiada para aplicación forrajera.
2. Evaluar la influencia de los ambientes sobre la producción de materia verde y seca, concentración de proteínas y saponinas, bajo dos déficits de humedad y en dos etapas de desarrollo para identificar el ambiente mas favorable para producción de materia seca para forraje.
3. Determinar la eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca y proteínas.

Planteamiento de las hipótesis.

- > *Ambientes favorables y bajo déficit de humedad en el suelo favorecen los mayores rendimientos de materia verde y seca y proteína en el cultivo de quinua.*

- > *La concentración de saponinas en las plantas de quinua será menor en condiciones de menor déficit de humedad en el suelo.*

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Caracteres botánicos de la quinua

Aplicando el sistema de clasificación de Cronquist (1977), la quinua corresponde a la siguiente clasificación taxonómica: División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida (Dicots), Subclase Caryophyllidae, Orden Caryophyllales, Familia Chenopodiaceae, Género *Chenopodium*, Especie *quinoa*; la quinua es la especie más diferenciada del reino vegetal por tener una placentación central (Font Quer, 1978; Jones y Luchsinger, 1986). Por su parte Bab y Luchsinger (1986) describieron los caracteres botánicos más comunes de la familia e indicaron que son plantas herbáceas de hojas esparcidas y de superficies glabras de tipo carnosas.

La estructura floral del género *Chenopodium* referido por Strasburguer *et al.* (1965) indican que posee flores pequeñas de perianto sencillo, tépalos membranosos en número de cinco; sus periantos pueden ser tantos como los tépalos, los carpelos por lo general son dos de fruto unilocular; la semilla según Wilson (1981) es de tipo aquenio, posee el embrión corvado helicoidal, formado

por una estructura simple localizado a lo largo de la periferia cubierto por una membrana. Por su parte Peñaloza *et al.* (1992) describieron que alrededor del embrión de la quinua, la endosperma tiene la forma de un anillo, que está ubicado intacto dentro de la semilla, mientras la abertura entre el embrión y la endosperma es apenas de 80 μm .

Con relación a la fórmula floral de las Chenopodiaceae, Allred y Columbus (1988) y Grieve (1995) establecen la siguiente relación $K5 C0 A5 G(2)$; por su parte, Wilson (1988) en estudios realizados en biosistemática de la quinua llegó a proponer para la clasificación de la especie, la consideración de la morfología y pigmentación de su inflorescencia, también agrupó la *quinoa* de acuerdo a la variación ecotípica. Por su parte, Johnson y Ward (1993) denominan a la quinua como un pseudo cereal, debido a que esta especie es ampliamente conocida como un cereal alimenticio en Sudamérica.

Características agronómicas

La quinua tiene una historia distinguida y larga en la historia de los Andes, cultivada extensivamente en la región desde hace 5000 años (Tapia, 1982); el área tradicional de crecimiento va desde 2°N (Colombia) a 40°S (Chile) y desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm; las regiones más importantes para el cultivo de la quinua son Perú y Bolivia (Jacobsen y Stolen, 1993). Esta especie posee amplia capacidad de adaptación, de fotoperiodismo

indeterminado con pigmentación variada; sin embargo, los fotoperíodos cortos favorecen la temprana floración y la cantidad de materia seca contenida en la planta es proporcional a la duración del día (Cárdenas, 1969). Según Tapia (1985) las plantas de quinua son principalmente halófitas y se desarrollan fácilmente en suelos salitrosos.

Sobre los caracteres genéticos de la quinua, Ward (1991) señala como una especie no mejorada con una inflorescencia de naturaleza hermafrodita, en lo que concierne a la esterilidad masculina, observó en la inflorescencia de las plantas, anteras que poseen de 10 a 90 por ciento de fertilidad. Wilson (1990) en estudios realizados en 120 especies del género *Chenopodium*, identificó en las especies de *C. berlandieri* y *C. Hircinum*, igual número de cromosomas que el de la quinua ($2n= 36$).

Posteriormente Ward (1998) realizó estudios más completos en las plantas de quinua e indica que las flores masculinas generalmente son estériles, caracterizadas por poseer pequeñas anteras y por la ausencia de granos de polen o también puede ser probablemente a la interacción de un alelo dominante en el núcleo. Nieto *et al.* (1997a) estudiaron en Ecuador dos líneas de quinua una de valle y otra de altura, encontraron comportamientos fisiológicos distintos y de adaptación diferente; así los de valles cultivados a altitudes mayores a los 3400 m, no llegaron a formar granos, probablemente las bajas temperaturas impidieron la fertilización o pudiera atribuirse a la manifestación de una androesterilidad en los materiales observados, en cambio

la variedad de altura en condiciones de valle presentó más precocidad a pesar de tener recomendación para zonas altas.

Galwey (1989) y Tapia (1979) propusieron cuatro tipos principales de quinua basados en la localización geográfica y de altitud: 1) de Valles que va de 2000-4000 m, 2) de Altiplano mayores a 4000 m, 3) de Salar, superiores a los 4000 m y con suelos de pH elevado (suelos alcalinos) y 4) los tipos de quinua que crecen a nivel del mar. Las características agronómicas más importantes de la quinua descritas por Nieto *et al.* (1997a), establecen un hábito de crecimiento erecto, ramificación de sencilla a ramificaciones laterales, raíz pivotante, forma de tallo redondo con aristas, hojas de forma romboidal o triangular de bordes enteros, dentados u ondulados; la inflorescencia (panoja) puede ser glomerulada o amarantiforme, pedicelos cortos o largos, pigmentación púrpura - blanca - rosada o amarilla, perigonios ausentes. También hacen referencia al carácter agronómico y adaptación de la quinua y consideran las fases más representativas: días a la floración de 73 a 122, cosecha 130 a 190 días, altura de planta al momento de la cosecha 80 a 190 cm, panoja de 20-30 cm, producción de grano 670 a 3700 kg/ha.

Con respecto a los efectos de las dosis de fertilizantes sobre el cultivo de quinua, Jacobsen *et al.* (1994) y Tapia (1982) luego de realizar estudios con diferentes niveles de fertilizantes nitrogenados en ambientes distintos, recomiendan dosis de 120 kg/ha de N., obteniéndose rendimientos óptimos en grano de 1600 kg/ha hasta 3700 kg/ha; por otra parte, Gandarillas (1982) en

experimentos realizados en la región Andina de Bolivia, observó respuestas solo al nitrógeno y una respuesta limitada a los elementos fosfóricos y potásicos, cuantificó la respuesta a los fertilizantes nitrogenados en parcelas bajo temporal, el aumento de 13.8 kg/ha de grano por cada kilogramo de fertilizante adicionado y en parcelas irrigadas fue de 16.6 kg/ha por kilogramo de fertilizante incorporado. El nivel de fertilización recomendada en la región Andina y Europa es de 120 kg/ha de N. Johnson y Ward (1993) afirman que niveles similares de fertilizantes nitrogenados están siendo aplicados en el Estado de Colorado (USA).

En cuanto a la capacidad de adaptación de la quinua, Risi y Galwey (1991) condujeron experimentos en el Reino Unido, para probar en dos variedades de quinua, la siembra en dos fechas, dos distancias (0.80 y 0.40 m) de separación entre líneas de plantas y cinco densidades de siembra (2.5, 5, 7.5, 10 y 15 kg/ha), obteniendo los rendimientos más elevados (6960 kg/ha) con la menor separación entre surcos (0.40m) y con densidades intermedias (7.5 y 10 kg/ha de semilla).

Fases fenológicas de la quinua

Las plantas en su estado de desarrollo sufren modificaciones constantes por su actividad fisiológica, Hunt (1990) señala, que los vegetales pasan por varias fases durante su desarrollo produciendo cambios en tamaño, forma y número. Para Wareing y Phillips (1981) desarrollo involucra crecimiento y

diferenciación; el primero refiere a los cambios cuantitativos e irreversibles que ocurren en las células, mientras diferenciación concierne a las diferencias cualitativas o cambios que no siempre son fáciles de medir.

En cambio, el crecimiento de las plantas de acuerdo a Goldsworthy y Fisher (1984), es el resultado de la combinación de eventos en diferentes niveles, que va desde el biofísico, bioquímico hasta el organísmico, como resultado se tiene una producción integral del organismo; por lo tanto definen el crecimiento como el incremento natural en tamaño y cada parámetro describe algo diferente y al desarrollo lo definen como un cambio complejo; por su parte Begón *et al.* (1990) señalan que las tasas de crecimiento y tasas de desarrollo suelen estar influidos por la competencia intraespecífica.

En consecuencia, la fenología es una rama de la ecología que estudia las relaciones entre el medio ambiente y el comportamiento de las plantas, las observaciones se centran en los fenómenos periódicos fácilmente identificables, estas generalmente tienen relación con la morfología externa, tales como la aparición, transformación o desaparición rápida de determinados órganos (Hodges, 1991). Fuentes (2000) sintetiza la fenología como la vida de los seres vivos que viene condicionada por necesidades fisiológicas y se ajustan a los ciclos ambientales como la temperatura, humedad, luz y a otros factores.

Jacobsen y Stolen (1993) efectuaron descripciones morfológicas en variedades de quinua, considerando dos etapas: vegetativa y floración,

basándose para la clasificación en las características cualitativas; las más importantes para la primera etapa constituyeron la coloración, morfología de la hoja y tipo de crecimiento, en cambio para los caracteres florales contemplaron el tipo de inflorescencia, tamaño y color de la semilla. En condiciones controladas, Bertero *et al.* (1999a) estudiaron dos variedades de quinua en Camberra (Australia) para evaluar los efectos del fotoperiodismo (10 a 16 horas luz), la variedad de día corto registró respuestas cuantitativas durante la antésis, expresado en el aumento del número de hojas y más del 50 por ciento de los primordios florales se formaron después de la iniciación floral; identificaron también, la iniciación floral que está caracterizada por el aumento en la tasa de crecimiento de los brotes axilares y los primordios foliares presentan una diferenciación basipétala progresiva al nudo basal, mientras el crecimiento de las ramas de la inflorescencia es estimulado con la aparición sobre el tallo principal.

Jacobsen y Stolen (1993) con propósitos de mejoramiento de la especie, estudiaron la fenología de la quinua bajo las condiciones climáticas de Dinamarca, con material genético colectado en Perú, Chile y Bolivia, llegando a identificar 21 etapas a lo largo de su ciclo de desarrollo, que comprendió desde los inicios de la fase vegetativa hasta la madurez fisiológica de las plantas. Por otra parte Bertero *et al.* (2000) experimentaron en Camberra (Australia) nueve variedades de quinua, para determinar la variación intraespecífica de los efectos de la temperatura y del fotoperíodo sobre las tasas de aparición de las láminas foliares (fitocromos), en la cual demostraron que la aparición de las

hojas en algunas variedades de quinua no sólo son sensibles al fotoperíodo, también es favorecida por la gradiente de latitud, lo cual implica que a mayor latitud se registra mayor horas luz, esto generalmente ocurre en las estaciones de verano y otoño.

Producción de grano y materia seca de quinua

El tamaño pequeño de la semilla de quinua (1-2 mm) dificulta la cosecha y los rendimientos resultan ser bajos (Ruales y Nair, 1992); sin embargo, señalan que existe un interés grande entre los productores para su cultivo en Europa. Risi y Galwey (1991) en Inglaterra y Schlick y Bubenhein (1996) en Estados Unidos (USA), efectuaron pruebas de rendimiento de grano en quinua en condiciones controladas, llegando a obtener rendimientos muy similares de 568 g/m² y 542 g/m² (5680 kg/ha y 5420 kg/ha), respectivamente. En cambio a nivel productor y bajo condiciones de temporal en la región Andina la producción de quinua en grano resulta variable (Tapia, 1985 y Gandarillas, 1989, etc.) oscilando entre 800 y 1700 kg/ha.

Nieto *et al.* (1997b) condujeron experimentos en Ecuador en dos localidades durante cinco años, buscando una secuencia de cultivos que combinaran con la quinua y pudieran ser alternativas para incrementar la producción de grano. En el tiempo de la evaluación llegaron a obtener rendimientos de 2,413 (1° año), 1,255 (2° año), 1,741 (3° año), 1,108 (4° año) y 1,344 (5° año) kg/ha.

Con respecto a la materia seca en la planta, Díaz y González (1994) evaluaron en Cuba, satisfactoriamente 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 semanas después de la siembra, obtuvieron rendimientos de 0.57, 1.26, 1.94, 2.68 y 2.91 ton/ha de MS, respectivamente. Otros dos experimentos fueron conducidos por Jacobsen *et al.* (1997) en Dinamarca para evaluar los efectos de los granos de quinua en la alimentación de pollos en combinación con otros alimentos (trigo, chícharos y soya) y concluyeron que la quinua tiene un gran potencial como alimento para aves; sin embargo, no se debe exceder en las dietas de 150 g/kg de alimento. En Ecuador Capelo (1983), estudió el rendimiento forrajero de materia verde (MV) y materia seca (MS) y el valor nutritivo de contenido de proteína cruda de dos variedades de quinua: dulce (Sajama) y amarga (Chonca) en tres etapas de corte (prefloración, floración y post floración) obteniendo rendimientos de hasta 50 ton de MV/ha a los 105 días de edad de la planta, además indica que el mayor porcentaje de la producción está dado por el tallo con un 80 y 90 por ciento de humedad; determinó también que las dos variedades contienen del 10 al 13 por ciento de humedad en estado seco con alto contenido de cenizas (20.6 por ciento var. Sajama y 23.6 por ciento var. Chonca).

Composición nutritiva

De Bruin (1964), Blasco (1979), Johnson y Ward (1993) y Tapia (1985) establecen que el valor nutritivo de la quinua desde tiempos pasados es

ampliamente conocido y resulta superior a todos los cereales; su contenido de proteína cruda varía de 10.0 a 18.0 por ciento, grasa de 4.1 a 8.8 por ciento; almidón, cenizas y fibra cruda llegan en promedio a 60.1, 4.2 y 3.4 por ciento, respectivamente. Prego *et al.* (1998) establecen que las reservas nutritivas en el grano de quinua están presentes en el perispermo central, mientras los lípidos, proteínas y trazas se encuentran depositados en la endospermo del grano.

El contenido de proteína en grano seco de la quinua es de 15 por ciento, resulta mucho más alto que aquellos encontrados en los cereales tales como: trigo, cebada, centeno, arroz y sorgo (Ruales y Nair, 1992). Por otra parte, Galwey *et al.* (1990) indican que los granos de quinua tienen un alto contenido de proteína (14-18 por ciento) y una composición balanceada de aminoácidos. De acuerdo a Koziol (1992) la quinua es un pseudo cereal que contiene 14.6 por ciento de proteína y es de una calidad excepcionalmente alta, en particular rica en histidina y lisina (3.2 y 6.1 por ciento de la composición de la proteína), las albúminas más las globulinas son las fracciones principales de la proteína de la quinua (44-77 por ciento de la proteína total) y un bajo porcentaje de prolamina (0.5-7.0 por ciento) lo cual indica que la quinua pueda estar libre de glutén.

Por su parte Ng *et al.* (1994) y Ward (2000) afirman que las semillas de quinua son ricas en aminoácidos esenciales: triptófano (1.1), metionina (4.8), fenilalanina (7.3) expresados en gramos de aminoácido/100 g de proteína. En tanto, Oelke *et al.* (1992) mencionan a los granos de la quinua como un

alimento muy nutritivo compuesto esencialmente de Isoleucina (4.0 por ciento), Leucina (6.8 por ciento), Lisina (5.1 por ciento) y Fenilalanina (4.6 por ciento), siendo comparada con la leche en polvo, que puede ser igual o similar y es usada ampliamente en forma de harina, sopa, cereal y bebida. Por estas cualidades nutritivas la quinua está adquiriendo un interés considerable en Europa, como un alimento completo para la población humana y para la alimentación del ganado. En estudios posteriores, realizados por Brinegar *et al.* (1996) analizaron las proteínas 2S en granos de quinua, donde encontraron niveles altos de cistina (14.5 por ciento), arginina (15.2 por ciento) e histidina (7.6 por ciento) siendo muy significativas nutricionalmente, en especial para los niños que no pueden producir suficientes cantidades para sus necesidades metabólicas.

Improta y Kellems (2001) evaluaron la utilización de quinua procesada en dietas de pollos, los resultados establecen que el alimento procesado y lavado puede reducir el impacto negativo de los aspectos antinutricionales de la quinua (0.16 por ciento); los mismos autores analizaron los efectos antinutritivos de la especie y mencionan que con el incremento del contenido de proteína en la dieta a través de una mezcla combinada con otros alimentos hasta un 23 por ciento (PC) se pueden reducir los efectos de decaimiento de los pollos.

De acuerdo a Brinegar y Goudan (1993) la composición de los aminoácidos esenciales contribuyen en cantidades moderadas en las proteínas Chenopodinas; sin embargo, algunos son relativamente bajos en aminoácidos

sulfurados por lo que se consideran a las semillas que contienen un perispermo almidonoso y un embrión rico en proteína y aceites adheridos al mismo. En el Cuadro 2.1. se presenta la composición nutricional de las distintas especies forrajeras y de la quinua.

Contenido de saponinas.

Robinson (1991) llegó a identificar varios metabolitos secundarios en las plantas que contienen glicósidos, estos compuestos principalmente son los ácidos ferúlico, fítico, oleanólico, y las sapogeninas que producen un sabor picante. Un número considerable de especies vegetales presentan este tipo de sustancias de saponinas en la naturaleza, y están formadas por moléculas de carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre, llegando a producir enlaces glicosídicos.

La palabra saponinas según Font Quer (1978) proviene de la palabra Latina *Sapa onis* = jabón. Este compuesto de acuerdo a Valencia (1995) y CICA (1998) son glicósidos de alcoholes tanto triterpenoides como esteroides con una cadena espiroacetal, soluble en agua y etanol e insoluble en éter, comprende dos grupos de saponinas los glicósidos y las agliconas. Según Meyer *et al.* (1990) las sapogeninas son glicósidos de triterpenoides, específicamente de los esteroides, del grupo hidróxilo 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 glicósidos del ácido oleanólico.

Cuadro 2.1. Composición nutricional de alimentos de plantas forrajeras y de la quinua (grano y planta).

COMPOSICION	ALFALFA ¹ (MV)		CEBADA ¹ (MV)		BROMO ¹ INMADURO		TREBOL ¹ INMADURO		MAIZ ¹ (MV)		QUINUA (GRANO SECO)		QUINUA (P. Aérea)
	COMO	SECO	COMO	SECO	COMO	SECO	COMO	SECO	COMO	SECO	Nieto et al.(1997)	FAO** (1989)	Soliz et al. (2001)
	ALIM.	SECO	ALIM.	SECO	ALIM.	SECO	ALIM.	SECO	ALIM.	SECO			
M.S. (%)	91.1	100.0	21.1	100.0	27.1	100.0	22.6	100.0	30.6	100.0			100.0
CENIZA (%)	10.9	12.0	8.7	12.9	2.0	7.5	2.3	10.0	1.7	5.7	2.98	2.61	
F.CRUDA (%)	25.6	28.1	4.4	20.8	8.2	30.3	5.7	25.3	7.7	25.3	5.55	3.64	
E.E. (%)	2.1	2.3	0.8	3.9	0.9	3.3	0.7	3.1	0.8	2.7	4.60	8.75	
E.L.N. (%)	33.3	36.6	8.7	41.2	13.1	48.3	9.9	44.1	17.8	58.1			
PROTEINA (N _{x6.25})%	19.1	21.0	4.5	21.2	2.9	10.6	4.0	17.5	2.5	8.2	15.97	15.40	17.99
ENERGIA (kcal/kg)	2410.0	2646	623.0	2954	789.0	2910	668.0	2954	890.0	2910			
CALCIO (%)	1.9	2.12	0.10	0.48	0.09	0.35	0.29	1.27	0.08	0.27	0.10	0.07	
FOSFORO (%)	0.27	0.30	0.08	0.37	0.08	0.29	0.07	0.30	0.07	0.22	0.38	0.40	
E.(Cal/g/ Grano)											4536.0	4299.0	
SAPONINAS (%)											0.07		0.47

¹ FUENTE : Crampton, E.W.and L.E Harris. 1969. Applied Animal Nutrition. USA; **The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO).

MS= Materia seca; E. E. = Extracto etéreo; E.L.N = Extracto libre de nitrógeno; E = Energía.

De acuerdo a Johnson y Ward (1993) la saponina es el componente principal del pericarpio de la semilla en la quinua y es conocido como un glicósido tóxico, estos compuestos pueden ser encontrados en el pericarpio de varias especies como en: quinua, alfalfa, soja y es fácilmente identificable por la formación de espumas cuando se coloca en agua y por su solubilidad en alcohol puro. Burnouf-Radosovich *et al.* (1983) identificaron las agliconas de las saponinas como el ácido oleanólico y la hederagenina, sus contenidos oscilan de 1.4 a 3.0 mg/g, respectivamente; los valores de saponinas pueden variar según la variedad (0.01 a 11.15 por ciento). Según Kramer y Kozlowsky (1979) la concentración de saponinas en la planta proporciona un sabor picante al grano y como consecuencia evita el ataque de los pájaros e insectos principalmente.

Con respecto a los efectos de las saponinas de la quinua, Jenkins (1988) señala 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 *lupinos luteus*, en una cantidad de 55.3 mg/kg, en cambio las saponinas en quinua (*Ch. quinoa*) 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) clasifica a la quinua en dos tipos de acuerdo a su concentración en dulces y amargas, las primeras dulces

están libres de saponinas o tienen menos del 0.11 por ciento sobre la base de peso fresco y las amargas contienen más del 0.11 por ciento.

En cuanto a las clases de saponinas CICA (1998) reporta resultados de los 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. También Ma *et al.* (1989) y Ruales y Nair (1993) llegaron a identificar los ácidos oleanólico y fénico y la hederagenina como componentes principales de las saponinas en quinua. Mastebroek *et al.* (2000) trabajaron con genotipos de quinua de carácter dulce y amarga, llegando a cuantificar compuestos de saponinas de 0.2 a 0.4g/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 el sur de Colorado (USA) realizó estudios con siete cultivares de quinua, con la finalidad de cuantificar los niveles de concentración de saponinas existentes en el grano, llegando a identificar diferencias significativas entre las mismas plantas y entre variedades, los rangos oscilaron de 1.62 a 8.25 mg/g; concluyó que los niveles de saponinas presentes en las plantas se podrían disminuir por medio del mejoramiento genético.

La quinua siendo un pseudocereal es consumida tradicionalmente por la población rural de la región Andina, el pericarpio de la semilla que contiene las saponinas es parcialmente removido por escarificación (lavado) antes del consumo, sin embargo, resulta tóxico para animales de sangre fría (Koziol, 1990 y Oelke *et al.* 1992). Gee *et al.* (1993) indican que las semillas de quinua que contienen niveles significativos de saponinas son potencialmente antinutritivas para la alimentación, en este estudio identificaron otro compuesto que resultó ser el sapogenol, con un contenido total en la saponina de hasta del 50 por ciento.

Koziol (1992) reportó la concentración de saponinas en base al peso seco de las semillas de quinua, encontrando valores de 0.01 a 4.65 por ciento. En los últimos años, Schlick y Bubenheim (1996) efectuaron estudios minuciosos de la utilización de los granos de quinua con fines alimenticios llegando a obtener resultados de interés especial, entre las que destacan: las saponinas son altamente tóxicas para los animales de sangre fría (0.16 por ciento), en cambio la toxicidad para los mamíferos resulta muy baja; concluyeron que las saponinas en alimentos comunes no representan problemas antinutricionales entre ellas está incluida la quinua

Requerimientos hídricos

De acuerdo a Fageria (1992) el agua es el compuesto más importante en la célula activa de la planta, comprende un 80 a 90 por ciento del peso

fresco de los tejidos en crecimiento y las actividades metabólicas, fisiológicas y morfológicas son afectadas por una deficiencia de agua en el suelo. Con respecto a la escasez del agua, Perales y Serna (1992) indican que la sequía es un factor ambiental que afecta frecuentemente la producción agrícola y las pérdidas de las cosechas suelen ser totales en algunas ocasiones; sin embargo las tierras más afectadas por la frecuencia e intensidad de las sequías son las situadas en las proximidades de las zonas áridas.

En relación a los factores climáticos, Jacobsen y Stolen (1993) sostienen como principal factor limitante para la agricultura en la región Andina la escasez de agua, producto de los efectos combinados de una baja precipitación, alta tasa de evapotranspiración, suelos pobres con baja capacidad de retención de humedad; algunos años secos pueden ocasionar pérdidas considerables en rendimiento (400 kg/ha de quinua) ocasionando la carencia de alimentos.

En cuanto a las necesidades hídricas de la quinua para su desarrollo, Tapia (1985) indica que en la región Andina, se tiene una disponibilidad de agua de 550 mm, producto de las precipitaciones estacionales que se registran anualmente, mientras en los suelos limosos típicos de los valles interandinos, puede disponerse de hasta 700 mm para un rendimiento aproximado de 1590 kg/ha; en cambio, Flynn (1990) en Colorado, USA, en experimentos realizados con quinua sobre un suelo limo arenoso llegó a obtener rendimientos de grano de hasta 1439 kg/ha, con un aporte total de agua de riego y de lluvia de 208 mm.

Oelke *et al.* (1992) indican que la quinua es un cultivo tolerante a la sequía con un requerimiento de agua por ciclo de sólo 254 y 381 mm, también señalan que en los estudios que efectuaron en 1987 en Colorado, encontraron que con cantidades bajas de agua aplicada (menor a 200 mm), provocaron una disminución de la altura de las plantas en un 50 por ciento y el rendimiento en grano únicamente se redujo en 18 por ciento. Bajo condiciones controladas en el valle de México, Espindola y Rodriguez (1988) estudiaron la capacidad osmoregulatoria de dos líneas de quinua (L-127 y L-247) procedentes de Bolivia, para tal efecto se sometieron a las plantas a estrés hídrico en las etapas de emergencia de la panoja e inicio de floración, el potencial hídrico disminuyó hasta valores de -38 y -40 bares, posteriormente se aplicaron riegos de recuperación y luego de 24 h, el potencial hídrico ascendió a -27 bares; el rendimiento en la línea L-27 fue de 20.0 g/planta y en la línea L-247 fue de 37 g/planta, lo cual indica que la quinua es tolerante a la sequía o puede escapar fácilmente de las condiciones de estrés hídrico, ello debido a su alta capacidad osmoregulatoria.

Alternativas forrajeras de la quinua

Son muy numerosas las especies utilizadas como plantas forrajeras, ya sea para su consumo en verde o para producir heno e incluso para producir alimentos deshidratados, todas las especies forrajeras pueden clasificarse en anuales y plurianuales (Guerrero, 1992). Las plantas forrajeras generalmente se suministran al ganado con un complejo de factores nutricionales y

antinutricionales, estas tienen un enfoque por demás considerable sobre la caracterización de las condiciones ambientales y a menudo las mediciones facilitan estimar la concentración y abundancia de los forrajes, estas generalmente son empleadas para examinar la interacción entre el ganado y alimento (Hodgson, 1990). De Simone *et al.* (1990) indican que existen escasos reportes sobre la composición fitoquímica de *Chenopodium quinoa W.* en lo que concierne a la formación de compuestos bioquímicos durante el desarrollo; sin embargo, la parte aérea de la planta es utilizada como alimento para el ganado por sus cualidades forrajeras y nutritivas.

Con respecto a la producción de la biomasa aérea de la quinua, Risi y Galwey (1991) consideran la altura de la planta como un factor importante para obtener buena cosecha (5680 kg/ha de grano); además observaron que el porcentaje de las plantas ramificadas decrecieron en forma significativa al disminuir la distancia entre surcos a 0.20 m. De acuerdo a las experiencias obtenidas por Jacobsen *et al.* (1994), en Dinamarca encontraron densidades óptimas de 327 a 220 plantas/m² y señalan que existe un interés grande en la quinua como un cultivo para forraje y grano en varios países de Europa.

Por sus bondades nutritivas de la quinua, en Estados Unidos, Oelke *et al.* (1992) efectuaron investigaciones bajo ambientes controlados e indican que convencionalmente las semillas de quinua son consideradas como la forma comestible de la planta; sin embargo, los brotes y las hojas frecuentemente son consumidos en estado crudo al igual como la espinaca, que proporciona una

cantidad sustancial del valor nutritivo. Su empleo como un cultivo de grano o para forraje puede proporcionar un valor nutritivo y una versatilidad grande, que aquellos cultivos que crecen solamente para grano. En cuanto al valor nutritivo de las plantas forrajeras, García *et al.* (1995) indican, que el contenido de proteínas de las especies vegetales está influenciado por el genotipo y por las condiciones ambientales, consideran que el comportamiento variado de las plantas en su contenido de proteínas en el grano o follaje puede ser atribuido a las diferencias en la capacidad de absorción de nitrógeno del suelo desde la etapa de vegetativa inicial hasta la antésis.

Eficiencia en el uso de agua

La palabra eficiencia fue empleada por Amthor (1996) para denotar la fitomasa producida por unidad de recurso usado, entre las que destaca la eficiencia en el uso de la radiación solar por la planta, la eficiencia en el uso de agua en la producción de compuestos orgánicos, Kramer (1984) indica que una especie con buena capacidad productiva está relacionada con la eficiencia con que transloca los compuestos de nitrógeno de los tejidos vegetativos hacia los granos (semillas).

Una de las opciones que ha permitido lograr mayores avances en los programas de producción agrícola, principalmente de las especies forrajeras consiste en asegurar la cosecha (biomasa producida), cuando la lluvia escasea en lugar de obtener rendimientos altos, lo cual se hace a través del uso de los

índices de eficiencia que incluyen las variables relacionados con la distribución de la materia seca en los distintos órganos vegetativos (Jones, 1992).

En tanto Larcher (1995) señala, que las plantas confinadas en forma permanente a un hábitat con nutrimentos deficientes, emplean estrategias de eficiencia para alcanzar la actividad metabólica necesaria y mantener su habilidad competitiva, lo cual es realizado con el incremento de la eficiencia en la toma de las sustancias del suelo. También indica, que en suelos con una deficiencia general de elementos esenciales y en suelos ácidos la utilización eficiente de nutrimentos podría ser alcanzada por su redistribución dentro de la planta para la producción de nuevos órganos y este puede asegurar su desarrollo por un tiempo más prolongado.

Con respecto a la eficiencia en el uso de agua, resulta ser de la relación del producto final (rendimiento económico) y los ingresos (agua aplicada al cultivo), ambos términos pueden ser definidos o cuantificados en una variedad de maneras (Hsiao y Jackson, 1999). Por su parte Godoy (1990) indica que un reflejo de la mala planeación en la distribución del recurso agua es debido al desconocimiento que se tiene de la respuesta de los cultivos a diferentes consumos de agua; por la necesidad de obtener mayor producción y un uso más eficiente del agua, hacen necesario que las relaciones entre evapotranspiración real y kilogramos de la parte económica sean conocidas en forma cuantitativa para los cultivos. Con respecto a los requerimientos de agua por unidad de materia seca producida, el autor trabajó con cultivos de maíz,

sorgo, trigo y frijol, para llegar a obtener valores de eficiencia de 2.3, 1.45, 0.90 y 0.53 kg/m³, respectivamente. Por su parte Larcher (1995) señala que existen diferencias entre especies y variedades en los requerimientos de agua y estas depende fuertemente del estado individual de desarrollo de las plantas, de la densidad y de las condiciones ambientales, particularmente de la provisión de agua y de la tasa de evaporación.

Quizenberry (1987) sostiene que sí se logra un uso eficiente del agua durante el período de la fotosíntesis y la tasa de transpiración, en el cual un centímetro de humedad disponible en el suelo por encima de lo requerido para una actividad normal de la planta, puede aumentar el rendimiento del maíz de 18 a 44 kg/ha y en soya de 11 a 20 kg/ha,

Efectos de los ambientes

Miller (1994) indica que el ambiente es un término amplio que incluye todas las condiciones y factores externos, vivientes y no vivientes. Desde el punto de vista biológico un ambiente es definido por SOPENA (1973), como un conjunto de condiciones externas en los cuales se desarrollan la vida de los organismos y la condición es definido por Begón *et al.* (1990) como un factor ambiental abiótico que varía en el tiempo y espacio y que los organismos responden diferencialmente, que incluye la temperatura, humedad relativa, pH, salinidad, radiación solar, etc. y una condición puede ser modificado por la presencia de otros organismos.

Las regiones áridas y semiáridas abarcan una tercera parte de la superficie de la tierra, estas áreas están sujetas a una variedad de procesos de degradación físico, químico y biológico, denominado en forma colectiva desertificación (Verstraete y Schwartz, 1991). Como consecuencia, la selección de ambientes con fines agrícolas de acuerdo a Quizenberry (1987) resulta necesario conocer los componentes del medio en el cual crecen los cultivos, el de mayor interés constituyen los factores climáticos: radiación solar, precipitación, humedad relativa, temperatura y el tipo y profundidad del suelo. Por su parte, sobre el desarrollo de las plantas superiores, Cathey y Campbell (1987) afirman que están regulados por factores ambientales y genéticos, en condiciones naturales la luz constituye el factor más importante que regula la continua organización, movilización, utilización y expansión del crecimiento de las plantas.

La cantidad de la producción primaria neta de las plantas por unidad de recurso ambiental es empleado frecuentemente y constituye una medida de importancia, de la relación entre la planta y su medio ambiente (Amthor, 1996). Sin embargo, de todo el estrés físico que se registra dentro de un ambiente global, Hsiao y Jackson (1999) establecen al déficit de agua como el componente importante en la determinación del crecimiento y productividad de las plantas a nivel mundial, el uso de agua por los vegetales y su crecimiento está directamente influenciado por los factores climáticos y la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.

La reducción de los efectos desfavorables del ambiente en las plantas por medio de la prevención, implica la alteración del medio ambiente o de la planta, ello podría comprender aspectos básicos tales como la fertilización, riego, conformación del terreno y una labranza profunda (Christiansen, 1987). Finalmente, con respecto a los ambientes Bazzaz y Morse (1991), afirman que existen dos características que favorecen la presencia y persistencia de las plantas anuales en la producción de forrajes, estas suelen ser generalmente impredecibles, como es la manifestación de estaciones secas con temperaturas altas; en tanto los disturbios frecuentes están involucrados como factores fuertes y selectos que favorecen el hábitat anual de las especies.

La producción de semillas para algunos cultivos en áreas específicas es un testimonio de la influencia ambiental en el desarrollo y calidad de las semillas, Copeland y McDonald (1985) indican que en las áreas irrigadas de las regiones áridas de California, Idaho y Arizona, el algodón que se produce resulta de alta calidad, de igual manera las flores y las semillas de leguminosas forrajeras; lo cual es debido a la baja humedad, lluvias mínimas y temperaturas favorables que ocurren durante la maduración de las semillas. Por lo que estas condiciones ambientales reducen la distribución de las enfermedades y de los riesgos que están asociados con las inclemencias del tiempo.

Con respecto a la influencia de los ambientes, Wiednheft y Barton (1994) probaron tres especies de *Brassica* forrajera a través de tres fechas de siembra en la Universidad de Maine, para determinar la influencia de los ambientes en la

calidad nutritiva de las plantas, encontrando que durante la primera evaluación en las tres siembras, disminuyó la composición nutritiva con el incremento de temperaturas (16.8°C – 19.8°C) y niveles de humedad bajo, particularmente en la segunda siembra (julio a agosto) reportando contenidos de: Ca (18.8 a 15.6 g/kg), Mg (3.7 a 3.2 g/kg) y P(2.9 a 2.8 g/kg).

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

La variedades de quinua que se utilizaron Sajama y Chucara, poseen cualidades de tolerancia a la sequía (Risi y Galwey, 1991) y presentan niveles moderados de saponinas en grano (0.01 a 11.15 por ciento según Burnouf-Radossvich *et al.*, 1983) estos materiales fueron proporcionados de la Estación Experimental de Patacamaya de La Paz, Bolivia.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos establecidos en el trabajo y comprobar las hipótesis fijadas, fue que se realizaron cuatro ensayos de campo, uno en el año 2000 en El Ejido de Jaguey de Ferniza y tres en el año 2001 en el campo experimental Buenavista de la UAAAN.

Experimento en el año 2000

Las dos variedades de quinua se valoraron bajo tres diferentes condiciones de déficit de humedad en el suelo:

- **Tratamiento 1 o déficit de humedad bajo en el suelo (Db).**

El máximo abatimiento de la humedad disponible del suelo alcanzado antes del riego fluctuó entre 50 a 60 por ciento.

- **Tratamiento 2 o déficit de humedad medio en el suelo (Dm).**

El máximo abatimiento de la humedad disponible del suelo, alcanzando antes del riego fluctuó entre el 70 y 75 por ciento.

- **Tratamiento 3 o déficit de humedad alto en el suelo (Da).**

El máximo abatimiento de la humedad disponible del suelo alcanzando antes del riego fue de 90 por ciento.

El experimento se estableció el día 14 de marzo de 2000 en el ejido El Jaguey de Ferniza; Municipio de Saltillo, ubicado a 20 km de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México; las coordenadas geográficas son 25° 02' Latitud Norte y 100° 33' de longitud Oeste, altitud 1,895 msnm.; el clima según la clasificación de Köppen, modificada por García (1989) corresponde a Bsoh'w(e), caracterizado por su grado de humedad semiárido y por su temperatura semi cálido; con lluvias predominantes en la estación de verano, la media anual es de 345 mm; en tanto la temperatura media anual es de 16.5°C, las mínimas temperaturas suelen registrarse generalmente en los meses de diciembre, enero y parte de febrero. En tanto la evaporación anual alcanza los

2058 mm, la más intensa se presenta entre los meses de mayo y junio (228 - 231 mm).

Distribución de los tratamientos.

El establecimiento del experimento en el campo se efectuó bajo el diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones, la parcela estuvo representada por los tres tratamientos de déficit de humedad en el suelo: bajo (Db), medio (Dm) y alto (Da) y la subparcela fueron las variedades Sajama y Chucara; se efectuaron cortes en las etapas fenológicas de: vegetativa inicial, ramificación, panojamiento, floración e inicio del llenado de grano. El tamaño de la parcela fue de 36 m² (6x6 m); la subparcela tuvo una superficie de 18 m², (10 surcos por 6.0 m de largo), con separaciones entre surcos a 0.30 m y entre parcelas y repeticiones fueron de 2.50 m, el área útil de evaluación abarcó 10 m² por unidad experimental.

Establecimiento del experimento.

Se preparó el terreno convenientemente, efectuándose un barbecho, dos rastreos y un nivelado previo a la siembra; en marzo de 2000 se efectuó el riego de pre siembra aplicándose una lámina de riego de 10 cm, antes de la siembra se tomaron muestras de suelo por estratos de 0.20 m hasta alcanzar 1.40 m de profundidad, para realizar los análisis de las propiedades físico – químicas del suelo. Los resultados obtenidos dieron a conocer en detalle las propiedades del

suelo y estos parámetros de referencia condujeron a calcular para la siembra los niveles de los fertilizantes a utilizarse, según las necesidades nutritivas del cultivo; los resultados obtenidos están expresados en los Cuadros 3.1 y 3.2.

Cuadro 3.1. Resultados del análisis físico-químico del área experimental en Jaguey de Ferniza, donde se estableció la quinua en el 2000.

Prof. cm	PH	C.E. Ds/m	MO %	NT %	P kg/ha	K kg/ha	CT %	Arcilla %	Limo %	Arena %	Text.
00-20	6.18	1.36	3.86	0.18	39.2	900	30.4	23.2	32.0	44.8	ML
20-40	6.97	1.14	3.78	0.18	38.2	900	30.4	27.2	38.0	34.8	MA
40-60	7.41	1.40	3.53	0.17	35.6	621	28.9	23.2	46.0	30.8	M
60-80	7.38	1.84	2.42	0.12	34.6	436	34.8	29.2	38.0	32.8	MA
Prom*	6.85	1.30	3.72	0.18	37.6	806	29.9	24.5	38.6	36.8	

Fuente: Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN.

pH = Potencial hidrógeno; C.E.= Conductividad eléctrica; MO = Materia orgánica; NT = Nitrógeno total; P = Fósforo; K = Potasio; CT = Carbonatos totales; ML = Migajón limoso; MA= Migajón arcilloso; M = Migajón; Prom* = Promedio de tres estratos.

Cuadro 3.2. Constantes específicas del área experimental en Jaguey de Ferniza, donde se estableció la quinua en el 2000.

No.	CAPAS DE SUELO (cm)	CC (Pv)	PMP (Pv)	Da (g/cm ³)	PROF. (cm)	HD (cm)
1.	0 a 20	36.89	19.01	1.10	20	4.13
2.	20 a 40	35.32	17.16	1.12	20	4.32
3.	40 a 60	36.59	17.94	1.20	20	4.06
4.	60 a 80	35.00	17.42	1.20	20	3.98
5.	80 a 100	36.00	18.14	1.20	20	4.32
6.	100 a 120	35.00	18.02	1.20	20	4.20
7.	120 a 140	35.00	17.42	1.20	20	4.20

Fuente: Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN.

Pv = Por ciento volumen.

CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permanente.

Da = Densidad aparente; PROF. = Profundidad.

HD = Humedad disponible.

Los datos del análisis físico - químico del suelo, reportan suelos profundos ricos en materia orgánica (3.72 por ciento), presencia aceptable de nitrógeno total y fósforo (0.18 por ciento de N y 37.6 kg/ha de P); en tanto la

disponibilidad de potasio es extremadamente rica (806 kg/ha) y la textura del suelo es migajón limoso. Las constantes específicas del suelo de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) promedio para los tres primeros estratos (00-0.60 m) es de 36.26 y 18.04 por ciento de humedad base volumen (Pv), de tal forma que la humedad aprovechable en el suelo es de 18.22 por ciento.

La siembra de quinua se efectuó el mes de marzo del 2000, se realizó manualmente, por surco se depositaron en forma uniforme dos gramos de semilla; que es equivalente a una densidad de 12 kg/ha, el grano por su tamaño pequeño (1-2 mm) se cubrió con una capa ligera de tierra de 2 cm aproximadamente. La dosis de fertilización incorporada al terreno fue de 120-40-00 (N-P-K), teniendo como fuente de nitrógeno y fósforo el nitrato de amonio (35.0 por ciento de N) y pentóxido de fósforo (18.5 por ciento de P); el fertilizante se distribuyó en líneas antes de la siembra.

Manejo del cultivo

Se llegó a uniformizar la población de plantas, practicándose los aclareos hasta los 30 días después de la siembra (DDS), dejando aproximadamente 250 plantas por surco lineal para una densidad de población de 1,388,888 plantas/ha; los deshierbes de las malezas se efectuaron manualmente y en una sola ocasión a los 30 DDS; durante el desarrollo del cultivo no se registraron problemas de orden fitosanitario de consideración, excepto la proliferación de

vaquitas (*Diabrothica sp*) que se presentó dos meses después de la siembra, debido probablemente a las temperaturas altas que prevalecieron (32°C), estos insectos ocasionaron leves daños a los meristemas apicales e inflorescencias de las plantas, que se consideraron de poca importancia, por lo que no se efectuó ningún tipo de control durante las etapas sucesivas de desarrollo de las plantas.

Aplicación de riegos

Los contenidos de humedad se midieron por el método gravimétrico, a través de muestreos semanales de suelo con una barrena Vehimeyer; el estrato considerado para el cultivo fue de 0-0.60 m de profundidad; según Gandarillas (1989) el sistema radicular de las plantas de quinua puede llegar a desarrollarse fácilmente hasta un perfil de 0.40 m. Las determinaciones de disponibilidad de humedad en el suelo se efectuaron en los tres tratamientos y en dos bloques del experimento.

La aplicación del riego se efectuó una vez que se presentaron las condiciones de humedad permitidas; el estrato control empleado como indicador de riego fue de 0 a 0.60 m de profundidad. Las cantidades de agua aplicadas a los tres tratamientos, fueron en forma diferenciada en tiempo y volumen. Para la determinación de los abatimientos de la humedad del suelo se empleó la siguiente expresión matemática :

$$\text{AHD (\%)} = \left[\frac{(\text{Pvcc} - \text{Pvx}) \times \text{Prof}/100}{(\text{Pvcc} - \text{Pvpmp}) \times \text{Prof}/100} \right] \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

AHD = Abatimiento de la humedad disponible del suelo (%)

Pv = Contenido de la humedad en el suelo (Porcentaje volumen)

Prof = Profundidad del estrato (cm)

cc = A capacidad de campo

x = Al momento del muestreo

pmp = Al punto de marchitez permanente

Los riegos se realizaron por el método de aspersión, colocando un aspersor en cada esquina de las parcelas grandes, para regar sectorialmente en un ángulo de 90°, al interior de las parcelas se instalaron pluviómetros para un mejor control de las cantidades de agua aportadas durante los riegos sucesivos de los experimentos.

Variables estudiadas

La evaluación de los tratamientos comprendieron básicamente la acumulación de materia verde y seca, concentración de proteínas y saponinas en cinco etapas fenológicas: vegetativa inicial, ramificación, panojamiento, floración y llenado de grano. Además se evaluó la eficiencia en el uso de agua

para la producción de materia seca y proteína en las etapas de panojamiento y floración.

Materia verde y seca

Para la determinación de la materia verde y seca en cada una de las etapas, se cosechó una superficie de 1.8 m² (0.30 x 6 m) donde las plantas tuvieran una competencia completa; las plantas cosechadas fueron pesadas inmediatamente y se tomaron submuestras entre 0.8 a 1 kg, para su posterior secado en una estufa por 80 h a una temperatura de 70°C. A continuación se efectuaron los cálculos de rendimiento de materia verde y seca por unidad de superficie para cada una de las unidades experimentales.

Análisis químico del contenido de proteínas

Para el análisis de contenido de proteínas, la muestra utilizada para la determinación de materia seca fue molida en un molino de cuchillas Thomas-Wiley Laboratory Mill Model 4, utilizando un tamiz de 2 mm, una vez homogeneizada la muestra, se pesaron dos muestras de un gramo cada una del tejido vegetal, por unidad experimental. 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 por ciento, en seguida la muestra fue destilada y recuperada en una solución de ácido bórico al 4 por ciento y

posteriormente esta 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).

Análisis químico de concentración de saponinas

La muestra del tejido de quinua preparada para determinar el contenido de proteína fue homogeneizada nuevamente y se tomaron 15 g de muestra por unidad experimental, la que se introdujo en un dedal de extracción Whatman de 33 x 80 mm, y este 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 (24 h), metanol (48 h), acetato de etilo (24 h) y butanol (24 y 48 h), de acuerdo a la técnica de Meyer et al. (1990). Posteriormente el disolvente del extracto de butanol fue evaporado en un rotovapor Buchii y en seguida 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. El contenido total de saponinas fue el que se obtuvo de la extracción de 24 y 48 h.

Eficiencia en el uso del agua

Para el cálculo de la eficiencia, primeramente se determinó la cantidad de agua consumida o evapotranspirada por el cultivo, según el balance

hidrológico sugerido por Tanner (1967). La ecuación de la evapotranspiración y los contenidos de humedad del suelo, se encuentran expresadas en la siguiente relación matemática.

$$ET = (HS_f - H_{si}) - R - LI \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

ET = Evapotranspiración por período de cálculo (mm).

HS_f = Contenido de humedad de suelo al final del período (mm).

HS_i = Contenido de humedad de suelo al inicio del período (mm).

R = Cantidad de riego aplicado (mm).

LI = Cantidad de lluvia registrada en el período (mm).

La ecuación matemática citada por Hillel (1980) para determinar la eficiencia en el uso de agua (EUA) para la producción económica está expresada de la siguiente forma:

$$EUA \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Producción de materia seca (kg/ha)}}{\text{Evapotranspiración (m}^3\text{/ha)}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Caracteres morfológicos de las variedades de quinua

El hábitat de las *Chenopodiaceae* es generalmente la región Andina de Sudamérica, la especie presenta cierta succulencia y probablemente esta propiedad da a la planta tolerancia a las temperaturas extremas mínimas del medio (-1°C) (Jacobsen et al., 1994); las características morfológicas de la especie *Chenopodium quinoa* W. se encuentran descritas en el Cuadro 3.3, basados en los trabajos realizados por Jacobsen y Stolen (1993) y de acuerdo a las observaciones efectuadas durante las siembras realizadas en los años 2000 y 2001.

Análisis estadístico de la información

Los resultados de las evaluaciones efectuadas para los diferentes variables: materia verde y seca, contenido de proteína y saponinas fueron analizados estadísticamente mediante el modelo propuesto por Steel y Torrie (1988), donde se consideraron los tratamientos de déficit de humedad, variedades y las etapas fenológicas.

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + L_i + (Ea)_{ik} + V_j + (L.V)_{ij} + (Eb)_{jk} + C_n + Li.C_n + V_jx C_n + V_j.L_j.C_n + E_{ijn}$$

Donde :

Y_{ijk}	Observación cualquiera.
μ	Media poblacional.
B_k	Efecto de k-ésimo bloque.
L_i	Efecto i-ésimo de la parcela grande (humedad).
$(Ea)_{ik}$	Error "a" debido al efecto de bloque por déficit de humedad.
V_j	Efecto de la j-ésima de variedad.
$(L.V)_{ij}$	Efecto de la interacción déficit de humedad por variedad.
$(Eb)_{jk}$	Error "b" debido al efecto de la variedad por el bloque.
C_n	Efecto de la n-ésima de las etapas fenológicas.
$(L.C)_{in}$	Efecto de la interacción déficit de humedad por etapas.
$(V.C)_{jn}$	Efecto de la interacción variedades por etapas.
$(L.V.C)_{ijn}$	Efecto de la interacción déficit de humedad por variedades por etapas.
$(Ec)_{ijnk}$	Error "c" debido al efecto de los bloques y etapas fenológicas.

Cuadro 3.3. Descripción morfológica de dos variedades de quinua con carácter forrajero sometido a diferentes condiciones de manejo en Jaguey de Ferniza y en Buenavista en los años 2000 y 2001.

CARACTERES	SAJAMA	CHUCARA
HABITO DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA	Erguido desde el cuello de la raíz hasta el ápice.	Erguido desde el cuello de la raíz hasta el ápice.
COLORACION DE LA PLANTA	Verde claro.	Verde oscuro con tonalidades rojizas.
RAMIFICACION	Origen base de los peciolos, sencilla a semi ramificado con hojas pequeñas y esparcidas.	Origen base de los peciolos, ramificación sencilla, la subapical de la planta es de color púrpura.
TIPO DE RAIZ	Sistema radicular vigoroso, pivotante (30 cm).	Sistema radicular vigoroso, pivotante (30 cm).
FORMA DEL TALLO Y PIGMENTACION	Cilíndrico con dilataciones poco aristadas, color verde, posición de las hojas: alternas, interior del tallo fibroso de color blanco.	Cilíndrico con dilataciones poco aristadas, color verde con pigmento rosado en axilas, hojas alternas, interior tallo fibroso de color blanco.
LAMINA Y FILOTAXIS FOLIAR	Origen de hojas de 4 lados de entorno del tallo, distancia entre yemas variable, peciolos largos, hojas alternas, inferiores triangulares de tamaño mediano, las apicales lanceoladas pequeñas; planas, margen palmatilobuladas, retinervadas, caedizos, color verde.	Origen de hojas de 4 lados de entorno del tallo, distancia entre yemas variable, peciolos largos, alternas; hojas inferiores triangulares, de tamaño grande, las apicales lanceoladas pequeñas, planas, margen palmatilobuladas, retinervadas, caedizos, coloración verde púrpura (rosada).
TIPO DE PANOJA	Inflorescencia de tipo amarantiforme, consiste de racimos, origen desde las yemas subapicales hasta el ápice, ligeramente espaciado, en cada racimo nacen hojas lanceoladas de tamaño pequeño, de pedicelos menos compactos, sólo es compacto la parte apical de la inflorescencia, de color verde amarillento.	Inflorescencia amarantiforme, consiste de un número de racimos se originan en las yemas subapicales, agrupados ligeramente, la diferenciación es marcada del resto de las ramificaciones, de la base de los racimos nacen hojas lanceoladas pequeñas, pedicelos densos, compacto la parte apical de la panoja. Color púrpura dominante.
FLOR	Hermafrodita, monoperiantada o incompleta, tamaño variable (2-4 mm) C5, K0, A5, G2, pedicelos cortos, color verde.	Hermafrodita, monoperiantadas o incompletas, tamaño variable (2-4 mm) C5, K0, A5, G2, pedicelos cortos, color púrpura.
FRUTO	Aquenio, tipo helecoidal cubierto por el perigonio.	Aquenio, tipo helecoidal cubierto por el perigonio.

Experimentos en el año 2001

En base a los resultados de investigación del año 2000, se consideró necesario estudiar la respuesta del cultivo de quinua a otros tres ambientes climáticos totalmente diferenciados. El cultivo se sembró en tres fechas durante el año y bajo dos condiciones de déficit de humedad: alto y bajo; los ambientes o fechas de siembra fueron establecidos de la siguiente manera:

Determinación de los ambientes (Fechas de siembra)

Orden de siembra	Fecha de siembra
Primera	13 de marzo/ 01. (Ciclo de primavera)
Segunda	11 de junio/01. (Ciclo de verano)
Tercera	3 de septiembre/01 (Ciclo de otoño)

La distribución de los tratamientos de déficit humedad en el suelo fueron:

- **T1 Déficit de humedad bajo en el suelo (Db).**

El máximo abatimiento de la humedad disponible del suelo, alcanzado antes del riego fue entre 50 y 60 por ciento.

- **T2 Déficit de humedad alto en el suelo (Da).**

El máximo abatimiento de la humedad disponible del suelo alcanzado antes del riego fue entre 80 y 90 por ciento.

El estrato control para los abatimientos fue de 0 – 0.6 m.

Localización del experimento

Los experimentos fueron establecidos en el Campo Experimental Buenavista de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), Saltillo, Coahuila; la posición geográfica es de 25° 21' 20" de latitud norte y 101° 01' 30" de longitud oeste, altitud 1743 msnm. El clima predominante según la clasificación de Köppen modificada por García (1988) corresponde al tipo BW hv (x') (e), que equivale a un clima muy seco, semicálido, con invierno fresco, extremo 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 los 345 mm y una evaporación promedio anual de 2167 mm.

El suelo de origen aluvial, perteneciente a la unidad taxonómica de faeozem calcárica, de textura migajón arcilloso, con un contenido de materia orgánica del 4.40 por ciento, cantidades regulares de nitrógeno, fósforo y muy rico en potasio; el potencial hidrógeno es ligeramente alcalino (8.4), mientras la densidad aparente es de alrededor de 1.18 g/cm³. Las constantes específicas del suelo de capacidad de campo y punto de marchitez permanente promedio fueron de 28.1 y 14.04 por ciento de humedad base volumen del suelo, siendo la humedad aprovechable de 14.06 por ciento de humedad base volumen del suelo; el material genético utilizado en las evaluaciones del segundo año fueron las variedades Sajama (en la 1^a y 2^a siembra) y la variedad Chucara en las tres siembras.

Distribución de los tratamientos en el campo

Los experimentos para las dos primeras siembras del ciclo de primavera y verano, se establecieron bajo el diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones; donde la parcela representó dos niveles de déficit de humedad en el suelo: bajo (Db) y alto (Da) y la sub parcela constituyó las variedades Sajama y Chucara, se efectuaron muestreos (corte) durante las etapas de panojamiento y floración.

En la tercera siembra ciclo de otoño se utilizó únicamente la variedad Chucara bajo el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y dos tratamientos de déficit de humedad en el suelo: bajo (Db) y alto (Da), se efectuaron muestreos (cortes) durante las etapas de panojamiento y floración; esta situación se debió a la falta de disponibilidad de semilla de la variedad Sajama.

Establecimiento del Experimento

Las tres siembras se establecieron sobre un terreno convenientemente preparado con antelación a las fechas de siembra; las labores realizadas comprendieron, un barbecho profundo, dos rastreos y un nivelado; generalmente cinco días antes de las siembras se efectuaron los riegos de pre siembra hasta su nivel de capacidad de campo (28.1 por ciento base volumen).

Al momento de las siembras se aplicaron fertilizantes en forma uniforme sobre las parcelas empleándose una dosis de fertilización de 120-40-00 (N-P-K) a base de sulfato de amonio (35.0 por ciento de N) y pentóxido de fósforo (18.5 por ciento de P) y una densidad de siembra de 14 kg/ha de semilla, según recomendaciones de Tapia (1985) y Jacobsen y Stolen (1993); la apertura de surcos y colocación de semillas se efectuaron en forma manual con una surcadora, con distancias entre surcos de 0.30 m, posteriormente se cubrieron las semillas con una capa delgada de suelo (1 a 2 cm) tendiente a obtener una germinación adecuada.

Contenidos de humedad.

Los contenidos de humedad de los suelos se determinaron inicialmente por el método gravimétrico, las muestras se tomaron con una barrena Vehimeyer, por estratos de 0.20 hasta 0.60 m de profundidad; posteriormente las mediciones de humedad se continuaron con el aparato dispersor de neutrones, marca Troxler, modelo 4300 a intervalos de siete días y antes a la aplicación de los riegos; para ello se instalaron dos tubos de aluminio (2") por tratamiento hasta una profundidad de 1.40 m. Estas lecturas permitieron calcular directamente los niveles de abatimiento de humedad disponible del suelo y facilitaron conocer la condición del suelo para la aplicación del riego en los diferentes tratamientos. Los riegos de auxilio se realizaron por el método de aspersión, como en el anterior experimento, los aspersores se colocaron en las

esquinas y al interior se instalaron pluviómetros para el control de los volúmenes de agua aportados.

Manejo del cultivo

En las tres siembras al inicio de la fase de crecimiento vegetativo inicial se presentó la proliferación de hierbas anuales de diferentes especies, por lo que se realizaron deshierbes manuales a los 30 días después de la siembra. Se observó también la aparición de *Diabrotica* sp, afectando significativamente los meristemas apicales de las plantas y las inflorescencias, por lo que consideró necesario el control con un insecticida de tipo sistémico en las siembras de primavera y verano a los 25 DDS.

Evaluación del experimento

Para las evaluaciones de las siembras del año 2001 y tomando en cuenta los resultados obtenidos en la siembra del 2000, se consideró más conveniente evaluar la respuesta de producción forrajera del cultivo que fueron en las etapas de panojamiento y floración, debido a que en las etapas posteriores de desarrollo, los tallos y las ramificaciones presentan una lignificación considerable y esta consistencia rígida imposibilita el consumo del ganado.

Se evaluaron las mismas variables que en la primera siembra: materia verde y seca, contenidos de proteína y saponinas, eficiencia en el uso del agua para la producción de materia seca y proteína. Para el cálculo de rendimiento de materia verde y seca se cosechó una superficie de 1.3 m² (0.3 x 4.5 m) con competencia completa; se efectuaron las mismas metodologías en campo y laboratorio que las realizadas en el experimento del año 2000, para analizar las variables.

Aspectos agronómicos complementarios

Con el propósito de conocer los valores de potencial hídrico que ocurren en las plantas de quinua, cuando es sometida a condición de déficit hídrico progresivo en el suelo, fue que se realizó esta evaluación y asimismo conocer la relación entre el potencial hídrico y la concentración de saponinas. Se efectuaron estudios bajo dos niveles de humedad en condiciones controladas, en la fase de panojamiento tendiente a determinar el potencial hídrico, resistencia estomática y el área foliar. Para ello se utilizaron los aparatos de la cámara de Scholander, porómetro y un integrador eléctrico. En la evaluación se empleó la variedad Chucara y la siembra se efectuó en bolsas de polietileno de 20 kg rellenas con suelos preparados, colocándose en cada una cinco semillas, posteriormente dejar una plántula por bolsa, para luego formar dos grupos de diez plantas cada una.

Hasta la etapa de panojamiento (80 DDS) todas las plantas recibieron cantidades iguales de agua y luego se mantuvo un grupo como control, con aplicación de riegos cada dos días cercano a su capacidad de campo y al otro grupo se le suspendió el riego por completo hasta la evaluación final. Para medir el potencial hídrico se tomaron hojas maduras de una planta completa a las 14 h y con intervalos de 4 días, en total se efectuaron cuatro mediciones.

Para analizar los contenidos de saponinas, se colectó por tratamiento una planta entera en cada muestreo, para luego ser llevada a una estufa para su secado; para determinar los niveles de saponinas, se aplicó la misma metodología realizada en el experimento de 2000.

Análisis estadístico de la información

En el análisis estadístico de las dos primeras siembras, el modelo aplicado fue el mismo del experimento de Jaguey de Ferniza y para las mismas variables de respuesta; en la tercera siembra se utilizó el modelo de dos factores, también propuesto por Steel y Torrie (1983) cuyas variables para la variedad Chucara fueron: materia verde y seca, contenidos de proteínas y saponinas.

$$Y_{ijk} = u + Bk + Li + (Ea)_{ik} + Vj + (L.V)_{ij} + (Eb)_{ijk}$$

Donde :

Y_{ijk}	Observación cualquiera
μ	Media poblacional
B_k	Efecto de k-ésimo bloque
L_i	Efecto i-ésimo de la parcela
$(E\alpha)_{ik}$	Error "a" debido al efecto de bloque por déficit de humedad
V_j	Efecto de la j-ésima de las etapas o cortes
$(L.V)_{ij}$	Efecto de la interacción humedad y etapas
$(Eb)_{ijk}$	Error "b" debido al efecto de las etapas por el bloque

Efecto de ambientes

El efecto de los ambientes o fechas de siembra (4) en la variedad Chucara, sometida a dos tratamientos de déficit de humedad en el suelo fue analizado estadísticamente con un diseño experimental de un factorial combinado (4x2x2) con cuatro repeticiones, donde: el factor (A) constituye los cuatro ambientes, el (B) dos niveles de déficit de humedad en el suelo (D_b y D_a) y el factor (C) constituye las etapas de panojamiento y floración, respectivamente. En el análisis de varianza se aplicó el Modelo estadístico propuesto por Martínez (1996), en el cual se contempla los déficit de humedad, variedades, proteínas y saponinas. La tabla del análisis de varianza se deriva a partir del siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijkl} = u + Bl + \tau_{ijq} + e_{ijkl}$$

$$i, j, q = 0, 1 \dots, l = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

u = Efecto general.

Bl = Efecto del bloque l .

τ_{ijq} = Efecto de los tratamientos $A_i D_j E_q$.

e_{ijq} = El elemento de error con las propiedades clásicas del modelo.

Y_{ijkl} = La característica en estudio.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

Experimento en el año 2000

En este primer experimento la influencia de los tratamientos sobre el cultivo de quinua es debido a las condiciones de humedad en el suelo, establecidas por los tratamientos en el período comprendido del 9 DDS al 78 DDS (Figura 4.1). Las lluvias registradas a partir de los 79 DDS hasta el final del ciclo (120 DDS) fueron en una cantidad de 115 mm, evitaron que los abatimientos previstos fueron alcanzados, por esta circunstancia durante este período no se efectuaron riegos en los tres tratamientos.

En el período comprendido de 9 DDS al 78 DDS al tratamiento 1 (Db) se le aplicaron cuatro riegos de acuerdo al programa establecido (Figura 4.1), la evapotranspiración del cultivo en este período fue de 305 mm; al tratamiento 2 (Dm) también se le aplicaron cuatro riegos, la evapotranspiración durante el mismo período fue de 249 mm. Al tratamiento 3 de mayor déficit hídrico (Da) se le aplicaron tres riegos y la evapotranspiración fue de 200 mm de agua.

Los resultados de consumo de agua confirman que el cultivo en el tratamiento 1 estuvo sometido a condiciones más favorables de disponibilidad de agua en el suelo que el tratamiento 2 y este a su vez que el tratamiento 3, en este último el cultivo se desarrolló en un suelo de mayor déficit hídrico la que provocó que el cultivo estuviera sometido a un fuerte estrés hídrico por un período prolongado.

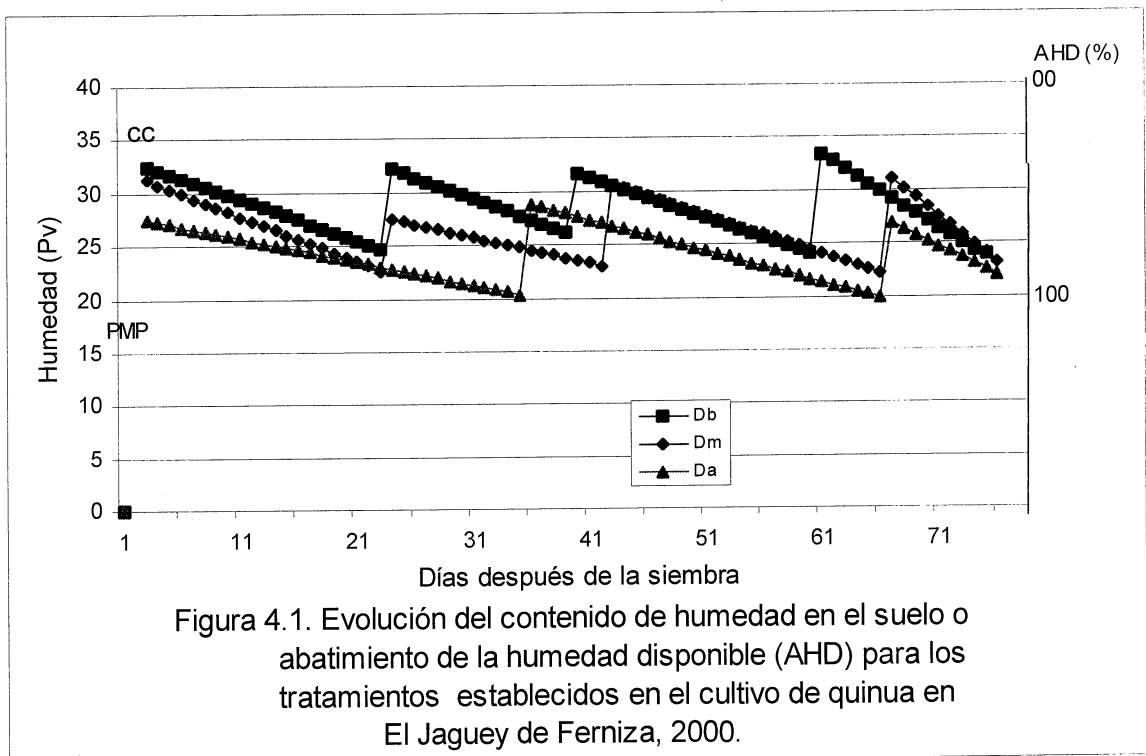
Materia verde y materia seca

El análisis de varianza (Cuadro 4.1) indica que no hubo diferencias entre variedades para la producción de materia verde y seca, concentración de proteínas y de saponinas en los tratamientos de déficit de humedad evaluados, por esta razón para el análisis y discusión de los resultados se utilizará el valor medio de las variedades.

El análisis de varianza (Cuadro 4.1) indica que el cultivo tuvo una respuesta altamente significativa ($P < 0.01$) a los tratamientos de déficit de humedad en el suelo, en lo que concierne a la producción de materia verde y materia seca en las etapas de panojamiento, floración y llenado de grano.

El cultivo en el tratamiento 1 o déficit de humedad bajo tuvo en la fase de panojamiento un rendimiento de materia verde (MV) de 41,737 kg/ha y de materia seca (MS) de 5,859 kg/ha (Figuras 4.2 y 4.3 y Cuadros A.5 y A.6 del apéndice); el tratamiento de déficit medio tuvo una reducción del 31 por ciento

en rendimiento de MV y 37 por ciento en MS con respecto al tratamiento 1; por otra parte en el tratamiento 3 el mayor déficit de humedad ocasionó una reducción de cerca del 51 por ciento en las dos variables. En la fase de floración el tratamiento 1 alcanzó un rendimiento de 61,323 kg/ha de MV y de 10,707 kg/ha de MS; el tratamiento 2 tuvo una reducción del 30 por ciento en las dos variables y el tratamiento 3 de un 40 por ciento. En la fase de llenado de grano en el tratamiento 1 alcanzó una producción de 62,934 kg/ha de MV y 13,490 kg/ha de MS, el tratamiento 2 tuvo una reducción del 28 por ciento y el tratamiento 3 del 41 por ciento en las dos variables.



La prueba de medias (DMS 0.05) establece que los déficit de humedad medio y alto son estadísticamente similares en la producción de materia verde y seca e inferiores al déficit bajo, para el mismo tratamiento tanto las proteínas como las saponinas no registran diferencias (Cuadro A.12).

Cuadro 4.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y Seca (MS), contenidos de proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) en tres tratamientos de déficit de humedad, dos variedades de quinua y cinco etapas fenológicas, siembra en Jaguey de Ferniza, 2000.

CUADRADOS MEDIOS (CM)					
F V	gl	MV Kg/ha	MS kg/ha	PC %	SAP %
Repeticiones	3	239992832.0	5867690.5	2.5208	0.0344
D. humedad (D)	2	2898477056.0**	89619840.0 **	1.0605	0.1095**
Error (A)	6	79807832.0	1124480.0	0.4641	0.0081
Variedades (V)	1	62226432.0	140288.0	5.1328	0.0035
D x V	2	7536640.0	138368.0	1.8359	0.0110
Error (B)	9	15449203.0	718762.6	1.1692	0.0104
E. fenologic (E)	4	100051377152**	426705408 **	355.447 **	0.3798**
D x E	8	256281600.0	9982304.0 *	3.7900 *	0.0586**
V x E	4	34820096.0	484608.0	0.7685	0.0133
D x V x E	8	4759552.0	140640.0	1.2177	0.0101
Error (C)	72	18968575.0	857784.8	1.7039	0.0115
TOTAL	119				
C V %		15.46	18.46	7.60	23.98

*, ** Significativos al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente.

Con respecto a las etapas se llegaron a identificar diferencias en todas las etapas en materia verde y seca, excepto en las etapas de floración y llenado de grano en MV. En el mismo tratamiento se detectó diferencias en proteína para las tres primeras etapas, en cuanto a la concentración de saponinas se observó una tendencia variada y el valor más elevado se presentó en la etapa de panojamiento.

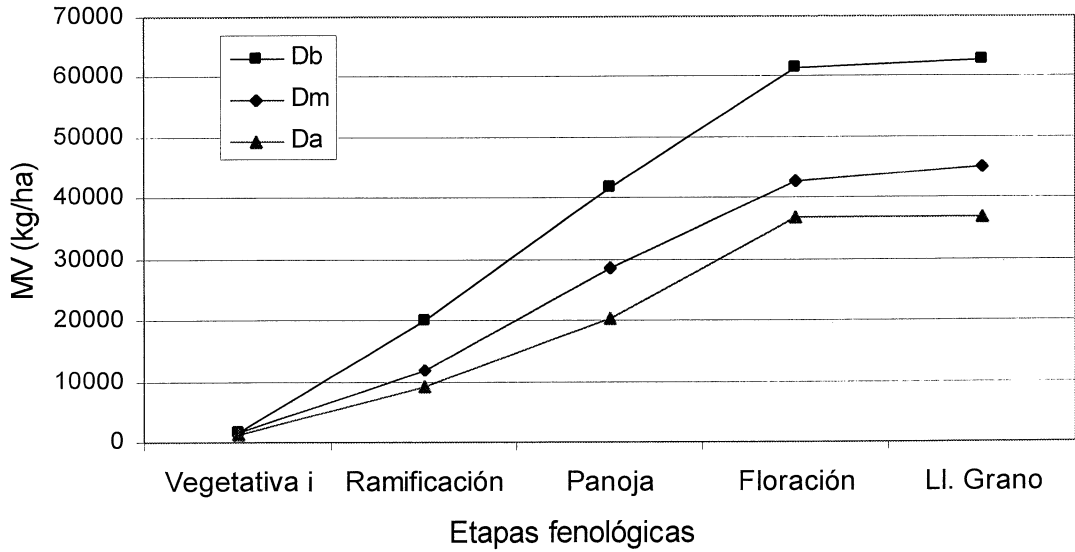


Figura 4.2. Rendimiento de materia verde (MV) de dos variedades de quinua en tres déficit de humedad en el suelo en Jaguey de Ferniza, 2000.

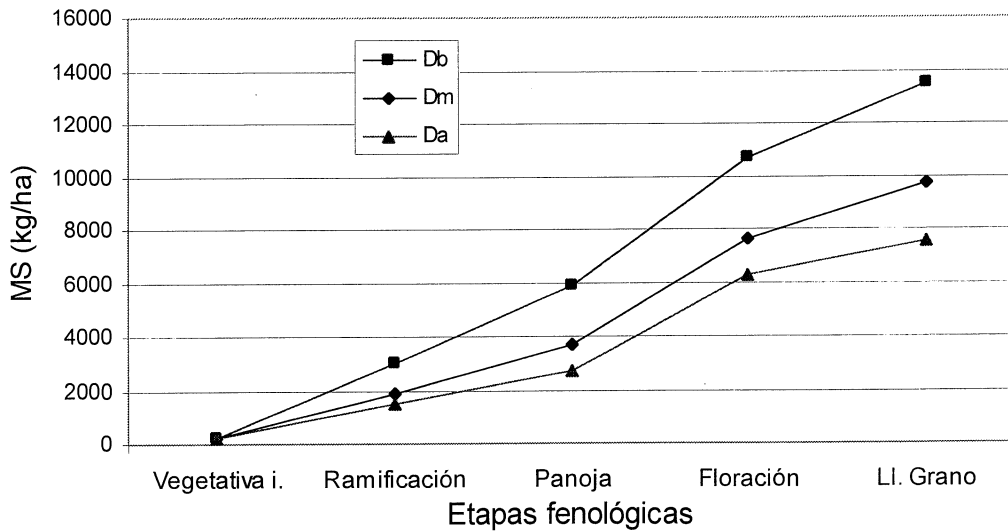


Figura 4.3. Rendimiento de materia seca (MS) de dos variedades de quinua, en tres déficit de humedad en el suelo en Jaguey de Ferniza, 2000.

Los mayores rendimientos de materia verde y seca alcanzados por las variedades Sajama y Chucara en el tratamiento de déficit de humedad baja, es el resultado de la capacidad fotosintética por unidad de área foliar y de la absorción de agua y nutrimentos del suelo, como también de la translocación de fotosintatos a los diferentes órganos de las plantas. En cambio los tratamientos de déficit de humedad media y alta por las limitaciones hídricas impuestas a lo largo del ciclo no lograron expresar su potencial productivo, sin embargo a pesar de presentar diferencias entre parcelas, estos materiales en alguna medida lograron desarrollarse con cierta normalidad, la cual está expresada en su biomasa producida (Cuadros A.5 y A.6).

Contenido de proteína

Con respecto al contenido promedio de proteína de las dos variedades, en la primera etapa (vegetativa inicial) presentaron valores elevados hasta de 24.2 por ciento (Figura 4.4 y Cuadro A.7), para luego registrar en las sucesivas etapas una disminución gradual del contenido de este compuesto. En las siguientes etapas de panojamiento y floración se registraron valores de proteína de 17.9 y 15.9 por ciento, respectivamente, hasta llegar a 14.5 por ciento en la etapa de inicio de llenado de grano, que resulta ser el valor más bajo de todas las etapas evaluadas.

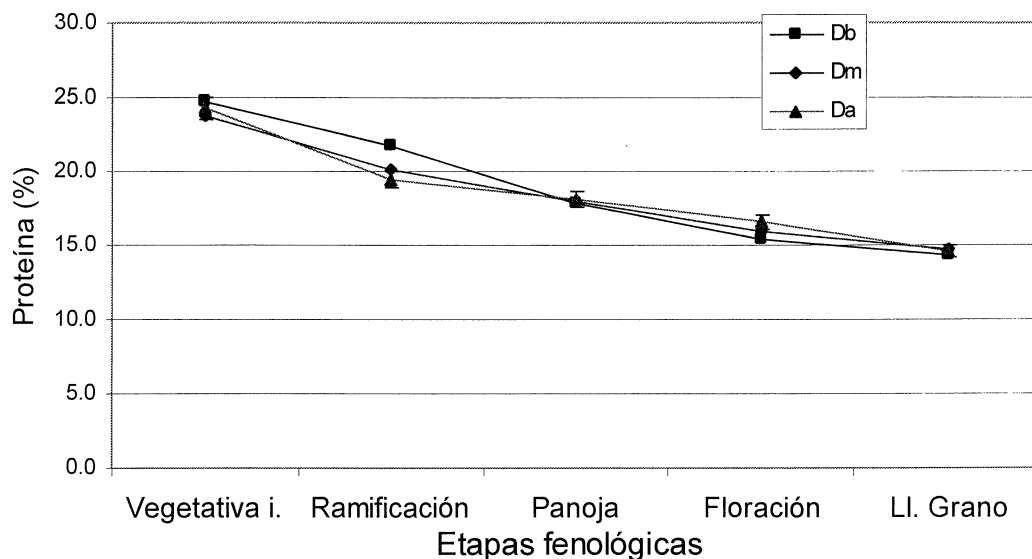


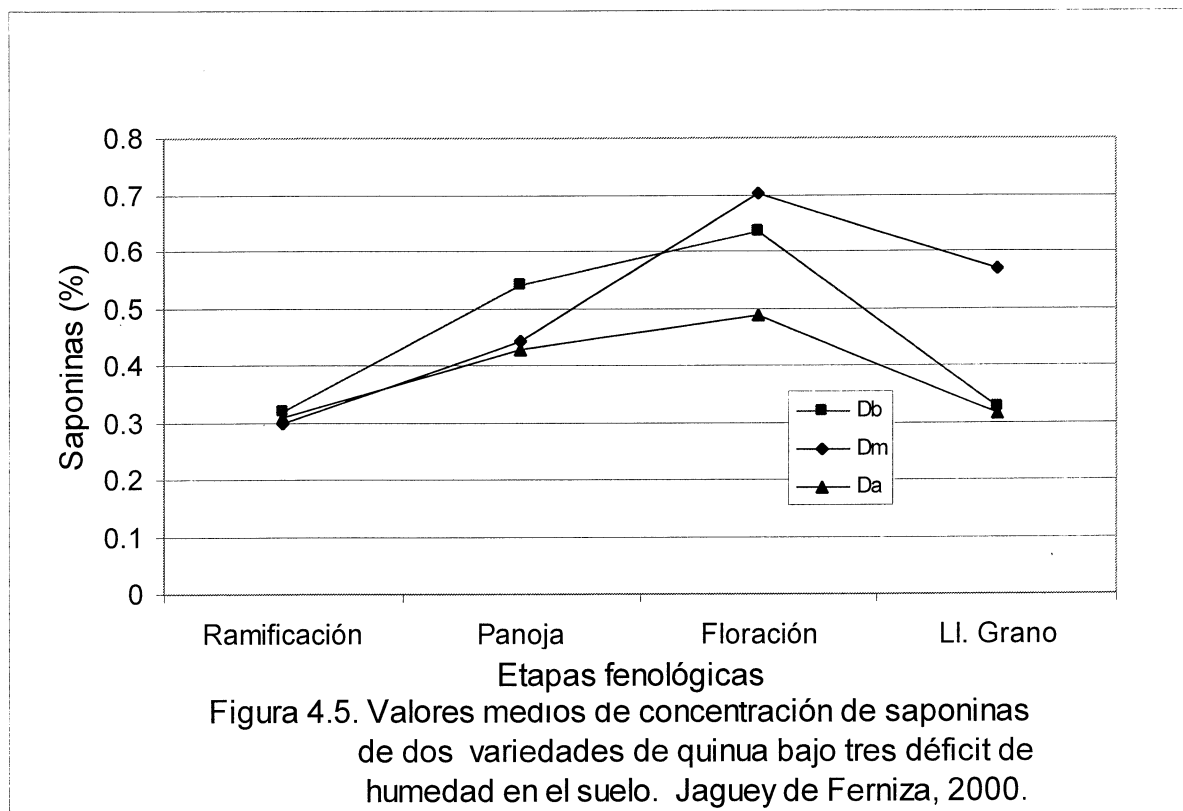
Figura 4.4. Contenido de proteína (%) de dos variedades de quinua bajo tres déficit de humedad en el suelo. en Jaguey de Ferniza, 2000.

Estos valores de proteína encontrados en el experimento concuerdan con Fraga *et al.* (1994) y Díaz y González (1994) quienes en experimentos conducidos en Cuba con quinua y con propósitos forrajeros, llegaron a obtener valores de proteína entre 23.0 y 24.0 por ciento a los 60 DDS. Por las bondades nutricionales que ofrece este pseudocereal, ha sido estudiado ampliamente en la última década, elogiado y reconocido por Prego *et al.* (1998), Schlick y Bubenheim (1996), Prakash *et al.*, (1998) y FAO (1989). Como resultado de los análisis se establece que el contenido de proteína presenta una variación conforme transcurren las etapas fenológicas; además se evidencia que el estrés

hídrico en las plantas provocado por el déficit de humedad en el suelo, no tiene efectos significativos sobre las reacciones químicas para la síntesis de proteínas. Estos resultados coinciden con Mahoney *et al.* (1975).

Contenidos de saponinas

El análisis de varianza de los resultados del contenido de saponinas (Cuadro 4.1) presenta diferencias significativas ($P < 0.01$) para tratamientos de déficit de humedad, etapas de desarrollo e interacción déficit por etapas. Al inicio de la etapa de ramificación los valores fluctuaron de 0.29 a 0.31 por ciento (Figura 4.5 y Cuadro A.8) y a continuación se observa una acumulación gradual hasta la etapa de floración alcanzando valores de 0.48 por ciento (Da) a 0.63 por ciento (Db), posteriormente se registran disminuciones del contenido en los tratamientos hasta llegar a la etapa de inicio de llenado de grano a 0.31 por ciento (Da) y a 0.32 por ciento (Db). Este comportamiento podría atribuirse al incremento de la biomasa, lo cual repercute en una aparente dilución del contenido de saponinas, además a la translocación de estos compuestos de los órganos vegetativos hacia el grano en la etapa final de su desarrollo.



En lo que respecta a la influencia de los tratamientos de déficit hídrico en la concentración de saponinas, podemos señalar que en las etapas de panojamiento y floración los tratamientos tuvieron un comportamiento contrario a lo planteado en la hipótesis, el tratamiento de déficit bajo presentó una mayor concentración de saponinas (0.53 y 0.63 por ciento) que el tratamiento de déficit alto (0.42 y 0.48 por ciento). Mientras que en la fase de inicio de llenado de grano las concentraciones son similares (0.31 por ciento). En la Figura 4.5 se observa una tendencia acumulativa de los niveles de saponinas hasta la etapa de floración, este tipo de comportamiento también fue observado por Mastebroek et al. (2000) en ocho genotipos de quinua, por lo que se presume la

translocación de saponinas, desde los distintos tejidos de la planta hacia los granos a partir de la etapa de floración. El reporte establece un incremento sustancial de este compuesto durante el desarrollo vegetativo de los genotipos, llegando a cuantificar para granos dulces valores de 0.02 a 0.04 por ciento y en amargos de 0.4 a 1.13 por ciento en materia seca.

De acuerdo a estos valores las variedades Sajama y Chucara se pueden considerar variedades amargas. Lo sobresaliente de nuestro estudio fue la elucidación del patrón de acumulación de saponinas en las diferentes etapas de las plantas, el cual por primera vez ha sido estudiado. Con respecto al sabor amargo de los granos de quinua, Ma *et al.* (1989) corrieron muestras por métodos espectroscopicos y enzimáticos, llegando a clasificar cuatro clases de saponinas y fueron identificados como glicósidos del ácido oleanólico

Eficiencia en el uso del agua

Los valores de eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo, para la producción de materia seca obtenidos en este primer experimento en la fase de panojamiento, fueron de 1.90 kg/m³, 1.27 kg/m³ y 1.35 kg kg/m³ para los tratamientos de déficit de humedad bajo, medio y alto respectivamente (Cuadro 4.2). En cuanto al EUA en la producción de proteínas los valores fueron de 0.34 kg/m³ en Db, 0.26 kg/m³ en Dm y 0.24 kg/m³ en Da.

En la etapa de floración los valores de EUA para materia seca se incrementaron para los tres tratamientos a 2.43 kg/m^3 en Db, 2.17 kg/m^3 en Dm y 2.10 kg/m^3 en Da, esto debido al acelerado crecimiento que tuvo el cultivo durante este período. En proteínas las eficiencias guardaron valores muy similares que en la fase anterior (0.33 kg/m^3 en Dm y 0.37 kg/m^3 Db).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la primera y segunda etapas de desarrollo y aunque las diferencias no son de gran magnitud, el cultivo en el tratamiento de déficit bajo fue más eficiente, lo cual indica que las condiciones favorables de disponibilidad de agua en el suelo provocaron mayor evapotranspiración del cultivo que influyó en los procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, división y expansión celular, promoviendo mayor producción de materia seca por unidad de agua evapotranspirada (Hsiao y Acevedo, 1974).

Con respecto a la eficiencia en el uso del agua, Larcher (1995) establece valores en varias especies herbáceas, estas son en: cereales 1.5, leguminosas 1.3 - 2.5, papa y raíces 1.3 y 1.4 g MS/kg de agua respectivamente. Además Godoy (1990) señala, que cuando se dispone de volúmenes de agua menores a 40 cm, los cultivos responden de una manera más eficiente que otros cultivos tales como el maíz o la alfalfa (2.65 kg/m^3); entre ellos podría destacarse el cultivo de la quinua, esta virtud probablemente se deba a la mayor capacidad de adaptación por el ajuste osmótico bajo condiciones deficientes de agua.

Cuadro 4.2. Eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca y proteína en dos etapas fenológicas en quinua.

TRAT.	ETAPA DE PANOJAMIENTO (80 DDS)					ETAPA DE FLORACIÓN (100 DDS)				
	MS kg/ha	PC kg/ha	Et cm	EUA MS kg /m ³	EUA PC kg/m ³	MS kg/ha	PC kg/ha	Et cm	EUA MS kg/m ³	EUA PC kg/m ³
Db	5859	1045	30.5	1.90	0.34	10707	1651	44.0	2.43	0.37
Dm	3689	662	24.9	1.47	0.26	7585	1205	35.6	2.17	0.33
Da	2723	493	20.0	1.35	0.24	6243	1034	29.7	2.10	0.34

Et = Evapotranspiración; EUA = Eficiencia en el uso de agua; PC = Proteína cruda.

MS = materia seca.

Experimento del año 2001

- Siembra de primavera

En la siembra realizada el 13 de marzo de 2001, la etapa de panojamiento fue alcanzada por el cultivo a los 80 DDS y la de floración a los 100 DDS que corresponde el final de la evaluación del cultivo. De acuerdo al programa preestablecido se realizaron cinco riegos en el tratamiento Db y cuatro en el tratamiento Da (Figura 4.6). La evapotranspiración del cultivo en el tratamiento 1 fue de 492 mm, correspondiendo 111.7 mm a la participación de las lluvias (Cuadro A.2). En el tratamiento 2 la evapotranspiración fue de 440 mm. Lo anterior muestra que el cultivo en Da, al desarrollarse en condiciones de mayor restricción de humedad registró menor consumo de agua y estuvo sometido a mayor estrés hídrico que el tratamiento 1.

La respuesta de las variedades a los tratamientos de déficit hídrico fue significativa ($P < 0.01$) en producción de materia verde (MV) y materia seca (MS) en las dos etapas evaluadas (Cuadro 4.3). En la variedad Sajama en el tratamiento 1 el rendimiento de materia verde en las etapas de panojamiento (P) y floración (F) fue de 48,596 kg/ha y 57,173 kg/ha respectivamente y en la variedad Chucara fue de 59,307 kg/ha y 69,654 kg/ha en el mismo orden (Figura 4.7 y Cuadro A.9). Las condiciones de mayor déficit hídrico en el suelo en el tratamiento 2 ocasionaron en la variedad Sajama una reducción en el rendimiento cercana al 34 por ciento en las dos etapas fenológicas, para la variedad Chucara la reducción fue de un 40 por ciento en panojamiento y de 36 por ciento en floración.

El rendimiento de materia seca en la variedad Sajama fue de 8,809 kg/ha en panojamiento y de 13,853 kg/ha en floración y en la variedad Chucara fue de 9,396 kg/ha y de 16,502 kg/ha en el mismo orden. Las plantas al estar sometidas a mayor estrés hídrico redujeron el rendimiento, en la variedad Sajama fue de un 39 por ciento en panojamiento y de un 30.3 por ciento en floración y en la variedad Chucara de un 31.3 por ciento y un 34.3 por ciento en el mismo orden.

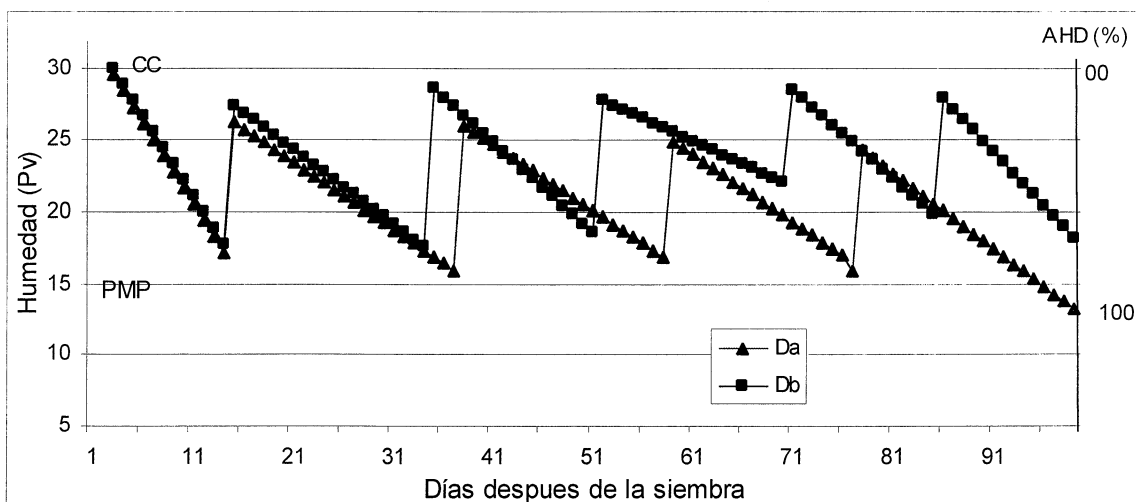


Figura 4.6. Evolución del contenido de humedad en el suelo o abatimiento de la humedad disponible (AHD) para los tratamientos establecidos en el cultivo de quinua en la siembra primavera 2001 en Buenavista, Saltillo.

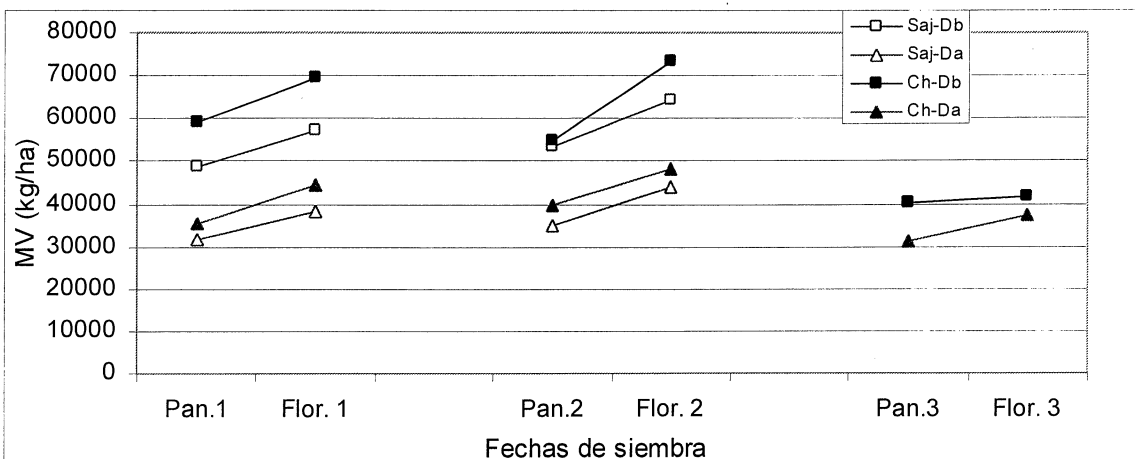
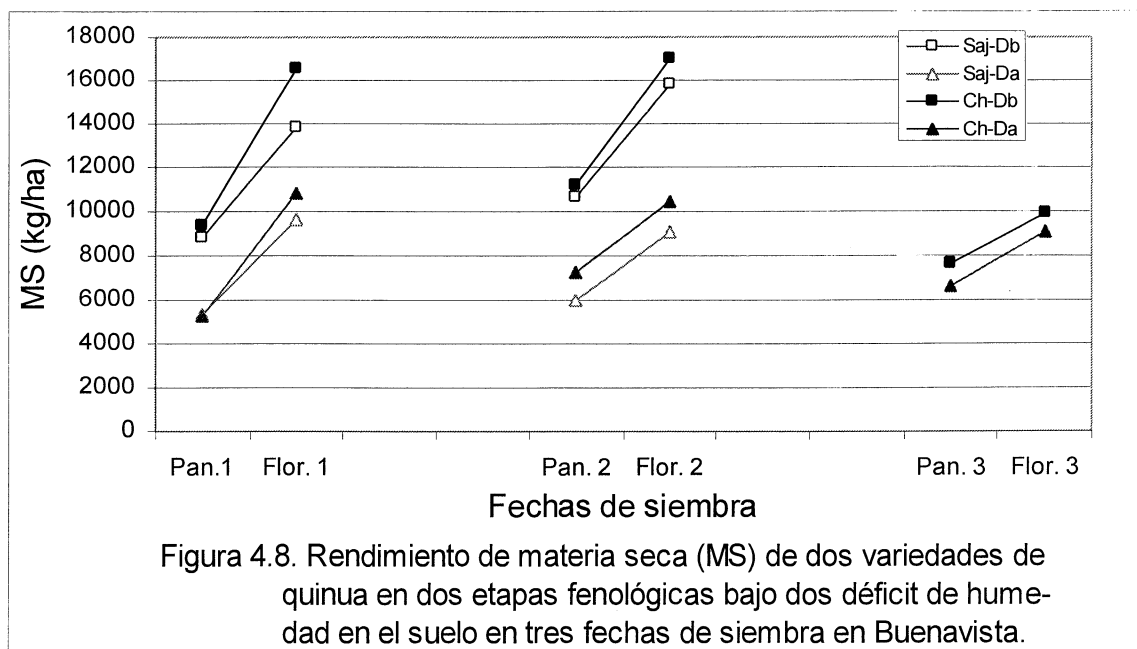


Figura 4.7. Rendimiento de materia verde (MV) de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas bajo dos déficit de humedad en el suelo en tres fechas de siembra en Buenavista.



En el contenido de proteína el análisis detectó diferencias significativas ($P < 0.05$) para el tratamiento de déficit de humedad y variedades (Cuadro 4.3), en tanto en las etapas fenológicas se registraron diferencias significativas ($P < 0.01$) en floración (13.8 por ciento en Db y 14.9 por ciento en Da). Las mayores diferencias de PC se encontraron entre las etapas, donde se obtuvo un valor promedio de 17.9 por ciento en panojamiento y se redujo a 14.3 por ciento en floración (Figura 4.9 y cuadro A.10). El análisis de comparación de medias (DMS 0.05) (Cuadro A.13) registró que en el déficit de humedad y en etapas fenológicas son estadísticamente diferentes en materia verde y seca como también en proteína para las etapas. En cuanto a las variedades únicamente se presenta una diferencia en materia seca y las otras variables son estadísticamente similares.

En relación a la concentración de saponinas los resultados pueden sintetizarse de la siguiente manera, el análisis (Cuadro 4.3) indica que no existen diferencias entre variedades; por otra parte en lo que respecta a la respuesta a los tratamientos de déficit de humedad, las diferencias fueron significativas ($P < 0.05$) solamente en la etapa de floración, el tratamiento de déficit alto tuvo 0.96 por ciento de saponinas y el de déficit bajo 0.82 por ciento (Figura 4.10 y Cuadro A.11); el comportamiento es similar al detectado en la siembra del 2000. De acuerdo a la prueba de medias se identificaron que todos los tratamientos para la concentración de saponinas fueron similares desde el punto de vista estadístico.

Al desarrollarse el cultivo de la etapa de panojamiento a floración la concentración de saponinas presentó un incremento significativo ($P < 0.05$), en la variedad Sajama en Db, la concentración aumentó de 0.66 a 0.82 por ciento y en Da de 0.66 a 0.96 por ciento. En la variedad Chucara los incrementos fueron en Db de 0.76 a 0.82 por ciento y en Da de 0.79 a 0.96 por ciento.

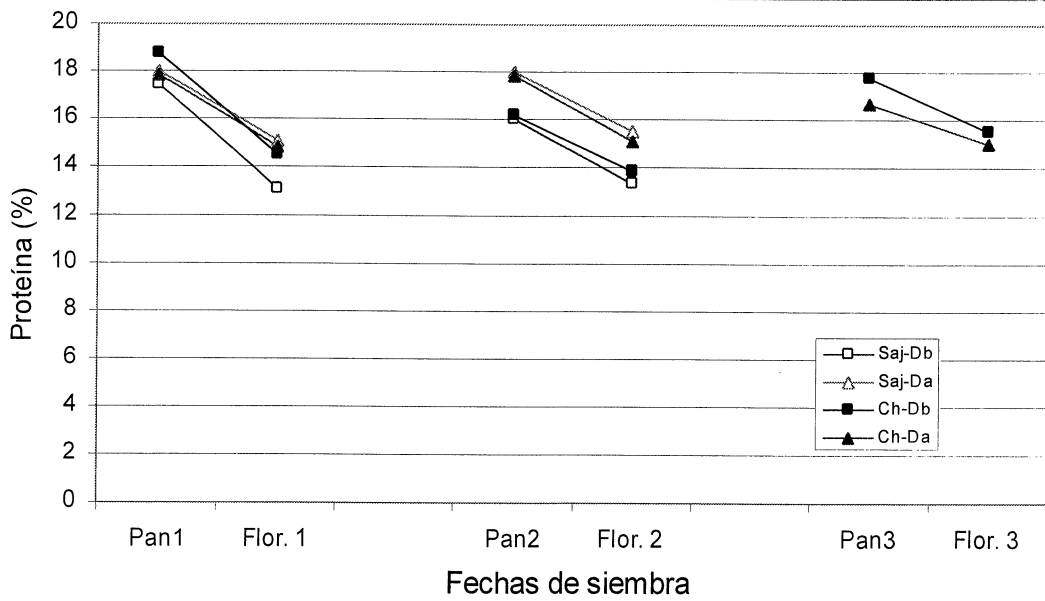


Figura 4.9. Contenidos de proteína (%) de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas a dos déficit de humedad en el suelo en tres fechas de siembra en Buenavista.

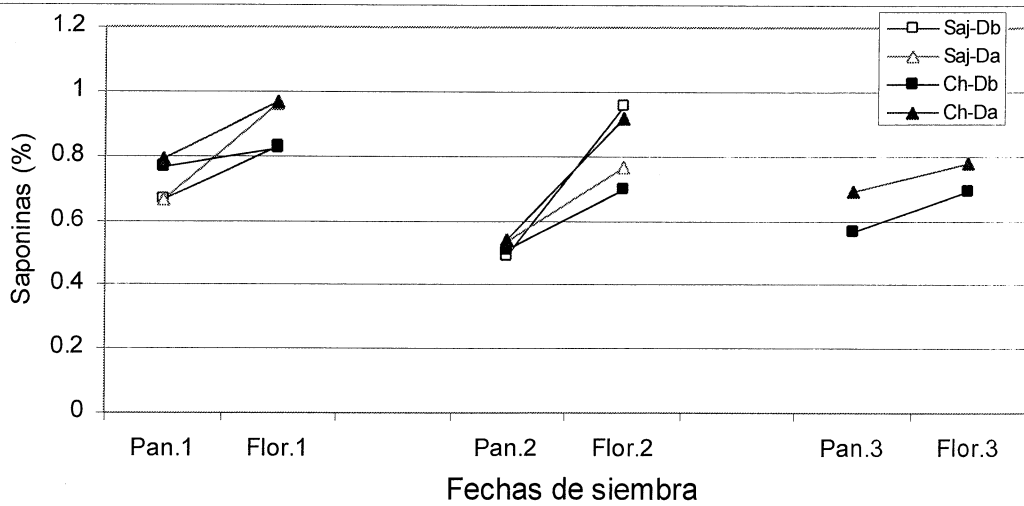


Figura 4.10. Concentración de saponinas (%) de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas a dos déficit de humedad en el suelo en tres fechas de siembra en Buenavista.

Cuadro 4.3. Cuadrados medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y seca (MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP), bajo dos niveles de déficit de humedad en el suelo de dos variedades de quinua en dos etapas fenológicas y en dos fechas de siembra 2001 y localidad.

CUADROS MEDIOS (CM)									
		Ambiente 2 (Siembra primavera)				Ambiente 3 (Siembra verano)			
F V	gl	MV kg/ha	MS kg/ha	PC %	SAP %	MV kg/ha	M. S kg/ha	PC %	SAP %
Repeticiones	3	39381676.0	52101197.0	0.721	0.0454	169091072.0	1732437.0	4.567	0.0071
D. humedad (D)	1	359452672.0 **	152123648.**	1.832 *	0.0889 *	3130892288.**	126941952.**	23.549 *	0.0848 *
Error (A)	3	41945772.0	3899648.0	1.211	0.0514	16280235.0	3276117.2	1.338	0.0012
Variedades (V)	1	543850496.0*	9437952.0*	2.653 *	0.0082	185270272.0*	6330112.0*	0.006 *	0.0149
D x V	1	89858048.0*	2242560.0*	4.610 *	0.0144	729088.0	340224.0	0.373	0.0633 *
Error (B)	6	29566294.0	7990018.0	0.856	0.0208	39671124.0	1878186.0	0.615	0.0259
E.fenologicas(E)	1	578641920.0**	241878784.**	75.954**	0.1804 *	1099948032.**	243961856.**	55.364 **	9.071 **
D x E	1	7340032.0	2678784.0*	3.304 *	0.0137	64135168.0*	3838720.0*	0.001	0.0390
V x E	1	8413184.0*	5425920.0*	0.000	0.0049	31817728.0*	1284864.0*	0.076 *	0.0279
D x V x E	1	147456.0	336128.0*	0.037	0.0054	34652160.0	41216.0	0.446	0.0800 *
Error (C)	12	8108032.0	1151701.3	1.387	0.3371	11102891.0	1093674.6	0.445	0.0560
TOTAL	31								
C V %		5.92	10.77	7.27	20.32	6.46	9.28	4.23	22.59

*, ** : significativos al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente.

Los mayores rendimientos de MV y MS alcanzados por las variedades de quinua en el tratamiento de déficit bajo, son superiores a los obtenidos por Capelo (1983) en Ecuador con las variedades de quinua Sajama y Chonca determinadas a los 105 DDS llegando a producir 56,885 kg/ha (MV) y 10,210 kg/ha (ha) y 51,786 kg/ha (MV) y 9,521 kg/ha (MS), respectivamente; indudablemente los rendimientos de MV y MS obtenidas bajo las condiciones locales de Saltillo indican la buena capacidad adaptativa del cultivo a las condiciones climáticas de la región.

El alto contenido de proteína (18 por ciento) en la etapa de panojamiento en relación a la de floración (14 por ciento) parece estar relacionada directamente con las reacciones bioquímicas propias de la especie *Chenopodium* y con el tiempo de desarrollo principalmente podría atribuirse además que el déficit de humedad y las variedades tienen influencia en el contenido de proteínas. Valores similares fueron obtenidos de las plantas de quinua por Capelo (1983) en Ecuador y Díaz y González (1994) en Cuba, a través de un análisis bromatológico.

Con respecto a la variación de saponinas en las plantas, se considera que el déficit de humedad, etapas y la interacción Déficit por Variedad tienen efectos sobre la acumulación del contenido a lo largo de las etapas; en ese sentido Ward (1998) menciona, que la reducción de los niveles de saponinas se puede lograr por medio del mejoramiento genético; por su parte Ng *et al.* (1994) reportaron en las saponinas de la quinua tres grupos de compuesto: el

ácido oleanólico, la hederaginina y el ácido phytolaccagénico, las cantidades variaron de 6.2 a 23.7 g/kg.

- Siembra de verano

En la segunda siembra establecida el 11 de junio de 2001, la etapa de panojamiento fue alcanzada por el cultivo a los 79 DDS y la de floración a los 101 DDS, que correspondió al final de la evaluación del cultivo. De acuerdo al programa preestablecido se realizaron cinco riegos en el tratamiento Db y cuatro en el tratamiento Da (Figura 4.11). Durante el período se registró una lluvia de 134.7 mm, la evapotranspiración del cultivo durante el ciclo fue de 490 mm para Db y de 460 mm para Da (Cuadro A.3).

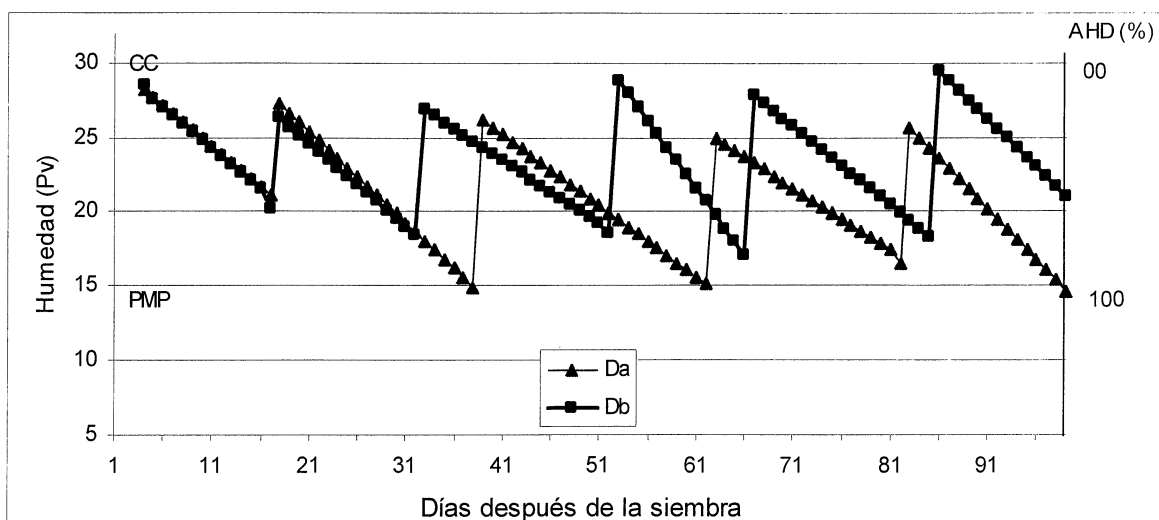


Figura 4.11. Evolución del contenido de humedad en el suelo o abatimiento de la humedad disponible (AHD) para los tratamientos establecidos en cultivo de quinua en la siembra de verano de 2001, Buenavista, Saltillo.

La respuesta del cultivo a los tratamientos de déficit hídrico fue significativa ($P < 0.01$) para la producción de materia verde y seca en las dos etapas evaluadas (Cuadro 4.3), en lo que respecta al comportamiento de las variedades el análisis detectó que la variedad Chucara fue superior a la Sajama ($P < 0.05$) en la fase de floración en Db. En panojamiento en el Db el rendimiento medio de materia verde fue de 54,191 kg/ha y en materia seca fue de 10,168 kg/ha el mayor nivel de estrés hídrico en Da provocó una reducción del 31 por ciento en las dos variables (Figura 4.7 y 4.8 y Cuadro A.9). En la etapa de floración en Db el rendimiento de materia verde fue de 68,748 kg/ha y de materia seca de 16,384 kg/ha, la reducción debido al mayor estrés hídrico fue de un 32 por ciento en MV y de un 28 por ciento en MS.

La concentración de proteínas en panojamiento para el tratamiento Db fue de 16.0 por ciento y para Da de 17.9 por ciento, en la etapa de floración para el tratamiento Db fue de 13.5 por ciento y en Da de 15.2 por ciento, las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($P < 0.05$) y estos resultados muestran que el déficit hídrico provocó un incremento en la concentración de proteínas y son diferentes a los obtenidos en el experimento del año 2000; el incremento puede atribuirse al aumento de la temperatura y de la luminosidad (mayor horas luz). Se comprobó la atenuación en la concentración de proteína al desarrollarse el cultivo de la etapa de panojamiento a floración, de una concentración promedio de 17 pasó a un 14.4 por ciento (Figura 4.9 y Cuadro A.10).

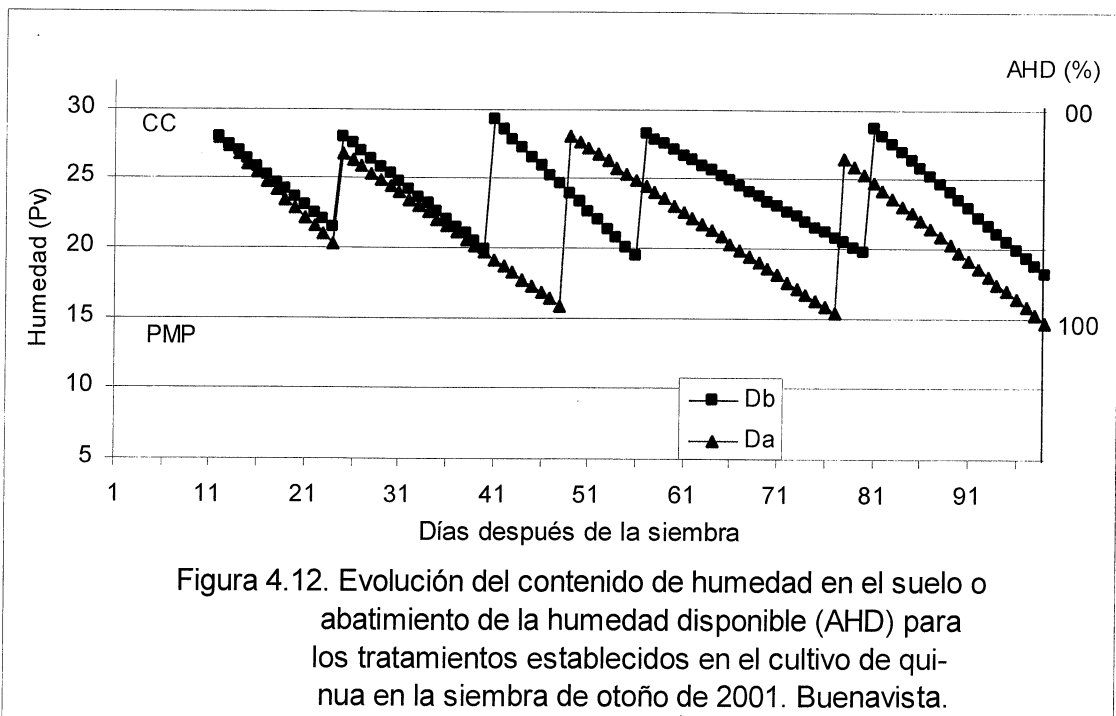
El análisis de varianza establece que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en la concentración de saponinas entre tratamientos de déficit de humedad, estas diferencias fueron detectadas en la etapa de floración de la variedad Chucara, en el tratamiento Db fue de 0.7 por ciento y en Da de 1 por ciento. Al igual que en los experimentos anteriores la concentración de saponinas aumentó al pasar el cultivo de la etapa de panojamiento con una concentración promedio de 0.5 por ciento a floración con 0.85 por ciento (Figura 4.10 y Cuadro A.11).

La comparación de medias (DMS 0.05) (Cuadro A.13) indica que las variedades son estadísticamente similares en materia verde y seca, proteína y saponinas. Para el déficit de humedad las variables de MV y MS son diferentes; en lo que concierne a las concentraciones de proteína y saponinas son similares y en lo que respecta a las etapas fenológicas fueron estadísticamente diferentes para todas las variables.

- Siembra Otoño

En la siembra de otoño únicamente se sembró la variedad Chucara y la etapa de panojamiento fue alcanzada a los 80 DDS y la de floración a los 101 DDS; las condiciones climáticas comenzaron a registrar variaciones, en lo que concierne principalmente a la declinación gradual de la temperatura del aire y a la reducción de la radiación solar, etc. (Cuadro 4.8), que determinaron menor demanda climática y debido a ello solamente se aportaron cuatro riegos en el

tratamiento Db y tres riegos en Da (Figura 4.12). La evapotranspiración del cultivo durante el ciclo fue de 374 mm para el tratamiento Db y 331 mm para el Da, la lluvia acaecida durante este ciclo fue de 80.6 mm (Cuadro A.4).



El comportamiento del cultivo a los tratamientos de déficit hídrico y a etapas fenológicas fue significativa ($P < 0.01$) para la materia verde y seca, también en etapas se presenta diferencias significativas ($P < 0.01$) para proteínas y sólo se registran diferencias ($P < 0.05$) para el mismo tratamiento en saponinas y también en la interacción déficit de humedad por etapas para materia seca y proteína (Cuadro 4.4). La prueba de medias (DMS 0.05) (Cuadro

A.13) presenta diferencias en déficit de humedad sólo para materia seca y en etapas se detectan diferencias para materia seca, proteínas y saponinas .

El rendimiento de materia verde en la etapa de panojamiento en Db fue de 40,160 kg/ha y en materia seca de 9,072 kg/ha. El mayor déficit hídrico del tratamiento Da provocó una reducción de materia verde del 22 por ciento y en materia seca de 37 por ciento con respecto al Db (Figuras 4.7 y 4.8 y Cuadro 9.A). Para el tratamiento Db en floración el rendimiento de materia verde fue de 41,538 kg/ha y de materia seca de 9,894 kg/ha, la reducción en biomasa en Da fue de 10 por ciento en MV y de 18 por ciento en MS con respecto a Db.

En contenido de proteína se presentan diferencias significativas ($P < 0.01$) en etapas, los valores más altos de proteína corresponden a los dos tratamientos de déficit (Db y Da) en panojamiento con 17.7 y 18.7 por ciento, mientras en floración los valores de proteína descienden en los dos niveles de Db y Da a 15.5 y 15.0 por ciento (Figura 4.9 y Cuadro A.10). En la concentración de saponinas se presenta diferencias significativas ($P < 0.05$) para etapas fenológicas y no existen otros efectos de los tratamientos sobre esta variable, los valores medios de saponinas obtenidos para las dos etapas fueron de 0.62 por ciento (panojamiento) y 0.72 por ciento (floración).

Las condiciones cambiantes del clima que son propias de la época del año, tuvieron influencia directa en la actividad fisiológica de las plantas, lo cual está expresado en los rendimientos alcanzados de materia verde y seca; en lo

que respecta a los contenidos de proteína y saponinas en las etapas de panojamiento y floración presentan la misma tendencia de disminución y de acumulación con el transcurso del tiempo (Figuras 4.9 y 4.10).

Cuadro 4.4. Cuadrados medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y seca (MS), contenidos de proteína (PC) y saponinas (SAP) en dos tratamientos de déficit de humedad y dos etapas fenológicas para la variedad Chucara en la tercera siembra en Buenavista, 2001.

CUADRADOS MEDIOS (CM)					
F V	GI	MV kg/ha	MS kg/ha	PC %	SAP %
Repeticiones	3	257365.3	410197.3	5.134	0.0063
D. humedad (D)	1	163909632.0 **	7923072.0 **	0.248	0.0016
Error (A)	3	14057472.0	99754.6	2.597	0.0019
E. fenologicas (E)	1	54622208.0 **	33067456.0 **	34.486 **	0.0133 *
D x E	1	21483520.0	1146368.0 *	1.883 *	0.0002
Error B	6	4926805.0	193920.0	0.792	0.0011
TOTAL	15				
C V %		5.89	5.46	5.33	8.18

*, ** : significativos al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente.

En La segunda siembra se registró un incremento substancial de MV y MS, con respecto a la primera y tercera siembra, posiblemente se deba a la mayor actividad fisiológica de las plantas, puesto que se registró un aumento de la temperatura de 3°C y la luminosidad se mantuvo casi similar (22.43°C y 9.0 h/luz), respectivamente; en relación a la primera siembra; este implica que el cultivo responde apropiadamente al incremento de la temperatura del aire y permite a la planta desarrollar mayor cobertura foliar y mayor tasa fotosintética.

En los contenidos de proteína en las dos fechas de siembra, se presentaron la misma tendencia de reducción a través del tiempo en promedio se tiene de 17.35 a 14.57 por ciento y esta situación parece estar directamente relacionada con las reacciones bioquímicas de la especie *Chenopodium*, Con respecto, a la utilización de proteínas de quinua con fines alimenticios, Jacobsen *et al.* (1997) recomiendan un rango de 120 a 180 g/kg. En lo que respecta a los contenidos de saponinas en plantas de quinua, se presentaron un comportamiento inverso a la de proteínas durante las etapas de desarrollo. Al respecto Mastebroek *et al.* (2000) trabajaron con genotipos dulce y amargo, llegando a detectar contenidos de saponinas a los 82 DDS en las hojas de grano dulce de 0.4 g/kg y de 11.3 g/kg en amargas e indican que las diferencias de niveles de saponinas en hojas y semillas fueron grandes, siendo la hederaginina la principal saponina presente en las hojas y el ácido oleanólico en las semillas.

En la tercera siembra de otoño se produce para la variedad Chucara un descenso en la producción de materia verde en un 43 por ciento con respecto a la segunda siembra de verano en la etapa de floración y en materia seca una disminución del 26 por ciento; este contraste se debe indudablemente a los cambios climáticos del ambiente que son propias de la época del año (otoño), tales como el descenso de la temperatura, reducción de la insolación (16.2°C y 7.4 horas luz/día) y al enfriamiento gradual del suelo. Estos factores son considerados de importancia para la producción de la biomasa de las plantas, afectaron en forma significativa en la fisiología vegetal. De lo indicado se puede

sintetizar que los factores climáticos como la temperatura, radiación solar desempeñan funciones destacables en la producción de biomasa en la planta (Kramer, 1984; Salisbury y Ross, 1994; Jones, 1992)

Eficiencia en el uso del agua

En las tres siembras igualmente en la fase de panojamiento como en la floración predominó el tratamiento de déficit de humedad bajo, con valores superiores de EUA en la producción de materia seca que el tratamiento contrastante de déficit de humedad alto, también predominó que el valor de EUA en cada tratamiento aumentara al desarrollarse el cultivo de la etapa de panojamiento a la de floración (Cuadro 4.5). En panojamiento los valores de EUA para Db fluctuaron entre 2.2 y 2.74 kg/m³ y para Da fueron entre 1.45 y 2.28 kg/m³. En la etapa de floración los valores para Db oscilaron entre 2.81 y 3.45 kg/m³ y para Da variaron entre 2.19 y 2.70 kg/m³.

El tratamiento de Db tuvo valores de eficiencia superior, debido a que el cultivo se desarrolló en un suelo con mayor disponibilidad de agua, lo cual influyó para que el cultivo creciera en condiciones de menor estrés hídrico que el otro tratamiento; además originó que la evapotranspiración fuera superior, lo cual repercutió favorablemente en el proceso de fotosíntesis, que determina la producción de biomasa (Stanhill, 1986). La mayor eficiencia en la etapa de floración, se debió a que el cultivo tuvo un acelerado crecimiento, de la materia seca acumulada a la floración, entre el 36 y 48 por ciento se acumuló al

evolucionar el cultivo de la etapa de panojamiento a la floración, período que representó el 20 por ciento del tiempo transcurrido después del establecimiento del experimento.

La quinua alcanza los valores mayores de EUA cuando se tiene la mayor evapotranspiración, comportamiento que es similar al de maíz y contrario al de otros cultivos, como el sorgo, frijol y trigo, que tienen valores mayores de EUA cuando la evapotranspiración del cultivo tiende a disminuir o es sometido a mayor estrés hídrico (Godoy, 1990). El comportamiento del cultivo de la quinua indica que responde favorablemente al riego; para la condición de mayor producción de materia seca, los valores de EUA en el cultivo de la quinua, son similares a los de maíz (3.0 a 3.4 kg/m^3) y superiores a los de alfalfa (1.5 a 2.1 kg/m^3), cebada (2.1 kg/m^3) y trigo (1.8 kg/m^3), de acuerdo con lo reportado por Hanks (1983).

En lo que respecta a la EUA para la producción de proteína, el comportamiento fue similar a los valores de EUA para la producción de materia seca. En las etapas de panojamiento y floración predominó que los valores de EUA fueron superiores en el tratamiento Db que en su contraparte Da, también la eficiencia se incrementó al evolucionar el cultivo de una etapa a la otra. Los valores de EUA para la producción de proteína y las diferencias entre tratamientos fueron de menor magnitud, debido a que la producción de proteína representó de 13 a 18 por ciento del peso de la materia seca ya que el porcentaje de proteína decreció (Figura 4.9). Al respecto Rodríguez (1989)

reportó en el cultivo de alfalfa un valor medio de EUA de 0.32 kg/m³ y resulta ser similar al cultivo de la quinua (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca y proteína, medido durante dos etapas fenológicas en quinua en Buenavista, 2001.

ETAPA DE PANOJAMIENTO (80 DDS)						ETAPA DE FLORACIÓN (100 DDS)				
TRAT.	MS	PC	Et	EUA MS	EUA PC	MS	PC	Et	EUA MS	UEA PC
	kg/ha	kg/ha	cm	kg/m ³	kg/m ³	kg/ha	kg/ha	cm	kg/m ³	kg/m ³
S1										
DbSa	8809	1537	38.7	2.22	0.39	13858	1818	49.2	2.81	0.36
DbCh	9396	1762	38.7	2.37	0.44	16502	2394	49.2	3.35	0.48
DaSa	5352	962	37.0	1.45	0.26	9653	1454	44.0	2.19	0.33
DaCh	5290	945	37.0	1.43	0.26	10828	1603	44.0	2.46	0.36
S2										
DbSa	10063	1610	37.5	2.60	0.43	15807	2103	49.0	3.22	0.42
DbCh	10275	1659	33.0	2.74	0.44	16962	2347	49.0	3.45	0.47
DaSa	6496	1167	32.8	1.98	0.36	10995	1703	46.0	2.39	0.37
DaCh	7261	1297	32.8	2.28	0.40	12421	1878	46.0	2.70	0.40
S3										
DbCh	7604	1346	31.0	2.45	0.43	9072	1402	37.4	2.42	0.37
DaCh	5661	1058	28.0	2.02	0.38	9894	1486	33.1	2.97	0.44

S1,2,3 = Siembras: 1 (primavera), 2 (verano) y 3 (otoño); MS = Materia seca.

PC = Proteína cruda; Et = Evapotranspiración; EUA = Eficiencia en el uso de agua;

DbSa = Déficit bajo Sajama; DaSa = Déficit alto Sajama; DbCh = Déficit bajo Chucara;

DaCh = Déficit alto Chucara.

Análisis del efecto de los ambientes

Entre ambientes para la variedad Chucara, la producción de materia verde (MV), materia seca (MS) y saponinas (SAP), el análisis de varianza

identificó diferencias significativas ($P < 0.01$). Para déficit de humedad (D) se presentaron diferencias significativas ($P < 0.01$) para materia verde y materia seca; en cuanto a las etapas fenológicas las variables MV, MS, SAP y proteína cruda (PC) presentaron diferencias significativas ($P < 0.01$). Para la interacción ambiente con déficit de humedad se presentaron diferencias significativas ($P < 0.01$) para MV, MS y PC. En la interacción ambientes x etapas fenológicas, las variables MS y SAP. presentaron diferencias significativas ($P < 0.01$), y las variables MV y PC tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$). Para las interacciones ambientes x déficit x etapas, sólo se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) para MV (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Cuadrados medios del análisis de varianza para materia verde (MV) y seca (MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) en dos etapas fenológicas a dos niveles de humedad, bajo cuatro ambientes para la variedad Chucara.

CUADROS MEDIOS (CM)					
F V	gl	M V kg/ha	MS kg/ha	PC %	SAP %
Ambientes (A)	3	887603200.0 **	74823336.0**	0.71	0.8206**
D.Humedad (D)	1	4241948672.0 **	155939840.0**	0.05	0.0424
E.fenologicas(E)	1	1883734016.0 **	374222336.0**	109.47 **	2.6051**
A x D	3	246939648.0 **	9400149.0**	0.18 **	0.0062
A x E	3	123486208.0 *	10238464.0**	0.95 *	0.9573**
D x E	1	56459264.0 *	2098176.0	0.32	0.0161
A x D x E	3	43821740.0 *	1599146.6	0.68	0.0114
Error	45	33109152.0	1453772.7	1.45	0.0347
TOTAL	63				
C V %		12.17	12.92	7.24	22.86

*, ** Significativas al 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad, respectivamente.

El análisis de comparación de medias (DMS 0.05) identificó que los ambientes de verano y primavera 2001 son estadísticamente iguales en producción de materia verde y materia seca, y superiores a los ambientes de El Jaguey de Ferniza (primavera 2000) y de otoño 2001. En cuanto al contenido de saponinas en Jaguey de Ferniza (primavera 2000) presentó el menor contenido de este compuesto, siendo estadísticamente similar al verano y otoño del 2001, el mayor contenido de saponinas se reportó en el ambiente primavera 2001 (Cuadro 4.7).

En la producción de materia verde y materia seca el déficit bajo fue estadísticamente superior (DMS 0.05) al déficit alto. La etapa de floración presentó mayor rendimiento de materia verde y materia seca, y en el contenido de proteína en la etapa de panojamiento fue estadísticamente superior en porcentaje a la de floración.

La quinua alcanza los valores mayores de EUA cuando se tiene la mayor evapotranspiración, comportamiento que es similar al de maíz y contrario al de otros cultivos, como el sorgo, frijol y trigo, que tienen valores mayores de EUA cuando la evapotranspiración del cultivo tiende a disminuir o es sometido a mayor estrés hídrico (Godoy, 1990). El comportamiento del cultivo de la quinua indica que responde favorablemente al riego.

Cuadro 4.7. Comparación de medias de materia verde (MV), materia seca (MS), Proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) del cultivo de quinua Var. Chucara en cuatro ambientes, dos déficit de humedad y dos etapas de desarrollo.

TRATAMIENTOS	MV kg/ha	MS kg/ha	PC %	SAP %
AMBIENTES				
- Jaguey de Ferniza (Primavera, 2000)	45,175 BC	7,033 B	16.9 A	0.59 A
- Primavera, 2001	52,206 AB	10,504 A	16.4 A	0.87 B
- Verano, 2001	53,985 A	11,730 A	16.6 A	0.69 AB
- Otoño, 2001	37,648 C	8,058 B	16.7 A	0.68 AB
DEFICIT DE HUMEDAD				
- Bajo	55,395 A	10,892 A	16.7 A	0.66 A
- Alto	39,112 B	7,770 B	16.4 A	0.70 A
ETAPAS FENOLOGICAS				
- Panojamiento	41,828 B	6,913 B	17.9 A	0.60 A
- Floración	52,679 A	11,749 A	15.4 B	0.81 A

+ Valores en una columna seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (DMS = 0.05).

Las condiciones climáticas que predominaron en los ambientes de primavera y verano 2001, fueron mas adecuadas para la producción de materia verde y seca del cultivo que en los otros dos ambientes. La temperatura media del aire, insolación y radiación, así como la precipitación fueron superiores durante el desarrollo del cultivo en los ambientes de primavera y verano 2001 que en los ambientes de El Jaguey de Ferniza y otoño 2001, prueba de ello son los valores medios diarios de las tres primeras variables del clima y el valor total de la precipitación, que se presentan en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8. Valores promedio diarios durante el ciclo de la temperatura media del aire (T), evaporación (Ev), insolación (Ins), radiación, valores totales de lluvia (Ll) y evapotranspiración (Et).

Variables	Jaguey de ¹ Ferniza (2000)	Primavera 2001	Verano 2001	Otoño 2001
T. (°C)	19.5	20.1	22.1	16.2
Ins. (horas/día)	8.3	8.8	8.7	7.4
Rad. (cal/cm ² /día)	395.0	434.0	396.8	305.8
Ev (mm/día)	6.48	6.7	6.5	3.8
Ll (mm/ciclo)	90.0	111.7	134.7	80.6
Et (cm/ciclo)	36.8	46.0	47.0	35.2

¹ = Valores estimados.

Entre los factores ambientales, la temperatura es considerada el determinante primario del desarrollo de las plantas, controla la tasa de fotosíntesis y respiración e influye en la floración, distribución de fotosintatos y madurez. Al respecto Salisbury y Ross (1994) y Jones (1992) sostienen, que incrementos de la temperatura suelen aumentar las tasas fotosintéticas hasta que comienza la desnaturalización enzimática y la destrucción del fotosistema; sin embargo, la pérdida de CO₂ por respiración también puede aumentar con la temperatura o la inversa. Temperaturas extremas afectan adversamente los procesos fisiológicos e inhiben el crecimiento de las plantas (Fageria, 1992). En pastos o zacates del tipo C₄ las temperaturas óptimas para la fotosíntesis y el crecimiento son de 35 a 45°C y de 30 a 40°C, respectivamente; para plantas herbáceas del tipo C₃ el rango óptimo es de 15 a 30°C para la actividad fotosintética y de 10 a 30°C para el crecimiento (Fageria, 1992 y Squire, 1990). Dentro de un rango óptimo entre mayor es la temperatura mayor será el crecimiento de un cultivo, siendo este el comportamiento que se detectó en la

investigación y explica uno de los motivos por el cual en los ambientes de primavera y verano 2001 la quinua alcanzó los mayores rendimientos.

La radiación solar, controla la morfogénesis y producción en las plantas de un cultivo. Afecta el tipo de crecimiento, síntesis de materiales alimenticios, diferenciación de tejidos y órganos y maduración de los cultivos. Los aspectos críticos de la radiación solar como un factor ambiental son la intensidad y duración de horas luz (Fageria,1992). En cuanto al valor de la radiación solar para las zonas semiáridas durante la estación de crecimiento de las plantas, según Squire (1990) es de 24 MJ/m²/día que resulta un rango óptimo para el desarrollo de los vegetales.

Caracterización agronómica de la quinua.

Las dos variedades de quinua después de la emergencia hasta los 30 DDS aproximadamente, presentaron una velocidad de crecimiento lenta, sin diferenciación alguna entre tratamientos, posiblemente se debió al desarrollo y fijación del sistema radicular de las plántulas. A partir de los 40 DDS iniciaron una rápida elongación de los tallos y una expansión acelerada de las ramificaciones laterales, llegando a formar nuevas láminas foliares en forma continuada a partir de los meristemos apicales; las otras características agronómicas tales como germinación, altura planta, morfología y densidad, etc., se encuentran descritas en el siguiente cuadro (4.9).

Cuadro 4.9. Caracterización del comportamiento agronómico de dos variedades de quinua bajo condiciones locales en función de la disponibilidad de humedad en el suelo

No.	ETAPAS	CARÁCTER	DEFICIT BAJO		DEFICIT MEDIO		DEFICIT ALTO	
			Var. Sajama	Var hucara	Var.Sajama	Var.Chucara	Var. Sajama	Var. Chucara
1	NASCENCIA 12 dds (24-03-00) ** 2.0 g/surco	Germinación (%)	72.78	82.09	77.53	83.02	72.78	82.08
		Altura planta (cm)	2.30	1.90	2.10	2.20	2.00	2.20
		Número de hojas	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
		Dens.Plantas/surco	460.00	440.00	490.00	445.00	460.00	440.00
		Distribución hojas	Opuestas	Opuestas	Opuestas	Opuestas	Opuestas	Opuestas
		Forma de hojas	Agudas	Agudas	Agudas	Agudas	Agudas	Agudas
		Color de tallitos	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo
2.	VEGETATIVA 41 dds (24-04-00)	Altura planta (cm).	12.00	12.50	11.70	11.00	10.70	9.50
		Número hojas/pta.	14.00	14.00	13.00	12.00	12.00	11.00
		Dens.plantas/surco	380.00	372.00	405.00	388.00	348.00	330.00
		Forma de hojas	triángular	triángular	triángular	Triángular	Triángular	Triángular
		Forma de tallos	Circ.Aristad	Circ.arista	Circ.arista	Circ.aristad	Circaristad	Circ.aristad
3.	RAMIFICACION 60 dds (12-05-00)	Altura planta (cm)	37.90	40.10	22.70	26.40	18.10	19.80
		Dens.plantas/surco	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
		Tipo ramificación	Sencilla	No ramificada	Sencilla	No ramificada.	Sencilla	No ramificada
4.	PANOJA 80 dds (31-05-00)	Altura planta (cm)	72.50	69.30	52.80	44.80	36.10	36.60
		Dens.planta/surco	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
		Largo panoja (cm)	16.00	10.00	15.00	11.00	11.00	8.00
		Tipo panoja	Amarantifor	Glomerulo	Amarantif.	Glomérulo	Amarantifor	Glomérulo
		Color de panoja	Verde claro	Purpura	Verde clar	Purpura	verde claro	Purpura
5.	FLORACION 100 dds (20-6-00)	Altura planta (cm)	125.10	128.70	86.30	88.80	67.50	71.10
		Dens.planta/surco	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
		Tipo de flor	Hermafrodita	Hermafrodita	Hermafrodita	Hermafrodita	Hermafrodita	Hermafrodita
6.	INICIO LLENADO DE GRANO 120dds(12-07-00)	Altura planta (cm)	145.00	150.20	114.30	112.00	92.25	88.42
		Forma de tallos	Circ. Arista.	Circ.arista	Circ.arista	Circ. Arista	Circ. arista	Circ. Arista
		Pigmento panoja	Verde claro	Purpura	Verde clar	Purpura	Verde claro	Purpura

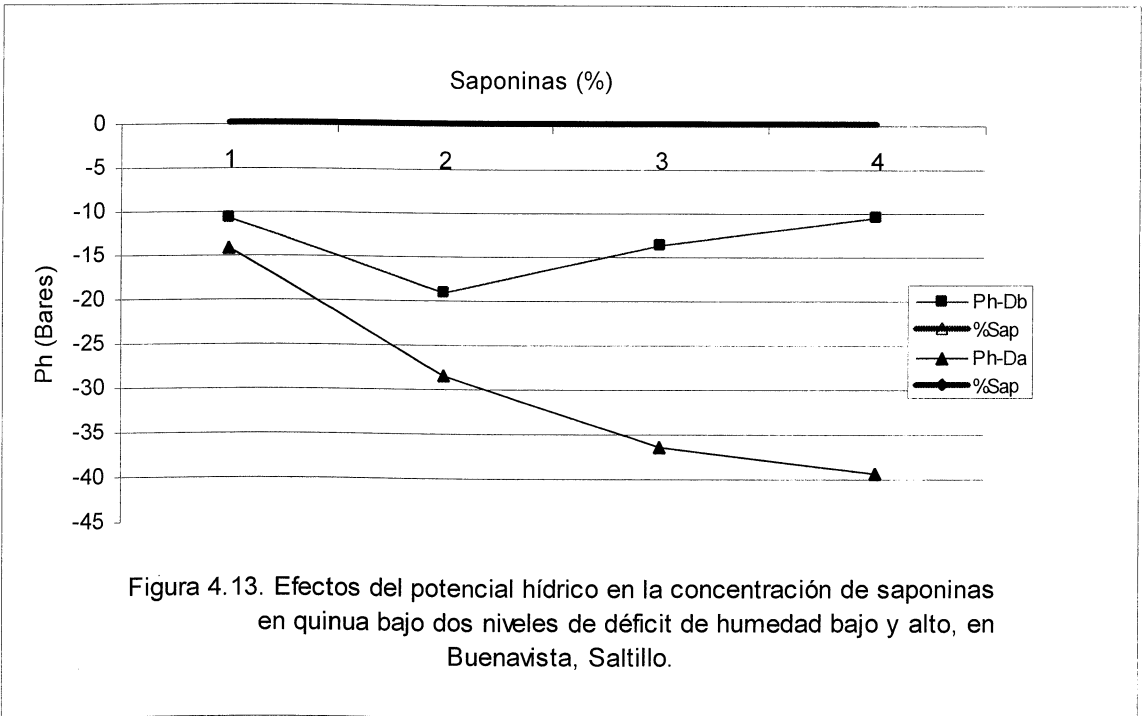
** 2.0 g semilla (Sajama) 632 granos, germinación en laboratorio 96.0 %.; 2.0 g semilla (Chucara) 536 granos, germinación en laboratorio 95.0 %

Aspectos agronómicos

Con la finalidad de observar la relación que pudiera existir entre el potencial hídrico y la concentración de saponinas en las plantas de quinua, se inició con las mediciones del potencial hídrico (Ph) a los 78 DDS; los tratamientos control y de déficit hídrico comenzaron a registrar diferencias marcadas desde el inicio de las mediciones hasta el final de la evaluación (94 DDS); el tratamiento de déficit hídrico comenzó con una reducción marcada del potencial hídrico desde -14.5 bares (Figura 4.13 y Cuadro A.14) y a medida que transcurrieron los días el Ph descendió rápidamente (-28.3 , -36.3 bares) y al final el Ph llegó a un valor extremos de -39.4 bares. En cambio el Ph del tratamiento control se mantuvo con variaciones leves que oscilaron entre -10.5 y -19.1 bares.

En los dos tratamientos los niveles de la concentración de saponinas presentaron diferencias muy pequeñas, que variaron en la primera evaluación (80 DDS) de 0.22 y 0.23 por ciento y en la cuarta medición (101 DDS) fue de 0.22 y 0.33 por ciento. Los valores negativos crecientes del Ph en déficit de humedad, obedecieron a la reducción en el Ph del suelo en que se desarrollaron las plantas; esto debido a la mayor tensión con que el agua fue retenida por el suelo, lo cual está expresado en la severidad de déficit de humedad donde el potencial cayó a niveles ínfimos (-39.4 bares) aún así las plantas presentaron cierta capacidad en la actividad fisiológica, para ello pudo haber operado el mecanismo de tolerancia a la sequía, mismas que concuerdan

con Johnson y Ward (1993), Jacobsen y Stolen (1993), Tapia (1985); valores similares fueron obtenidos por Espindola y Rodríguez (1988) con dos líneas de quinua en el valle de México.



CONCLUSIONES

- La quinua tuvo una respuesta consistente al déficit de humedad en el suelo. El tratamiento con menor déficit (50-60% AHD) tuvo un rendimiento de materia verde (61,215 kg/ha) y materia seca (13,491 kg/ha) superior que el tratamiento con mayor déficit (90 por ciento AHD) en las etapas de panojamiento y floración.
- El déficit de humedad en el suelo no influyó sobre la concentración de proteína. Sin embargo, una reducción en el contenido de proteína fue observado de la etapa de panojamiento (17.9 por ciento) a floración (15.4 por ciento).
- El déficit de humedad en el suelo no influyó de manera consistente en la concentración de saponinas.
- La concentración de saponinas se incrementó de la etapa de panojamiento (0.60 por ciento) a floración (0.81 por ciento).

- En la etapa de panojamiento se presenta la mayor concentración de proteína y menor concentración de saponinas con respecto a la floración, por lo que se puede considerar como la etapa apropiada de corte.
- Los ambientes de las siembras primavera y verano 2001 donde predominaron los valores mayores de: temperatura, insolación, radiación, evaporación, lluvia y evapotranspiración, fueron los más favorables para la producción de MV con 69,654 kg/ha (primavera) y 73,344 kg/ha (verano) y MS de 16,502 kg/ha (primavera) y 16,962 kg/ha (verano).
- La quinúa es un cultivo que responde favorablemente al riego, los valores mayores de eficiencia en el uso del agua en la producción de materia seca y proteína se encontraron para el menor déficit de humedad.
- Comparada con otros cultivos forrajeros como la alfalfa, la eficiencia en el uso del agua para el rendimiento de materia seca es mayor y para proteína es similar.
- La quinua representa una alternativa como cultivo forrajero para los productores de las zonas semiáridas del norte de México.

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa W.*) por su tolerancia a la sequía y por sus cualidades nutritivas (14.5 por ciento PC), podría representar a mediano plazo una alternativa en la producción de forrajes para las zonas semiáridas; con el propósito de estudiar la respuesta de la quinua a diferentes déficit de humedad en el suelo y ambientes; se efectuó la presente investigación, con los siguientes objetivos: i) Determinar la influencia del déficit de humedad en el suelo en la producción de materia verde y seca, contenidos de proteínas y saponinas en las etapas de desarrollo del cultivo para identificar la etapa de corte más apropiada para aplicación forrajera; ii) Evaluar la influencia de los ambientes en la producción de materia verde y seca, proteínas y saponinas bajo dos déficit de humedad en el suelo y en dos etapas de desarrollo para identificar el ambiente más favorable en la producción de forrajes y iii) determinar la eficiencia en el uso de agua en la producción de materia seca y proteína.

Los experimentos se condujeron en los años 2000 y 2001, el primer año en el Ejido El Jaguey de Ferniza, bajo el diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones; tres déficit de humedad: bajo (Db), medio (Dm) y alto (Da); dos variedades Sajama y Chucara; y se efectuaron cortes en las etapas: vegetativa inicial (Vi), ramificación (R), panojamiento (Pa), floración (F) y llenado de grano

(LG) y el segundo año en Buenavista (UAAAN) efectuando siembras en primavera, verano y otoño. En las dos primeras se utilizó el mismo diseño del 2000; dos déficit de humedad (Db y Da); variedades y cortes en Pa y F. En Otoño se sembró la var. Chucara, bajo el diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones; dos déficit de humedad (Db y Da) y cortes en Pa y F. En el análisis estadístico de ambientes se empleó el diseño factorial (4x2x2); cuatro siembras; dos déficit de humedad (Db y Da); cortes en Pa y F. Las variables fueron: materia verde y seca (MV y MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP), eficiencia en el uso de agua (EUA).

En Jaguey de Ferniza se evidenciaron diferencias en los tres déficit de humedad en el suelo y en etapas fenológicas ($P < 0.01$) para MV y MS. La producción de MV en Db fueron: 41,737 kg/ha (Pa), 61,323 kg/ha (F) y 62,934 kg/ha (LG) y en MS 5,859 kg/ha (Pa), 10,707 kg/ha (F), 13,490 kg/ha (LG); mientras en Dm y Da la reducción con respecto a Db fueron de 33 y 39 por ciento de MV y MS, respectivamente. La PC presentó diferencias ($P < 0.01$) en etapas, registrándose el valor más alto en Vi con 24.2 por ciento, valores intermedios de 17.9 y 15.9 por ciento correspondieron a Pa y F. En SAP las diferencias se registraron ($P < 0.05$) en déficit de humedad y los valores medios en R, F y LG fueron: 0.30, 0.56 y 0.31 por ciento, respectivamente. La EUA en Pa para MS en Db, Dm y Da fueron 1.90, 1.27 y 1.35 kg/m³, respectivamente y la PC fue de 0.34, 0.26 y 0.24 kg/m³, respectivamente; en F hubo incrementos con respecto a P en 2.43 kg/m³ (Db), 2.17 kg/m³ (Dm) y 2.10 kg/m³ (Da).

En las siembras de primavera, verano y otoño se registraron diferencias ($P < 0.01$) en déficit de humedad y en etapas para MV y MS; En Pa y F el promedio de MV producida fue 47,116 y 53,809 kg/ha, respectivamente y de 8,574 y 12,530 kg/ha de MS, respectivamente; en Da se redujo en 36 por ciento de MV y 33 por ciento de MS. La PC registró diferencias ($P < 0.01$) en etapas para Pa (17.5 por ciento) y F (14.9 por ciento) y en déficit de humedad para SAP presentó diferencias ($P < 0.05$) y la media fue 0.68 por ciento (Pa) y 0.86 por ciento (F). La EUA en Db fueron altos en las tres siembras con respecto a Da con 2.4 kg/m^3 (Pa) y 3.1 kg/m^3 (F); la media de PC fue de 0.42 kg/m^3 en Db.

En análisis de ambientes se presenta diferencias significativas ($P < 0.01$) para MV, MS y SAP y también en déficit de humedad en el suelo para MV y MS; en etapas fenológicas se presentaron diferencias ($P < 0.01$) para todas las variables. La prueba de medias (DMS 0.05) identificó que las siembras de primavera y verano son similares para MV y MS y son diferentes a El Jaguey (primavera 2000) y Otoño (2001); en déficit de humedad en el suelo detectó mayor producción de MV y MS en Db y en etapas fenológicas se estableció que en Pa el contenido de PC es siempre mayor que en F.

La quinua es un cultivo que responde favorablemente al riego, los valores mayores de eficiencia en el uso del agua en la producción de MV y MS y PC se encontraron para el Db y comparada con otros cultivos forrajeros como la alfalfa, la eficiencia en el uso de agua para la producción de MS y PC es mayor.

LITERATURA CITADA

- Allred, K.W and T. Columbus. 1988. The grass spikelet formula: an aid in teaching and identification. *Journal of Range Management*. 41: 350-352.
- Amthor, J.S. 1996. Increasing atmospheric CO₂ concentration, water use, and water stress: scaling up from the plant to the land scape. *Academy Press*, pp. 33-59.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist) 1980. Official methods of analysis. 13th ed. Association of Official Analytical Chemists. USA.
- Bab, J.S. and A.E. Luchsinger. 1986. Plant systematics. 2nd ed McGraw-Hill, Inc. México. pp. 107-245.
- Bazzaz, F.A. and S.R. Morse. 1991. Annual plants: potential responses to multiple stresses. *In*: H.A. Mooney, W.E. Winner, E.J. Pell and E. Chu (eds) *Plants to Multiple Stresses*. *Academy Press*. USA. pp. 283-305.
- Begón, M.J., L. Harper and C.R. Townsend. 1990. *Ecology*. 2nd ed. Blackwell Scientific Publications. London. pp. 47-78.
- Bertero, H.D., R.W. King and A.J. Hall. 1999a. Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Field Crops Research*, 60: 231-243.
- Bertero, H.D., R.W. King and A.J. Hall. 1999b. Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Field Crops Research*, 63: 19-34.
- Bertero, H.D., R.W. King and A.J. Hall. 2000. Photoperiod and temperature effects on the rate of leaf appearance in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Aust. J. Plant Physiol.* 27:349-356.
- Blasco, L.M. 1979. Composición de la quinua cultivada en el Altiplano de Puno, Perú. *Turrialba* 29: 219-228.
- Brinegar, C., B. Sine and L. Nwokocha. 1996. High-cysteine 2S seed storage proteins from quinoa (*Chenopodium quinoa*). *J. Agric. Food Chem.* 44:1996-1623.

- Brinegar, C., and S. Goundan. 1993. Isolation and characterization of Chenopodin, the 11S seed storage protein of quinoa (*Chenopodium quinoa*). J. Agric. Food Chem. 41:182-185
- Burnouf-Radossvich, M. , T. Burnouf and N.E. Delfel.1983. Saponin content and protein composition in *Chenopodium quinoa*. Abstr. Amer. Assoc of Cereal Chem, Kansas City, USA.
- Capelo, B.W. 1983. Evaluación del potencial forrajero y alimenticio de la quinua dulce "Sajama" y quinua amarga "Chonca" (*Chenopodium quinoa* W.) en tres épocas de corte. Ecociencia. pp. 1:212-222
- Cárdenas, M. 1969. Manual de plantas económicas de Bolivia. Ed. ICTHUS. Bolivia. pp. 109-117.
- Cathey, H.M. y L.E. Campbell. 1987. Respuesta de la planta a la calidad y cantidad de luz. *In*: M.N. Christiansen y Ch. F. Lewis (eds.). Mejoramientos de plantas en ambientes poco favorables. Ed. Limusa. México. pp. 257-304.
- Christiansen, M.N. 1987. Limitaciones ambientales del planeta en el cultivo de alimentos y fibras. *In*: M.N. Christiansen y Ch. F. Lewis (eds.). Mejoramientos de plantas en ambientes poco favorables. Ed. Limusa. México. pp. 9-22.
- CICA (Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas). 1998. Propiedades y aplicaciones de las saponinas. Khainata. Bolivia. pp. 2-11.
- Copeland, L.O. and M.B. McDonald. 1985. Principles of seed science and technology. 2nd. Macmillan Publishing Company. USA. pp. 222-244.
- Crampton, E. W. and L. E Harris. 1969. Applied animal nutrition. 2nd ed. Ed W.H Freeman and Company. USA.
- Cronquist, A. 1977. Introducción a la botánica. Ed. Continental. México. pp 651-679.
- Cusack, D.F. 1984. Quinoa: grain of the Incas. Ecologist 14: 21-31.
- DeBruin, A. 1964. Investigation of the food value of quinoa and canihua seed. J. Food Sci. 29: 872-876.
- De Simone, F., A. Dini, C. Pizza, P. Saturnino and O. Schettino. 1990. Two flavonol glycosides from *Chenopodium quinoa*. Phytochemistry. 29: 3690-3692.

- Diaz, M.F. and A. González. 1994. The obtainment of leaf protein concentrates in *Chenopodium quinoa*. Cuban J. Agric. Sci. 28:213-219.
- Espíndola, G. y J. Rodríguez. 1988. Respuestas fisiológicas y del rendimiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) a déficit hídrico. Agrociencias 74: 297-312.
- Fageria, N. K. 1992. Yield and environmental stress. In: G. Stotzky (ed.). Maximizing Crop Yields. USA. pp. 164-227.
- FAO (The United Nations Food and Agriculture Organization). 1989. State the quality of quinoa is equal to the protein of whole dried milk. USA.
- Flynn, R.O. 1990. Growth characteristics of quinoa and yield response to increase soil water deficit. MS Thesis, Colorado State Univ. Fort Collins. USA.
- Font Quer, P. 1978. Botánica pintoresca. Ed. Ramon Sopena. España. pp. 431-450.
- Fraga, L.M., N. Ramos, R.O. Martinez and M. Febles. 1994. The inclusion of 10% of amaranthus or *Ch. quinoa* forage meals in diets for layers. Cuban J. Agric.Sci. 28:199-202.
- Fuentes, Y. J. 2000. Iniciación a la meteorología y a la climatología. Ed. Mundi-Prensa. España. 163-207.
- Galwey, N.W. 1989. Exploited plants – quinoa. Biologist 36:267-274.
- Galwey, N.W., C.L. Leakey, K.P. Price, G.R. Fenwick. 1990. Chemical composition and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Human Nutr Food Sci Nutr. 42:245-261.
- Gandarillas, S.C.H. 1982. Producción de quinua. IBTA-CIID. (Trans. By Sierra-Blanca Assoc., Denver). USA.
- Gandarillas, S.C.H. 1989. Genética y origen, p. 45-64. In : M.E. Tapia (ed.). Quinoa y kaniwa. Cultivos Andinos 49. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Bogota, Colombia.
- García, E. 1989. Apuntes de Climatología. 6^{ta}. Ed. LARIOS. México. 155 p.
- García del Moral, L.F., A. Boujenna, J.A. Yañez and J.M. Ramos. 1995. Forage production; grain yield, and protein content in dual-purpose triticale grown for both grain and forage. Agron. J. 87:902-908.

- Gee, J.M., K.R. Price, C.L. Ridout, G.M. Wortley and R.F. Hurrell. 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.
- Godoy, A.C. 1990. Funciones de producción de agua y sus usos en la Agricultura. *In*: L.F. Flores, L.A. Lagarda, C. Godoy, R. Jasso, y L. Sánchez (eds.). Metodología de investigación y diagnóstico en relación Agua –Suelo – Planta – Atmósfera. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. pp. 227-236.
- Goldsworthy, P.R. and N.M. Fisher. 1984. The physiology of tropical field crops. John Wiley & Sons. USA. pp. 160-172.
- Grieve, M. 1995. Chenopodiums. A modern herbal home page. Electric Newt. UK. pp. 1-5.
- Guerrero, G.A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. Ed. Mundi Prensa. España. pp. 161-185.
- Hanks, R.J. 1983. Yield and water-use relationships: An overview. *In*: H. M. Taylor, W. R. Jordan and T. R. Sinclair (eds.). Limitations to efficient water use in crop production. ASA, CSSA and SSSA. USA. pp. 393-411.
- Hillel, D. 1980. Applications of soil physics. Academy Press. New Work. pp. 197-231
- Hodges, T. 1991. Predicting crop phenology. CRC Press. Washington. USA. pp. 15-41.
- Hodgson. J. R. 1990. Grazing management science into practice. Logman handbooks in agriculture. USA. pp 3-25.
- Hsiao, T.C and C. Acevedo. 1974. Plant response to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology* 14: 59-84.
- Hsiao, T.C. and R.B. Jackson. 1999. Interactive effects of water stress and elevated CO₂ on growth. *In*: L. Yiqi and H.A. Mooney (eds.). Carbon dioxide and environments stress. Academic Press. USA. pp. 3-31.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. UNWIN HYMAN. Great Britain. pp. 7-18.
- Improta, F. and R.O. Kellems. 2001. Comparison of raw, washed and polished quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to wheat, sorghum or maize based diets on growth and survival of broiler chicks. *Livestock Research Development* pp. 1-13.

- Isquierdo, J., W. Roca, S. Scannerini and A. Bakes. 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 O. Stolen 1993. Quinoa – morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *Eur. J. Agron.* 2: 19-29.
- Jacobsen, S.E., I. Jorgensen and O. Stolen. 1994. Cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under temperate climatic conditions in Denmark. *Journal of Agricultural Science, Cambridge.* 122: 47-52.
- Jacobsen, E.E., B. Skadhauge and S. E. Jacobsen. 1997. Effect of dietary inclusion of quinoa on broiler growth performance. *Animal Feed Science Technology* 65: 5-14.
- Jenkins, D. 1988. Carbohydrates (B) dietary fiber. *In: M. Shil and V. Young (eds).* Modern nutrition in health and disease. Lea and Febiger. Philadelphia. pp. 52-71.
- Johnson, D.L. and S.M. Ward. 1993. Quinoa. *In: J. Janick and J.E. Simon (eds.)*, New crops Wiley, New York. USA. pp. 219-221.
- Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate. 2nd. Cambridge University Press. USA. pp 264-295.
- Jones, S.B. and A.E. Luchsinger. 1986. Plant systematics, ed 2nd, Ed. McGraw - Hill, Inc. México.
- Koziol, M.J. 1990. Afrosimetric stimulation of threshold saponin concentration for bitterness in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J. Agron. Food Sci.* 54:211-219.
- Koziol, M.J. 1992. Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis.* 5:35-68.
- Koziol, M.J. 1993. Quinoa: A potential new oil crop. *In: J. Janick and J.E. Simon (eds.)* New crops. Wiley, New York, USA. pp. 328-336.
- Kramer, P.J. and T.T. Kozlowsky. 1979. Physiology of woody plants. Academy Press, Inc. USA. pp. 628-679.
- Kramer, P.J. 1984. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una síntesis moderna. EDUTEX. México. pp. 282-301.

- Larcher, W. 1995. Physiological plant ecology. 3th. Springer. Germany. pp. 167-211.
- Lorenz, K. and F. Nyanzi. 1989. Enzyme activities in quinoa (*Chenopodium quinoa*) Int. J. Food Sci. Tech. 24:543-551.
- Ma, W.W., P.F. Heinstein and J.L. McLaughlin. 1989. Additional toxic, bitter saponins from the seeds of *Chenopodium quinoa*. Journal of Natural Product 52: 1132-1135.
- Mahoney, A.W., J.G. Lopez and D. G. Hendricks. 1975. An evaluation of the protein quality of quinoa. J. Agri. Food Chem. 23:190-193.
- Martinez, G.A. 1996. Diseños experimentales. Ed. Trillas. México. pp. 184-275.
- Mastebroek, H.D., H. Limburg, T. Gilles and H.J.P. Marvin. 2000. Occurrence of saponin in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). J. Sci. Food Agric. 80:152-156.
- Meyer, B.N., P.F. Heinstein, M.B. Radosevich, N.E. Delfel, and J.L. McLaughlin. 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.
- Miller, G.T. 1994. Ecología y medio ambiente. Grupo Editorial Iberoamericana. México. pp. 1-34.
- Ng, K.G., K.R. Price and G.R. Fenwick. 1994. A TLC method for the analysis of quinoa (*Chenopodium quinoa*) saponins. Food Chemistry. 49: 311-315.
- Nieto, C.C., C. Vimos, C. Caicedo, C. Monteros, M. Rivera. 1997a. Obtención de dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina, para la sierra ecuatoriana. CIID. Ecuador. pp. 123-145.
- Nieto, C.C., C. Vimos, C. Caicedo, C. Monteros y M. Rivera. 1997b. Respuesta de la quinua a diferentes tipos de rotación de cultivos en dos localidades de la sierra, durante cinco años. CIID. Ecuador. pp. 135-170.
- Oelke, E.A., D.H. Putnam, T.M. Teynor, and E.S. Oplinger. 1992. Quinoa. alternative field crops manual. University of Wisconsin–Extension, Cooperative Extension University of Minnesota. USA.
- Peñaloza, W., J.N. Hedger and B.J. Thomas. 1992. Low-temperature scanning electron microscopy of hyphal colonisation of *Chenopodium quinoa* during fermentation with *Rhizopus oligosporus*. Ann. Appl. Biol 121: 559-563.

- Perales, M.A. y A. Serna. 1992. Eficiencia en el uso del agua en tres genotipos de maíz bajo temporal. *Terra* 10: 211-219.
- Prakash, D., M. Paland and Q. Pradesh. 1998. *Chenopodium* seed protein, fractionation and aminoacid composition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 4: 271-275.
- Prego, I., S. Maldonado and M. Ottegui. 1998. Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany* 82: 4, 481-488.
- Quizenberry, J.E. 1987. Mejoramiento de la planta para la resistencia a la sequía y el aprovechamiento del agua. *In*: M.N. Christiansen y Ch. F. Lewis (eds.). Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables. Ed Limusa. México. pp. 233-256.
- Ramos, N y A.M. Cruz. 1998. Three sowing distance on the productive performance and quality of *chenopodiumm quinoa*. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 32: 1, 91-96.
- RCA (National Research Council). 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. National Academy Press. USA.
- Renard, C., G. Wende and E.J. Booth. 1999. Cell wall phenolics and polysaccharides in different tissues of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *J. Sci. Food Agric*. 79:2029-2034.
- Ridout, C.L., K.R. Price, M.S. DuPont, M.L. Parker and G.R. Fenwick. 1991. Quinoa saponins – analysis and preliminary investigations into the effects of reduction by processing *J. Sci. Food Agric*. 54: 165-176.
- Risi, J. and N.W. Galwey. 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.
- Rodriguez, C.A. 1989. Producción, eficiencia de riego y calidad de la alfalfa con riego por aspersión y superficial. *In*: Secretaria de Agricultura y Recursos Naturales (ed.) Riego en alfalfa. CENID-RASPA. México. pp. 25-31.
- Ruales, J. and B.M. Nair. 1992. Nutritional quality of the proteins in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd). *Plant Foods for Human Nutr.* 42:1-11.

- Ruales, J. and B.M. Nair. 1993. Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. Food Chemistry. 48:137-143.
- Salisbury, F.B and C.W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Ed. Iberoamericana. México. pp. 275-292.
- 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.
- Soliz, G.J., D. Jasso, R. Rodriguez, J. Angulo and G. Méndez. 2000. Quinoa saponins: Concentration and composition analysis for forage development. 5th National Symposium. New crops & new uses: Strength in diversity. Asociation for the Advancement of Industrial Crops (AAAIC). Atlanta, Georgia. USA.
- SOPENA. 1973. Diccionario enciclopédico. Tomo I. Ed. R. Sopena. España.
- Squire, G.R. 1990. The physiology of tropical crop production. C-A-B International. U.K. pp. 71-79.
- Stanhill, G. 1986. Water use efficiency. Adv. Agron. 39:53-85
- Strasburguer, F., N.H. Schernck y A.F. Schinper. 1965. Tratado de Botánica. Ed. Marin. España. pp. 550-560.
- Steel, R.G. y J.H. Torrie. 1988. Bioestadística, principios y procedimientos. 2nd Ed. McGraw-Hill. México. pp.250-325.
- Tanner, C.B. 1967. Measurement of evapotranspiration. In: Irrigation of Agricultural Lands. Monograph. No. 11. Amer. Soc. Agron. (eds.) Hagan R.M., H.R. Haise and R.W. Edminster. Madison. Wisconsin. pp. 534-574.
- Tapia, M. 1979. El cultivo de la quinua. En: Manual de la agricultura Andina. IICA, IBTA, La Paz, Bolivia. pp. 106-115.
- Tapia, M. 1982. The Environment, crops and agricultural systems in the Andes of Southern Peru. IICA.
- Tapia, M. 1985. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. FAO. Oficina Regional para la América Latina y el Caribe. 205 p.
- Valencia, D. C. 1995. Fundamentos de fitoquímica. Ed. Trillas. México. pp. 214-223.

- Van Soest. 1975. Forage fibre analysis agricultural. Research Services States Department of Agricultural.
- Verstraete, M.M and S.A. Schwartz. 1991. Desertification and global change. *In*: H. Stellers and A.J. Pitman (eds.) Vegetation and climate interactions in semiarid regions. Klower academy publishing. Belgium.
- Ward, S. 1991. Male sterility in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Msc Thesis Colorado State Univ., Fort Collins. USA.
- Ward, S.M. 1998. A new source of restorable cytoplasmic male sterility in: quinoa. *Euphytica* 101: 2, 157-163.
- Ward, S.M. 2000. Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenodium quinoa* Willd). *Field Crops Research* 68: 157-163.
- Wareing, P.F. and I.D.J. Phillips. 1981. Growth and differentiation in plants. 3th. Pergamon Press. Great Britain. pp. 1-45.
- Wiedenhoeft, M.H and B.A. Barton. 1994. Management and environment effects on Brassica forage quality. *Agron.J.* 86:227-232.
- Wilson, H.D. 1981. Domesticated *Chenopodium* of the Ozark Bluff Dwellers. *Economic Botany*, 35: 233-239.
- Wilson, H.D. 1988. Quinoa biosystematics II: Free-living populations. *Economic Botany*, 42: 478-494.
- Wilson, H.D. 1990. Quinoa and relatives (*Chenopodium* sect. *Chenopodium* subscet. *Cellulata*). *Economic Botany*, 44:92-110.

APENDICE

Cuadro A.1 Contenidos de humedad en el suelo y láminas de riego aplicados al cultivo de quinua en Jaguey de Ferniza, 2000.

DEFICIT BAJO				DEFICIT MEDIA			DEFICIT ALTO		
No. DE RIEGOS	DDS	PV %	L.R cm	DDS	PV %	L.R cm	DDS	PV %	L.R cm
1*	4	32.26	2.66	4	31.96	2.66	4	32.35	2.66
2	9	24.68	8.00	9	22.75	6.50	9	21.29	5.60
3	29	26.66	5.33	29	23.62	4.00	41	19.94	7.60
4	44	23.91	7.30	47	23.41	6.80	73	21.98	5.50
5	66	23.88	9.00	72	22.71	6.30	78	22.69	
TOTAL			32.29			26.26			21.36
Lluvias			11.50			11.50			11.50
Et (cm)			44.0			35.6			29.7

* = Riego de emergencia

DDS = Días después de la siembra

L.R = Lámina de riego

PV = Por ciento de volumen de suelo

Et = Evapotranspiración

Cuadro A.2 Contenidos de humedad en el suelo y láminas de riego aplicados al cultivo de quinua en primavera en Buenavista, 2001. Saltillo, Coahuila.

DEFICIT BAJO				DEFICIT ALTO		
No. DE RIEGO	DDS	PV%	L.RIEGO cm	DDS	PV%	L.RIEGO cm
1*	5	26.15	2.16	5	26.52	1.91
2	16	17.17	6.80	16	17.15	6.42
3	36	17.56	7.81	39	15.95	7.15
4	53	18.52	6.55	60	16.90	5.72
5	72	22.02	4.60	79	15.87	5.54
6	87	19.84	5.71	--	--	--
7	101	18.18	--	101	13.25	--
TOTAL			33.69			26.74
Lluvia			11.17			11.17
Et (cm)			49.2			44.0

Cuadro A.3 Contenidos de humedad en el suelo y láminas de riego aplicados al cultivo de quinua en verano en Buenavista, 2001. Saltillo, Coahuila.

DEFICIT BAJO				DEFICIT ALTO		
No. DE RIEGO	DDS	PV %	L.RIEGO cm	DDS	PV%	L.RIEGO cm
1*	6	25.60	1.80	6	25.60	1.80
2	19	20.21	4.27	19	21.14	4.27
3	34	18.46	5.56	40	14.97	7.90
4	54	19.18	6.82	64	15.17	6.20
5	68	17.08	7.60	84	16.58	6.40
6	88	18.35	7.81	100	14.70	--
7	100	22.75	--			
TOTAL			33.86			26.57
Lluvia			13.47			13.47
Et (cm)			49.0			46.0

Cuadro A.4 Contenidos de humedad en el suelo y láminas de riego aplicados al cultivo de quinua en otoño en Buenavista, 2001. Saltillo, Coahuila.

DEFICIT BAJO				DEFICIT ALTO		
No. DE RIEGO	DDS	PV %	L.RIEGO cm	DDS	PV%	L.RIEGO cm
1*	15	24.67	2.25	15	24.76	2.30
2	27	21.45	4.60	27	20.33	4.62
3	43	19.87	6.60	51	15.83	8.72
4	59	19.40	6.23	80	15.33	7.90
5	83	19.67	6.40	101	14.67	
6	101	19.13				--
TOTAL			26.08			23.54
Lluvia			8.06			8.06
Et (cm)			37.4			33.1

Cuadro A.5 Rendimiento de materia verde (kg/ha) de dos variedades de quinua bajo tres déficit de humedad en el suelo en cinco etapas fenológicas en Jaguey de Ferniza, 2000.

TRATAMIENTOS	VEGETATIVA INICIAL	RAMIFICACION	PANOJAMIENTO	FLORACION	LL ENADO. DE GRANO
Db-Sajama	1972.2	20861.0	41530.5	60143.0	61861.1
Db-Chucara	1443.8	19112.1	41944.7	62501.8	64007.2
Dm-Sajama	1855.5	12938.3	25419.6	41251.3	43023.6
Dm-Chucara	1404.3	10897.6	31948.6	44306.9	47201.4
Da-Sajama	1709.7	10089.0	19611.1	34585.1	34756.9
Da-Chucara	1240.3	8512.2	20974.8	39101.3	38618.1

Db = déficit bajo; Dm = déficit medio; Da = déficit alto.

Cuadro A.6 Rendimiento de materia seca (kg/ha) de dos variedades de quinua bajo tres déficit de humedad en el suelo en cinco etapas fenológicas en Jaguey de Ferniza, 2000.

TRATAMIENTOS	VEGETATIV	RAMIFICACION	PANOJAMIENTO	FLORACION	LL ENADO. DE GRANO
Db-Sajama	278,6	3045,3	5821,0	10808,7	13886,4
Db-Chucara	223,9	3010,8	5897,6	10607,9	13094,1
Dm-Sajama	275,1	2096,6	3459,2	7461,9	9948,6
Dm-Chucara	231,9	1738,2	3920,4	7709,0	9531,9
Da-Sajama	250,3	1650,3	2710,1	5945,1	8113,6
Da-Chucara	173,3	1351,4	2736,3	6541,9	6923,1

Cuadro A.7 Variación del contenido de proteína cruda (%PC) en cinco etapas fenológicas de dos variedades de quinua sometidos a tres déficit de humedad en el suelo en Jaguey de Ferniza, 2000.

E. FENOLOGICAS	Db-Saj.	Db-Chuc	Dm-Saj.	Dm-Chu	Da-Saj.	Da-Chuc
VEG. INICIAL	25.1	24.6	23.0	24.5	24.1	24.4
RAMIFICACION	22.2	20.9	20.1	20.1	18.8	20.1
PANOJAMIENTO	17.6	18.0	18.2	17.7	17.7	18.5
FLORACION	15.0	15.8	15.6	16.1	16.1	16.9
I.LL. GRANO	14.3	14.3	14.2	15.2	13.7	15.4

Saj. = variedad Sajama; Chu. = variedad Chucara.

Cuadro A.8 Concentración de saponinas (%) en cuatro etapas fenológicas de dos variedades de quinua sometidos a tres déficit de humedad en el suelo en Jaguey de Ferniza, 2000.

E. FENOLOGICAS	Db-Saj.	Db-Chuc	Dm-Saj	Dm-Chu	Da-Saj.	Da-Chuc
RAMIFICACION	0.33	0.30	0.31	0.27	0.29	0.32
PANOJAMIENTO	0.54	0.53	0.41	0.46	0.44	0.40
FLORACION	0.65	0.61	0.64	0.75	0.55	0.42
LL. DE GRANO	0.26	0.39	0.53	0.60	0.29	0.33

Cuadro A.9 Rendimiento de materia verde y seca (kg/ha) de dos variedades de quinua bajo dos déficit de humedad en el suelo en siembras de primavera, verano y otoño en Buenavista, 2001 Saltillo, Coahuila.

TRATAMIENTOS			SIEMBRA DE PRIMAVERA		SIEMBRA DE VERANO		SIEMBRA DE OTOÑO	
DEFICIT HUMEDAD	VARIEDAD	FASE	MV Kg/ha	MS kg/ha	MV kg/ha	MS kg/ha	MV kg/ha	MS Kg/ha
BAJO	SAJAMA	PANOJ	48,596	8,809	53,671	10,063		
		FLOR	57,173	13,858	64,153	15,807		
	CHUCARA	PANOJ	59,307	9,396	54,711	10,275	40,160	9,072
		FLOR	69,654	16,502	73,344	16,962	41,538	9,894
ALTO	SAJAMA	PANOJ	31,846	5,352	34,942	6,496		
		FLOR	38,230	9,653	43,923	10,995		
	CHUCARA	PANOJ	35,577	5,290	39,538	7,261	31,441	5,661
		FLOR	44,288	10,828	48,346	12,421	37,454	7,602

Cuadro A.10 Contenido de proteína cruda (PC%) en dos variedades de quinua bajo dos déficit de humedad en el suelo en siembras de primavera, verano y otoño en Buenavista, 2001.
Saltillo, Coahuila.

TRATAMIENTOS			SIEMBRA DE PRIMAVERA		SIEMBRA DE VERANO		SIEMBRA DE OTOÑO	
DEFICIT HUMEDAD	VARIEDAD	FASE	N (%)	PC (%)	N (%)	PC (%)	N (%)	PC (%)
BAJO	SAJAMA	PANOJ	2.7	17.4	2.5	16.0		
		FLOR	2.1	13.1	2.1	13.3		
	CHUCARA	PANOJ	2.9	18.7	2.5	16.1	2.8	17.7
		FLOR	2.3	14.5	2.2	13.8	2.4	15.4
ALTO	SAJAMA	PANOJ	2.8	17.9	2.8	17.9		
		FLOR	2.4	15.0	2.4	15.4		
	CHUCARA	PANAJ	2.8	17.8	2.8	17.8	2.9	18.7
		FLOR	2.3	14.8	2.4	15.1	2.4	15.0

Cuadro A.11 Concentración de saponinas (%) de dos variedades de quinua bajo dos déficit de humedad en el suelo en siembras de primavera, verano y otoño en Buenavista, 2001.
Saltillo, Coahuila.

DEFICIT HUMEDAD	VARIEDAD	ETAPA FENOLOGICA	SIEMBRA DE PRIMAVERA	SIEMBRA DE VERANO	SIEMBRA DE OTOÑO
BAJO	SAJAMA	PANOJAMIEN	0.66	0.49	
		FLORACION	0.82	0.95	
	CHUCARA	PANOJAMIEN	0.76	0.50	0.56
		FLORACION	0.82	0.70	0.68
ALTO	SAJAMA	PANOJAMIEN	0.66	0.53	
		FLORACION	0.96	0.760	
	CHUCARA	PANAJAMIENT	0.79	0.537	0.69
		FLORACION	0.96	0.922	0.77

Cuadro A.12 Comparación de medias de materia verde (MV), materia seca (MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP.) en el cultivo de quinua bajo tres déficit de humedad y cinco etapas fenológicas en Jaguey de Ferniza, 2000.

TRATAMIENTO	MV kg/ha	MS kg/ha	PC %	SAP %
HUMEDAD				
Déficit bajo	37,537 A	6,665 A	18.8 A	0.45 A
Déficit medio	26,024 B	4,637 B	18.6 A	0.50 A
Deficit alto	20,919 B	3,744 B	18.4 A	0.38 A
ETAPAS				
Veg. Inicial	1,604 D	238 E	24.3 A	
Ramificación	13,735 C	2,148 D	20.4 B	0.30 C
Panojamiento	30,238 B	4,090 C	17.9 C	0.47 AB
Floración	46,981 A	8,178 B	15.9 D	0.59 A
Ll. de grano	48,244 A	10,421 A	14.5 D	0.40 BC

+ Valores en una columna seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales (DMS = 0.05).

Cuadro A.13 Prueba de medias de materia verde (MV), materia seca (MS), proteína cruda (PC) y saponinas (SAP) en el cultivo de quinua bajo dos déficit de humedad y dos etapas fenológicas en siembra de primavera, verano y otoño en Buenavista, 2001. Saltillo.

SIEMBRAS	TRATAMIENTO	MV kg/ha	MS kg/ha	PC %	SAP %
PRIMAVERA	HUMEDAD				
	Déficit bajo	58682 A	12141 A	16.4 A	0.87 A
	Deficit alto	37485 B	7781 B	15.9 A	0.77 A
	VARIEDAD				
	Sajama	43961 A	9418 A	15.9 A	0.80 A
	Chucara	52206 A	10504 B	16.4 A	0.84 A
	ETAPAS				
Panojamiento	43831 A	7212 A	18.0 A	0.74 A	
Floración	52336 B	12710 B	14.3 B	0.84 A	
VERANO	HUMEDAD				
	Déficit bajo	61470 A	13609 A	14.8 A	0.71 A
	Deficit alto	41687 B	7778 B	16.6 A	0.66 A
	VARIEDAD				
	Sajama	49172 A	10140 A	15.8 A	0.68 A
	Chucara	53985 A	112472 A	15.7 A	0.69 A
	ETAPAS				
Panojamiento	45716 A	8726 A	17.0 A	0.51 A	
Floración	57441 B	12661 B	14.4 B	0.86 B	
OTOÑO	HUMEDAD				
	Déficit bajo	40849 A	8774 A	16.4 A	0.41 A
	Deficit alto	34447 A	7367 B	16.8 A	0.39 A
	ETAPAS				
	Panojamiento	35800 A	6633 A	18.2 A	0.37 A
Floración	39496 A	9508 B	15.2 B	0.43 B	

Cuadro A.14 Caracteres fisiológicos de la quinua sometidos a dos de déficit de humedad en el suelo, bajo condiciones controladas en Buenavista, 2001, Saltillo.

Tratamiento	80 DDS		84 DDS		88 DDS		101 DDS	
	Haz	Envez	Haz	Envez	Haz	Envez	Haz	Envez
Déficit bajo								
Temp.(°C)	26.2	26.1	25.8	25.8	27.6	27.7	23.2	23.4
H.R (%)	16.3	20.9	15.7	18.2	29.0	31.6	19.8	20.8
Rad (Cal/cm ²)	1335.0	1425.0	919.0	980.0	1150	1375	589.0	621.0
R. Est (cm/s).	6.2	7.8	5.3	9.9	14.4	10.4	8.1	6.3
Ph (bares)	-10.7		-19.1		-13.6		-10.5	
Déficit alto								
Temp.(°C)	24.8	26.8	26.5	26.4	28.0	28.0	23.9	23.7
H.R (%)	13.2	11.0	11.4	14.0	24.4	24.6	17.2	17.6
Rad (Cal/cm ²)	1310.0	1405.0	1075	1105.0	1310	1395	844.0	838.0
R. Est.(cm/s)	18.3	12.0	29.1	15.3	13.4	26.9	20.2	32.9
Ph (bares)	-14.5		-28.3		-36.3		-39.4	
SAP. (%)								
Control (cc)	0.22		0.11		0.19		0.22	
DP (Pv)	0.23		0.20		0.19		0.33	

Temp. = Temperatura, H.R. = Humedad relativa; R = Radiación.

R. Est. = Resistencia estomática; Ph = Potencial hídrico.

Haz y Envés = Lámina foliar de la planta; SAP. =Contenidos de saponinas.

Control (cc) = a capacidad de campo. DP = Déficit de humedad progresivo (%).