

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

EL PAPEL DEL TAMAÑO DE SEMILLA DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.) EN EL CRECIMIENTO
Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS FRENTE A
DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SIEMBRA

Juan Pablo RODRIGUEZ CALLE

La Paz – Bolivia

2005

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**EL PAPEL DEL TAMAÑO DE SEMILLA DE QUINUA (*Chenopodium
quinoa* Willd.) EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS
PLANTAS FRENTE A DIFERENTES PROFUNDIDADES DE
SIEMBRA**

*Tesis de Grado presentado como requisito
para optar el Título de
Ingeniero en Agronomía*

Juan Pablo RODRIGUEZ CALLE

ASESORES :

Dr. Jean - Pierre RAFFAILLAC

Ing. M.Sc. Carmen DEL CASTILLO GUTIERREZ.

COMITÉ REVISOR:

Ing. M.Sc. Hugo BOSQUE SANCHEZ

Ing. M.Sc. Félix MAMANI REYNOSO

APROBADA

DECANO:

Ing. M.Sc. Jorge PASCUALI CABRERA

DEDICATORIA

*A Juana mi madre, amiga incondicional y consejera de la vida
A mi padre Marcelino, y
A mi hermana Eva por su apoyo en todo momento
Gracias..*

*" Hay que estudiar mucho para saber poco"
Montesquieu*

CONTENIDO

	Página
CONTENIDO	i
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE ANEXOS	vii
1. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Origen y aspectos botánicos de la quinua	3
2.2. Importancia de la quinua	3
2.3. Características del cultivo	4
2.3.1. Descripción de la planta de quinua	4
2.3.2. Características fenológicas	6
2.3.3. Características fisiológicas	8
2.4. Aspectos sobre el crecimiento y desarrollo de una planta	9
2.4.1. Análisis de crecimiento y parámetros fisiotécnicos	10
2.4.2. Componentes del análisis de crecimiento	11
2.4.2.1. Tasa o intensidad de crecimiento	11
2.4.2.2. Índice de área foliar	12
2.4.3. Alometría	13
2.5. Semilla	13
2.5.1. Estructura de la semilla de quinua	14
2.5.2. Vigor de la semilla	14
2.6. Pureza	14
2.6.1. Propiedades externas de la semilla	15
2.6.1.1. Pureza física	15
2.6.1.2. Clasificación por tamaño de grano	15
2.6.1.3. Peso de mil semillas	15
2.6.1.4. Humedad	16
2.6.2. Propiedades internas de la semilla	16

2.6.2.1.	Proceso de germinación -----	16
2.7.	Peso volumétrico-----	17
2.8.	Labores culturales para la producción de semilla-----	17
2.8.1.	Elección del terreno -----	17
2.8.2.	Preparación del terreno -----	18
2.8.3.	Siembra -----	19
2.9.	Producción de la quinua-----	20
2.9.1.	Producción a escala mundial -----	20
2.9.2.	Producción Nacional -----	21
2.9.2.1.	Superficie cultivada, producción y rendimiento-----	21
2.10.	Rendimiento-----	22
2.10.1.	Componentes del rendimiento-----	23
3.	MATERIALES Y METODOS-----	24
3.1.	Localización y ubicación del experimento -----	24
3.2.	Descripción agroecológica-----	24
3.3.	Material experimental -----	25
3.3.1.	Material Vegetal -----	25
3.3.2.	Material y equipo de campo -----	25
3.3.3.	Material de laboratorio y gabinete -----	26
3.4.	Metodología -----	26
3.4.1.	Método de campo-----	26
3.4.1.1.	Preparación del terreno -----	26
3.4.1.2.	Muestreo y análisis de suelo -----	26
3.4.1.3.	Siembra -----	27
3.4.1.4.	Labores culturales -----	27
3.4.1.5.	Cosecha-----	28
3.4.1.6.	Trilla y limpieza de la semilla-----	28
3.4.2.	Procedimiento experimental (campo)-----	28
3.4.2.1.	Diseño experimental-----	28
3.4.2.2.	Factores de estudio-----	29
3.4.2.3.	Descripción de los tratamientos -----	30
3.4.2.4.	Características del campo experimental -----	30
3.4.2.5.	Variables evaluadas en campo-----	30
3.4.2.5.1.	Variables agronómicas -----	30
3.4.2.5.2.	Variables fisiotécnicas -----	34
3.4.3.	Ensayo en macetas -----	36

3.4.3.1.	Preparación del sustrato -----	36
3.4.3.2.	Siembra en macetas -----	37
3.4.3.3.	Variables evaluadas en macetas-----	38
4.	RESULTADOS Y DISCUSION -----	39
4.1.	Aspectos climáticos -----	39
4.1.1.	Temperaturas -----	39
4.1.2.	Precipitación-----	40
4.1.3.	Suelos-----	41
4.2.	VARIABLES AGRONOMICAS-----	42
4.2.1.	Porcentaje de germinación en laboratorio -----	42
4.2.2.	Porcentaje de germinación en campo -----	43
4.2.2.1.	Número de plantas y porcentaje de emergencia en campo -----	44
4.2.2.2.	Efecto del tamaño de grano en la emergencia y No de plantas por m ² -----	46
4.2.2.3.	Efecto de la profundidad de siembra en la emergencia y No de plantas por m ² -----	47
4.2.3.	Profundidad de enraizamiento -----	48
4.2.3.1.	Longitud de raíz de plantas provenientes de dos tamaños de grano -----	49
4.2.4.	Número de hojas, cicatrices y estado de las plantas-----	50
4.2.5.	Tasa de defoliación de los tratamientos -----	52
4.2.5.1.	Defoliación del tallo principal-----	52
4.2.5.2.	Defoliación de plantas con respecto a la profundidad -----	53
4.2.6.	Número de hojas en el tallo principal-----	54
4.2.7.	Manejo de los Grados-día de crecimiento -----	55
4.2.8.	Evolución de la altura y diámetro del tallo de la planta -----	58
4.2.8.1.	Altura y diámetro de tallo-----	58
4.2.9.	Relación alométrica entre diámetro y altura de planta-----	61
4.3.	VARIABLES FISIOTECNICAS -----	61
4.3.1.	Relación de la biomasa seca de las plantas por metro cuadrado -----	61
4.3.1.1.	Incremento de la biomasa seca de la planta durante su ciclo vegetativo -----	62
4.3.2.	Peso seco de hojas-----	63
4.3.2.1.	Relación de la biomasa seca de hojas de una planta con la defoliación-----	64
4.3.3.	Biomasa seca de la panoja-----	65
4.3.4.	Peso seco en hojas de ramificación-----	66
4.3.5.	Tasa de crecimiento absoluto (TCA) -----	68
4.3.6.	Tasa de crecimiento relativo (TCR) -----	69
4.3.7.	Área Específica Foliar (AEF)-----	70

4.3.8.	Índice de Área Foliar (IAF)-----	70
4.4.	COSECHA -----	73
4.4.1.	Longitud de panoja -----	73
4.4.1.1.	Longitud de panoja con respecto a la profundidad -----	74
4.4.2.	Diámetro de panoja-----	74
4.4.3.	Relación entre longitud y diámetro -----	75
4.4.4.	Peso de mil semillas (PMS) -----	76
4.4.5.	Peso de grano por tamaño -----	78
4.4.6.	Peso volumétrico-----	79
4.4.7.	Humedad de semilla de quinua-----	80
4.4.8.	Pureza física -----	81
4.5.	RENDIMIENTO-----	81
4.5.1.	Índice de cosecha y rendimiento -----	81
4.5.1.1	Relación del rendimiento e índice de cosecha, con respecto al tamaño de grano -----	83
4.5.1.2	Relación del rendimiento e índice de cosecha, con respecto a la profundidad de siembra-----	83
4.5.2.	Rendimiento de granos kg/ha-----	84
4.5.2.1.	Efecto del número de plantas sobre el rendimiento -----	85
4.5.3.	Elaboración del rendimiento-----	86
4.5.3.1.	Componentes de rendimiento-----	86
4.5.3.2.	Relación entre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado-----	89
4.5.3.3.	Relación entre el peso de mil semillas y el rendimiento -----	90
4.5.3.4.	Relación entre la biomasa seca de plantas y el número de granos -----	91
4.6.	ENSAYO EN MACETAS-----	93
4.6.1.	Macetas con cama de siembra conformado por arena fina -----	93
4.6.1.1.	Altura de plántulas -----	93
4.6.1.2.	Longitud y ancho de hoja cotiledonar -----	94
4.6.2.	Macetas con sustrato y cama de siembra conformado por suelo del lugar-----	95
4.6.2.1.	Altura desde la base a la inserción de las hojas cotiledonares -----	95
4.6.2.2.	Biomasa seca de los diferentes órganos de la planta-----	96
4.6.2.3.	Relación entre la biomasa seca de la raíz y plántula-----	97
4.6.2.4.	Relación entre la longitud y biomasa seca de raíz-----	98
5.	CONCLUSIONES -----	99
6.	RECOMENDACIONES -----	101
7.	BIBLIOGRAFIA-----	102
8.	ANEXOS-----	110

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Determinación de la clase de granos de quinua en función de la longitud de su diámetro-----	13
Cuadro 2. Producción de quinua comparados en tres países de América Latina (TM/año) --	20
Cuadro 3. Superficie cultivada y producción de quinua en Bolivia -----	21
Cuadro 4. Características de pureza, peso de mil semillas, número de semillas por gramo y germinación de la semilla-----	42
Cuadro 5. Comportamiento del porcentaje de germinación con respecto al tamaño de grano -----	43
Cuadro 6. Cantidad teórica de semilla sembrada correspondiente a los dos tamaños de grano-----	44
Cuadro 7. Comportamiento en número de plantas por m ² con relación al tamaño de grano-	46
Cuadro 8. Comportamiento de la longitud de raíz con respecto al tamaño de grano-----	50
Cuadro 9. Peso promedio de 1000 semillas -----	77

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Croquis del experimento -----	29
Figura 2 Siembra en macetas bajo 5 profundidades, cama de siembra (arena fina) y suelo del lugar-----	37
Figura 3 Siembra en macetas bajo 3 profundidades, cama de siembra y sustrato (suelo del lugar) -----	37
Figura 4 Variaciones de la temperatura del aire máxima, mínima y media durante el ciclo del cultivo-----	39
Figura 5 Comportamiento de la precipitación normal y registrada -----	40
Figura 6 Comportamiento de la precipitación en periodo de 5 días durante la gestión agrícola 2002-2003 -----	41
Figura 7 Distribución porcentual de los componentes de la textura Del suelo de la parcela experimental -----	42
Figura 8 Evolución del número de plantas por metro cuadrado en los 21 Días Después de la Siembra-----	45
Figura 9 Evolución del porcentaje de emergencia de plántulas con relación a la profundidad y tamaño de grano-----	45
Figura 10 Relación del tamaño de grano con el porcentaje de emergencia y número de plantas por metro cuadrado -----	47
Figura 11 Efecto de la profundidad de siembra el porcentaje de germinación y número de plantas por m ² -----	48
Figura 12 Longitud de raíces de acuerdo a los tratamientos 60 DDS ($m \pm 1DE$)-----	49
Figura 13 Desarrollo del número total de hojas emitidas en el tallo principal en una planta por tratamiento -----	51
Figura 14 Desarrollo del número de hojas emitidas en el tallo principal de una planta para las dos profundidades -----	51

Figura 15	Tasa de defoliación del tallo principal de plantas -----	53
Figura 16	Tasa de defoliación de plantas con relación a la profundidad de siembra-----	54
Figura 17	Evolución en el tiempo del estado del tallo principal de una planta -----	55
Figura 18	Relación entre la aparición de la hojas del tallo principal en base a días-grado acumulados desde la siembra hasta la cosecha-----	56
Figura 19	Incremento en altura y diámetro de tallo en plantas con relación al tamaño de grano -----	58
Figura 20	Incremento en altura y diámetro de tallo en plantas con relación a la profundidad de siembra -----	59
Figura 21	Evolución del peso seco total con relación al número de plantas por m ² -----	62
Figura 22	Evolución de la biomasa seca total de una planta media de los tratamientos-----	63
Figura 23	Evolución del peso seco de hojas del tallo principal -----	64
Figura 24	Evolución del peso de hojas del tallo principal de una planta con relación a la defoliación-----	65
Figura 25	Evolución de la biomasa seca de las panojas -----	66
Figura 26	Evolución del peso seco en hojas de las ramificaciones-----	67
Figura 27	Evolución de la TCA durante el ciclo vegetativo de las plantas -----	68
Figura 28	Comportamiento de la TCR durante el ciclo vegetativo de las plantas-----	70
Figura 29	Cociente entre área y peso seco (cm ² /g) de laminas de hojas del tallo principal y hojas de las ramificaciones -----	71
Figura 30	Índice de Área Foliar durante el ciclo vegetativo de las plantas -----	72
Figura 31	Longitud de panoja de acuerdo a los tratamientos 166 DDS ($m \pm 1DE$)-----	73
Figura 32	Comportamiento de la longitud de panoja con respecto a la profundidad y tamaño de grano -----	74
Figura 33	Diámetro de panoja de los tratamientos a los 166 DDS ($m \pm 1DE$)-----	75
Figura 34	Altura y diámetro de panoja de los tratamientos a los 166 DDS ($m \pm 1DE$) -----	76
Figura 35	Peso de mil granos de semillas de quinua ($m \pm 1DE$) -----	76
Figura 36	Peso de grano en muestras de 100 g de acuerdo a su diámetro ($m \pm 1DE$) -----	78
Figura 37	Peso volumétrico de las semillas de quinua ($m \pm 1DE$) -----	79
Figura 38	Comportamiento del peso seco y % humedad de semillas-----	80
Figura 39	Pureza física de las semillas de quinua -----	81
Figura 40	Rendimiento e Índice de cosecha de los tratamientos -----	82
Figura 40 a	Relación del rendimiento e índice de cosecha, Con respecto al tamaño de grano -----	83
Figura 40 b.	Relación del rendimiento e índice de cosecha, Con respecto a la profundidad de siembra -----	84
Figura 41	Rendimiento de semillas de quinua, cosechadas mediante dos formas de evaluación-----	85
Figura 42	Efecto del número de plantas normales y ramificadas en el rendimiento de grano -----	86
Figura 43	Esquema simplificado de la elaboración de rendimiento de la quinua -----	87

Figura 44	Evolución de la biomasa seca por m ² de las plantas de quinua en función a Días-grado acumulados-----	88
Figura 45	Relación entre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado-----	89
Figura 46	Relación entre el peso de mil semillas y el rendimiento-----	91
Figura 47	Relación entre la biomasa seca de plantas y el número de granos por planta-----	92
Figura 48	Altura de plántulas 18 días después de la siembra -----	93
Figura 49	Relación entre longitud y ancho de hojas cotiledonar 18 DDS -----	94
Figura 50	Evolución de la altura desde la base a la inserción de la hoja cotiledonar -----	95
Figura 51	Biomasa seca de los diferentes órganos de la planta, parte aérea y subterránea 56 días después de la siembra-----	96
Figura 51	Relación entre la biomasa seca de la raíz y planta 56 DDS -----	97
Figura 53	Relación entre la longitud y peso de raíz 56 DDS -----	98

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 a.	Datos de precipitación de 15 años registrados (SENAMHI, 2000)
Anexo 1 b.	Análisis de suelos (CETABOL-JICA), ensayo Estación Experimental Choquenaira
Anexo 2.	Análisis de Varianza (ANVA), para prueba de germinación
Anexo 3.	Análisis de Varianza ANVA, de profundidad de enraizamiento 60 DDS
Anexo 4.	Análisis de Varianza (ANVA), para altura de planta, 45 DDS
Anexo 5.	Análisis de Varianza (ANVA), para diámetro de tallo, 120 DDS
Anexo 6.	Análisis de Varianza (ANVA), de longitud de panoja, 156 DDS
Anexo 7.	Análisis de Varianza (ANVA), de diámetro de panoja, 156 DDS
Anexo 8.	Análisis de Varianza (ANVA), de peso de mil semillas
Anexo 9.	Análisis de Varianza (ANVA), para peso volumétrico
Anexo 10.1	FOTOS
Anexo 10.2	FOTOS
Anexo 10.3	FOTOS
Anexo 10.4	FOTOS

AGRADECIMIENTOS

Al amigo y guía que me acompaña siempre, durante el transcurso de la vida: Dios.

Mi sincero agradecimiento al IRD (Institut de Recherche pour le Développement), que mediante el Proyecto Quinoa – CLIFA me proporcionó las facilidades técnico – científicas para la ejecución de este estudio, concediéndome una beca – tesis.

Al Dr. Jean Pierre RAFFAILLAC, por el asesoramiento, guía y los sabios consejos proporcionados en la elaboración del perfil, implementación del trabajo en campo, la redacción del documento final y la facilitación del material bibliográfico, además de su amistad brindada y su ímpetu de apoyo.

A la Ing. M. Sc. Carmen DEL CASTILLO, por el asesoramiento y consejos en la elaboración del perfil, correcciones y recomendaciones hechas durante el trabajo de tesis hasta la conclusión de la misma, además de su apoyo.

Asimismo, extendiendo mi agradecimiento al Dr. Nicolás GERMAIN y Dr. Thierry WINKEL, Ing. M.Sc. Quentin HECQUET, Ing. M.Sc Sophie LEBONVALLET y al Ing. M.Sc Sam GEERTS por las correcciones, sugerencias y apoyo oportuno en la realización del trabajo.

Del mismo modo, mi gratitud al Dr. Bernardo SOLIZ, Ing. Miguel NOGALES y al Ing. Juan José VICENTE por las correcciones, observaciones y sugerencias realizadas durante la elaboración del presente trabajo de tesis y la conclusión del documento final y por compartirme sus conocimientos y experiencias.

Mi reconocimiento al Dr. Yoshifumi TAMURA, del Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia, CETABOL – JICA, Santa Cruz, por la colaboración en los análisis de suelos.

Al tribunal revisor compuesto por el Ing. M.Sc. Hugo BOSQUE y el Ing. M.Sc. Félix MAMANI por la revisión, corrección y las sugerencias realizadas con el fin de mejorar la presentación del documento final.

A Claudia ALCON, Yola MAMANI, Jorge VILLALOBOS, Eddy YUJRA y Jesús HUANCA, amigos y compañeros (as) de tesis, por su amistad y todo el tiempo compartido durante la realización de la tesis.

Al personal técnico, administrativo y trabajadores de la Estación Experimental de Choquenaira de la Facultad de Agronomía-UMSA, por la colaboración brindada durante mi permanencia en dicho centro de investigación.

A los docentes y administrativos de la Facultad de Agronomía-UMSA, por las enseñanzas impartidas durante mi permanencia en esa casa superior de estudios.

A los amigos y compañeros de la Facultad de Agronomía, por la amistad, el apoyo, la colaboración y la confianza demostrada hacia mi persona durante mi formación profesional y todas aquellas personas que me colaboraron de una o alguna otra forma. Muchas Gracias, que Dios los proteja.

RESUMEN

El trabajo de experimentación, se realizó en predios de la Estación Experimental de Choquenaira, geográficamente ubicada a LS 16°41'38", LO 68°17'13" y a una altitud de 3854 msnm. Se consideraron como objetivos del experimento: determinar las diferencias existentes en los primeros estadios de la planta con respecto a los diferentes tamaños de granos de quinua de la variedad Surumi combinados a distintas profundidades de siembra y las consecuencias en el rendimiento final. La metodología fue dividida en dos partes; la primera comprendió la siembra en campo a dos profundidades de 1 y 3 cm con granos de tamaño grande, pequeño y mezcla ($\frac{1}{2}$ grande + $\frac{1}{2}$ pequeños - en peso), con un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, y la segunda consistió la siembra en macetas a cinco y tres profundidades con semillas de tamaño grande, mediano y pequeño dispuestas en bloques completamente al azar.

Durante las tres primeras semanas se evaluó el porcentaje de germinación respecto a los tamaños de grano observándose diferencias significativas, donde los granos de tamaño grande presentaron un 97% de germinación, la mezcla de 95% y el tamaño pequeño de 94%. El número medio de granos sembrados por metro lineal es de 432 para el tamaño grande y 984 para el pequeño. Se observó la emergencia de 20 plantas en el mismo metro lineal para las dos profundidades para los granos de tamaño grande, es decir sin efecto. Al contrario tenemos 10 plantas para la Prof-1cm y 50 para Prof-3cm, lo que indica la importancia de una profundidad adecuada para este tipo de semilla. Asimismo, se evaluó la velocidad de crecimiento de las radículas de plántulas en macetas, a partir de granos de diferentes diámetros, donde se observó que los granos grandes presentan plántulas vigorosas frente a granos medianos y pequeños. Posteriormente se efectuaron pruebas de imbibición, germinación y vigor de plántulas en semillas de tamaños grande, mediano y pequeño, lo que demostró que los granos grandes requieren menor tiempo para la hidratación de las semillas. Lo que se traduce en la emergencia del coleoptilo y la radícula, para después presentar una plántula vigorosa. Por otro lado se utilizó la metodología de los Grados-Día acumulados o Unidades Calor para evaluar el crecimiento de los diferentes tratamientos, lo que nos permitió tener una idea clara de la relación entre la asimilación de las hojas y el aprovechamiento para desarrollar y crecer. Es necesario señalar acerca del concepto de la elaboración del rendimiento y sus componentes que se adaptó de una forma clara y comprensible, lo que nos explica sobre la interacción de los diferentes componentes que coadyuvan entre sí hasta llegar a la formación y producción de los granos.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en el altiplano boliviano es considerada como una labor de alto riesgo, debido a que los cultivos durante su ciclo vegetativo están expuestos a numerosos problemas, entre los que destacan principalmente las heladas, sequías, granizadas; a ello se suman los factores bióticos limitantes como enfermedades, plagas, y suelos agrícolas de baja fertilidad.

En el caso del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow), las características de la semilla y las condiciones ambientales donde se cultiva esta especie, hacen que la germinación de la quinua sea la etapa más crítica en el ciclo de la quinua y este es de mucho interés para el agricultor; en consecuencia, la germinación constituye el inicio de la fenología del cultivo y la buena o mala germinación decidirá un campo con una población aceptable o una baja densidad de plantas, esta a su vez determinará el rendimiento de grano por unidad de superficie.

Por otro lado, la etapa de germinación de la quinua es particularmente importante, puesto que la época de siembra coincide con la escasa humedad del suelo y del ambiente mismo, donde una mayor eficacia de las reacciones bioquímicas en la germinación puede ser decisiva para el establecimiento del cultivo y consecuentemente para la producción.

Entre otros factores que influyen en la germinación y emergencia de las plántulas son la profundidad de siembra y el tamaño de semilla. La siembra es una labor muy importante y delicada dentro del proceso productivo de la quinua, puesto que está directamente relacionado con la germinación posterior de la semilla en relación con la preparación del suelo. Las siembras muy superficiales en condiciones de escasa humedad, corren el riesgo de desecamiento o deshidratación de las semillas por la radiación solar, malográndose el embrión, mientras las siembras a mayor profundidad son desfavorables para la emergencia.

En este sentido, producto de más de dos décadas de investigación en el cultivo de la quinua, se han logrado diversos resultados y recomendaciones para cada una de las etapas fenológicas de la quinua. Sin embargo, existen pocos estudios con referencia al tamaño de semilla y su relación con el crecimiento y desarrollo de la

planta hasta la cosecha. La semilla empleada para la siembra en el cultivo de la quinua varía de acuerdo al tamaño de las mismas, encontrándose de pequeñas a grandes, dada esta situación es que en campo es cultivado y se pueden observar heterogeneidad en la población de plantas; para lo cual se necesitan conocimientos adicionales, y poder explicar la heterogeneidad en una parcela de quinua, a partir del tamaño de semilla y proponer eventualmente correcciones para mejorar la producción.

En base a los antecedentes señalados, existen, otros factores que acompañan al sistema productivo como la preparación oportuna y adecuada del terreno y la humedad disponible para facilitar la emergencia de la nueva plántula. En consecuencia el presente trabajo de investigación se efectuó considerando la relación entre el espesor de la cama de siembra y el tamaño de semilla, a fin de entender el crecimiento y desarrollo de las plantas en campo hasta el rendimiento.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinar las diferencias existentes en los primeros estadios de la planta con respecto a los diferentes tamaños de granos de quinua a distintas profundidades de siembra y las consecuencias en el rendimiento final.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analizar el efecto del tamaño de grano de la quinua sobre el vigor de la planta de 4 a 6 semanas después de la siembra según el crecimiento.
- Evaluar el perfil de enraizamiento de acuerdo a cada profundidad de siembra y tamaño de grano de quinua.
- Comparar la influencia de la profundidad de siembra y tamaño de grano sobre la emergencia de las plantas (velocidad y vigor), tasa de emergencia, densidad plantas por metro cuadrado.
- Determinar la interacción existente entre la profundidad de siembra y el tamaño de grano.
- Determinar y comparar el rendimiento, peso y tamaño de grano de los tratamientos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen y posición taxonómica de la quinua

De acuerdo a Vavilov (1951), en el mundo existen varios centros de diversificación de especies alimenticias y la zona andina fue determinada como un centro de origen para la quinua. Gandarillas (2001), en un estudio realizado sobre la variabilidad genética de las quinuas nativas existente en el área andina, llegó a la conclusión de que el centro de diversificación más importante de la quinua está ubicado alrededor del lago Titicaca. Por su parte Cárdenas (1944) señala, de acuerdo a los cronistas de la colonia, donde la quinua era considerada después del maíz, la planta más cultivada en Sudamérica y precisamente en el Collao (Bolivia), región donde más variedades se conocía.

Posteriormente Gandarillas (2001), realizó cruzamientos entre *Ch. petiolare* variedad Paniculata y *Ch. hircinum*, obteniendo la *Chenopodium quinoa*, confirmando que el centro de origen de la quinua cultivada está en América del sur, pudiendo haberse originado entre Ecuador, Perú y Bolivia, ya que la especie *Ch. hircinum* se encuentra ampliamente distribuida en estos países. A su vez Narrea (1976) y Wilson (1990), confirman que el centro de origen de la quinua está comprendida entre las regiones cercanas a la Hoya del Lago Titicaca donde se puede encontrar la mayor diversidad de variedades y líneas de esta especie.

La posición taxonómica de la quinua según Gandarillas (2001), y Narrea (1976), es la siguiente: Orden: Centrospermales, Familia: Chenopodiaceae, Genero: *Chenopodium* y Especie: *Chenopodium quinoa* Willd.

2.2 Importancia de la quinua

La quinua se constituye en un alimento básico de los pueblos asentados en la región del altiplano, quienes la consumen de diferentes formas: pito, kispina, quinua graneada, sopa de quinua, pan, galletas, etc. (Morales, 1988). El grano de quinua tiene un alto contenido de proteína cruda (12-19%) y a los aminoácidos limitantes: como la lisina y metionina, superan en calidad a otros granos como el arroz, maíz, trigo y cebada cuyo consumo se ha generalizado (Improta, 2000). Este grano es un alimento que posee todos los aminoácidos esenciales para la

vida del ser humano y en valores cercanos a los establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), que a su vez señala que se deben hacer todos los esfuerzos necesarios para poder aprovechar estos recursos y darle una mayor importancia (FAO, 2001).

Por otro lado, la quinua es uno de los alimentos tradicionales en el altiplano, cuya importancia radica en su rusticidad y resistencia a factores ambientales adversos como las heladas y la sequía, además por inadecuada preparación del suelo, por estos atributos es una de las pocas especies que puede ser cultivada en forma comercial y con buenas posibilidades de exportación (Chipana, 1993). A su vez Bonifacio *et al.*, (2000) indican que la quinua ha desarrollado una serie de estrategias que proporcionan cierta seguridad para la producción de grano y subsistir bajo condiciones desfavorables de clima y suelo.

2.3 Características del cultivo

2.3.1 Descripción de la planta de quinua

Gandarillas (2001), indica que la descripción morfológica resulta importante para la identificación de variedades dentro del cultivo de la quinua, siendo esencial para el conocimiento del productor, por que lo asocia con características fundamentales como la resistencia al granizo y al ataque de pájaros.

La raíz, de la quinua es pivotante y fuerte, su longitud es proporcional con la altura de planta. Se han observado plantas con 1.70 m de altura cuyas raíces tenían 1.50 m de profundidad y plantas de 0.90 m con raíces de 0.80 m (Pacheco y Morlon, 1978).

El tallo, de la quinua es cilíndrico a la altura del cuello y después anguloso debido a que las hojas son alternas a lo largo de cada una de las cuatro caras. A medida que la planta crece, nacen primero las hojas y de las axilas nacen las ramas. De acuerdo a la variedad, el tallo alcanza diferentes alturas y termina en una o varias inflorescencias, existen variedades cuyas alturas oscilan entre 0.50 y mas de 2.00 m de longitud (Gandarillas, 2001).

La hoja, de quinua esta formada por el pecíolo y la lamina; los pecíolos son largos y finos, acanalados en su lado superior y de un largo variable dentro de la misma planta. Las hojas que nacen directamente del tallo son más largas y las hojas de

las ramas primarias más cortas. La lamina es polimorfa en la misma planta, siendo en las hojas inferiores de forma romboidal o triangular y en las superiores lanceoladas o triangulares (Gandarillas, 2001).

Una característica particular de las hojas jóvenes, es que se hallan cubiertas por papilas esferoidales blancas o coloreadas que también cubren los tallos jóvenes y las inflorescencias de la quinua, tienen papilas muy abundantes y caen conforme la planta llega a la madurez fisiológica (Rea, 1947 y Leon, 1964). Según Canahua (1989) y Gandarillas (1968), estas papilas están compuestas por silicatos y oxalatos de calcio cuya función es disminuir la pérdida de agua por efecto de la transpiración.

La inflorescencia, es racimosa y por la disposición de las flores en el racimo se la considera como panoja. La inflorescencia ancestral de la quinua es glomerulada, la misma que es dominante sobre la amarantiforme (Gandarillas, 2001).

La longitud de la panoja, puede variar, dependiendo de los genotipos, tipo de quinua, lugar donde se desarrolla y condiciones de fertilidad de los suelos; que puede alcanzar de 30 a 80 cm de longitud y un diámetro de 5 a 30 cm. El número de glomérulos por panoja varía de 80 a 120 y el número de semillas por panoja de 100 a 3000, encontrando panojas grandes que rinden hasta 500 gramos de semilla por inflorescencia (Mujica *et al.*, 2001).

Las flores, de la quinua son incompletas, dado que carecen de pétalos; asimismo, en el glomérulo las flores pueden ser hermafroditas o pistiladas (Gandarillas, 2001). La flor es considerada como incompleta, ya que no lleva pétalos, pudiendo ser hermafrodita, pistilada o androesteril.

El fruto, de la quinua es un aquenio cubierto por el perigonio, del que se desprende con facilidad al frotarlo cuando está seco (Gallardo *et al.*, 1997). Por su parte Álvarez *et al.*, (1990) señalan, que el fruto de quinua es pequeño mide aproximadamente 2.00 mm de diámetro y 1.00 mm de espesor.

Al respecto, Gandarillas (2001), afirma que el fruto de la quinua puede tener diferentes colores: blanco, café, negro, amarillo y rojo. Asimismo, Gallardo *et al.* (1997), señalan, que el color del fruto está relacionado directamente con el

perigonio y se asocia directamente con el de la planta de donde resulta que puede ser verde, púrpura o roja.

2.3.2 Características fenológicas

Son considerados fases fenológicas de la planta a los diversos cambios externos visibles, que ocurre en el proceso de desarrollo, esto desde la germinación de las semillas hasta la formación de las nuevas semillas (Canahua y Mujica, 1989).

Por su parte Espíndola (1994), trabajando con quinuas altiplánicas, pudo distinguir notoriamente 9 etapas morfo-anatómicas distinguibles. Las mismas que a continuación se describen:

0. **Etapa de emergencia:** Caracterizada por la emergencia del embrión a la superficie del suelo. Pudiendo variar la misma de acuerdo al tiempo de almacenamiento y variedad de la semilla, es así que el tiempo requerido después de la germinación hasta la emergencia de los cotiledones varía de 3 a 5 días.
1. **Etapa cotiledonar:** Es la etapa posterior al cuarto día en la que el hipocótilo curvo se endereza verticalmente, dando lugar a la expansión horizontal de los cotiledones; la plúmula visible forma un pequeñísimo cono con el vértice hacia arriba. Mientras la raíz seminal se elonga rápidamente hacia abajo, formándose a lo largo de ella finísimos pelos radiculares de color blanco.
2. **Etapa de dos hojas basales:** Es la etapa comprendida, entre los días 11 y 13 después de la siembra. Los prófilos ya visibles van a constituirse en las hojas basales y alrededor de su centro se forma un abultamiento de los apéndices, el futuro vástago que empieza diferenciarse. Al pasar los días se forma un arrellamiento en el ápice de las futuras hojas alternas. Esta etapa finaliza con la completa expansión de dos primeras hojas basales y la iniciación de las primeras hojas alternas.
3. **Etapa de 5 hojas alternas (diferenciación panicular):** Durante el transcurso de esta etapa el tejido meristemático apical cambia de la etapa vegetativa a la reproductiva, es decir, del proceso de formación solamente de primordios foliares (crecimiento) al proceso de formación alternativa de

primordios foliares y florales (crecimiento + desarrollo). Externamente, esta etapa se caracteriza por la completa expansión de 5 primeras hojas alternas: el resto de las hojas en crecimiento se encuentran arrepolladas alrededor del ápice.

4. **Etapa de 13 hojas alternas (pre-despunte panicular):** Esta etapa implica un notable crecimiento enramado de la planta junto a las dos siguientes etapas, como consecuencia del rápido alargamiento de los entrenudos, en especial de los de tercio inferior. El aspecto externo que caracteriza a esta etapa es la fácil visualización de 13 hojas alternas completamente expandidas. Sin embargo, lo que más caracteriza a esta etapa se encuentra en la parte apical de la planta: en medio del arrepollamiento de hojuelas, se visualiza un pequeño abultamiento de suave consistencia, que vendrá a ser la futura flórula compuesta de una infinidad de prófilos y órganos reproductivos en formación y emergencia.
5. **Etapa de despunte de panoja:** Se caracteriza por el despunte de la flórula hasta la pre-floración; en esta etapa aún no hay apertura e ninguna flor. El despunte de la flórula (inflorescencia) constituida por un gran número de panículas, tiene el aspecto visible de una bellota con la cúspide hacia arriba. Posteriormente, con el proceso la elongación, adquiere la forma de un cono con la cúspide en roma. Si la planta es de habito ramificado, la aparición de las ramas laterales aun no es notable puesto que aun persiste la dominancia de las hojas del tallo principal. En el sistema radical se produce una mayor expansión de raicillas y pelos absorbentes.
6. **Etapa de floración:** Es la etapa de mayor crecimiento en longitud, también es la etapa de plena floración; se considera como etapa de plena floración cuando el 50% de la población de flores de la panoja principal están en floración y las restantes en anthesis. El tiempo de floración varia en función a las condiciones ambientales y en general transcurren entre 15 a 20 días, desde la primera flor aparecida hasta la ultima flor de las panojas basales.
7. **Etapa de grano lechoso:** Es la etapa después de la fertilización. En el óvulo de la flor se desarrolla un receptáculo esférico verdoso, del que es

posible, con una leve presión de los dedos, extraer un líquido incipientemente lechoso, que paulatinamente se vuelve lechoso. A estas alturas, el crecimiento en longitud se debe ante todo al alargamiento del tercio superior (es decir al continuo alargamiento de los entrenudos de la panoja), lo que implica que en los 2/3 inferiores el crecimiento ha cesado prácticamente.

8. **Etapa de masa del grano:** Es la etapa en que el tejido perispérmico sufre un cambio del estado lechoso a un estado pastoso semisólido; es un cambio que ocurre a medida que el contenido del almidón aumenta, en tanto el contenido de agua se va reduciendo. Por lo que en esta etapa no interesa el crecimiento en longitud ni el aumento de follaje, sino lo que ocurre en la panoja.
9. **Etapa de grano pastoso duro (madurez fisiológica):** Es el estado de madurez fisiológica de la planta y se caracteriza por la diferenciación a simple vista del perisperma y del embrión. En esta etapa el grano presenta resistencia cuando se somete presión por las uñas, como consecuencia de que las estructuras almidonosas del perisperma se han solidificado, relegando el contenido de agua en un rango de 15 a 20%. Asimismo, las plantas muestran hojas verde amarillentas y una defoliación de forma gradual.

2.3.3 Características Fisiológicas

De acuerdo a Tapia (1997) la quinua es una planta correspondiente a foto periodos de día corto, importante para la floración y maduración de frutos.

Por otra parte, los análisis fisiológicos realizados sobre cortes de pecíolo y hoja muestran que se llega a clasificar a la quinua como una planta de tipo C3, considerado por la poca eficiencia en la fijación de CO₂, con referente a las demás plantas del tipo C4 (Gandarillas, 2001).

Asimismo Bonifacio y Dizes (1992), a través de observaciones efectuadas mediante cortes transversales del limbo de hoja de quinua, confirmaron que la estructura anatómica que presenta es típica de una planta C3, donde percibieron un parénquima palisádico con muchas capas de células dispuestas

perpendicularmente a la epidermis y un parénquima lagunoso, pero con la ausencia de la vaina peri vascular, observó también que la epidermis esta cubierta por un gran numero de vesículas, cuya función es retener porciones pequeñas de agua, lo que eleva la humedad relativa de la atmósfera que rodea la hoja, y seguidamente se reduce la transpiración.

2.4 Aspectos sobre el crecimiento y desarrollo de una planta

Rodríguez (1997), señala que el crecimiento vegetativo es un conjunto coordinado de procesos cualitativos y cuantitativos, durante los cuales las plantas sufren un aumento irreversible de tamaño, peso y volumen de una célula, tejido, órgano o individuo en forma mas o menos continua y acompañado del desarrollo de nuevos órganos de funciones especializadas por lo menos en forma intermitente durante toda su vida.

El mismo autor, menciona que el desarrollo involucra cambios y estos cambios pueden ser graduales o abruptos. La germinación, emergencia, floración aparecen como cambios importantes en la vida de la planta o parte de ella, de tal forma que el desarrollo puede ocurrir sin crecimiento y el crecimiento sin desarrollo; no obstante a menudo los dos se combinan en un solo proceso.

Para Bidwell (1993), las variaciones morfológicas observadas en cereales que se muestran durante la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales se designan estados o fases de desarrollo. Los cuales son fácilmente observables, donde tienen en parte relación con los fenómenos externos. Entonces, podemos diferenciar dos series de fenómenos importantes que ocurren durante el ciclo evolutivo de una planta.

Fernández (1986) y Barcello (1988), definen el crecimiento de la planta como un aumento irreversible y permanente en volumen, que va acompañado por un incremento de peso seco. Durante el crecimiento, las células aumentan en numero y/o tamaño; dicho fenómeno no es uniforme en todas las plantas, ya que se encuentra localizada en las zonas meristemáticas. Agronómicamente, el término crecimiento es un proceso fisiológico que va íntimamente ligado a la diferenciación y se define como una medida cuantitativa puesto que aumenta el peso de un organismo.

En cambio, el concepto de diferenciación es cualitativo e implica cambios estructurales que acompañan o siguen a la división o alargamiento celular. Es decir, ambas se efectúan simultáneamente en la misma región de la planta, estos son, células, tejidos, órganos, y se aprecia a medida que crece la planta.

Por otro lado, Rodríguez (1997), sostiene que la cinética de crecimiento de la planta, se puede expresar en función a materia seca o altura de planta; observándose un periodo inicial en que el crecimiento es lento, seguida de una fase de rápido aumento en tamaño y finalmente un crecimiento lento, llegando ser así la típica forma sigmoideo "S".

2.4.1 Análisis de crecimiento y parámetros fisiotécnicos

Rodríguez (1997), señala que el análisis de crecimiento es la evaluación de la producción líquida de la planta derivada del proceso fotosintético y el resultado del desempeño del sistema asimilatorio durante un cierto periodo de tiempo; es una técnica que sirve para cuantificar los componentes de plantas cultivadas a través del método de Regresión Múltiple generalmente es de tercer orden. Para llevar a cabo el análisis de crecimiento se requiere de una medición del material presente en la planta y una medición de la magnitud del sistema asimilatorio del material de la planta.

El mismo autor, menciona que hay modelos matemáticos que describen los cambios de materia seca, peso foliar y número de hojas en función al tiempo; basados en estas cuatro variables determinaron los parámetros de: Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Relación de Área Foliar (RAF), Relación de Peso Foliar (RPF) e Índice de Área Foliar (IAF).

Mediante, el uso de estos parámetros de análisis de crecimiento, se puede encontrar una serie de variaciones que resultan ser significativas para el cultivo, donde la densidad de siembra difiere y las cuales tienen ciertos efectos sobre el rendimiento de las plantas.

Por otro lado Raffaillac y Forestier (1980), señalan que al efectuar un análisis de crecimiento de un determinado cultivo, el desarrollo y el rendimiento del área foliar

y materia seca en una especie estudiada, se imponen ciertos requerimientos de homogeneidad.

Beadle (1988), afirma que para el análisis de crecimiento se necesitan dos tipos de mediciones:

- El peso de la planta, generalmente este es el peso seco a la estufa (kg) pero puede ser la materia orgánica o el contenido de energía.
- El tamaño del sistema asimilatorio, frecuentemente es el área foliar (m^2), pero puede ser el contenido de proteína o clorofila de las hojas.

2.4.2 Componentes del análisis de crecimiento

2.4.2.1 Tasa o intensidad de crecimiento

La tasa de crecimiento se manifiesta como la medida más apropiada para la evaluación del crecimiento vegetal de una especie. Donde, se define como la cantidad de material vegetal que esta acumulando una planta o un cultivo durante su crecimiento y desarrollo. La tasa de crecimiento es de dos clases absoluto y relativo (Beadle, 1988).

1) Tasa de crecimiento absoluto (TCA)

Es el incremento en peso de material vegetal que experimenta una planta o un cultivo por unidad de material vegetal presente, y por unidad de tiempo, se expresa en $g \cdot g^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, $g \cdot g^{-1} \cdot \text{semana}$, $kg \cdot kg^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$.

$$TCA = dp / dt$$

donde:

TCA; Tasa de crecimiento absoluto de una planta o cultivo
 dp; incremento de peso en gramos
 dt; intervalo de tiempo

El valor de la TCA, representa la pendiente de la curva de crecimiento y puede ser determinada empíricamente si se traza la tangente en un punto cualquiera.

2) Tasa de crecimiento relativo

Rodríguez (1997), indica que es el incremento en peso de la materia vegetal que experimenta una planta o un cultivo por unidad de material vegetal y por unidad de tiempo, se expresa como $g \cdot g^{-1} \cdot \text{semana}^{-1}$, $kg \cdot kg^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$. A su vez Beadle (1988), afirma que la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) se da en cualquier

instante del tiempo (t) y se define como el incremento del material presente. La TCR, sirve como una medida fundamental de la producción de la materia seca y se puede utilizar para comparar el comportamiento de especies o los efectos de tratamientos en condiciones estrictamente definidas.

Entonces la tasa de crecimiento relativo es la pendiente instantánea de una curva con relación al tiempo. En la práctica la TCR, se mide en un intervalo de tiempo discreto (t_1 a t_2) que normalmente no es menor en un día. En tanto W varia continuamente de t_1 a t_2 (Beadle, 1988). Donde la TCR se define de la siguiente manera:

$$\text{TCR} = (\ln W_2 - \ln W_1) / t_2 - t_1$$

dónde:

TCR;	Tasa de crecimiento relativo
\ln ;	Logaritmo natural
W_2 ;	Peso de la biomasa seca en periodo 2
W_1 ;	Peso de la biomasa seca en periodo 1
$t_2 - t_1$;	Periodo de tiempo

2.4.2.2 Índice de área foliar

Beadle (1988), menciona que para considerar la productividad de cultivos o de ecosistemas naturales, es conveniente expresar su comportamiento por unidad de área de terreno. Este es el área foliar por área unitaria de terreno o Índice de Área Foliar (IAF) y su expresión matemática es:

$$\text{IAF} = S_i / P$$

donde:

S_i ;	Es la superficie foliar funcional (verde) del dosel del cultivo que se encuentra en la superficie de terreno P
P ;	Se mide como superficie (m^2)
IAF;	Índice de Área Foliar, es adimensional ($dm^2 * m^{-2}$)

El IAF, es la relación de la superficie foliar de la planta y la superficie del suelo ocupada por la planta (Rodríguez, 1997) y puede ser calculada por la siguiente fórmula:

$$\text{IAF} = \text{AF} / \text{AP}$$

donde:	AF; Área foliar (cm^2) por planta
	AP; Área de proyección (cm^2)

Además, el Índice de Área Foliar valora la velocidad con que la planta ocupa el área de suelo disponible; también, describe la dimensión del sistema fotosintético de una comunidad vegetal.

2.4.3 Alometría

De acuerdo a Beadle (1988); la alometría es la estimación del nivel de crecimiento a través del peso seco, que impone la destrucción de las plantas en campo; sin embargo, se puede utilizar relaciones estrechas entre el peso y otras medidas sin destruirlas. También en el caso de la estimación del área de las hojas existen soluciones sin necesidad de cortarlas.

Es decir, existe una relación de las hojas de cualquier planta entre otras hojas en cm, además del área en cm², mediante estas apreciaciones nos permite conocer áreas de plantas sin efectuar la destrucción de las mismas. A través de cálculos y estableciendo curvas de coeficientes.

2.5 Semilla

Para Salisbury y Ross (2000), la semilla es como una forma de supervivencia de las especies vegetales donde el embrión renueva su vitalidad después que sus progenitores ya han desaparecido y cuyo desarrollo suele ser esencial para el crecimiento normal del fruto. La semilla de quinua esta formada por el perisperma almidonoso, la misma que se deriva de la nucela del óvulo, el embrión esta constituido por cotiledones y radícula envuelto por el epispermo (Vilche *et al.*, 2003).

La semilla de quinua es isodiamétrica, sin embargo; puede adquirir formas, como cónica, cilíndrica y elíptica; asimismo se las puede clasificar por tamaños diferentes: grande de 2,2 a 2,6 mm, mediano 1,8 a 2,1 mm y pequeño de 1 a 1,7 mm de diámetro respectivamente (Vilche *et al.*, 2003).

Por su parte IBNORCA (2002), a través de la Norma Boliviana NB 312004, realizó una clasificación por la longitud del diámetro de grano, y determina cuatro clases, según se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Determinación de la clase de los granos de quinua en función a la longitud de su diámetro.

Clase	Tamaños de los granos	Díametro de los granos en mm
Especial	Extragrande	mayores 2.2
Primera	Grandes	entre 1.5 a 2.2
Segunda	Medianos	de 1.35 a 1.75
Tercera	Pequeños	menores

Fuente: IBNORCA, Norma Boliviana 312004 (2002)

2.5.1 Estructura de la semilla de quinua

La semilla de quinua esta envuelta por el episperma en forma de una membrana delgada, el embrión esta formado por los cotiledones y la radícula, que constituye la mayor parte de la semilla que envuelve al perisperma como un anillo; el perisperma es almidonoso y normalmente de color blanco. Las diferentes coloraciones del perigonio, pericarpio y episperma son la razón para que la inflorescencia de la quinua presente tan variados colores; el pericarpio blanco puede descansar sobre el episperma blanco. Los frutos que tienen el episperma café o negro y están envueltos por un pericarpio claro puede ser blanco o café, reciben el nombre de Coyto (Tapia, 2001).

2.5.2 Vigor de la semilla

Espinosa (1996), señala que el vigor de la semilla es la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla del lote de semillas durante la germinación y emergencia de la plántula. A su vez Uruña (1980), indica que la semilla no vigorosa, los daños mecánicos pueden afectar la viabilidad y vigor de las semillas y son más susceptibles al ataque de microorganismos.

El vigor es una propiedad de la semilla que permite establecer poblaciones aceptables bajo condiciones de campo tanto óptimas como adversas; otros términos sinónimos son: "valor de siembra". Vigor es el termino mas aceptado y ampliamente usado (Lees, 1980).

2.6 Pureza

Según Douglas (1982), la mayor parte de los agricultores juzgan la calidad de la semilla por su apariencia física, tamaño, color y ausencia de materias extrañas.

En cambio las Reglas del ISTA (1985) establecen que las cualidades que determinan la calidad de la semilla dependen de las propiedades internas que son pureza varietal, sanidad (carencia de enfermedades), germinación y vigor, como de las propiedades externas referidas a pureza analítica (materia inerte, malezas y otras semillas), el tamaño, peso de 1000 semillas y contenido de humedad.

2.6.1 Propiedades externas de la semilla

2.6.1.1 Pureza física

Pureza es un índice que señala los límites máximos de semillas extrañas y materia inerte, por tanto, eliminando las semillas rotas y menores a tres cuartas partes del tamaño normal, se conoce el peso neto de las semillas por sembrarse (Tapia, 2001).

Las Reglas del ISTA (1985), se refieren a semillas de otras especies reconocidas como malas hierbas que disminuyen la calidad a las que clasifica en categorías de inocuo y nocivo. Entre las semillas extrañas se incluyen las de otras especies y variedades que se caracterizan por la morfología de la planta y grano.

La misma institución indica que como materia inerte están consideradas las siguientes sustancias: granos quebrados menores que la mitad, piedrecillas, tierra, arena, pedazos de metal, restos de la planta y esclerocios de hongos.

2.6.1.2 Clasificación por tamaño de grano

La clasificación de semilla por tamaño, es el proceso mediante el cual se consigue cierta uniformidad por sus características externas, eliminándose las semillas pequeñas inmaduras o quebradas porque suelen producir plantas débiles (Feistritzer, 1977 y 1985).

2.6.1.3 Peso de mil semillas

Es una característica utilizada para informar el tamaño y el peso de la semilla, conociendo el peso de 1000 semillas, será fácil determinar el peso de semillas a ser utilizado por área a sembrar. (Espinosa, 1996).

En las especies de cereales como avena y sorgo, Popinigis (1985), realizó la determinación del peso de 1000 semillas, llegando a la conclusión de que este alcanza su valor máximo durante el proceso de maduración, es decir, cuando los granos presentan 22 y 30 % de humedad; asimismo determinó que el eficiente vigor y poder germinativo coincide con el peso máximo de materia seca.

El grano de cereales esta caracterizado por el tamaño y uniformidad; encontrándose para el caso de la quinua la correlación entre el tamaño y el peso de semilla y cuya determinación en 1000 unidades del grano registra una variación

entre 2.5 a 4.3 gramos (Whali, 1990). Por su parte Chipana (1993), reportó valores que alcanzaron 4.82, 3.97, 3.80, 3.70, 3.67 y 3.50 gr, por lo que se puede asumir que el peso de granos esta correlacionado con el tamaño de los mismos.

2.6.1.4 Humedad

Con respecto al contenido de humedad de las semillas, Espinosa (1996), menciona que es la cantidad de agua contenida en ellas y es expresada en porcentaje en función a su peso húmedo.

La humedad ejerce influencia sobre la semilla en varias situaciones: el punto de la cosecha para la mayoría de las especies es determinado en función del contenido de humedad de semilla, que afecta también a la actividad metabólica de las semillas en los procesos de germinación y deterioro.

El mismo autor señala que de acuerdo a estos criterios es posible elegir el procedimiento más adecuado para la cosecha, acondicionamiento, almacenamiento y preservación de la calidad física, fisiológica y sanitaria de la semilla; semillas húmedas o muy secas sufren daños mecánicos en estas operaciones. Por su parte Aguilar y Peske (1992), indican las razones por las cuales se determina el contenido de humedad de semillas, como saber si es necesario secarla y además poder calcular los descuentos por alta o baja humedad al momento de efectuar el cálculo de la cantidad de semilla recibida.

Por norma se establece un máximo de 14% de humedad en la semilla a ser almacenadas para su comercialización. Esto se puede determinar a través de un método directo que consiste en pesar la muestra en "fresco" con una precisión de 0.01 g y se lleva a horno a 105 °C por 24 horas; se extrae del horno y se calcula el % humedad promedio (ISTA, 1985).

2.6.2 Propiedades internas de la semilla

2.6.2.1 Proceso de germinación

La germinación es el resultado de los procesos fisiológicos que ocurren dentro la semilla, se inicia con la absorción del agua en las células, seguido de un hinchamiento de tejidos y termina con el desarrollo de cotiledones y radícula (embrión) (Bidwell, 1993). Por su parte García-Agustín y Primo-Milo (1993),

señalan que la germinación es un proceso que comprende la imbibición de agua y la emergencia de la radícula a través de la cubierta de la semilla. Al respecto Espinosa (1996), define a la germinación de la semilla como la emergencia y el desarrollo a partir del embrión, de todos aquellos órganos esenciales que prueban su aptitud para producir una planta normal bajo condiciones ambientales favorables.

2.7 Peso volumétrico

El peso volumétrico se define como el peso de un determinado volumen de semilla y está representado por un cilindro de 100 litros de capacidad, que se determina en la balanza de Shoopper y tiene un volumen de $\frac{1}{4}$ litro que registra su respectivo peso en gramos, al que se debe sumar el coeficiente de corrección de 0.64 (en caso de gramíneas y forrajeras) y por regla de tres se convierte en Kg/Hl (ISTA, 1985). Asimismo, este peso hectolítrico (100 litros); es una característica que refleja el grado de desarrollo de una semilla para evaluar la calidad de la misma y para realizar cálculos de silos y depósitos en general (Espinosa, 1996). Además, el peso volumétrico esta influenciado por el tamaño, forma, densidad y contenido de humedad; cuanto menor es la semilla, mayor será su peso volumétrico. En caso de los granos de quinua, el peso volumétrico reportado por Chipana (1993) varía de 68.19 a 74.94 kg/Hl.

2.8 Labores culturales para la producción de semilla

2.8.1 Elección del terreno

Las áreas adecuadas para la producción de semilla, deben ser preparadas de una manera adecuada y fértiles, si es posible con acceso a riego y aislamiento espacial para evitar contaminación mecánica y genética, de esta forma se obtendrán cosechas más económicas con menores riesgos naturales, tanto climáticos, edáficos e incidencia de plagas (Douglas, 1982 y Feistritzer, 1991).

A su vez, Espíndola y Bonifacio (1996), indican que en la agricultura moderna, se práctica con mucho éxito esta modalidad para producir semilla por aptitud de áreas; en este esquema, producir semilla de alta calidad en áreas específicamente semilleras es tan rentable como lo puede ser producir un rubro altamente económico. No todas las áreas del altiplano boliviano son aptas para producir

semilla, La aptitud de una zona o área esta definida, ante todo, por las condiciones ambientales, es decir esta en función del suelo, humedad, temperatura y vientos.

Una zona será apta si su suelo es de textura franco, lluvias regulares en la época de cultivo, temperaturas cuyos descensos no sean menores a -5°C en la época de floración, ni más intensos que -7°C durante el resto del periodo vegetativo.

2.8.2 Preparación del terreno

Es la tarea inicial que confronta un agricultor, productor de quinua; la influencia del modo de preparación del suelo, será de vital importancia para las plantas y definiría la cuantía de los rendimientos. Tradicionalmente en el altiplano central y norte no se realiza una preparación especial del terreno para la siembra. Algunos agricultores medianos y las cooperativas aran con tractor después de la cosecha de papa (mayo y junio); la descomposición del rastrojo en el altiplano esta en relación con la clase de suelos, la humedad y la temperatura. En lo posible es conveniente nivelar los campos para lograr uniformidad en la emergencia y un desarrollo de las plantas. Asimismo, se controla el anegamiento del agua y se evita la asfixia de las plántulas (Cossio, 1994).

Por su parte Espíndola y Bonifacio (1996), mencionan que la mala preparación del terreno para la siembra de la quinua, disminuye los rendimientos y aumenta el daño causado por las sequías y heladas en razón del poco vigor en el desarrollo de las plantas. A su vez, Cossio (1994), se refiere al barbecho, que consiste en roturar el terreno en enero y febrero en el Altiplano Sur y para el Altiplano Central esta técnica se inicia con el arado del terreno en diciembre para acumular las lluvias de diciembre a marzo, luego en la primera quincena de abril, se pasa la rastra para eliminar las malezas y romper la capilaridad del suelo, evitando de este modo perder agua por evaporación.

La preparación del terreno de una forma adecuada implica que el suelo se constituya en una "cama", donde la semilla pueda llevar a cabo el proceso de germinación, para luego pasar a la implantación robusta de la plántula; representa otorgarle al suelo de una mayor capacidad de captar (absorber) el agua de lluvia y retenerla para el mayor tiempo posible para el uso de las plantas en crecimiento,

en otros términos dotarle a la planta las condiciones favorables para su sostén (Espíndola y Bonifacio, 1996).

Al respecto, Tapia y Aroni (2001) y Bavec y Mlakar (2002), señalan que en caso de semillas pequeñas tanto la quinua como el amaranto, deben efectuarse una buena preparación del terreno; debido al tamaño reducido de la semilla para posteriormente obtener una óptima emergencia de plantas.

2.8.3 Siembra

Existen diferentes modalidades de siembra, la siembra en los callpares (terreno que queda después de la cosecha), es muy rudimentaria y frecuentemente se hace sobre terrenos intactos. La calidad del trabajo de carpeo o mullido depende de la calidad de la fuerza de trabajo en términos familiares. La siembra con yunta en surco, al voleo, o en hoyos varía a lo largo del altiplano. Existen siembras bajo surcos y sobre surcos camellón en forma simultánea, otras veces solo en surcos. En investigaciones realizadas en la siembra simultánea bajo surco y sobre surco (camellón) las heladas de diciembre de 3 a 4 grados bajo cero afectaron más a las plantas bajo surco (Cossio, 1994).

Asimismo, Mújica (1977) y Rea *et al.*, (1979), señalan la existencia de una relación directa entre el tamaño de la semilla, textura, humedad del suelo y densidad de siembra; en caso, de la quinua varía entre 0.5 a 1.5 y 3 cm de profundidad, las siembras muy superficiales en suelos secos corren el riesgo de deshidratación de la semilla por efecto de la radiación solar provocando marchitamiento de las plántulas, en cambio las siembras profundas perjudican la emergencia de las plántulas.

Ferrufino (2003), efectuando un ensayo sobre distanciamiento entre surcos y plantas empleo la densidad de 8 kg/ha, que a su vez Bonifacio *et al.*, (2004), señala cantidades de semilla que van desde 6 a 8 kg/ha para la siembra en el altiplano.

La época de siembra se distribuye de la siguiente manera; desde septiembre hasta fines de octubre para variedades tardías; de la segunda quincena de octubre hasta fines de noviembre para variedades semiprecoces; de noviembre hasta la primera quincena de diciembre para variedades precoces. Se debe tener en

cuenta que las variedades tardías, por naturaleza, son las más rendidoras, debido a su ciclo completo donde completa su crecimiento y desarrollo (Espíndola y Bonifacio, 1996).

2.9 Producción de la quinua

2.9.1 Producción a escala mundial

Según cifras de la FAO (2001), la producción de la quinua en el ámbito mundial se establece a unos cuantos países de América Latina (Bolivia, Perú y Ecuador), apreciándose una producción en el año 2000 de 55.938 TM para estos tres países: Bolivia con una producción de 25.000 TM, Perú con 30.000 TM y Ecuador con 938 TM.

La quinua tiene una gran potencial para el mercado interno y externo por la alta calidad proteica de su grano como por su alto nivel de tolerancia a condiciones adversas como sequía, helada y suelos salinos. Durante los últimos años el interés por la quinua ha aumentado y hoy en día se cultiva fuera de su zona de origen, en América del Norte, Colombia, Chile, Argentina y diferentes países de Europa.

Por su parte, La Razón (2004), señala que la quinua real boliviana es un producto único en el mundo por su valor nutritivo y ocho de los grandes mercados industrializados demandan 1800 toneladas al año.

En el Cuadro 2 se presenta, la producción de quinua durante los 6 años (1995-2000) que tuvo un aumento significativo; en lo que concierne a Bolivia se registra una disminución en la producción en el año 1998, seguido de los años 1999-2000. En cambio, en Perú, se registra un aumento de su producción seguida de Ecuador (FAO, 2001 y Quiroga 2003).

Cuadro 2. Comparación de la producción de quinua en tres países de América Latina (TM/año)

<i>Producción</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>
<i>Bolivia</i>	18,814	23,490	26,360	20,291	22,498	25,000
<i>Perú</i>	408	555	304	938	938	938
<i>Ecuador</i>	16,846	16,070	23,612	28,614	28,439	30,000
<i>Total</i>	36,068	40,115	50,276	49,843	51,875	55,938

Fuente: FAO (2001)

Bolivia tiene el 46% del mercado de la quinua real, Perú le sigue con el 42% con otras variedades y Estados Unidos ocupa el tercer lugar con un 6.3% de la producción mundial (La Razón, 2004).

2.9.2 Producción Nacional

2.9.2.1 Superficie cultivada, producción y rendimiento de la quinua

La evolución de la superficie cultivada, rendimiento y producción de quinua en Bolivia, se reporta en el cuadro 3. De acuerdo a este cuadro la superficie cultivada en los últimos dos años, ha tenido un leve aumento (INE, 2002).

Cuadro 3. Superficie cultivada, rendimiento y producción de quinua por departamento en Bolivia.

<i>Período</i>	<i>2000</i>			<i>2001</i>		
	<i>SUP ha</i>	<i>RNDTO kg/ha</i>	<i>PROD TM</i>	<i>SUP ha</i>	<i>RNDTO kg/ha</i>	<i>PROD TM</i>
Bolivia	36,847	646	23,785	37,223	626	23,299
Chuquisaca	48	688	33	47	661	32
La Paz	15,487	636	9,850	15,662	620	9,728
Cochabamba	220	591	130	224	585	131
Oruro	11,120	628	6,983	11,000	618	6,800
Potosí	9,956	681	6,780	10,255	644	6,600
Tarija	0	0	0	0	0	0
Santa Cruz	0	0	0	0	0	0
Beni	0	0	0	0	0	0
Pando	0	0	0	0	0	0
Total real	36,831	3,224	23,776	37,188	3,128	23,291

Fuente: INE (2002)

El departamento de La Paz, tiene un 42% de superficie cultivada de quinua con respecto a 30.2 y 27% de Oruro y Potosí, seguido de un 0.6% de Cochabamba. Sin embargo, hace cinco décadas la quinua era producida únicamente para el autoconsumo a través de un sistema de producción tradicional con rendimientos de 30 a 40 qq/ha, entonces a partir de los años 60 comienza a tener el auge y se realiza la comercialización y exportación de quinua (Quiroga, 2003).

Mediante una planificación, la Corporación Andina de Fomento (CAF), encomienda a CLACDS-INCAE, que efectuó un estudio sobre el incremento en la producción de quinua en Bolivia (Crespo, 2001) y establece lo siguiente:

Existe una demanda creciente de quinua orgánica en el mercado mundial, por su alto contenido nutricional; la quinua es considerada como un alimento casi perfecto por su contenido proteínico y calórico.

Las exportaciones legales de quinua superan los 2.7 millones de \$us y las no registradas se estima en 2.4 millones \$us/año. La cadena productiva de la quinua involucra aproximadamente 70.000 familias y pequeños productores; de estos un 78% cultivan de manera irregular y solo para autoconsumo.

Se exporta más de 5 millones \$us por año. En los últimos años se cultiva en promedio una superficie de 35.8 mil hectáreas de quinua en todo el Altiplano boliviano, que involucra una producción en promedio 21.9 mil TM de quinua al año con un rendimiento medio de 651 kg/ha.

Hace más de 10 años, la exportación de quinua tuvo un valor de 580 mil dólares, pero en el último quinquenio superaron los 2.23 millones de dólares. A su vez el aporte al PIB es del 0.14 por ciento, y el volumen promedio exportado es de 1800 toneladas, que solo representa el total de quinua real exportada producida en el Altiplano sur (La Razón, 2004)

2.10 Rendimiento

El rendimiento es un carácter biológico y complejo que de una forma simple se explica como el resultado de la acción de tres componentes: genético, ambiental y la interacción del genotipo con el ambiente. En los cultivos, el rendimiento agronómico es la cantidad de esa productividad que es asignada a la parte útil o cosechada del cultivo, como es el grano de los cereales, el tronco de los árboles maderables o los vástagos de los cultivos forrajeros (Scurlock *et al.*, 1988).

Por su parte Picard (1994), menciona que la elaboración del rendimiento implica el enlace de múltiples mecanismos ligados con el crecimiento y desarrollo de las poblaciones vegetales cultivadas a través de la morfogénesis y el funcionamiento de los órganos de las plantas que los constituyen, con relación a las condiciones y factores del medio.

Además en un estudio de los rendimientos, deben analizarse los *componentes del rendimiento*, discriminando los genéticos de los ambientales, para determinar cómo cada uno de estos está interrelacionado con el resto, y determinar cuales

son los componentes de mayor efecto, cuantificando sus contribuciones al rendimiento (Tellería, 2000).

2.10.1 Componentes de rendimiento

El efecto de los diferentes componentes y caracteres agronómicos de la mayoría de los cultivos queda expresado en el rendimiento, que no es sino el producto final. Por ello el rendimiento está considerado como un carácter complejo que resulta del efecto aditivo de la interacción de una serie de variables conocidas como *componentes de rendimiento*. Asimismo, Vilain (1987) y Briffaux (1991), mencionan que estos componentes se interrelacionan en la búsqueda del valor óptimo del uno y otro que no puede ser considerado aislado. El análisis de los factores y condiciones que determinan permite poner en evidencia las intervenciones posibles, luego examinar las consecuencias y jerarquizar las acciones más determinantes.

Uno de los cultivos en que fue aplicado esta forma de evaluación de los componentes de rendimiento fue el trigo, mediante una descripción de los factores que intervienen durante el desarrollo del cultivo hasta el final. Se presenta la forma de descripción de la ecuación y la descomposición del rendimiento en componentes principales.

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = N^{\circ} \text{ pltas/ha} \times N^{\circ} \text{ promedio espigas/plta} \times \\ N^{\circ} \text{ promedio de Granos/espiga} \times \text{peso medio de un grano}$$

En este contexto, Espíndola (1981), define como los principales componentes de rendimiento (de grano) de quinua: altura de planta, peso de mil granos, precocidad y área foliar, aunque también considera otros caracteres como componentes secundarios cuyo efecto se manifiesta a través de los caracteres principales mencionados.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización y ubicación del experimento

El estudio se realizó en los predios de la Estación Experimental de Choquenaira, ubicado a 32 km al sur oeste de la ciudad de La Paz, dependiente de la Facultad de Agronomía perteneciente a la Universidad Mayor de San Andrés, situada en el departamento de La Paz, provincia Ingavi, al sur de la población de Viacha. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 16°41'38" de Latitud Sur y 68°17'13" de Longitud Oeste, a una altura de 3854 metros sobre el nivel del mar.

3.2 Descripción agroecológica

La Estación Experimental de Choquenaira, corresponde a una zona que presenta una corta estación lluviosa en verano y con tormentas de granizo de diciembre a febrero, la precipitación media anual es de 626.6 mm, de esta el 60% corresponde a los meses de diciembre a marzo y el 40% de abril a noviembre, también suelen registrarse temperaturas bajas durante la noche alcanzando T° extremas de -5°C y de 23 °C en el día por la intensa radiación solar (Quispe, 1999).

La temperatura promedio anual tiende a variar de 10 a 11°C en verano (diciembre a febrero), con un promedio mínimo anual de 8.3 °C en invierno (junio-agosto). Las heladas se presentan con mayor frecuencia en la época de invierno y muy raras veces en el verano, siendo esta considerada como perjudicial para los cultivos. Los vientos en su mayoría provienen del Este en un 52%, del Oeste 27%, un 19% del Norte y el 3% sopla del Sur (Udabe, 1994).

Holdridge (1992), indica que la zona presenta un clima templado-frío, con una vegetación montano estepa a estepa espinosa. El agrosistema local está conformado por especies vegetales nativas (principalmente pastizales nativos) no cultivables, especies cultivadas (papa, haba, cebada, avena, trigo) que soportan condiciones hidrológicas contrastantes y la presencia de heladas u otros fenómenos climáticos (Montes de Oca, 1999).

Fisiográficamente, el lugar de estudio corresponde al paisaje planicie no anegadizo, así mismo se puede decir que el lugar de estudio fue plano con una pendiente suave de 1% de micro relieve liso, ondulación muy ligera, con un

drenaje externo moderado y con drenaje interno moderadamente lento; la posición topográfica en la que se encuentran estos suelos, tienen una erosión hídrica ligera y una erosión eólica muy suave (Callisaya, 1994).

La clasificación del suelo corresponde a la formación aluvial con deposiciones finas. Presenta una profundidad efectiva de 25-32 cm con bastante facilidad de laboreo y que responde adecuadamente a la incorporación del material orgánico e inorgánico.

La textura del suelo es arcillo-limoso y franco arcillo-limoso, de estructura bloque sub-angular, moderadamente fuerte, de consistencia adherida en mojado, friable en húmedo y ligeramente duro en seco; por su parte el subsuelo presenta consistencia ligeramente adherente en mojado presentando un color pardo a pardo rojizo (Quispe, 1999).

3.3 Material experimental

3.3.1 Material Vegetal

El material vegetal empleado fue quinua de la variedad Surumi, cuya característica agronómica es su rápida germinación, lo cual asegura una buena población de plantas y tiene un ciclo semitardío (175 días); el grano es de color blanco, mediano (2 mm de diámetro) y libre de saponina, cuando esta genéticamente pura. La planta es de color púrpura suave (tipo pandela) a la floración, de una altura que fluctúa de 90 a 130 cm y un rendimiento en cultivo extensivo de 1100 kg/ha (Bonifacio, 2002).

3.3.2 Material y equipo de campo

Para la preparación del terreno se empleó un tractor agrícola con implementos: arado de discos y rastra tipo tanden. Asimismo, se utilizaron estacas de madera, sobres de papel y polietileno de diferentes tamaños, marbetes y clips; balanza de precisión (0,01 g), lona de 1,5x1,5m, botellas plásticas de 2 dm³, cinta craft.

Los insumos empleados fueron fungicida Ridomil MZ 68 WP, insecticida Karate y adherente Gomax.

3.3.3 Material de laboratorio y gabinete

Los materiales de laboratorio y gabinete utilizados en el experimento fueron: balanza analítica, cajas petri, papel filtro de 100 gr, agua destilada, tamices de grano de 1,5; 2,0; 2,5 mm, mufla, pipeta de 10 cc, piseta, probeta de 10 ml, contador manual, lupa y estereoscopio. Programas informáticos SIGMA SCAN Pro 5.0, Adobe Photodeluxe 3.0, CAMEDIA Master 2.5, SAS 6.12 y STAT-ITCF.

3.4 Metodología

El trabajo se realizó en dos fases:

- 1) la primera fase consistió en realizar la siembra en campo a dos profundidades con granos de tamaño grande, pequeño y mezcla ($\frac{1}{2}$ grandes + $\frac{1}{2}$ pequeños – en peso).
- 2) la segunda fase comprendió la siembra en macetas bajo cinco y tres profundidades con granos de tamaño grande, mediano y pequeño donde se evaluaron las diferencias durante los primeros estadios y la dinámica de crecimiento de raíces de las plantas.

3.4.1 Método de campo

3.4.1.1 Preparación del terreno

La preparación de la parcela se efectuó en un "k'anano, k'anuna²" de papa en el mes de septiembre aprovechando la humedad de las primeras lluvias. Realizándose esta labor de forma mecánica con un tractor agrícola a través de una arada profunda (25-30 cm), seguido del desterronado con dos pasadas de rastra y su nivelación.

3.4.1.2 Muestreo y análisis de suelos

Se realizó el muestreo de suelos de la parcela mediante el método de zigzag a 20 cm de profundidad (Vilain, 1989 y Rodríguez, 2002), posteriormente se remitió par su análisis al Laboratorio de Suelos de CETABOL-JICA³, Warnes, Santa Cruz.

² K'anano, k'anuna; parcela donde en una gestión agrícola anterior se cosecho papa

³ CETABOL-JICA, Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia – Agencia de Cooperación Internacional del Japón.

3.4.1.3 Siembra

Se procedió a la siembra el 30 de Octubre de 2002. Previamente preparado y nivelado el área del experimento con anticipación de un mes, se efectuó la demarcación de los vértices del terreno mediante estacas, seguidamente se hizo la distribución de los bloques así como la ubicación de las unidades experimentales de acuerdo al croquis de campo.

Posteriormente, se realizó la apertura de surcos en una longitud de 6 m con la ayuda de una chontilla, empleándose el método surco-riego-siembra (Bonifacio y Saravia, 1988); abriéndose surcos de 1 y 3 cm de profundidad y a una distancia de 50 cm sucesivamente, se efectuó el riego por surco, mediante una regadora (Foto 1, Anexo 13). La repartición de las semillas se realizó a chorro continuo con una densidad de 8 kg/ha, que finalmente se cubrió con tierra seca de los camellones (Foto 2, Anexo 13).

3.4.1.4 Labores culturales

Se efectuaron deshierbes de forma manual en el transcurso del cultivo con el fin de evitar la competencia por nutrientes, luz y agua. Las malezas fueron: *Tarasa tenella* (cav.) Krap.(k'ora, malvasa), *Erodium cicutarium* (L.) L'Her. (reloj reloj, cuti cuti), *Bidens andicola* H.B.K. (muni muni), *Lepidium bipinnatifidum* Desv. S. il. (anu k'ara), *Brassica rapa* L. (mostaza), *Bromus catharticus* Vahl. (cebadilla) (Pestalozzi, 1998), además de plantas silvestres de quinua (ajaras).

La enfermedad que se presentó con mayor incidencia fue el mildiu (*Peronospora farinosa* f.sp. *chenopodii*) (Danielsen y Munk, 2004). Realizándose el control químico mediante el fungicida Ridomil MZ-68 WP a una dosis de 40 gr más 2 cc de adherente Gomax para 20 litros de agua en dos fechas (31 enero y 25 febrero).

Una de las plagas que ataco al cultivo fueron los pájaros *Metriopelia aymara* (jurcuta), *Carduelis atrata* (chaiñita) (Rocha, 1996), después de la siembra y durante la fase de maduración del grano, realizándose el control mediante la colocación en la parcela de banderines de colores vistosos como el naranja y rojo, además se emplearon cascabeles con la finalidad de producir ruidos y ahuyentarlos.

Una de las labores ha sido también, la apertura de zanjas en los meses de enero y febrero, para facilitar el drenaje de las aguas por las precipitaciones pluviales registradas en ese periodo.

3.4.1.5 Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual (corte con hoz) durante las primeras horas de la mañana; el horario fue determinante, para evitar un mayor desgrane del grano. La fecha de cosecha estuvo en función de la madurez del cultivo.

Para fines de evaluación se recurrió a dos formas:

- a) la cosecha de plantas de un área determinada por cada unidad experimental dejando un metro de bordura.
- b) el corte de plantas en dos metros lineales (1m^2), donde además se registro el número de plantas.

Posteriormente el material cosechado fue embolsado en sacos de plástico por separado y trasladado para el secado en condiciones de medio ambiente durante un periodo de 30 días para después ser pesado y trillado.

3.4.1.6 Trilla y limpieza de la semilla

La trilla del grano de quinua se efectuó de forma manual, consistiendo en el pisoteo del grupo de plantas secas sobre un mantel, con el fin de separar los granos de los tallos. Después se separó el "jipi" del grano mediante el venteado, cuando el grano quedo libre de impurezas se procedió al pesado y etiquetado en bolsas de papel y polietileno.

3.4.2 Procedimiento experimental

3.4.2.1 Diseño experimental

Para la evaluación del experimento, se utilizó el Diseño de Bloques al Azar con arreglo en parcelas divididas (Calzada, 1982 y Little Hills, 1995); en la parcela principal se considero las profundidades de siembra y en la sub-parcela a los tamaños de grano (Figura 1).

Se empleó el modelo estadístico lineal básico para determinar la interacción de los factores estudiados (Calzada, 1982):

3.4.2.3 Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Simbología	Descripción
T1	a1b1	prof_ 1 cm + grano grande
T2	a1b2	prof_ 1 cm + grano pequeño
T3	a1b3	prof_ 1 cm + grano mezcla
T4	a2b1	prof_ 3 cm + grano grande
T5	a2b2	prof_ 3 cm + grano pequeño
T6	a2b3	prof_ 3 cm + grano mezcla

3.4.2.4 Características del campo experimental

Las características del campo experimental fueron las siguientes:

Área del experimento	= 1008 m ²
Área del experimento neto	= 864 m ²
Área del tratamiento	= 36 m ²
Área de parcela (18 x 6)	= 108 m ²
Área de subparcela (6 x 6)	= 36 m ²
Longitud de surco	= 6 m
Nº de parcelas (profundidad de siembra)	= 8
Nº de subparcelas (tamaño de grano)	= 24
Nº de surcos por subparcela	= 12 surcos
Distancia entre surcos	= 0.5 m
Nº de bloques	= 4

3.4.2.5 Variables evaluadas en campo

3.4.2.5.1 Variables agronómicas

- **Porcentaje de germinación en laboratorio**

Para determinar esta variable, se realizaron pruebas en semillas que consistieron en: pureza, peso de mil semillas, número de semillas por gramo y posteriormente la prueba de germinación

Se efectuó el conteo de 100 granos de quinua correspondiente a tres tamaños de grano con 3 repeticiones y se colocaron en papel filtro humedecido en agua destilada dispuestas en cajas petri.

- **Tasa de emergencia en el campo**

La evaluación consistió en el seguimiento de la aparición de nuevas plántulas en 6 surcos, cada uno con 3 metros lineales identificados para cada unidad experimental, durante el lapso de 3 semanas después de la siembra.

- **Profundidad de enraizamiento**

Con la finalidad de observar la longitud de las raíces de los diferentes tratamientos, se extrajeron las plantas desde la parte subterránea a 40 cm de profundidad, con la ayuda de una pala, eligiéndose cada muestra por parcela. Esta evaluación se realizó a los 60 días después de la siembra, para poder apreciar las diferencias en las profundidades de siembra.

- **Número de hojas y porcentaje de defoliación**

Para evaluar estas variables se eligieron 5 plantas por unidad experimental en dos repeticiones en los bloques 1 y 3 en los respectivos tratamientos. Donde se realizó el registro de aparición de las hojas y cicatrices, dos veces por semana durante los dos primeros meses y luego una vez cada semana.

- **Manejo de Grados-día de crecimiento (GDC)**

El manejo de los grados-día de crecimiento "GDC", se realizó mediante el uso de la siguiente ecuación básica propuesto por (Yang y Coffey 1995 y Mc Master y Wilhelm 1997):

$$\text{GDC} = \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right] - T_{\text{base}}$$

Donde:

- GDC = Grados-día de crecimiento
- T_{MAX} = Temperatura máxima diaria del aire
- T_{MIN} = Temperatura mínima del aire
- T_{BASE} = Temperatura base o punto crítico³ (normalmente entre 0°C y 10°C de acuerdo a la especie y cultivar)

De acuerdo a Mc Master y Wilhelm (1997) la temperatura base varía para cada cultivo, para este ensayo se utilizó la temperatura base de 4°C (Imaña, 2004)⁴.

Los grados-día de crecimiento es la expresión de las unidades calor, que particularmente son útiles para relacionar con la fenología del cultivo y su desarrollo que posteriormente se la emplea en la predicción de los eventos fenológicos.

³ Temperatura base, es la temperatura bajo el cual el proceso de crecimiento no se realiza, puede haber una variación entre especies y cultivares y probablemente en las etapas de crecimiento y desarrollo.

⁴ Imaña, E. 2004. Utilidad de la temperatura base en el cultivo de la quinua (entrevista). SENAMHI (Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología – Regional La Paz, Bolivia).

- **Altura de planta**

La altura de la planta se determinó midiendo desde el nudo vital hasta el ápice de la panoja, cuando los diferentes tratamientos llegaron a la fase de la madurez fisiológica, para lo cuál se tomaron 5 plantas por unidad experimental en los bloques 1 y 3.

- **Diámetro de tallo**

Para determinar el diámetro de tallo de la planta, se efectuó la medición del tercio medio inferior del tallo principal con la ayuda de un calibrador con referencia a las cinco plantas correspondientes a los boques 1 y 3 de cada tratamiento respectivamente.

- **Longitud y diámetro de panoja**

Estas variables fueron medidas con una cinta métrica y calibrador, cuando los diferentes tratamientos llegaron a la fase de madurez fisiológica.

Para la longitud se determinó desde la base hasta el ápice de la panoja y para el diámetro se realizó en el tercio medio inferior (sección más representativa) de las mismas.

- **Índice de cosecha**

Es definida como la relación entre el peso de los granos libres de impurezas y el peso total del vástago de la planta (tallo + hoja + granos). Para su determinación se utilizó la siguiente formula:

$$IC = \frac{\text{peso seco de los granos}}{\text{peso seco total de la planta}}$$

- **Rendimiento**

A fin de tener una comparación en la obtención de esta variable se determinó mediante dos formas: la primera comprendió a través del peso de grano correspondiente a las plantas cosechadas en la parte central de la unidad experimental (14.8 m²) y la segunda consistió de los granos de plantas cosechadas en 2 metros lineales (1m² = 0.5m x 2m).

De ambas modalidades de evaluación, las plantas fueron trilladas y venteados para obtener granos limpios, cuyos valores se expresaron en gramos por parcela y posteriormente relacionados en kilogramos por hectárea.

- **Peso de 1000 semillas**

Esta variable se determinó mediante el conteo de 1000 granos representativos de cada tratamiento con 4 repeticiones, cuyo peso fue registrado en gramos en una balanza analítica de precisión (0,01 g).

- **Diámetro de grano**

El diámetro de grano se determinó mediante el uso de los granos de las plantas cosechadas en 2 metros lineales (1m²) de cada unidad experimental cuya medición y clasificación de tamaño de grano se obtuvo con la ayuda de los tamices de 1,0 – 2,5 mm de diámetro.

- **Peso volumétrico**

La determinación del peso volumétrico se realizó en estado de grano seco a temperatura constante de 105⁰C por un tiempo de 24 horas, basándose en la metodología propuesta por Chipana (1992).

Para ello las muestras de quinua cosechadas han sido trilladas empleando la técnica de fricción y venteado hasta obtener el grano limpio. A falta de una balanza de Shoopper se procedió a la adecuación de un método sencillo; para lo cual se empleó una probeta graduada de 10 cm³, en la que se registró el volumen y peso con base en semilla pura sin descuidar los principios básicos de la balanza de Shoopper, estimándose el peso volumétrico como la densidad de semilla expresadas en la siguiente relación:

$$\text{Densidad de semillas (D)} = \frac{\text{Peso (gr) de semillas}}{\text{Volumen (cm}^3\text{) de semillas}}$$

Para expresar el peso hectolítrico, se procedió a relacionar los cálculos pertinentes para los tratamientos de la siguiente forma:

$$D = \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{1\text{kg}}{1000\text{gr}} \times \frac{1000\text{cm}^3}{1\text{l}} \times \frac{100\text{l}}{\text{Hl}} = (\text{kg/Hl})$$

3.4.5.2 Variables fisiotécnicas

- **Biomasa de diferentes órganos de la planta a lo largo del ciclo vegetativo**

Para la determinación de los componentes de la parte aérea de la planta (tallos, hojas, panoja), se procedió de la siguiente manera:

En cada unidad experimental se realizó el conteo y corte de todas las plantas correspondientes a los tres segmentos (donde cada segmento comprendió de 0.6 m) y dejando 0.5 m de un extremo como bordura en el surco evaluado.

De cada segmento se eligieron 5 plantas representativas del nivel de crecimiento homogéneo, haciendo un total de 15 en los tres segmentos.

Posteriormente, se efectuó para cada segmento la separación de los diferentes componentes de la parte aérea y el pesaje se realizó por separado de hojas, tallo principal, hojas de las ramificaciones del tallo principal y panojas.

Los pesos secos de estos componentes fueron obtenidos luego de ser sometidos al secado hasta peso constante en una estufa (mufla) a 65°C durante 48 horas.

Estas evaluaciones se realizaron en 5 fechas: a los 45, 60, 90, 105 y 120 días después de la siembra (DDS), reportando los pesos frescos y secos de los diferentes tratamientos.

- **Área Foliar (AF)**

Para la determinación del AF se extrajeron todas las hojas del tallo principal y hojas de las ramificaciones de 10 plantas, las primeras fueron numeradas con un marcador, de acuerdo a su posición en el tallo principal de la planta en sus tres niveles (1/3 inferior, medio y superior). Después, estas hojas fueron colocadas en láminas de periódico y prensadas mediante un herborizador con la finalidad de tener hojas planas.

Luego, se tomaron fotografías digitales de las hojas del tallo principal y hojas de las ramificaciones pertenecientes a las 10 plantas, conjuntamente con dos calibres una grande y pequeña, la primera comprendía un diámetro de 40 mm (área de 1256,6 mm²) y la segunda de diámetro de 30 mm (área de 706,8 mm²).

Posteriormente, las fotografías fueron descargadas a una computadora, a través de un programa llamado CAMELIA Master. Para una transformación con ADOBE Photodeluxe 3.0 en fotografías blanco y negro, luego el programa SIGMA SCAN Pro hizo el cálculo de forma automática de las siguientes variables: área, largo y ancho (máximo) de cada hoja en píxeles.

A través de los valores conocidos, se procedió a calcular mediante regla de tres simple los siguientes parámetros:

Área de la hoja (mm²):

$$\text{Area hoja} = \frac{1256.637 \text{ mm}^2}{\text{No pixceles (calibre mayor)}} \times \text{No pixceles de la hoja}$$

Largo y ancho de la hoja (mm):

$$\text{Largo hoja} = \frac{40 \text{ mm}}{\text{No pixceles (calibre mayor)}} \times \text{No de pixceles del largo de hoja}$$

$$\text{Ancho hoja} = \frac{40 \text{ mm}}{\text{No pixceles (calibre mayor)}} \times \text{No de pixceles del ancho de hoja}$$

De esta manera, es como se determinaron las superficies foliares de las hojas de 10 plantas y con 8 repeticiones en el transcurso del cultivo (68, 75, 82, 89, 96, 103, 110 y 117 DDS). En aquellas que presentaban ramificaciones se siguieron los mismos pasos para determinar su respectiva área foliar.

- **Relación Área Foliar Específica (AFE)**

Para la determinación de esta variable, se obtuvo el peso seco (65°C) de cada hoja correspondiente a 10 plantas en una balanza de precisión (0,0001 g). Conocida el área de cada hoja (lámina) y el peso seco correspondiente en mg, se determinó el coeficiente del AFE (m²/kg), relacionando en la siguiente fórmula:

$$\text{AFE} = \frac{A_H (\text{mm}^2)}{P_H (\text{mg})}$$

donde:

- AFE = Coeficiente de área foliar específica, en mm²
- A_H = Área de la hoja (mm²)
- P_H = Peso seco de la hoja (mg)

- **Índice de Área Foliar (IAF)**

Después de haber determinado el área foliar de una planta y conociendo el número de plantas en la superficie del terreno que ocupan estas, se determinó el índice de área foliar (IAF) mediante el uso de la siguiente fórmula (Beadle, 1988 y Rodríguez 1997):

$$\text{IAF} = \frac{\text{Área Foliar de las plantas presentes}}{\text{Área del suelo (m}^2\text{)}}$$

3.4.3 Ensayo en macetas

Tiene la finalidad de comprender la emergencia de los granos sembrados a diferentes profundidades, y cuál es el efecto de acuerdo al tamaño de semilla en el inicio de la siembra.

La realización de este ensayo fue a los 60 días después de la siembra (Diciembre de 2002) contigua a la parcela de campo y con una protección de plástico para evitar el ataque de pájaros.

Se dividió en dos partes.

- a) *La primera parte*, consistió en la siembra de semillas de quinua, conformado por tres tamaños: grande, pequeño y mediano, bajo cinco profundidades de 1, 2, 3, 4 y 5 cm (Figura 2).
- b) *La segunda parte*, comprendió en la siembra de otro grupo de granos con los mismos tamaños ya descritos, pero dispuestos a profundidades de 1, 3 y 5 cm de profundidad (Figura 3).

3.4.3.1 Preparación del sustrato

Para el primer ensayo se empleó tierra del lugar de la parcela, que se tamizó en una zaranda con orificios de 3 cm de diámetro, además de arena fina previamente lavada y disponiéndose en macetas, para ello se emplearon botellas de 2 litros de plástico desechable cortados y orificios para su respectivo drenaje.

En el segundo ensayo, se tamizó tierra del lugar con la misma zaranda, el sustrato utilizado fue tierra del lugar y también botellas de plástico cortadas como macetas.

3.4.3.2 Siembra en macetas

Para la primera parte se colocaron en las diferentes macetas el sustrato conformado por tierra del lugar previamente tamizado de acuerdo a las diferentes profundidades, incorporando un poco de agua y disponiendo dos semillas de acuerdo a las profundidades establecidas y como cama de siembra se dispuso la arena fina como medio de soporte.

El segundo ensayo, se conformó de la misma manera, pero con sustrato y cama siembra conformado por tierra del lugar, disponiéndose dos semillas en cada maceta, posteriormente a los 15 DDS fueron raleadas quedando solo una plántula.

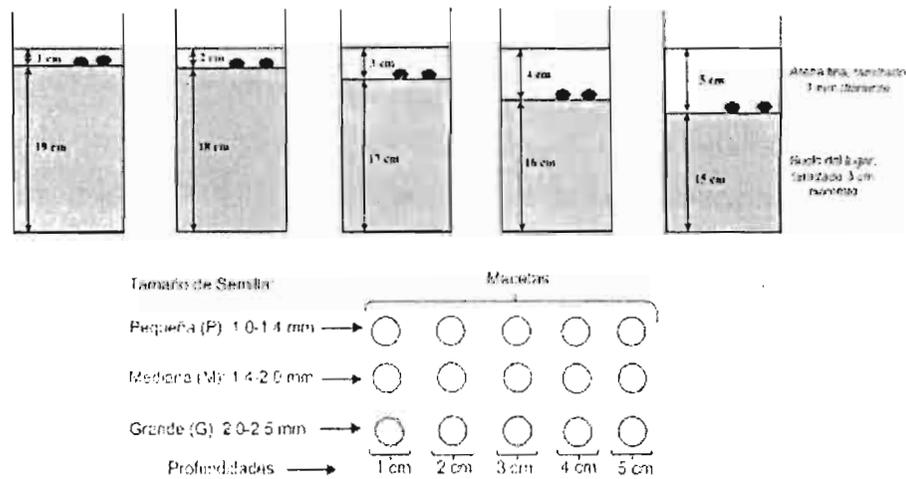


Figura 2. Siembra en macetas bajo 5 profundidades, cama de siembra (arena fina) y suelo del lugar.

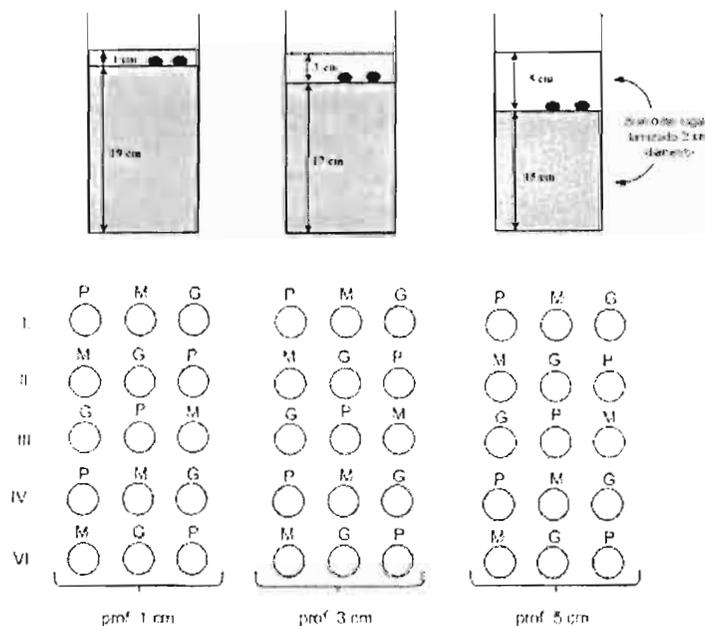


Figura 3. Siembra en macetas bajo 3 profundidades, cama de siembra y sustrato (suelo del lugar).

3.4.3.3 Variables evaluadas en macetas

▶ Altura desde la base a la inserción de las hojas cotiledonares

Se evaluó a partir de la emergencia de la plántula a los 18 días después de la siembra (DDS), desde la base al punto de inserción de las hojas cotiledonares con la ayuda de una regla graduada en milímetros durante dos semanas.

▶ Ancho y longitud de la hoja cotiledonar

De acuerdo al tamaño de grano y la relación con la profundidad, se midió el ancho como el largo de las hojas cotiledonares, durante el lapso de dos semanas 18 DDS.

▶ Altura de la plántula

Esta variable se midió desde la emergencia de las plántulas hasta el final del experimento, a los 56 DDS, cuya finalidad fue la comparación de la velocidad de crecimiento de acuerdo a los diferentes tratamientos planteados.

▶ Biomasa seca de la raíz y la parte verde

Con la finalidad de conocer la relación de la parte subterránea conformada por las raíces con respecto a la parte aérea, se efectuó la determinación de la biomasa seca de la raíz y de las hojas a los 56 días después de la siembra (DDS).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos a lo largo del experimento, en lo que respecta a la función del tamaño de la semilla a diferentes profundidades, se presenta a continuación.

4.1 Aspectos climáticos

4.1.1 Temperaturas

En la Figura 4, presenta las fluctuaciones de la temperatura diaria, las máximas del aire registraron a 21.6°C (8 ene 03) y 16.8°C (12 may 03) con una media de 17.2°C Respecto a la temperatura diaria mínima del aire presentaron +7.2°C (11 ene 03) y -9.9°C (27 mayo 03), con una media de 2.8°C. De acuerdo a la descripción de la figura, la variación de las temperaturas ha sido de manera normal durante el ciclo del cultivo, sin embargo se presentaron bajas temperaturas, cuando las plantas se encontraban en la etapa de madurez fisiológica, acelerando el proceso de maduración.

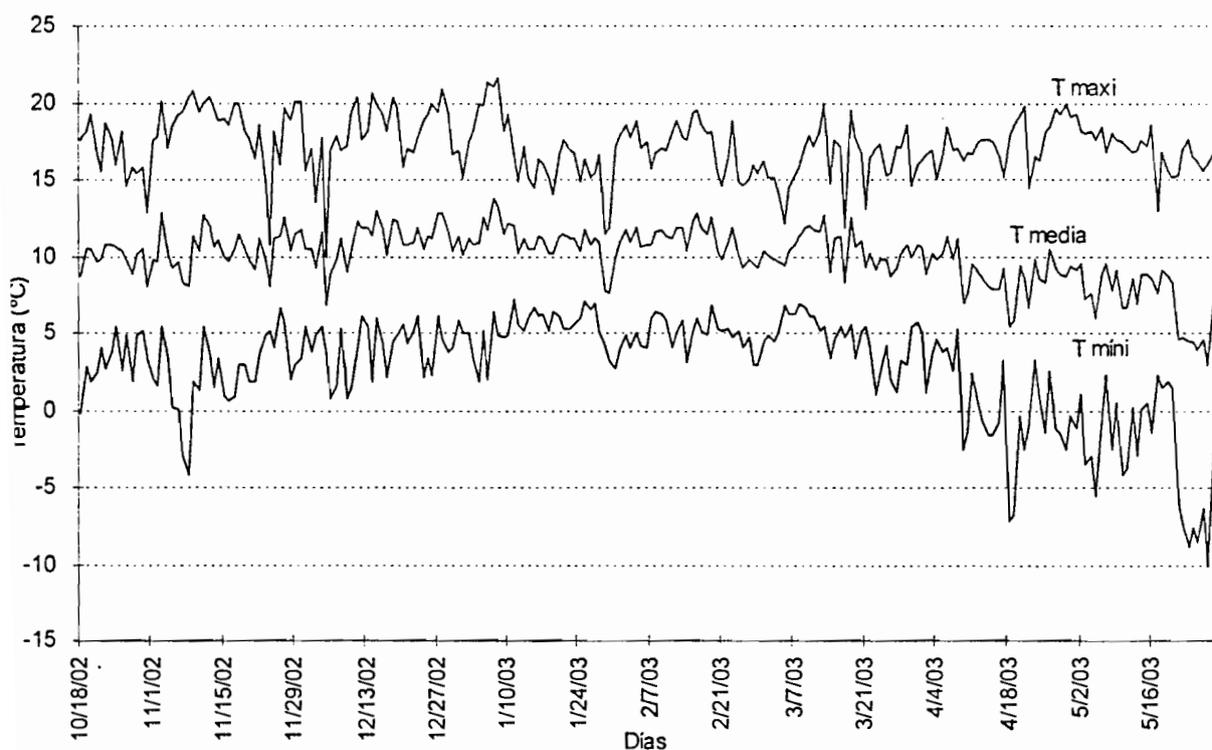


Figura 4. Variaciones de temperatura diaria: máxima, mínima y media durante el ciclo del cultivo.

4.1.2 Precipitación

En la Figura 5 se observan las precipitaciones mensuales registradas en la localidad de Choquenaira, durante el desarrollo del cultivo, las lluvias registradas alcanzaron a 428 mm, donde se puede apreciar que las mayores precipitaciones se registraron en los meses de diciembre, enero y febrero con 84.8, 106 y 79.6 mm respectivamente, por el contrario abril y mayo presentaron escasa precipitación con 37.8 y 3.6 mm respectivamente.

Con la finalidad de observar las diferencias registradas por las lluvias, se comparó el comportamiento de las precipitaciones normal y registrada (Figura 5, Anexo 1a).

Los datos de precipitación durante el desarrollo del cultivo de la gestión agrícola 2002-2003 registrados en la localidad de Choquenaira se comparó con el promedio de 15 años (1987-2000), en la que se observa un leve ascenso de la precipitación en el mes de noviembre, en cambio, decrecieron en octubre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo en 31.5, 8.0, 25.9, 17.7, 8.0, 0.6 y 12 mm respectivamente.

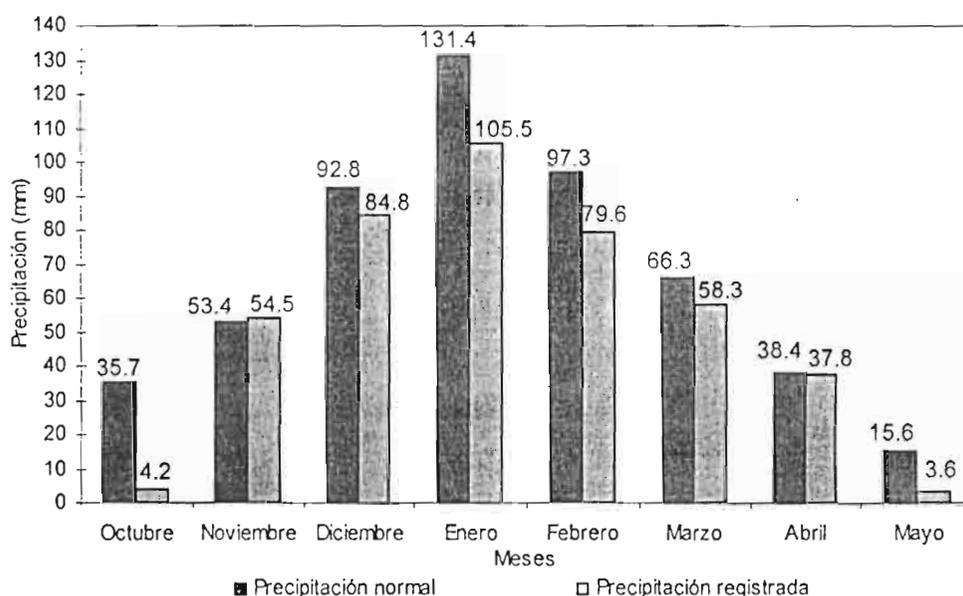


Figura 5. Comportamiento de la precipitación normal (media de 15 años) y registrada en la gestión agrícola 2002-2003.

Sin embargo, por la importancia que representan las lluvias para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas, Ledesma (2000), sugiere una clasificación en períodos de cinco días de los datos diarios de precipitación, para tener una idea clara acerca, si hubo un déficit o exceso de lluvia para el cultivo. De tal modo la

Figura 6 muestra el comportamiento de la precipitación e indica que durante el desarrollo del cultivo no se presentaron deficiencias de agua, excepto una leve disminución, que se registró en la fase de ramificación en que se encontraban las plantas (28-31 de diciembre), seguido de una precipitación de 9.7 mm.

Las granizadas se hicieron presentes que afectaron el ensayo, provocando defoliaciones y daños a las plantas en 5 fechas: el 3 de diciembre, 21 de enero, 23 de febrero, 14 marzo y 3 abril.

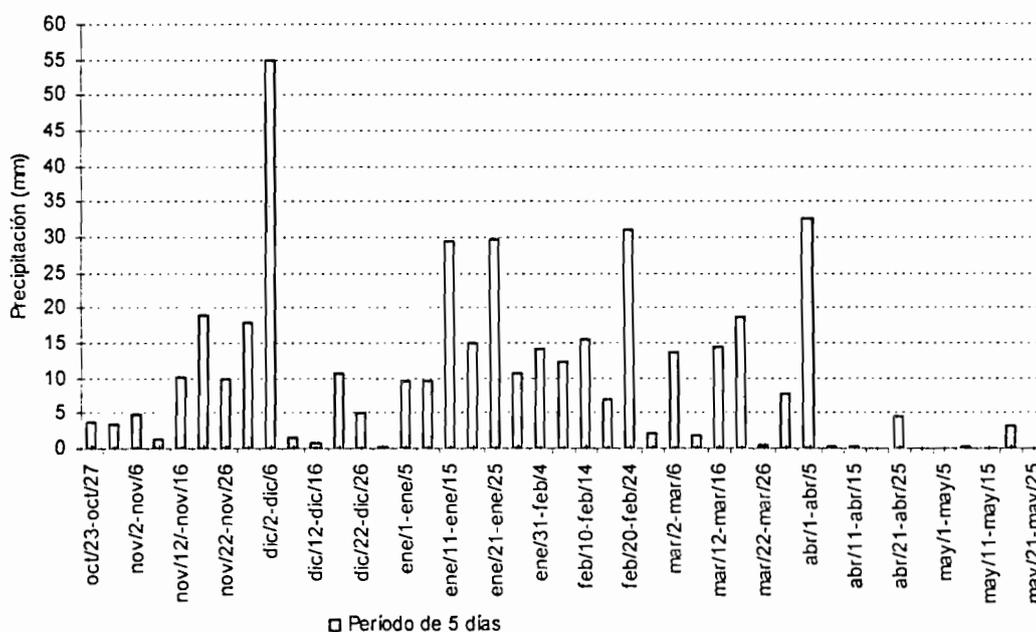


Figura 6. Comportamiento de la precipitación en período de 5 días durante la gestión agrícola 2002-2003.

4.1.3 Suelos

De acuerdo al análisis de suelo, efectuado en el laboratorio del "CETABOL-JICA" (Santa Cruz), las siguientes propiedades físico-químicas:

- Propiedades físicas.

La Figura 7 y Anexo 1b, presenta las características físicas que corresponden a la capa arable del sitio experimental (horizonte 1-20 cm), con una textura franco (48% limo, 33% arena, 19% arcilla) y una Densidad Aparente de 1.5 g/cm³.

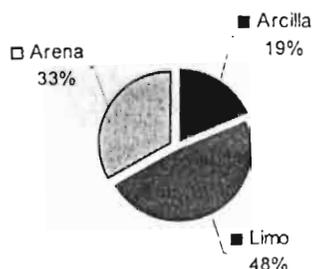


Figura 7. Distribución porcentual de los componentes de la textura del suelo de la parcela experimental.

- Propiedades químicas.

El pH es ligeramente ácido (6.43); con una conductividad eléctrica baja de 0.2017 mmhos/cm, sin problema de sales. El contenido de calcio intercambiable es alto con un valor de 10.3 mE/100g; el contenido de potasio es muy alto con un valor de 1.1 mE/100g; la capacidad de intercambio catiónico fue media con un valor de 13.43 mE/100g correspondiendo a moderado.

- Estado nutricional del suelo.

La fertilidad natural del suelo fue alta (Vilain, 1987 y Rodríguez, 2000), con 4,23% de materia orgánica; el contenido de nitrógeno presentó un valor de 0.21%, fósforo con 46.67 mE/100g (muy alto) también la concentración de potasio con 1.10 mE/100g.

4.2 VARIABLES AGRONÓMICAS

4.2.1 Porcentaje de germinación en laboratorio

Para determinar esta variable, previamente se han realizado pruebas en semillas que consistieron en: pureza, peso de mil semillas, número de semillas por gramo y posteriormente la prueba de germinación, los datos obtenidos se presentan en el siguiente Cuadro 4.

Cuadro 4. Características de pureza, peso de mil semillas, número de semillas por gramo y germinación de la semilla

Tamaño de grano	Pureza %	Germinación %	Peso de 1000 semillas (g)	Nº semillas (g)	Nº plantulas m ²
Grande	92	97	5.55	180	128
Pequeño	92	93	2.44	410	279
Mezcla	92	96	3.99	251	173

El cuadro 4, muestra que en el análisis de pureza no se observan diferencias, pero, en el peso de 1000 semillas, los granos de tamaño grande poseen mayor peso correspondiendo un valor de 5.5 g con respecto al grano pequeño con 3.99 gramos. Sin embargo, refiriéndonos al número de semillas que están contenidas en un gramo de semillas, las semillas de tamaño grande presenta 180 y pequeño 410.

Para la prueba de germinación se ha efectuado un análisis de varianza (Anexo 2) cuyo coeficiente de variación fue igual a 5.4%, indicándonos que los datos son confiables puesto que su valor es menor al 30%, como señala Gouet (1974).

Al no presentar diferencias entre tratamientos, se efectuó una prueba de medias de Duncan, que se muestra entre los dos tamaños de grano, presentando diferencias estadísticamente significativas para el porcentaje de germinación, con 97% para tamaño grande y 94% para tamaño de grano pequeño (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comportamiento del porcentaje de germinación con respecto al tamaño de grano.

Tamaño de grano	Germinación %	DUNCAN ($\alpha = 0.05$)
Grande	97	a
Pequeño	94	b
Mezcla	95	ab

(una letra diferente entre valor indica una diferencia significativa, $Pr < 0.05$).

4.2.2 Porcentaje de germinación en campo

Es necesario cuantificar la germinación y el vigor de las plantas emergidas en cada unidad experimental, relacionando con el número total de semillas viables sembradas. De tal forma, se determinó el número aproximado de granos en 2.4 g de semilla sembrada en cada surco de 6 m, correspondiente a una densidad de siembra de 8 kg/ha, procediéndose a efectuar el pesado de 1000 semillas de cada tamaño de grano (ver cuadro 4, pág. 46). La relación para establecer el número de granos es la siguiente:

$$N^{\circ} \text{ granos por surco (de 6 metros)} = 1000 \text{ granos} \times 2.4 \text{ g} / \text{Peso 1000 semillas}$$

De acuerdo a la cantidad de semillas contenidas en el peso de mil semillas, la categoría de granos de diámetro pequeño muestra mayor número con respecto a granos grandes (ver pagina 46, § 2)³.

La semilla de tamaño grande presenta una menor cantidad de granos sembrados en un metro lineal, debido a su peso y diámetro que posee. Mientras que, en las semillas de tamaño pequeño se aprecia una mayor cantidad de granos gracias a su diámetro y al peso de las mismas, como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Cantidad teórica de semilla sembrada correspondiente a dos tamaños de grano.

Tamaño de grano	Nº granos surco (6 m)	Nº granos metro lineal
grande	2595	432
pequeño	5902	984
mezcla	3609	602

4.2.2.1 Número de plantas y tasa de emergencia en campo

La emergencia y número de plantas, fueron evaluados en cada unidad experimental durante las primeras tres semanas después de la siembra; en tres metros lineales con 6 repeticiones durante dos fechas y transformadas a metros cuadrados mediante la relación anteriormente descrita.

La Figura 8, presenta la evolución de la emergencia destacándose, a los 21 DDS, el mayor número de plantas en las profundidades de 1 y 3 cm sembrados con semillas de tamaño pequeño y menor número de plantas para las semillas de tamaño grande sembradas a la misma profundidad. Esta relación se explica, que en un metro lineal, existió mayor número de semillas de tamaño pequeño y menor número para semillas de tamaño grande, debido al peso contenido en un gramo.

³ (ver página 46, § 2), en algunas paginas existe esta denominación que significa: ver la pagina correspondiente 46 y el símbolo que señala el número de párrafo, en este caso el 2.

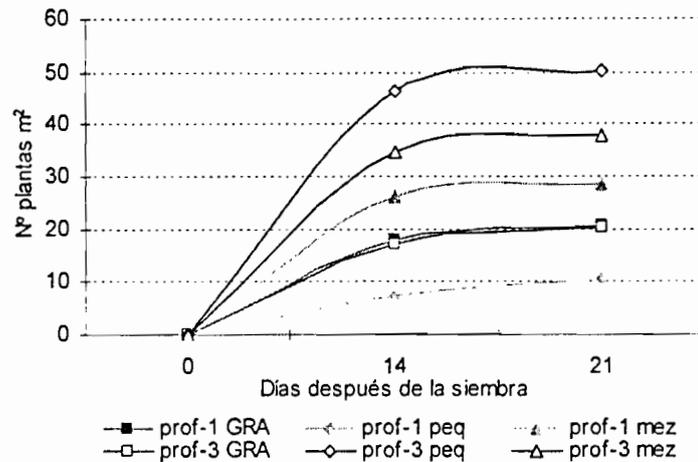


Figura 8. Evolución del número de plantas por metro cuadrado en los 21 Días Después de la Siembra.

Los resultados obtenidos no se igualan a las pruebas de laboratorio, debido a diversos factores (textura y estructura de suelo, temperatura, humedad, ataque de pájaros) además de la profundidad de siembra, y las lluvias oportunas, que de alguna u otra manera pudieron influir en la germinación de las semillas y la posterior emergencia.

Se verificó que del total del número de semillas sembradas bajo las profundidades de 1 y 3 cm, en tamaño de grano grande, tan solo emergieron 6 y 21% perteneciendo a 8 y 26 plantas por metro cuadrado; para tamaño de grano pequeño de 7 y 19% con 21 y 54 plantas y en tamaño de grano mezcla con 7 y 27% correspondiendo a 13 y 46 plantas (Figura 9).

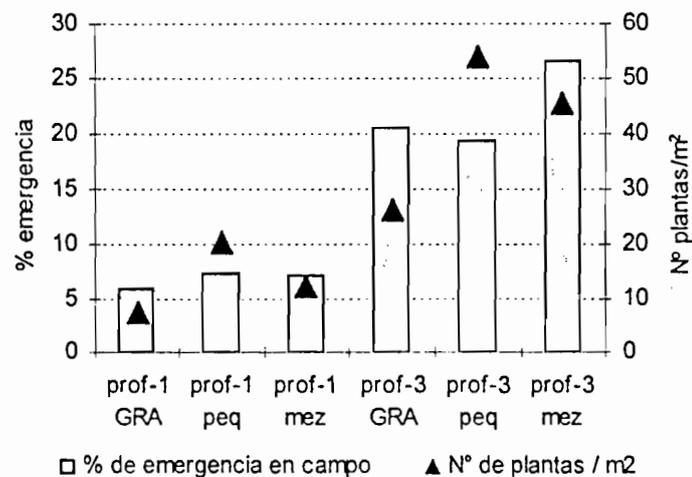


Figura 9. Evolución del porcentaje de emergencia de plántulas con relación a la profundidad y tamaño de grano.

Se efectuó el análisis de varianza (ANVA) para evaluar la interacción entre la profundidad y tamaño de grano la cuál no mostró diferencias significativas. No obstante, mediante una prueba de medias Duncan, revela que para el factor tamaño de grano, existen diferencias entre grano pequeño, con un número promedio de 6 plts/m², respecto del tamaño de grano grande con 4 plts/m²,(Cuadro 7). Pero no existen diferencias entre tamaños de grano pequeño y mezcla. Asimismo, no existen diferencias entre tamaño de grano grande y mezcla en número de plts/m².

Cuadro 7. Comportamiento en número de plantas por m² con relación al tamaño de grano.

Tamaño de grano	Nº plantas m ²	DUNCAN (α = 0.05)
Pequeño	6	a
Mezcla	5	ab
Grande	4	b

(una letra diferente entre valor indica una diferencia significativa, Pr<0.05).

A fin de tener una relación más clara acerca de la influencia del tamaño de grano y la profundidad de siembra, sobre la tasa de emergencia y el número de plantas, se presenta a continuación de manera separada el efecto de cada uno.

4.2.2.2 Efecto del tamaño de grano en la emergencia y número de plantas por metro cuadrado.

La Figura 10, presenta el efecto del tamaño de grano en la emergencia y el número de plantas por metro cuadrado. Las plantas provenientes de granos grande y pequeño muestran un 13% de emergencia seguido del tratamiento mezcla con 17%. Sin embargo, existe mayor número de plantas por metro cuadrado de semillas de grano pequeño con 37 plantas; ello puede deberse posiblemente a que existe mayor número de semillas por su diámetro menor, frente a 17 plantas de granos de tamaño grande y seguidas por el tratamiento mezcla con 29 plantas respectivamente.

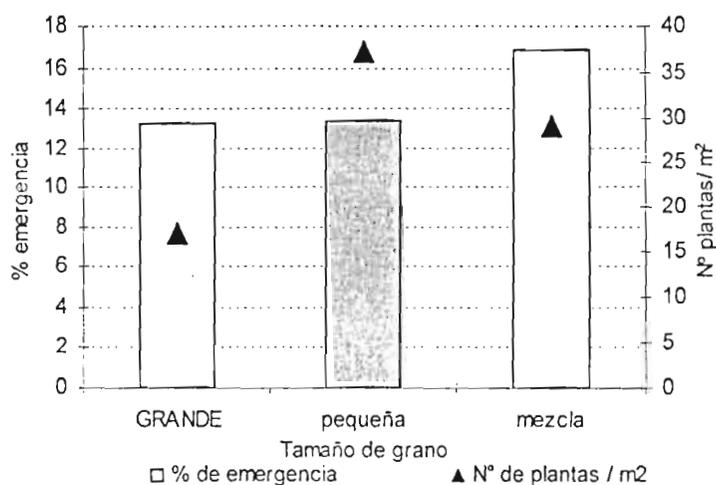


Figura 10. Efecto del tamaño de grano en el porcentaje de emergencia y número de plantas por metro cuadrado.

4.2.2.3 Efecto de la profundidad de siembra en la emergencia y número de plantas por metro cuadrado

La profundidad de siembra es un factor importante durante el establecimiento de un cultivo, esto va acompañado de la humedad del suelo, en el momento en que se depositan las semillas; de tal forma, la Figura 11, muestra el efecto de la profundidad comprendida entre 1 y 3 cm.

Las semillas sembradas a 1 cm de profundidad presentan una menor emergencia en campo con 7%, frente a aquellas de 3 cm con 12%; esto se debe, a que en la primera las semillas estaban expuestas a una cama de siembra de menor espesor, conduciéndose a la sequedad de la misma por la poca disponibilidad de humedad, además de encontrarse algunos granos expuestos a la intemperie que ocasionó que los pájaros se coman las semillas o que mueran por falta de agua.

La profundidad de 3 cm, reportó 42 plantas frente a 14 de 1 cm, esto se debe a que en la primera la humedad disponible se mantenía hasta una próxima precipitación, garantizando de esta forma la germinación y emergencia de mayor número de plantas (Foto 3, Anexo 10.1). En la práctica e independientemente de la germinación, es la emergencia de la joven planta que interesa, además de ser vigorosa y continuar con el crecimiento y desarrollo (García-Austin y Primo-Milo, 1993).

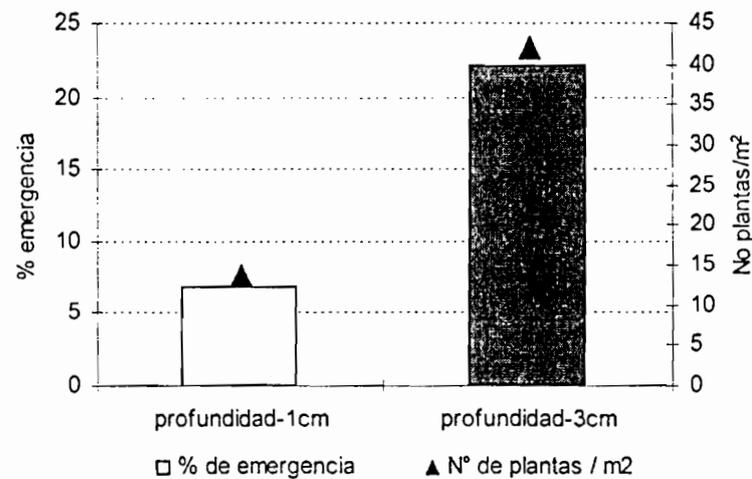


Figura 11. Efecto de la profundidad de siembra en el porcentaje de germinación y número de plantas por metro cuadrado.

4.2.3 Profundidad de enraizamiento

La realización del perfil se efectuó cuando las plantas se encontraban en el estadio de 17 y 18 hojas verdaderas (etapa despunte de panoja). Con la finalidad de observar el establecimiento de las plantas en el suelo, por medio del desarrollo radicular, además de la profundidad que la semilla se encuentre en la cama de siembra. De esta manera a los 60 días después de la siembra, se efectuó la medición de longitud de raíces.

Para la profundidad de 1 cm de siembra con semillas pequeñas presentan raíces con una longitud media de 21 cm frente a 14.5 cm de semillas grandes, la diferencia observada nos muestra que habiendo mayor número de semillas en un determinado peso, las semillas pequeñas pueden aprovechar la estructura del suelo y humedad a fin de generar otras plantas; mientras semillas de tamaño grande presentan un menor número de granos en un peso determinado, consecuentemente menor número de plantas.

De la misma forma se presenta para la profundidad de siembra de 3 cm, plantas provenientes de semillas pequeñas muestran una longitud media de 23 cm y para grandes 17.5 cm; por lo que se aprecia claramente el mayor desarrollo radicular de ambos tipos de semillas, debido por la humedad que se ha mantenido durante las primeras semanas garantizando el desarrollo y crecimiento de las raíces y a la vez de las plantas.

El análisis de varianza para la profundidad de enraizamiento (Anexo 3), presenta un coeficiente de variación (CV) de 11.7%. El ANVA muestra que existe diferencias altamente significativas entre bloques de 0.0017 ($Pr < 0.01$), lo que indica que, la suposición inicial de diferencias en el factor suelo, preparación del terreno y nivelación de la superficie fue real (Figura 12).

El mismo cuadro de análisis muestra que, no existen efecto en la interacción profundidad de siembra por tamaño de grano. No obstante, se encontraron diferencias altamente significativas para el factor tamaño de grano de 0.0007 ($Pr < 0.01$).

Yobi *et al.* (2001) señalan que durante los primeros meses del establecimiento del cultivo es importante la humedad del suelo, para facilitar el desarrollo del sistema radicular, y el desarrollo de la parte aérea de manera lenta.

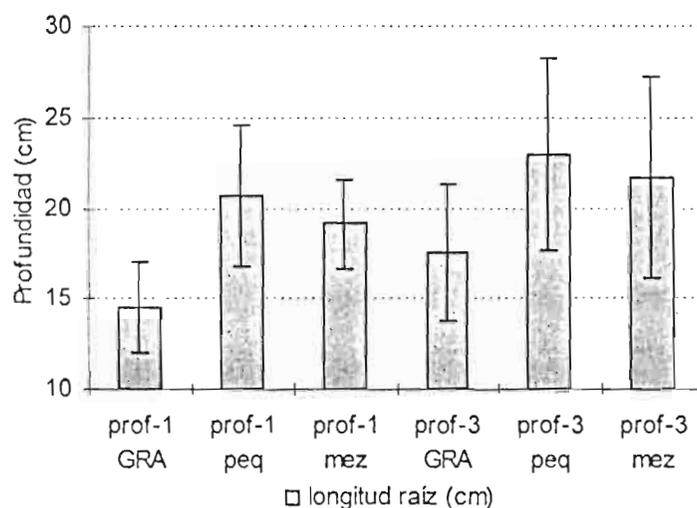


Figura 12. Longitud de raíces de acuerdo a los tratamientos 60 DDS ($m \pm 1 DE$).

4.2.3.1 Longitud de raíz de plantas provenientes de dos tamaños de grano y mezcla

La prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) de probabilidad, para la longitud de raíz sembradas a 1 y 3 cm de profundidad, y tamaños de granos pequeños y grandes presentaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 8).

El tamaño de granos pequeños sembrados a profundidades de 1 y 3 cm exhibe la mayor longitud de raíz con un valor de 21.8 cm, seguido de granos mezcla con 20.4 cm y por último los granos grandes con un valor de 16 cm de longitud.

Cuadro 8. Comportamiento de la longitud de raíz con respecto al tamaño de grano.

Tamaño de grano	longitud raíces (cm)	DUNCAN ($\alpha = 0.05$)
p;1-3 Pequeño	21.8	a
p;1-3 Mezcla	20.4	a
p;1-3 Grande	16.0	b

(una letra diferente entre valor indica una diferencia significativa, $Pr < 0.05$).

4.2.4 Número de hojas, cicatrices y estado de las plantas

Durante el crecimiento de la planta existe un momento, donde se observa la defoliación por la caída de ciertas hojas basales, que comienza con la caída de las primeras hojas, las más viejas de la base del tallo después de la senescencia y progresa hacia las jóvenes. Es un proceso de deterioro que acompaña el envejecimiento y conduce a la muerte de este órgano y su caída (Salisbury y Ross, 2000). Sin embargo, pueden presentarse otros factores abióticos como la granizada, la helada, la sequía así también bióticos como plagas y enfermedades.

Para mejor ilustración, en la Figura 13, se observa el desarrollo ascendente del número de hojas emitidas en el tallo principal por tratamiento a partir de los 29 DDS (fase de 10 hojas verdaderas) de las plantas.

Por la uniformidad que presentaban las parcelas de los tratamientos, se observa que no existen diferencias durante el desarrollo de las plantas; pero, hay una ligera variación de aquellas plantas sembradas con grano grande a profundidad de 1 cm a partir de los 134 DDS (fase grano masoso) relacionado por la densidad débil de plantas en las parcelas.

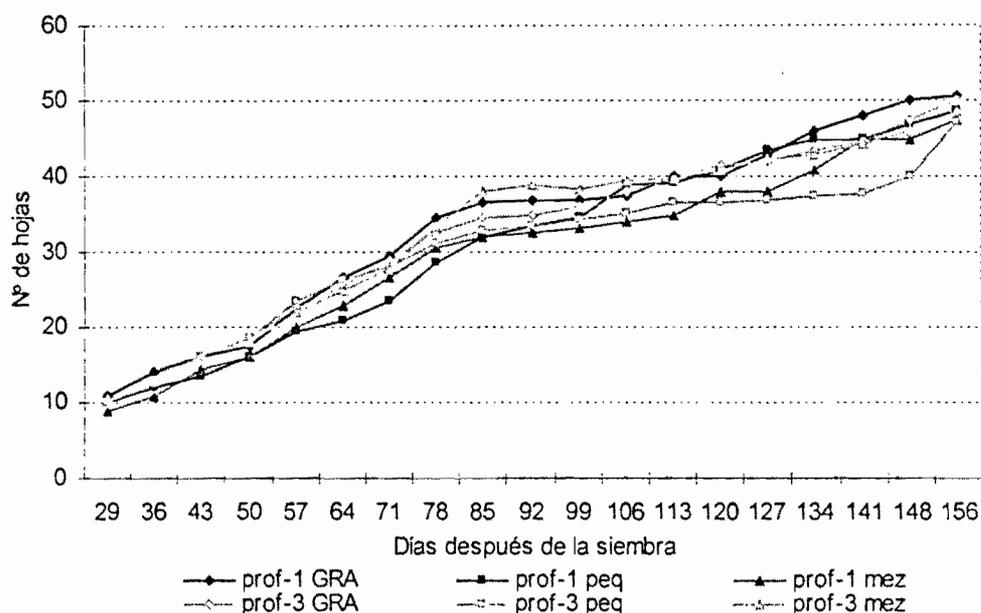


Figura 13. Desarrollo del número total de hojas emitidas en el tallo principal en una planta por tratamiento.

Para tener una apreciación acerca de plantas sembradas con granos grandes, pequeños y mezcla ($\frac{1}{2}$ grande + $\frac{1}{2}$ pequeña) en profundidades de siembra de 1 y 3 cm, se han combinado para comprender mejor el aumento en número de hojas (Figura 14).

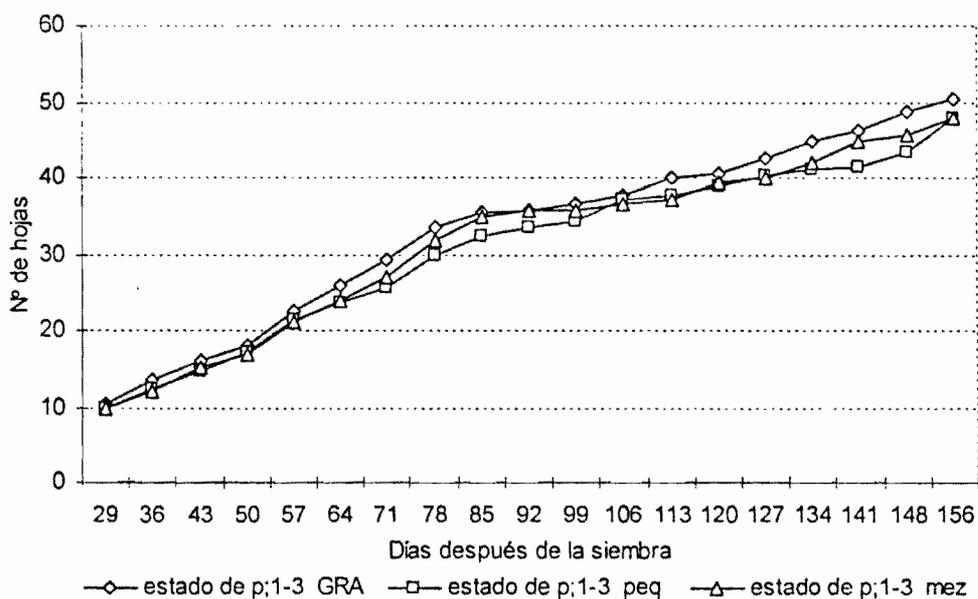


Figura 14. Desarrollo del número de hojas emitidas en el tallo principal de una planta para las dos profundidades.

En la Figura 14, se observa que las plantas sembradas con grano grande, pequeño y mezcla a profundidades de 1 y 3 cm, desarrollaron entre 10 y 11 hojas a los 29 DDS. Durante esta fase, se aprecia que existe homogeneidad en lo que respecta a número de hojas; posteriormente a los 78 DDS (fase inicio panojamiento), existe una leve variación en número de hojas que van de 30 a 34 hojas en todas las plantas de los tratamientos.

La explicación acerca de esta leve diferencia en el número de hojas es debido, a que las plantas sembradas con grano grande a profundidades de 1 y 3 cm presentaron una densidad menor de plantas. En cambio las plantas que fueron sembradas con granos pequeños y mezcla, por la cantidad de semillas que se emplearon en la siembra por surco presentaron una mayor densidad de plantas, (Figura 14).

En la última evaluación, correspondiendo a los 156 DDS (madurez fisiológica), fecha cercana a la cosecha, las plantas presentaron un rango entre 48 y 50 hojas, para todas las plantas sembradas con grano pequeño y mezcla a profundidades de 1 y 3 cm.

4.2.5 Tasa de defoliación de los tratamientos

4.2.5.1 Defoliación del tallo principal

La caída de las hojas en una planta es un proceso normal, que indica el cambio de nuevas hojas y el desarrollo de la misma, pero pueden ser causadas también por otros factores ya sean bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (granizos, heladas).

En la Figura 15 podemos observar la caída de las hojas del tallo principal en plantas de quinua de los diferentes tratamientos, que corresponden a los promedios de 5 plantas. Durante el desarrollo de las plantas, la defoliación fue normal en todas las plantas, con 9% a los 29 DDS llegando hasta 91% de defoliación a los 156 Días Después de la siembra.

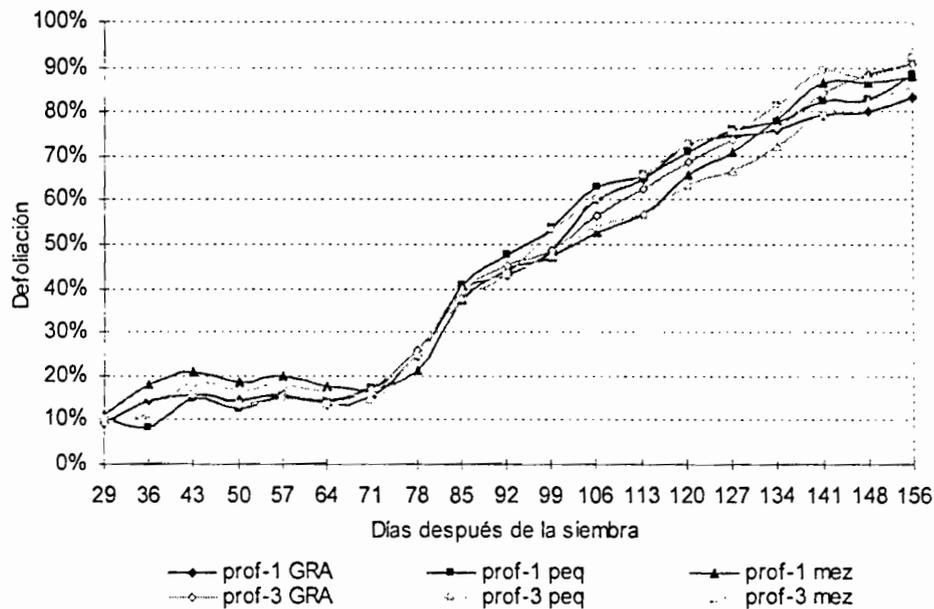


Figura 15. Tasa de defoliación del tallo principal de plantas (promedio de 5 plantas).

4.2.5.2. Defoliación de plantas con respecto a la profundidad

Al lado del envejecimiento normal de las hojas, la defoliación en plantas de quinua pueden ser causadas por diversos factores como los citados; sin embargo, hubo un cambio brusco en la tasa de defoliación a los 85 DDS (fase prefloración), a causa de una granizada registrada el 21 enero 2003 (Figura 16).

Al transcurrir los días, la defoliación fue espontánea durante el desarrollo del cultivo, pero nuevamente se hizo presente la granizada a los 120 DDS (23 febrero 2003), cuando las plantas se encontraban en fase de grano lechoso, con menor intensidad (14.1 mm), donde la defoliación de hojas presentó valores entre 63% y 73%. La defoliación normal se debe a la senescencia de las hojas y a la fisiología misma de la planta. Posteriormente, se presentaron dos granizadas a los 141 DDS (14 mar 2003) y 156 DDS (3 abril 2003), con precipitaciones de 9.6 y 25.6 mm, siendo la última que tuvo mayor intensidad de 45 minutos, llegándose a tener una tasa de defoliación de 83 a 91%, donde las plantas se encontraban en fase de grano pastoso, llegando a dañar algunos glomérulos.

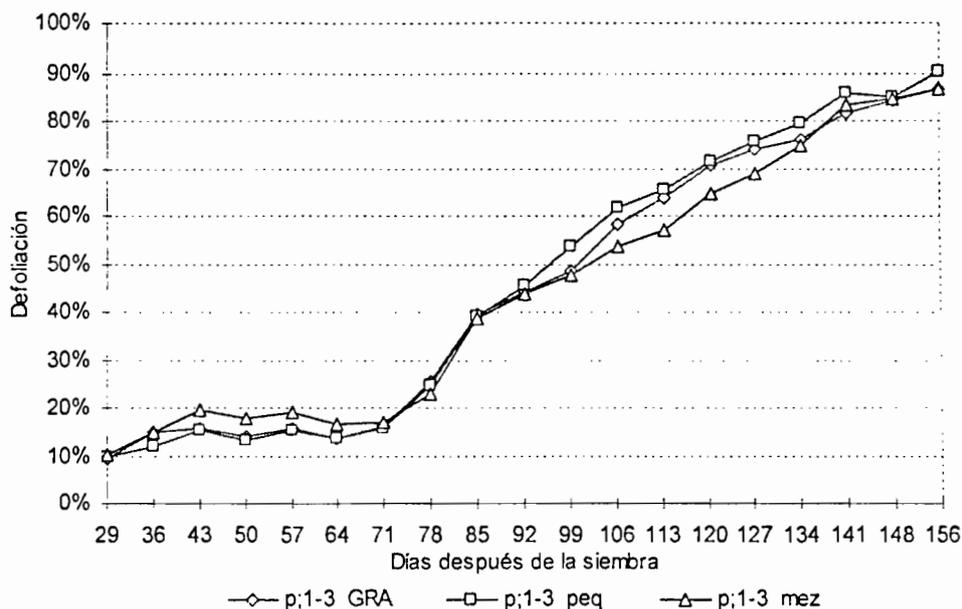


Figura 16. Tasa de defoliación de plantas con relación a las profundidades de siembra.

Al finalizar el ciclo vegetativo del cultivo se observó, que las plantas sembradas con grano grande a profundidad de 1 y 3 cm alcanzaron un 87% de defoliación, de igual manera las plantas sembradas con grano mezcla, sin embargo, aquellas plantas sembradas con grano pequeño en 1 y 3 cm de profundidad llegaron a tener un 90% de defoliación, debido a que en la primera había poca densidad de plantas, y la granizada causó caída de hojas a estas plantas. Por otro lado, la presencia del mildiu no provocó una defoliación de importancia, debido a la aplicación oportuna del fungicida (Ridomil).

Lo que es corroborado por Vilain (1987), en la que señala que uno de los factores que afectan el normal desempeño de las hojas en las plantas son la presencia de granizadas y enfermedades que pueden reducir la eficiencia de las hojas.

4.2.6 Estado del número de hojas en el tallo principal, cicatrices y tasa de defoliación

A manera de apreciar las curvas de evolución de las cicatrices y el cambio de nuevas hojas presentes en el tallo principal de las plantas referidas a los tratamientos la Figura 17, nos ilustra la evolución en el número de hojas.

La intersección entre el número de hojas y cicatrices, no se encuentran en la misma fecha del ciclo según el tratamiento, es así que entre el número de hojas y cicatrices para plantas sembradas con grano pequeño a profundidades de 1 y 3 cm se presentó el 2 de febrero (95 DDS), mientras que para las plantas sembradas con grano mezcla (½ grande + ½ pequeño) la intersección se distingue el 7 de febrero (100 DDS), lo que a su vez es seguido por las plantas sembradas con grano grande el 8 de febrero (101 DDS). Por otro lado, el área entre la curva del estado final del tallo y la defoliación registrada es proporcional.

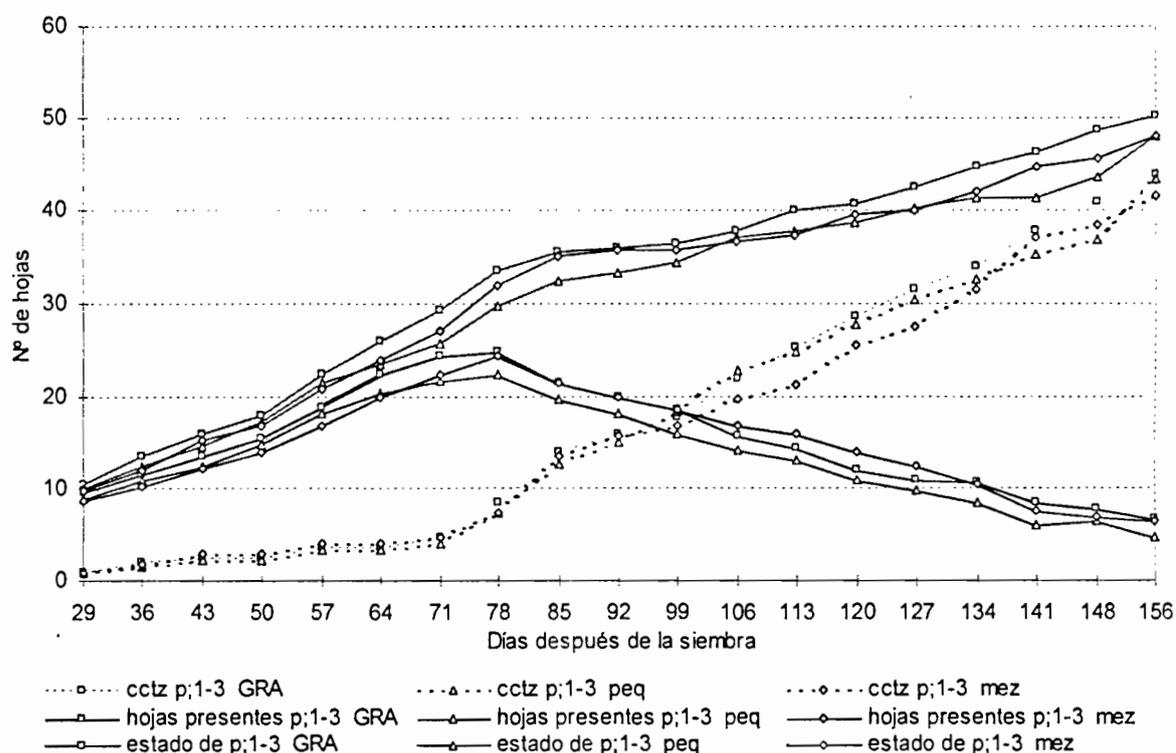


Figura 17. Evolución en el tiempo del estado del tallo principal de una planta, número de hojas presentes y defoliación (número de cicatrices)

La forma de presentación nos hace ver que fue uniforme la emisión de hojas en las plantas de los diferentes tratamientos, notándose una leve diferencia en plantas sembradas con grano grande y que la densidad de plantas ha tenido que influenciar con estos resultados.

4.2.7 Manejo de Grados – día de crecimiento (GDC)

Este método se basa en que toda planta empieza a crecer a partir de una cierta temperatura llamada Punto Crítico y los grados de temperatura por encima de P_c

se van acumulando hasta alcanzar una temperatura constante al completarse el ciclo vegetativo (Ledesma, 2000).

La utilización de los datos de temperatura comprendió a partir de la siembra (30 octubre 2002) hasta la cosecha (17 abril 2003), se efectuó la suma promedio correspondiente a cada día entre la temperatura máxima y la mínima, de acuerdo a la metodología (ver página 34, § 2), posteriormente se relacionó con el número de hojas del tallo principal de las plantas sembradas con grano grande, pequeña y mezcla a profundidades de 1 y 3 cm, como se observa en la Figura 18.

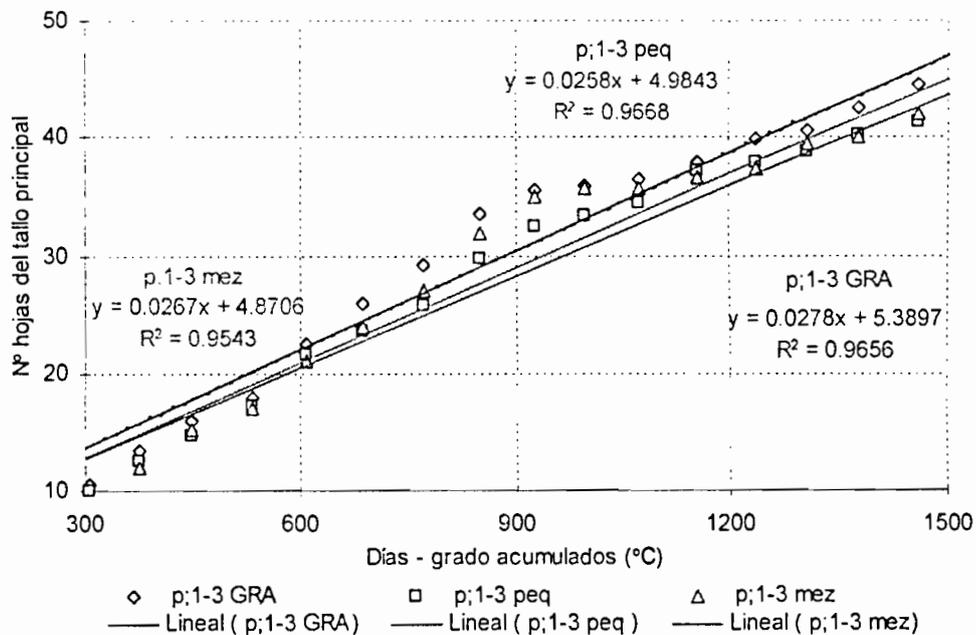


Figura 18. Relación entre la aparición de las hojas del tallo principal, en base a días grado acumulados desde la siembra hasta la cosecha.

De acuerdo a la Figura 18, podemos indicar que entre 309.5 hasta 614.1 °C después de la siembra, los grados-día acumulados, presenta un aumento de 14 a 23 %, donde las hojas de plantas sembradas con grano grande, pequeño y mezcla, muestran uniformidad en cuanto a número reflejando hojas entre 21 y 22. Mientras tanto, más adelante del ciclo del cultivo, las plantas de grano grande presenta un número de 33 hojas frente a 31 y 29 correspondiendo a plantas de grano pequeño y mezcla con un incremento entre 10 y 13 % de grados-día acumulados.

Para ver la importancia de las hojas, en el proceso fotosintético para la planta, a partir de los 85 DDS, durante la floración es importante tomar en cuenta la

acumulación de los grados-día, pues nos conduce a analizar acerca del aumento en la emisión de hojas del tallo principal, es en esta parte que ocurre una serie de actividades a nivel de los órganos que conforman la planta. Al inicio de la floración se ha llegado a tener 933 grados-día acumulados representando un 9% de aumento, donde las plantas sembradas con grano grande a profundidades de 1 y 3 cm, muestran mayor número de hojas de 50, respecto a plantas de grano pequeño y mezcla con 48.

De acuerdo a lo obtenido se puede apreciar que llegándose hasta la maduración fisiológica se alcanzó entre 166 y 169 días después de la siembra y en base a temperatura acumulada de 1801 grados-día. Mediante, el coeficiente de correlación $r = 0.98$, a una probabilidad del 5%, para los tratamientos estudiados, nos muestra que existe una asociación positiva, entre la emisión de las hojas del tallo principal y los Días-grado acumulados, es decir a medida que transcurren el tiempo, las hojas van aprovechando la temperatura para crecer y desarrollar de manera normal.

La utilización de los grados-día de crecimiento, se constituye en una herramienta fundamental para la predicción de los eventos fenológicos y la importancia de las temperaturas durante las fases fenológicas afirmado de esta manera por Bonhomme (2000). Entonces el manejo adecuado de las temperaturas máximas y mínimas que están presentes durante el desarrollo del cultivo, nos conduce a conocer el comportamiento de variedades en estudio.

Durante el desarrollo de las plantas de quinua de la variedad Surumi, el comportamiento de la temperatura fue normal y el empleo del método de los Grados-día se adaptó adecuadamente para la relación acerca de la emisión de las hojas y las temperaturas (Foto 4, Anexo 10.2).

Berti *et al.*, (1997) emplearon Temperaturas Bases de 6.9 y 5.8 °C, para quinuas de la costa, obteniendo resultados de temperatura acumulada entre 952 y 1210 Días-grado a la madurez fisiológica, el empleo de las mencionadas temperaturas bases se debe a la menor presencia de bajas temperaturas en ese lugar. De tal manera la T_{BASE} utilizada para este estudio fue de 4°C, a partir de datos en bibliografía acerca de un trabajo realizado en el cultivo de quinua, en la que se

determinó la temperatura base en experimentos realizados en la Estación Experimental de Patacamaya (Imaña, 2004)⁴.

4.2.8 Evolución de la altura y diámetro de tallo de la planta

4.2.8.1 Altura y diámetro de tallo

Esta variable se constituye de importancia dentro el crecimiento y desarrollo de las plantas de quinua y el manejo agronómico del cultivo.

La Figura 19, nos ilustra la evolución de la altura de planta como el diámetro del tallo con relación al tamaño de grano, en diferentes fechas de muestreo.

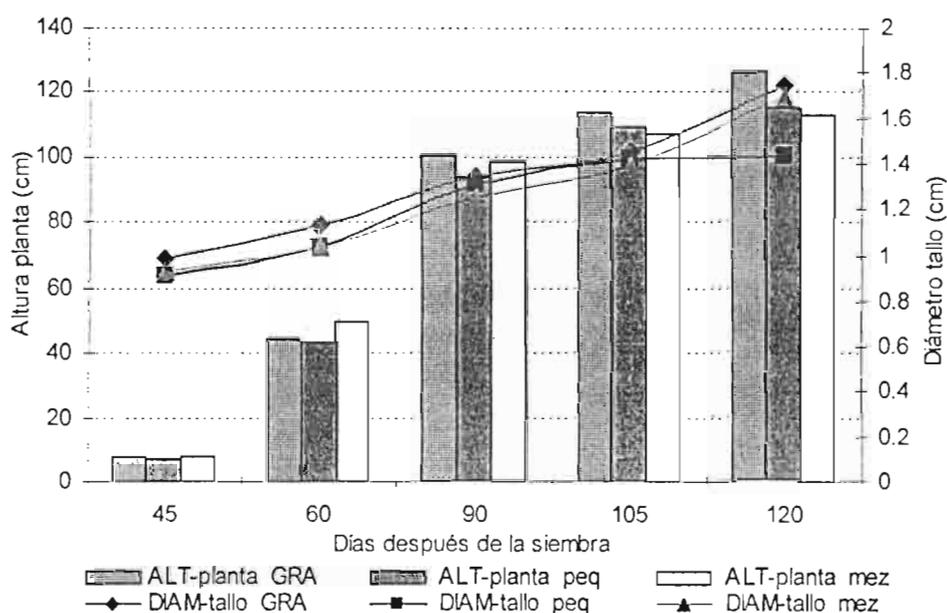


Figura 19. Incremento en altura y diámetro de tallo en plantas con relación al tamaño de grano.

Podemos apreciar mediante la Figura 19, con respecto a las alturas de plantas correspondientes a plantas sembradas con tamaño de grano grande, pequeño y mezcla, no existen diferencias en cuanto a la altura y diámetro del tallo, donde los valores oscilan entre 7.6 a 7.8 cm de longitud de tallo y 0.92 a 0.98 cm de diámetro durante los 45 Días Después de la siembra.

Sin embargo, estos valores son superiores a los reportados por Gutiérrez (2003) en la misma Estación experimental de Choquenaira, al evaluar el ritmo de crecimiento y desarrollo de dos variedades de quinua, cuyo valor promedio

⁴ Imaña, E. 2004. Utilidad de la temperatura base en el cultivo de la quinua (entrevista). SENAMHI (Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología – Regional La Paz, Bolivia).

correspondiente a los 42 DDS, muestra de 4.3 cm de altura de planta y 0.25 cm de diámetro en quinua de la variedad Surumi.

De acuerdo al ANVA (Anexo 4), para la altura de planta a los 45 DDS (11-13 hojas), muestra un CV de 23.2%. El análisis de varianza muestra que no existe diferencias significativas entre bloques, el factor tamaño de grano, las interacciones Bloque por profundidad y profundidad por tamaño de grano.

Por otro lado, se encontraron diferencias significativas para el factor profundidad de siembra entre 1 y 3 cm, de 0.0258 ($Pr > 0.05$). En la Figura 20, observamos la relación en cuanto a la altura de planta respecto a la profundidad de siembra.

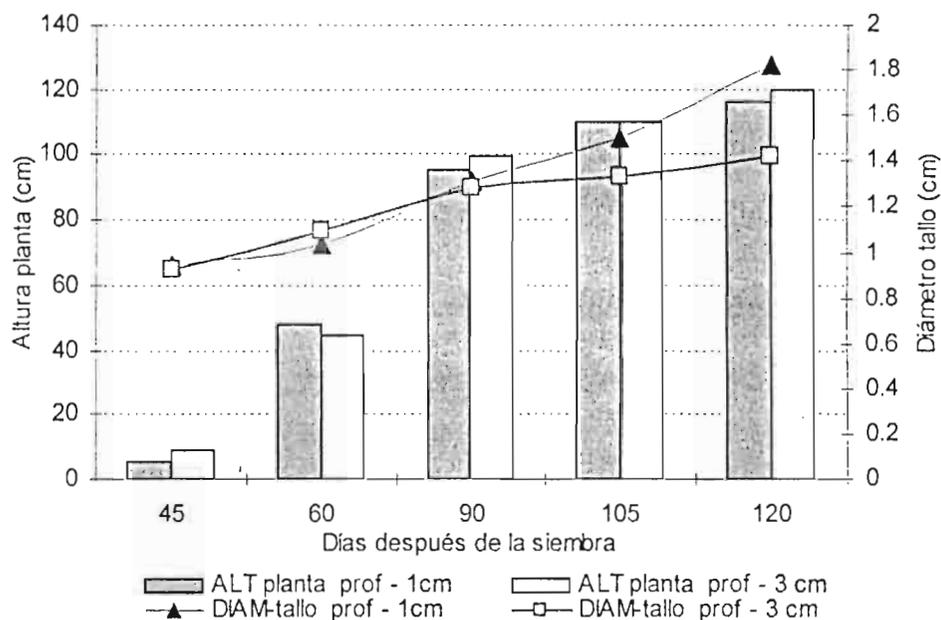


Figura 20. Incremento en altura y diámetro de tallo en plantas con relación a la profundidad de siembra.

Las plantas sembradas a profundidades de 3 cm muestran una altura de 9.4 cm y 5.8 cm para la profundidad de 1 cm y no existiendo diferencias en diámetro de tallo para ambos.

La variación puede deberse, que en la cama de siembra de 3 cm las semillas disponían de humedad suficiente para germinar, emerger y posteriormente crecer y desarrollar, pero, para las plantas sembradas a 1 cm de profundidad, no hubo la suficiente humedad, debido a factores como sequedad de la cama de siembra, compactación, que ha retrasado el crecimiento normal hasta una próxima precipitación.

compactación, que ha retrasado el crecimiento normal hasta una próxima precipitación.

A los 120 DDS (fase grano lechoso), no existe diferencias estadísticamente significativas con respecto a la longitud de tallo en relación a las plantas sembradas con tamaño de grano grande, pequeño y mezcla a profundidades de 1 y 3 cm.

De acuerdo a los promedios de altura con relación al tamaño de grano, las plantas sembradas con grano grande presentaron 126.3 cm de longitud de tallo con respecto a 114.8 y 112.7 de plantas de grano pequeño y mezcla.

En cuanto a la profundidad de siembra existe una leve variación entre 116 a 120 cm de altura, para las plantas sembradas a profundidades de 1 y 3 cm.

Para la variable diámetro de tallo los resultados del análisis de varianza (Anexo 5) correspondiente a los 120 DDS, muestra un coeficiente de variación de 11.2%. Cuyo análisis muestra que no existen diferencias significativas entre bloques, el factor tamaño de grano y las interacciones y profundidad por tamaño.

Sin embargo, se encontraron diferencias significativas para el factor profundidad de siembra entre 1 y 3 cm, de 0.0119 ($P < 0.05$). La figura 20, muestra que a los 120 DDS, la profundidad de siembra de 1 cm presenta plantas de diámetro de 1.8 frente a 1.4 cm. Comparando con la figura 19, esa superioridad en diámetro corresponde a plantas sembradas con grano grande frente a plantas de grano pequeño.

Por otra parte tenemos que tener en cuenta que la densidad, diferente entre los tratamientos (ver capítulo 4.2.2.1) influye con importancia estas 2 variables en una planta individual, sobre todo el diámetro del tallo: esta densidad es débil en caso de siembra a profundidad 1 cm con granos pequeños y la concurrencia entre las plantas para los nutrientes y agua implica que las plantas aprovechan mejor los nutrientes; el diámetro debe ser superior. Al contrario, con densidad más elevada, hay concurrencia entre las plantas para alimentarse y el crecimiento individual es menor.

4.2.9 Relación alométrica entre diámetro y altura de planta

Para cada fecha de muestreo, se estableció la relación entre diámetro y altura de planta, después de haber realizado la descripción de las plantas sembradas con tamaño de grano grande, pequeño y mezcla en profundidades de 1 y 3 cm.

Los resultados de regresión y correlación (r^2 , r), para las plantas sembradas con diferentes tamaños de grano bajo dos profundidades, mediante una comparación, han demostrado que a medida que las plantas se acercan a la última fase de crecimiento y desarrollo, correspondiente a los 120 DDS (fase grano lechoso), muestra una mayor correlación entre las variables citadas.

Entonces, este tipo de relación entre altura y diámetro de tallo nos indica que es posible medir una variable para estimar y comparar el crecimiento de las plantas de quinua estudiadas sin destruirlas.

4.3. VARIABLES FISIOTECNICAS

4.3.1 Relación de la biomasa seca de las plantas por metro cuadrado.

La evaluación de la biomasa seca entre los 45 y 120 DDS, se efectuó a partir del peso fresco de cada órgano de todas las plantas correspondientes a tres segmentos lineales de 0.6 m de largo de cada uno en un surco de una parcela para cada tratamiento, dejando entre cada fecha un surco de bordura para evitar el efecto de limitación de la concurrencia.

Esta evaluación de biomasa seca, se deduce a partir de la estimación del porcentaje de la materia seca en los diferentes órganos, de 5 plantas representativas de las que se encuentran sobre el segmento de 0.6 m, las cuales fueron pesadas en fresco y seco, a los 65°C.

Posteriormente se efectuó el cálculo para establecer la relación por metro cuadrado.

$$\text{Peso Seco de plantas del } m^2 = (\text{PS en 3 segmentos}) / 1.8 \text{ m} \times 2$$

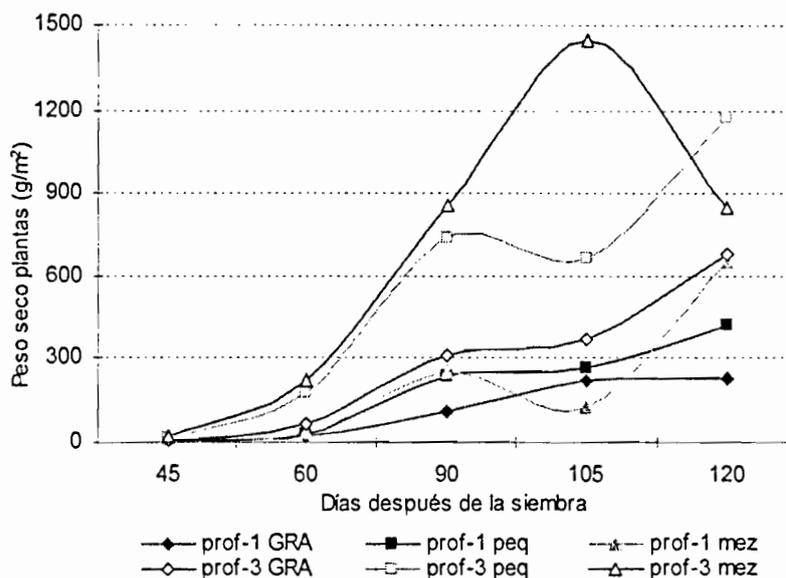


Figura 21. Evolución del peso seco total de plantas por metro cuadrado.

En la Figura 21, se observa la evolución de la biomasa seca de las plantas por metro cuadrado, donde al inicio del ciclo vegetativo, muestran tener un peso sobresaliente las plantas sembradas con grano pequeño y mezcla a profundidad de 3 cm, presentando en esta fecha de evaluación entre 20 y 26 plantas; a los 60 DDS existe un equilibrio en cuanto al peso de las plantas de grano pequeño y mezcla en las profundidades de siembra de 1 y 3 cm, con número de plantas entre 7 a 41, posteriormente el peso de las plantas sembradas con tamaño de grano pequeño a profundidad de 3 cm va incrementándose por el hecho de encontrarse 49 plantas por metro cuadrado. No obstante, a los 105 DDS, se aprecia una disminución en peso seco de las plantas sembradas con grano pequeño de profundidad 3 cm, debido al reducido número de plantas.

4.3.1.1 Incremento de la biomasa seca de la planta durante su ciclo vegetativo de los tratamientos.

La figura 22, muestra el incremento de la biomasa seca correspondiente a una planta, donde al inicio y final de la evaluación las plantas sembradas con grano grande a profundidad de 1 cm, presentaron un incremento paulatino, debido a la menor densidad de plantas, traduciéndose en el desarrollo de las ramificaciones.

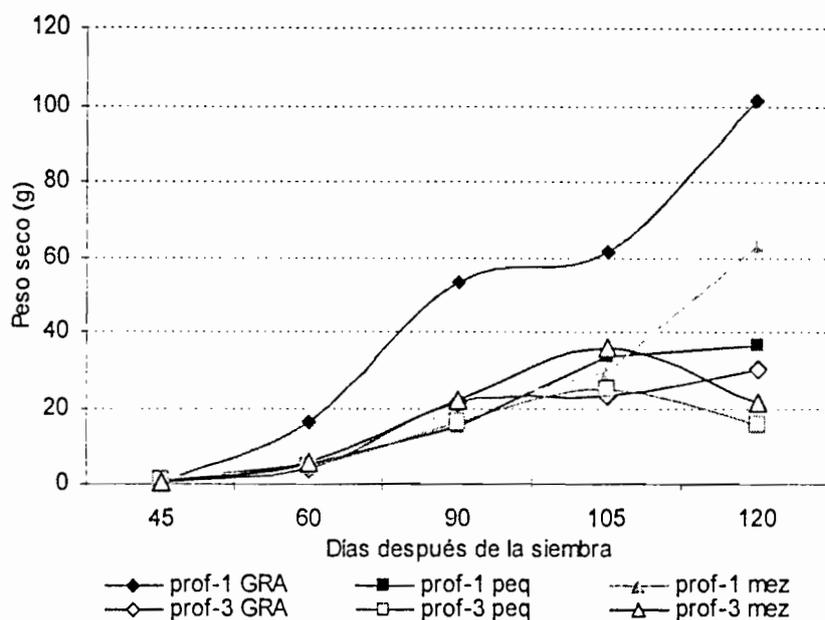


Figura 22. Evolución de la biomasa seca total de una planta media de los tratamientos.

Anteriormente, se había descrito, que las plantas sembradas con grano pequeño a profundidad de 1 cm aportaban mayor peso seco con respecto al número de plantas por m² (Figura 22). Sin embargo, con relación al peso seco de una planta media, el comportamiento de las plantas sembradas con grano grande a profundidad de 1 cm, presenta aumento en materia seca. El primer hecho se debe, a que hubo mayor número de plantas normales sin ramificación y la segunda presentó plantas ramificadas por la menor densidad, originando el desarrollo de los órganos y también el peso seco por planta.

4.3.2 Peso seco de hojas

El comportamiento del peso seco de hojas de las plantas de los tratamientos se muestra en la figura 23, donde a los 45 DDS se aprecia la superioridad en peso seco de hojas de 6.4 g para las plantas sembradas con grano mezcla (½ grande + ½ pequeño) a profundidad de 1 cm frente a los otros tratamientos cuyos valores se encontraban entre 0.4 a 0.8 g por planta. Esta fecha de evaluación se encontró con una densidad menor de plantas, las mismas que tenían ramificaciones y hojas bien desarrolladas.

Posteriormente, a los 60 DDS sobresale el peso seco de hojas con 5.4 g para plantas sembradas con grano grande a profundidad de 1 cm, diferenciándose de

los demás, donde muestran un equilibrio en el peso de la biomasa seca de los tratamientos con valores entre 1.9 y 2.3 gramos.

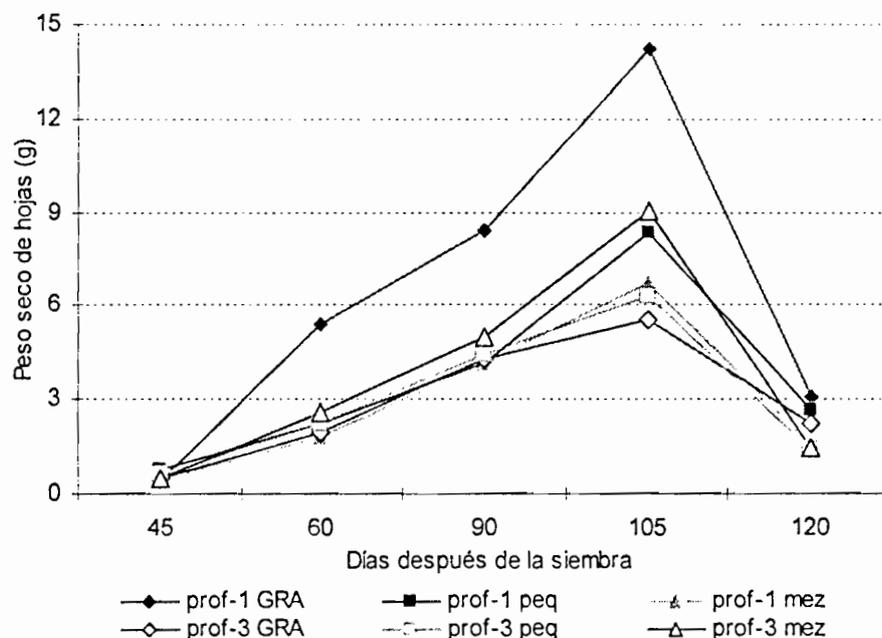


Figura 23. Evolución del peso seco de hojas del tallo principal.

El tratamiento correspondiente a plantas sembradas con grano grande a profundidad de 1 cm, demostró tener un valor mayor en peso seco de hojas del tallo principal a los 105 DDS con 14.2 g, debido principalmente al número menor de plantas evaluadas. A partir de esta fecha el peso seco de hojas del tallo principal fue descendiendo hasta la próxima evaluación.

4.3.2.1 Relación de la biomasa seca de hojas de una planta con la defoliación

La figura 24, muestra la evolución de la biomasa seca de las hojas de una planta con relación al porcentaje de defoliación durante el ciclo vegetativo de la planta.

Se distingue una diferencia en el peso seco de hojas del tallo principal correspondiente al a (*prof-1 mez*) frente a los otros tratamientos, pero el porcentaje de defoliación muestra un valor medio de 17%, que a la fecha de evaluación (45 DDS), no tuvo la influencia en el peso seco de hojas de las plantas.

Sin embargo, la defoliación de las hojas del tallo principal de una planta fue cursando de manera normal sin afectar a la evolución del peso seco de hojas en la fecha de 60 DDS.

Posteriormente a los 90 y 105 DDS, existe un incremento en el porcentaje de defoliación de 45 a 58% afectando la misma en la evolución del peso seco de hojas del tallo principal.

Para los 120 DDS, la tasa de defoliación llegó a mostrar un valor de 69% debido a la granizada del 23 de enero (116 DDS) y la caída de hojas de forma natural, la relación con respecto al peso seco de hojas del tallo principal es notoria presentándose valores de 3.1 a 1.4 gramos.

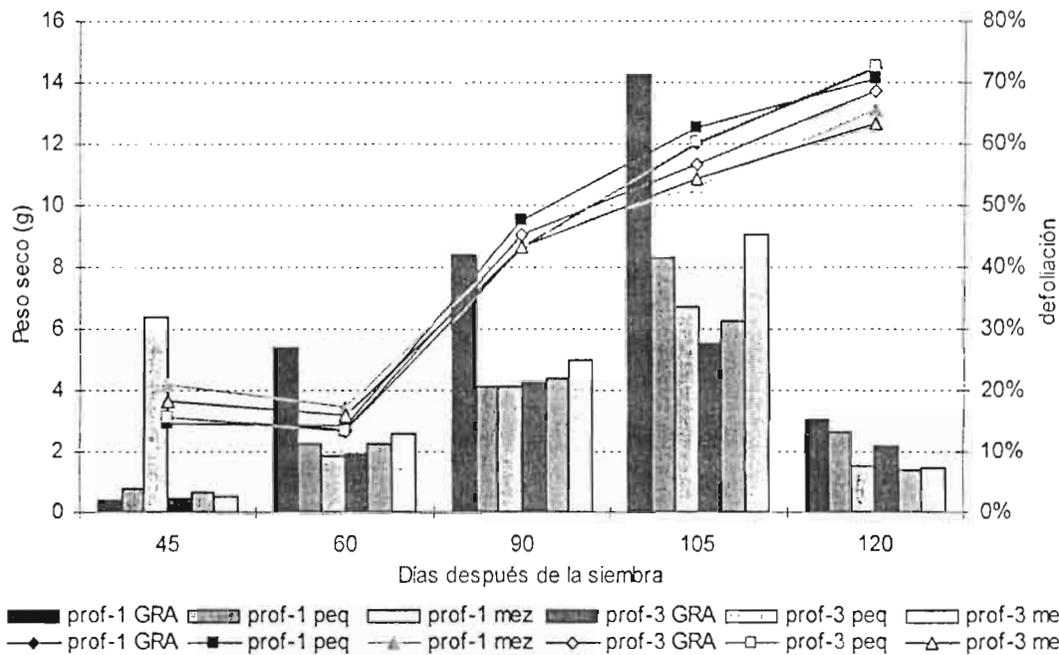


Figura 24. Evolución del peso seco de hojas del tallo principal de una planta en relación a la defoliación.

En esta última evaluación las plantas se encontraban en fase de grano lechoso y para la madurez fisiológica de la plantas la defoliación de las hojas fue ascendiendo, debido por la caída de las hojas de manera natural, además por el efecto de la granizada.

4.3.3 Biomasa seca de la panoja

La evaluación de esta variable se la realizó a partir de los 60 DDS, cuando las plantas se encontraban en la fase de ramificación y entrando a inicio panojamiento, como se muestra en la figura 25.

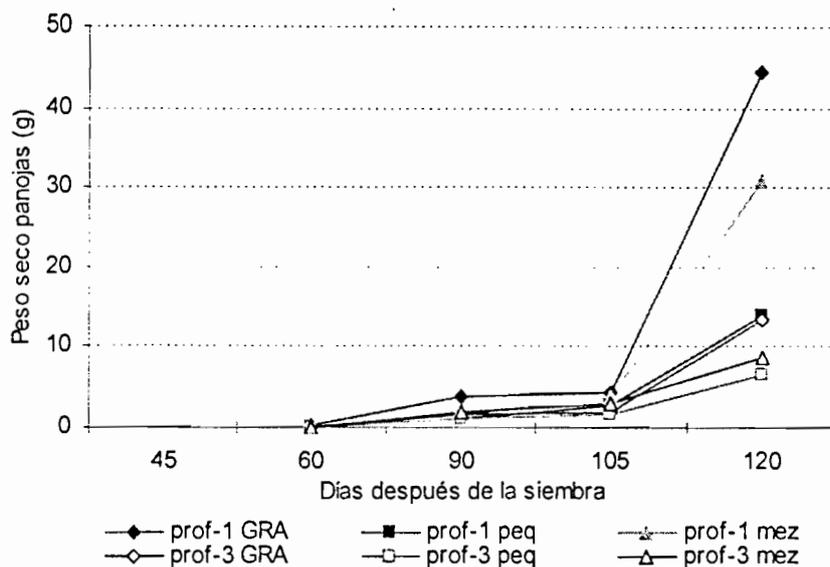


Figura 25. Evolución de la biomasa seca de las panojas plantas por metro cuadrado en los tratamientos estudiados.

Mediante la presente Figura 25, se observa que a partir de los 60 DDS comienzan a mostrar un incremento del peso seco en gramos, que en un principio de la evaluación registró un peso promedio de 0.1 g para ambos tratamientos.

Posteriormente fue incrementándose el peso seco de panoja del tratamiento *prof-1 GRA* de 4.3 gramos con respecto a los otros correspondiente a los 105 DDS. A partir de esta fecha existe un ascenso del peso seco de panoja de 44.5 g correspondiente a *prof-1 GRA* seguido *prof-1 mez* con 31 g para la última fecha de 120 DDS.

Este aumento, se debe a que las plantas desarrollaron mejor sus panojas y como se encontraban en fase de grano lechoso, estos tenían mayor contenido de materia verde y humedad.

Por otro lado los tratamientos correspondientes a profundidad de siembra 1 y 3 cm con tamaño de grano presentaron valores entre 6.6 y 13.9 g de peso seco de panoja respectivamente.

4.3.4 Peso seco en hojas de ramificación

Para la primera evaluación de los 45 DDS, las plantas no presentaban una ramificación distinguible, de tal manera que a partir de los 60 DDS las plantas se hallaban en plena ramificación, donde se inició con la evaluación de esta variable presentado en la Figura 26.

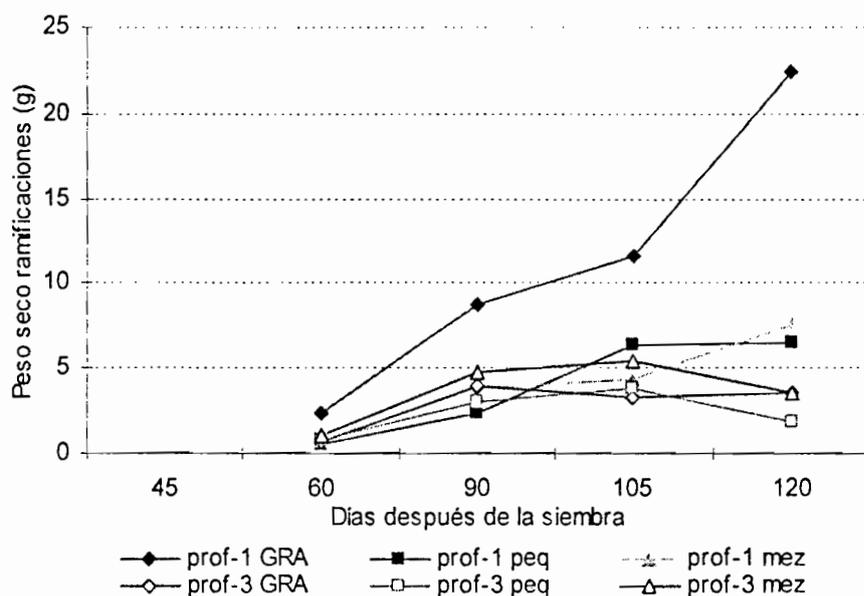


Figura 26. Evolución del peso seco en hojas de las ramificaciones de los tratamientos estudiados.

En esta evaluación correspondiente a los 60 DDS (fase ramificación) el tratamiento de *prof-1 GRA* presenta 2.4 g de peso seco de en hojas de ramificaciones respecto a los otros tratamientos.

Esta superioridad es debido a la menor densidad de plantas correspondientes a este tratamiento, donde desarrollaron las ramificaciones presentando una expansión foliar mayor, aprovechando la luz y la fertilidad del suelo. Sin embargo, los otros tratamientos muestran valores similares, debido a la población similar de plantas, donde hubo competencia, pero, además estas plantas presentaron ramificaciones con menor desarrollo, por la densidad mayor entre las plantas.

Posteriormente tuvo un ascenso en cuanto a valores en peso de hojas de ramificación para la fecha de 90 DDS (fase 50% floración) con 8.8 g de peso seco para *prof-1 GRA* frente a 3.9 g correspondiente a *prof-3 GRA*.

El peso seco en hojas de ramificaciones fue ascendiendo para *prof-1 GRA* con 11.6 g frente a 3.4 g de *prof-3 GRA*, correspondiente a los 105 DDS (fase inicio grano lechoso) y no encontrándose diferencias significativas entre los otros tratamientos.

Llegando a la última evaluación comprendida a los 120 DDS (fase grano lechoso), muestra una superioridad el tratamiento *prof-1 GRA* con valor de 22.4 g de peso

seco frente a 3.6 g para *prof-3 GRA*, seguido de los otros tratamientos cuyos valores oscilan entre 3.6 a 6.4 g de peso seco de hojas de las ramificaciones, este hecho es debido a un mayor desarrollo de las ramificaciones en las plantas de parcelas con menor número de plantas.

4.3.5 Tasa de crecimiento absoluto (TCA)

El incremento de la materia seca por día es expresada mediante la TCA, como se muestra en la figura 27.

El tratamiento *prof-1 GRA*, durante todo el ciclo vegetativo hasta la última evaluación, alcanzó un incremento de MS/día superior a los otros con 2.66 g/día/pl, pero, reportó un valor inferior de 0.57 g/día/pl durante el período comprendido entre 90 y 105 DDS cuando mostraba un incremento de 1.24 g/día/pl. Este efecto es debido a la granizada del 21 de enero (83 DDS), que ha originado la caída de las hojas, pero posteriormente fue recuperando por las ramificaciones que fue desarrollando la planta.

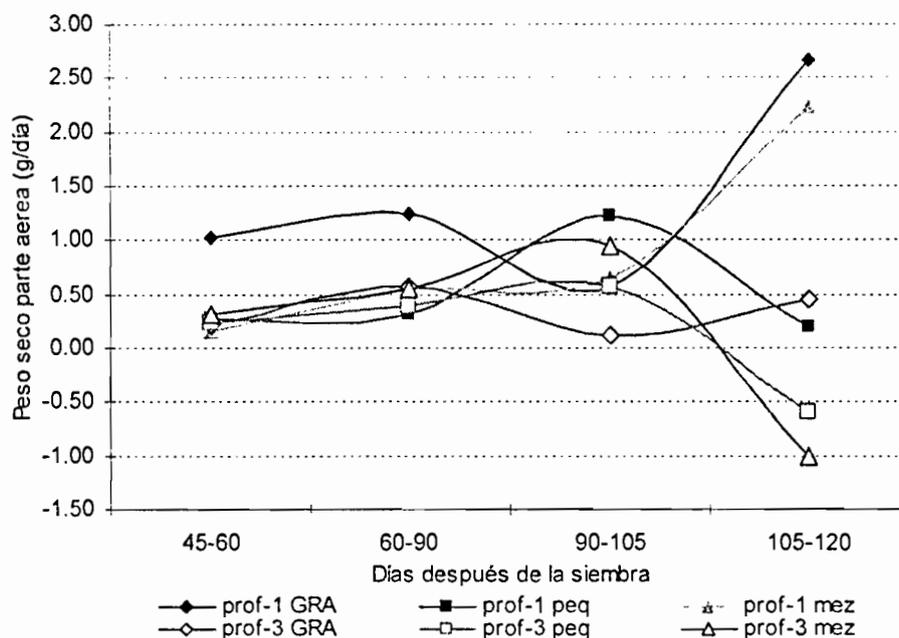


Figura 27. Evolución de la TCA durante el ciclo vegetativo para las plantas de los diferentes tratamientos.

Las plantas correspondientes al tratamiento *prof-1 mez*, presentaron una evolución de MS/día promedio de 0.16 g/día/pl y de 2.23 g/día/pl para la última fecha, la

granizada no afectó este tratamiento, debido a la densidad mayor de plantas que había por parcela reduciendo la caída de las hojas.

Los otros tratamientos tuvieron tendencias muy parecidas durante el desarrollo del ciclo de cultivo, donde las plantas de los tratamientos *prof-1 peq*, *prof-3*; *GRA*, *peq* y *mez* presentaron un incremento promedio de 0.23 g/día/pl .

Cuando las plantas se encontraron en la fase de formación de granos, la defoliación fue ascendiendo, de manera que el incremento de la MS/día se presentó en valor negativo, pues existe un decremento en el aumento de MS/día. Para las plantas correspondientes a los tratamientos *prof-3 peq* y *mez* las mismas presentaron valores de -0.60 y -1.0 g/día/pl, este efecto es debido a la humedad y caída natural de las hojas por la mayor densidad de plantas por parcela que había.

4.3.6 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

El TCR toma en cuenta el nivel de crecimiento al inicio de cada periodo estudiado. El comportamiento de la Tasa de Crecimiento Relativo, para el total de los tratamientos del estudio se muestra en la Figura 28. La evaluación del crecimiento, presentó tendencias similares en los tratamientos estudiados, para lo que se ha uniformizado los datos para una mejor comprensión, destacándose durante el primer periodo (45-60 DDS), las plantas sembradas con grano grande en profundidad de 1 y 3 cm con un incremento en MS/MS presente/unidad de tiempo (g/g/día) habiendo alcanzado a un promedio de 0.178 g/g/día, que es el periodo de mayor eficiencia en la producción de MS/MS/día, posterior a este período que incluye (60-90 DDS) presentó una menor producción de MS/MS/día de 0.048 g/g/día. Para el periodo comprendido entre 90-105 DDS, debido a la granizada del 23 de enero (83 DDS) de acuerdo a la Foto 5, Anexo 10.2, existe una menor producción en MS/MS/día de 0.008 g/g/día. Posterior a este periodo ocurre un recuperación de las plantas debido a las ramificaciones, ascendiendo en la producción de MS/MS/día de 0.025 g/g/día (Figura 28).

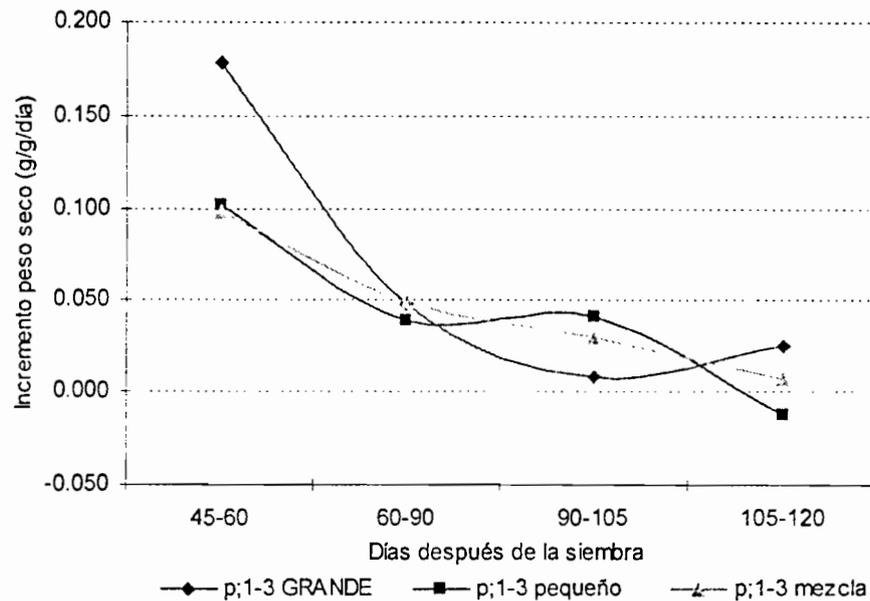


Figura 28. Comportamiento de la TCR durante el ciclo vegetativo de las plantas.

Con respecto a los tratamientos comprendidos a plantas sembradas con tamaño de grano pequeño y mezcla ($\frac{1}{2}$ grande + $\frac{1}{2}$ pequeño) a profundidad de 1 y 3 cm, presentaron comportamientos similares en producción de MS/MS/día entre 0.101 y 0.098 g/g/día para el primer periodo. Por otra parte, la producción de MS/MS/día fue similar hasta los 60-90 DDS con 0.039 y 0.049 g/g/día respectivamente, para el próximo periodo comprendido entre 90-105 DDS, se presentaron valores menores en cuanto a producción de MS/MS/día de 0.041 y 0.030 g/g/día debido la granizada, pero que no causo una mayor caída de hojas por la mayor densidad de plantas.

Para el último periodo existe una pérdida de MS/MS/día para las plantas sembradas con tamaño de grano pequeño con profundidad de 1 y 3 cm de -0.012 g/g/día, debido a la poca actividad de hojas y sobre todo la defoliación natural de las mismas que fue ascendiendo. Finalmente para las plantas correspondientes a *p;1-3 mezcla* presentaron una producción de MS/MS/día de 0.007 g/g/día superior a la profundidad 1 y 3 cm.

4.3.7 Relación Área foliar o Área Específica Foliar (AEF)

Se determinó este coeficiente mediante la relación entre el peso de la lamina de una hoja y el área (cm^2), que nos fue útil para evaluar el área foliar de una planta, donde conocido el peso de las hojas (del tallo principal y de las ramificaciones)

entre los 45 y 120 DDS, se llegó a deducir el índice de área foliar de cada período de evaluación, teniendo en cuenta el número de plantas presentes por metro cuadrado (Figura 29).

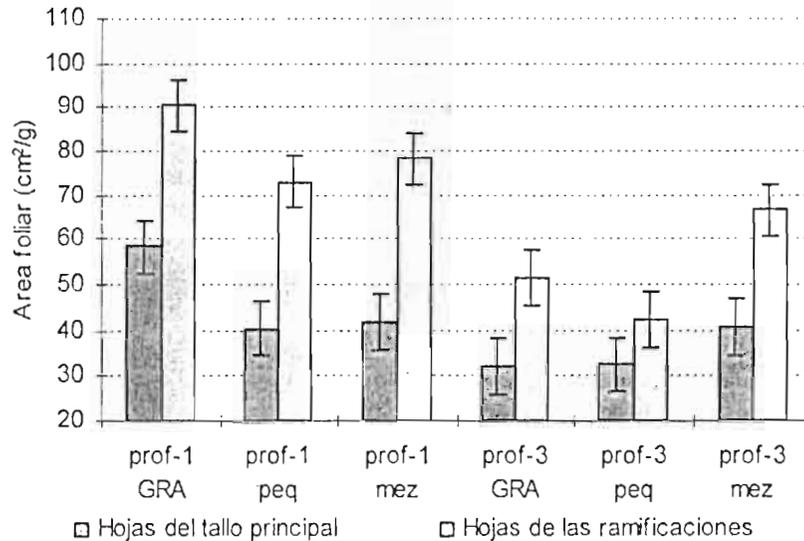


Figura 29. Cociente entre el área (cm²) y el peso seco (g) de lamina de hojas del tallo principal y de las hojas de las ramificaciones ($m \pm 1 DE$).

La evaluación del coeficiente entre el peso y área de las hojas fue realizada para la primera fecha comprendida el 7 de enero, correspondiente a 10 plantas registradas para todo el ensayo, cuidando que sean homogéneas en tamaño y número de hojas. Posteriormente se realizó la separación de las hojas del tallo principal y las procedentes de las ramificaciones primarias, separando ambas partes y teniendo dos grupos uno de las hojas del tallo principal y la segunda de las ramificaciones.

La figura 29, nos muestra que existe diferencia significativa entre los dos tipos de hojas en una planta, por ejemplo para el tratamiento *prof-1 GRA* se registra para los dos coeficientes (por cada 1 g de laminas se tiene 58 cm² para las hojas del tallo principal y 90 cm² correspondientes a hojas de las ramificaciones). Describiendo de esta manera que para una misma cantidad en peso de hojas, la superficie es diferente, lo que nos explica que las hojas de las ramificaciones disponen de hojas más finas y cuando se determina su peso, estas demuestran tener el mismo peso y a su vez la superficie es mayor.

4.3.8 Índice de área foliar (IAF)

Con los coeficientes obtenidos, estos se aplican a los pesos secos de las hojas en los tallos principales y en las ramificaciones de las plantas medidas durante el desarrollo del cultivo entre 45 y 120 DDS. Para una mejor comprensión se han uniformizado los valores del IAF, correspondiente a cada tratamiento. La evolución del índice de área foliar se presenta en la figura 30.

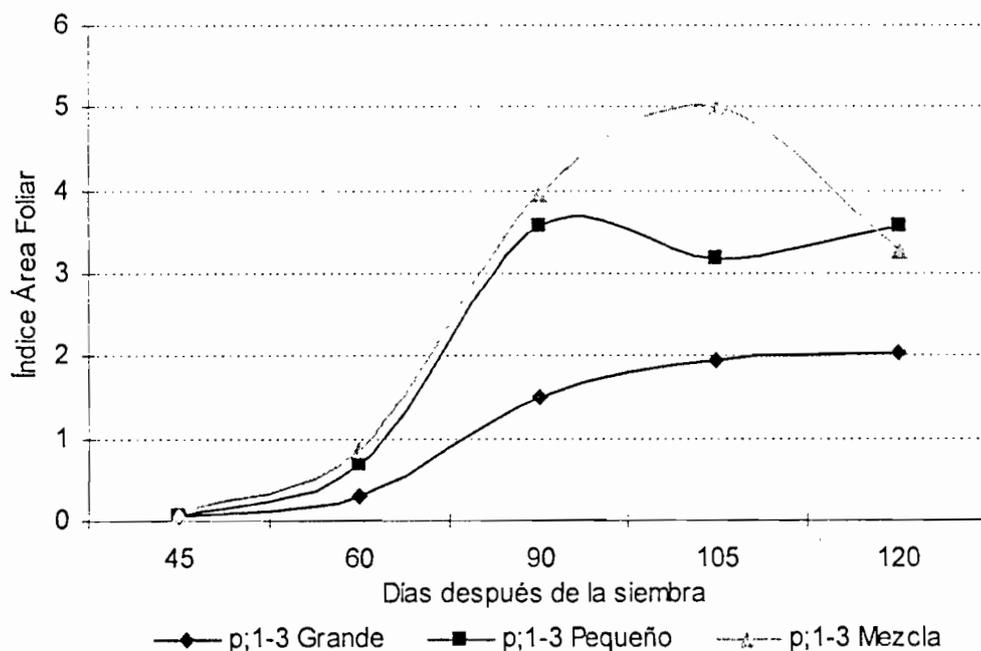


Figura 30. Índice de Área Foliar durante el ciclo vegetativo de los tratamientos.

Las plantas provenientes de semillas de tamaño grande sembrados a 1 y 3 cm de profundidad, presentaron menores índices de área foliar de 0.1 (45 DDS) y 2.0 (120 DDS), debido a la mayor cobertura foliar por planta, pero, la densidad de plantas en un metro cuadrado fue inferior traduciéndose en estos menores índices.

Por otra parte, las plantas procedentes de semillas de tamaño pequeño de 1 y 3 cm de profundidad reportaron índices de 0.1 y 3.6 durante las mismas fechas, presentando una evolución normal del IAF, a causa de una densidad de plantas regular por metro cuadrado.

Para las plantas de semillas mezcla sembradas a profundidades 1 y 3 cm presento el mismo índice de 0.1 a los 45 DDS, mostrando un mayor índice de 5.0 (105 DDS) y 3.3 de IAF para los 120 DDS, debido principalmente a la compensación entre el número de semillas de tamaño grande y pequeño

contenidas en el surco, las que posibilitaron una adecuada densidad de plantas, a fin de evitar la competición por los nutrientes, luz, y agua.

4.4 COSECHA

4.4.1 Longitud de panoja

El análisis de varianza (Anexo 6) para la longitud de panoja determinó diferencias significativas para los factores profundidad de siembra y tamaño de grano.

Asimismo, la longitud de panoja alcanzada a los 156 DDS madurez fisiológica (Foto 7, Anexo 10.3) para los tratamientos *prof-1 GRA*, *prof-3 peq* y *prof-1 mez*, resultaron ser 40.1, 38.5 y 35.7 cm respectivamente, por otra parte los tratamientos *prof-1 peq*, *prof-3 GRA* y *prof-3 mez* presentaron valores inferiores, debido a la densidad mayor de plantas en las parcelas correspondientes a estos tratamientos que afectó la elongación de los entrenudos de la panoja, que alcanzaron a 33.6, 32.9 y 21.3 cm respectivamente. Los tratamientos *prof-1 GRA*, *prof-3 peq* y *prof-1 mez*, mostraron un desarrollo normal las panojas, debido al menor número de plantas que posibilitó la elongación de los entrenudos de las panojas frente a los otros tratamientos *prof-1 peq*, *prof-3 GRA* y *prof-3 mez* (Figura 31).

El coeficiente de variación alcanzado para la variable longitud de panoja fue de 8.2%, valor menor al 30%, límite considerado como máximo para las investigaciones agronómicas.

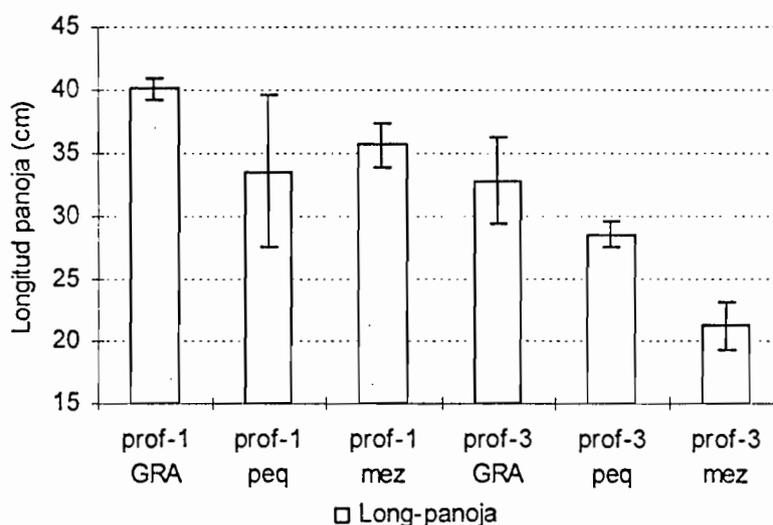


Figura 31. Longitud de panoja de acuerdo a los tratamientos 166 DDS ($m \pm 1 DE$).

El análisis de varianza muestra que existen diferencias altamente significativas para el factor profundidad de siembra de 0.0042 ($Pr < 0.01$) y diferencias significativas para el factor tamaño de grano con 0.0297 ($Pr < 0.05$). Asimismo, no se encontraron diferencias significativas para bloques y las interacciones *Bloque * profundidad* y *profundidad * tamaño de grano*.

4.4.1.1 Longitud de panoja con respecto a la profundidad y tamaño de grano

De acuerdo a la clasificación Duncan, la profundidad de siembra de 1 cm y tamaño de grano grande presentaron diferencias altamente significativas para la longitud de panoja.

El tamaño de grano grande sembrado a profundidad de 1 cm exhibe la mayor longitud de panoja con un valor de 36.5 cm, seguido de granos pequeño y mezcla con 27.6 cm respectivamente (Figura 32).

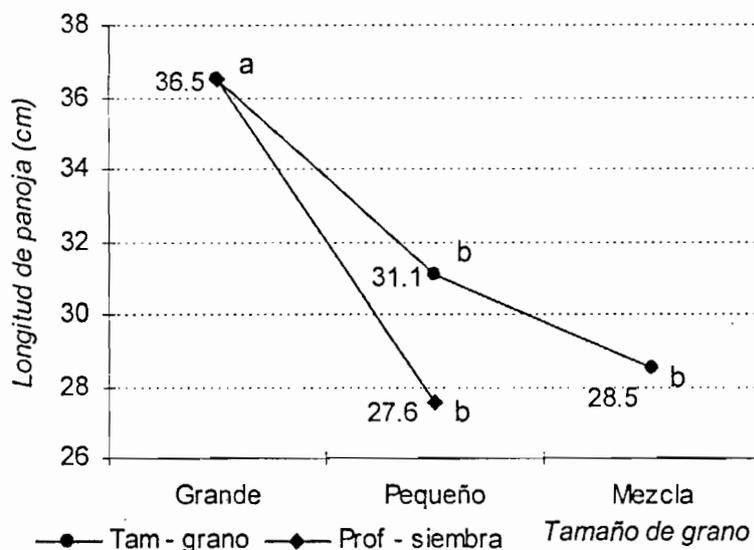


Figura 32. Comportamiento de la longitud de panoja con respecto a la profundidad y tamaño de grano. (una letra diferente entre valor indica una diferencia significativa).

4.4.2 Diámetro de panoja

En la figura 33, se muestran los diámetros de panoja alcanzados a la MF, para el total de los tratamientos. De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 7) presenta un coeficiente de variación de 15.8%, el mismo que indica que los datos son confiables.

Sin embargo, el análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas entre bloques, los factores de profundidad de siembra y tamaño de grano además de las interacciones *Bloque * profundidad* y *profundidad * tamaño de grano*.

Asimismo, la figura 31 nos muestra que hay un rango de menor variación en diámetro de panoja de los tratamientos que se sitúa entre 4.03 y 6.49 cm, respectivamente. Debido a la uniformidad de las plantas en las parcelas.

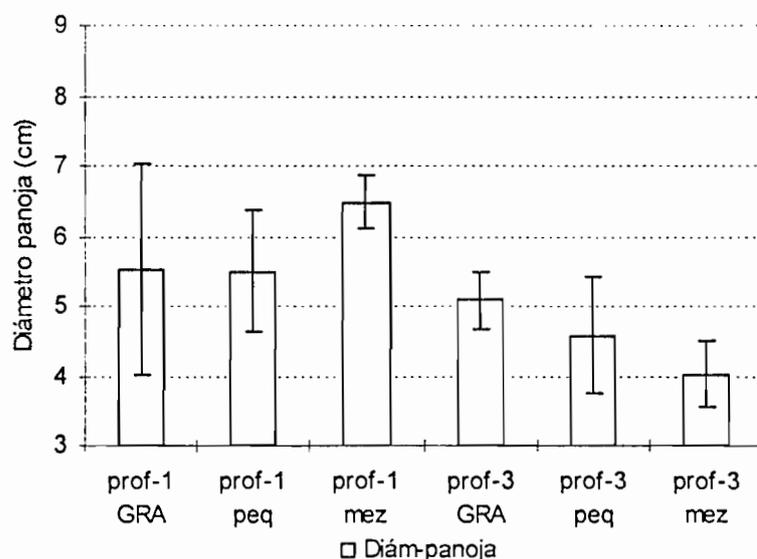


Figura 33. Diámetro de panoja de los tratamientos a los 166 DDS ($m \pm 1 DE$).

4.4.3 Relación entre longitud y diámetro de panoja

La longitud y diámetro de panoja expresan un componente del rendimiento, donde a mayor longitud y diámetro de panoja se presenta una mayor producción de grano. La Figura 34, se aprecia la relación existente entre la longitud y diámetro de panoja.

En el primer orden de la relación entre la longitud y diámetro de panoja aparece el tratamiento *prof-1 GRA* que resultó ser la que alcanzó una mayor longitud de panoja con 40.12 cm como promedio y un diámetro de panoja igual a 5.53 cm a diferencia de *prof-3 mez* ($\frac{1}{2}$ grande + $\frac{1}{2}$ pequeño) que presentó una longitud de panoja de 21.28 cm y un diámetro de 4.03 cm.

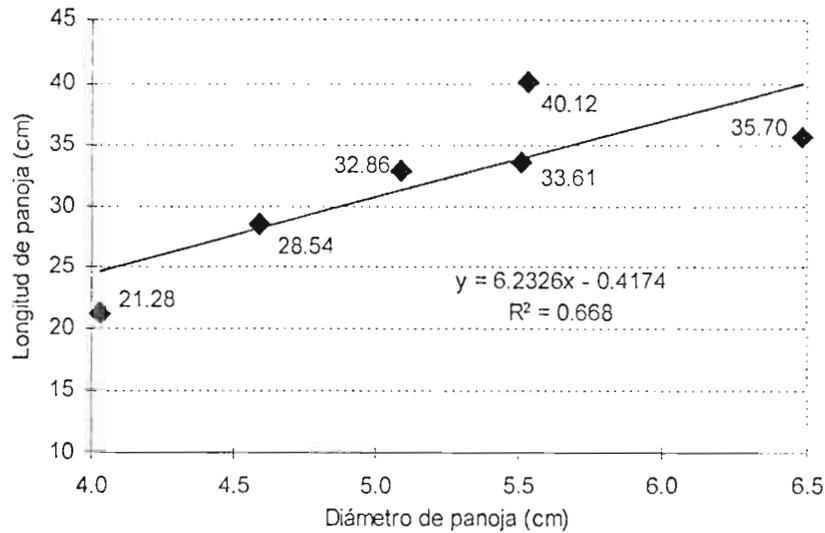


Figura 34. Altura y diámetro de panoja evaluados a la MF (166 DDS).

4.4.4 Peso de mil semillas (PMS)

Desde el punto de vista agronómico, es un dato práctico que sirve para ajustar la densidad de siembra en muchos cultivos de granos y se emplea para informar el tamaño y peso de la semilla, conociendo el peso de 1000 semillas, y por consiguiente, el número de semillas por kilogramo, será fácil determinar el peso de semillas a ser utilizado por área.

Para la determinación de esta variable, se emplearon las semillas maduras de quinua seleccionadas de los tratamientos, donde se efectuó el respectivo conteo a partir de grupos de 1000 semillas, las que fueron pesadas en balanza de precisión cuyos resultados de cada grupo se muestra en la Figura 35.

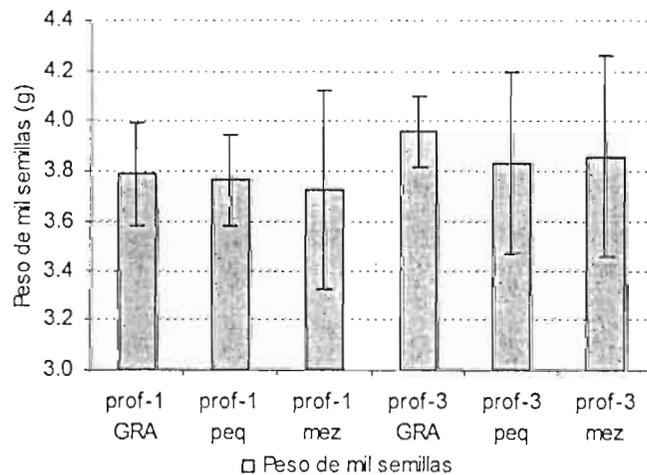


Figura 35. Peso de mil granos de semillas de quinua ($m \pm 1 DE$).

El análisis de varianza (Anexo 8) para peso de 1000 granos presenta un coeficiente de variación de 6.65%, indicando que los datos son confiables. Además, la tabla nos muestra que existen diferencias significativas entre bloques de 0.0267 ($Pr < 0.05$). Sin embargo, no existen diferencias significativas para los diferentes factores e interacciones.

De acuerdo a la figura 35, se aprecia la variación de peso para cada uno de los tratamientos, que se presenta de manera jerárquica, las mismas se encuentran dentro de un rango de 3.963 a 3.725 g de peso de 1000 unidades de semillas, dichos valores guardan relación con el tamaño de grano.

Los pesos de 1000 granos de los tratamientos, varían en el siguiente orden para *prof-3 cm; GRANDE, mezcla, pequeño* y para *prof-1 cm; GRANDE, pequeño y mezcla*, como se observa en el cuadro 9.

Cuadro 9. Peso promedio de 1000 semillas

Tratamiento	Promedio 1000 semillas (g)
prof-1 GRANDE	3.79
prof-1 pequeño	3.77
prof-1 mezcla	3.73
prof-3 GRANDE	3.96
prof-3 pequeño	3.83
prof-3 mezcla	3.86

Se puede asumir que el peso de granos esta correlacionado con el tamaño de los mismos; por otro lado, las características fenotípicas de semillas están determinados por las características genotípicas y la influencia del medio ambiente. Asimismo, Espíndola (1996), en la Estación Experimental de Patacamaya reportó un peso promedio de 4.0 g para 1000 semillas en la variedad Surumi. Sin embargo, Gutiérrez (2003), en la Estación Experimental de Choquenaira determinó el peso promedio de 2.47 g para la misma variedad, pero con un fecha de siembra tardía. Esta variación puede deberse a los factores externos anteriormente descritos que afectan en la formación y llenado de los granos.

En general, el peso de 1000 semillas de quinua, no responde al efecto de la profundidad de siembra y tamaño de grano, presentando una leve variación de peso para los factores mencionados.

4.4.5 Peso de grano por tamaño

Para efectuar la clasificación del grano de quinua según el diámetro, IBNORCA (2002) mediante su Norma Boliviana 312004 (ver cuadro 1, pag. 13) señala rangos de descripción los mismos que comprenden: valores mayores a 2.2 mm considerados como tamaño extra grande (clase especial), entre 1.5 a 2.2 mm de tamaño grandes (clase primera), de 1.35 a 1.75 mm de tamaño medianos (clase segunda) y menores a 1.35 de tamaño pequeño (clase tercera). En general todos los tratamientos presentan granos de diámetro entre los rangos de 2.0 a 2.5 mm. Por su parte Espíndola (1996) señala 2.25 mm y Bonifacio (2002) 2.0 mm de diámetro para la variedad Surumi, corroborando de esta manera el tamaño de grano, citado por los autores (Figura 36).

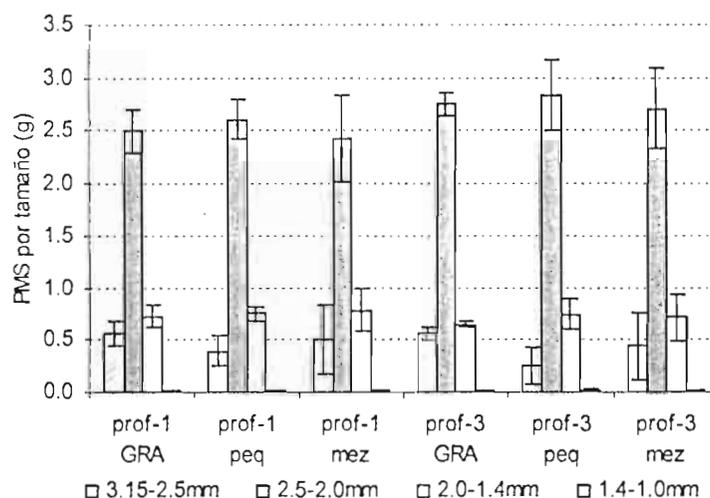


Figura 36. Repartición de los granos a partir de muestras de 100 g de acuerdo a su tamaño ($m \pm 1 DE$).

Por la predominancia en tamaño de grano de 2.0 y 2.5 mm para la variedad Surumi, mediante una comparación con la tabla del IBNORCA, se puede señalar que los granos presentan un tamaño de grano grande.

Las cantidades expresadas en porcentaje, muestran que el tamaño entre 2.0-2.5 es el mejor representado, seguido por granos de diámetro de grano de 2.0 y 1.4

mm expresando en porcentaje entre 19 y 32 %, la presencia de granos de diámetro entre 3.15 y 2.5 muestran un 8 a 13% respectivamente.

Finalmente existe superioridad de granos de diámetro de 2.0 y 2.5 mm, representado al variedad Surumi como una variedad de grano homogéneo.

4.4.6 Peso volumétrico

Es un parámetro que estima el llenado de grano que a su vez implica el grado de desarrollo del mismo y su calidad nutricional. La figura 37, nos muestra el comportamiento del peso volumétrico de las semillas de quinua de los tratamientos estudiados. El análisis de varianza (anexo 9), para el peso volumétrico presenta un coeficiente de variación de 1.13%.

El cuadro muestra que las diferencias encontradas en el peso volumétrico no son estadísticamente significativas, lo cuál muestra que todos los tratamientos han completado la madurez fisiológica de forma satisfactoria. Se observó que existen diferencias altamente significativas de 0.0060 ($Pr < 0.01$) entre los bloques.

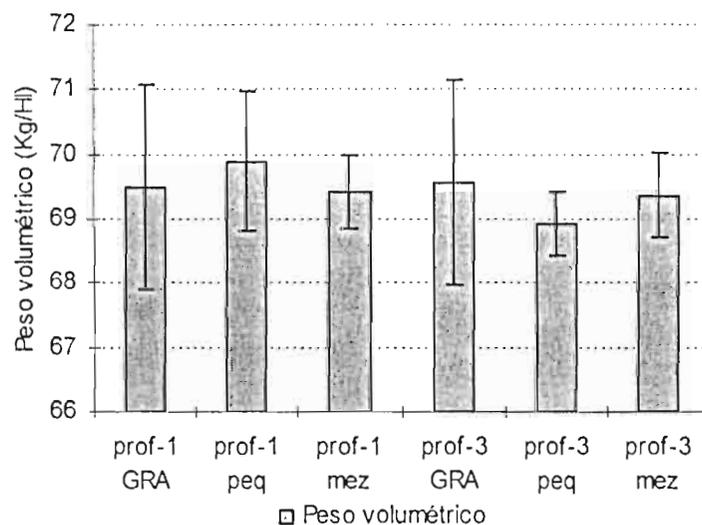


Figura 37. Peso volumétrico de las semillas de quinua ($m \pm 1 DE$).

La Figura 37, muestra el peso volumétrico promedio para las diferentes profundidades de siembra y tamaños de grano, observándose el mayor peso hectolítico en las profundidades de siembra de 1 y 3 cm, lo cuál muestra las diferencias relativas en tamaño de grano.

Por su parte Chipana (1992), reportó a los 164 DDS, los pesos específicos para las variedades Sayaña y Chucapaca (69.86 y 69.08 Kg/Hl). De la misma manera Ferrufino (2003) determinó para la variedad Patacamaya (69.20 y 70.20 Kg/Hl). Concluyendo que la profundidad de siembra y el tamaño de grano en la quinua determina diferencias relativas en las características agronómicas de las plantas, sin embargo, estas diferencias no determinan diferencias estadísticamente significativas para el peso volumétrico de grano. La explicación de esta diferencia puede proceder de una diferencia entre el cumplimiento del ciclo hasta la madurez entre las diferentes parcelas.

4.4.7 Humedad de semilla de quinua

El comportamiento de la humedad de las semillas se encontraron en el rango que establece el ISTA (1985) de un máximo de 14%, mediante la Figura 38 se presenta el peso seco de la semilla con respecto a la humedad de la misma. Donde a los 166 DDS, las semillas presentaban un 10% de humedad. Al respecto Feistritzer (1985) menciona que los estados de la madurez de los cereales y leguminosas, están relacionados con el porcentaje de humedad del grano y características de las plantas, por la que propuso la clasificación en madurez lechosa, madurez fisiológica, madurez amarilla, madurez completa y madurez pasada, cuyos contenidos de humedad en los granos son de 50, 40-30, 25, 18, 14-10% respectivamente.

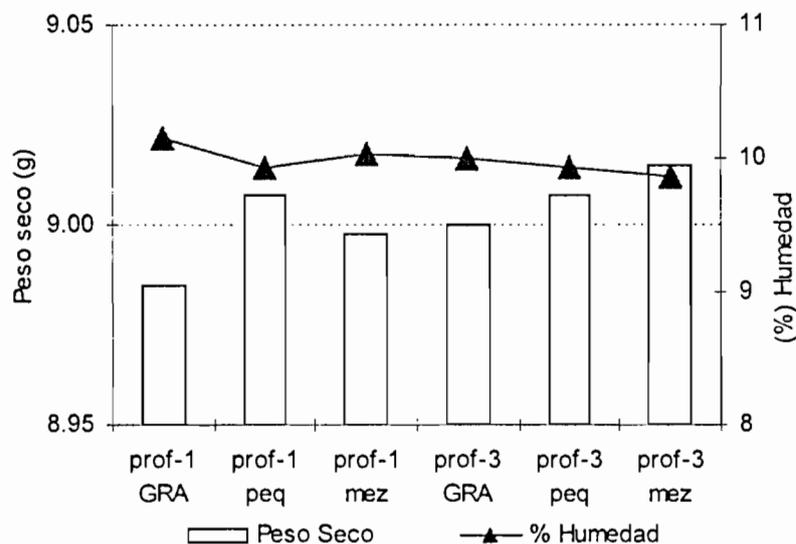


Figura 38. Comportamiento del peso seco de semillas y humedad.

4.4.8 Pureza física

El análisis de pureza realizada en granos de quinua procesados de forma manual, muestran que estas contienen menor porcentaje de impurezas las mismas que comparadas según los grados de tolerancia al nivel de 5% de probabilidad, se encuentran dentro el rango de 0.30 a 0.52% de impurezas en los tratamientos de quinua; igualmente haciendo comparaciones en los granos de quinua se encontró una variación 0.35 a 0.52% de probabilidad, presumiéndose que las semillas poseen una buena pureza física y calidad.

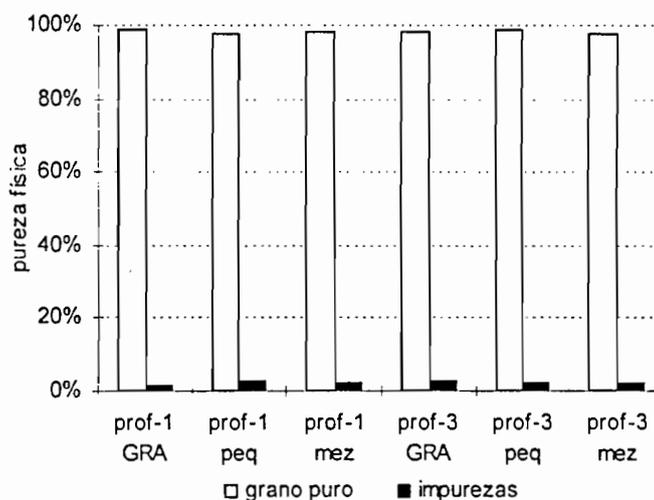


Figura 39. Pureza física de las semillas de quinua.

Las semillas de quinua seleccionada manualmente, contienen 98% de pureza al nivel de 5% probabilidad (ISTA, 2002) por tanto se evidencia que las semillas de quinua obtenidas en nuestro caso se encuentran en el rango de tolerancia admitida (Figura 39).

Asimismo las reglas de la ORS (1996) establecen como 98% de pureza, donde el valor determinado en el presente estudio de las semillas de quinua se halla en buen termino.

4.5 RENDIMIENTO

4.5.1 Índice de cosecha y rendimiento

El Índice de cosecha (IC) alcanzado por los tratamientos se muestra en la figura 38. En general, se aprecia que las plantas sembradas con grano pequeño a profundidad de 1 cm alcanzó un nivel superior de IC (0.405) referente a las plantas

sembradas con grano grande y mezcla ($\frac{1}{2}$ grande + $\frac{1}{2}$ pequeño) a la misma profundidad con 0.279 y 0.240 respectivamente.

Con respecto a la profundidad de 3 cm de siembra se destacan las plantas provenientes de grano grande con IC (0.305), seguido con grano pequeño y mezcla reportando valores de 0.303 y 0.287.

Al respecto Gutiérrez (2003), reportó un índice de cosecha en un rango entre 0.20 y 0.19 para la variedad de quinua Surumi, en el presente ensayo los valores hallados se encontraron en los rangos de 0.27 y 0.40. Esta superioridad es debida a la menor densidad en número de plantas de las parcelas correspondientes a profundidad de 1 cm, donde estas desarrollaron ramificaciones y panojas de longitud y diámetro superior a las demás.

Sin embargo, las condiciones de este ensayo fueron diferentes, donde la fecha de siembra era en diciembre eso muestra el efecto de las condiciones climáticas en el Índice de Cosecha elaborada. En nuestro caso, las plantas de quinua han llegado a completar su ciclo traduciéndose los resultados en un adecuado aprovechamiento de los factores del clima (luz) del medio (elementos minerales, agua del suelo) para producir granos: de tal forma en convertirse en una biomasa útil de la planta que son los granos (Figura 40).

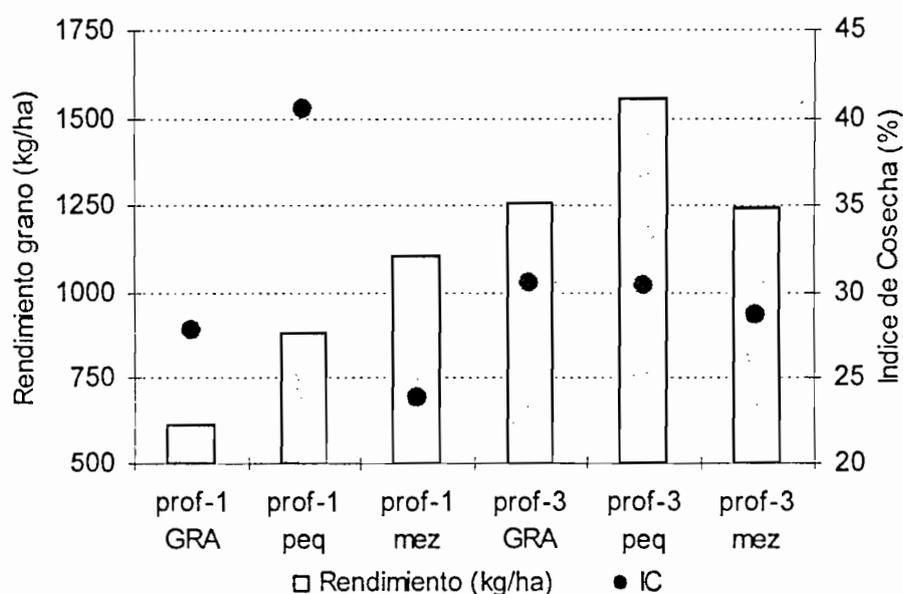


Figura 40. Rendimiento e Índice de cosecha de los tratamientos.

4.5.1.1 Relación del Rendimiento e Índice de cosecha con respecto al tamaño de grano

De acuerdo a la Figura 40 a, los valores reportados para el rendimiento e índice de cosecha respecto al tamaño de grano, mostraron para grano grande 940 kg/ha y 0.29; para grano pequeño 1219 kg/ha con 0.35 y en grano mezcla 1174 kg/ha con 0.26. Los valores observados muestran que los granos pequeños presentaron mayor rendimiento e índice de cosecha superior a grano grande y mezcla. Esta superioridad se debe al efecto de mayor cantidad en granos producidos por planta con respecto a la biomasa seca total de la planta, afirmación corroborada por Beadle (1988). En resumen las plantas sembradas con grano pequeño alcanzaron un índice de cosecha y rendimiento superior al resto de grano grande y mezcla.

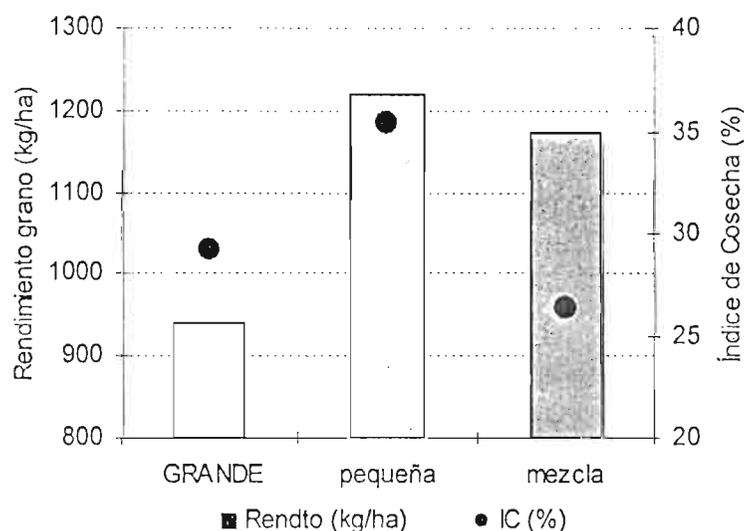


Figura 40 a. Relación del rendimiento e índice de cosecha con respecto al tamaño de grano.

4.5.1.2 Relación del Rendimiento e Índice de Cosecha con respecto a la profundidad de siembra

Con referencia a esta relación las plantas sembradas a 3 cm de profundidad presentaron un rendimiento de 1353 kg/ha e índice de cosecha de 0.30 y para la profundidad de 1 cm de siembra con 869 kg/ha y 0.31. Las plantas con siembra de 3 cm de profundidad fueron superiores en rendimiento con respecto a profundidad de 1 cm. Sin embargo, para índice de cosecha mostraron similitud numérica en ambos (Figura 40 b).

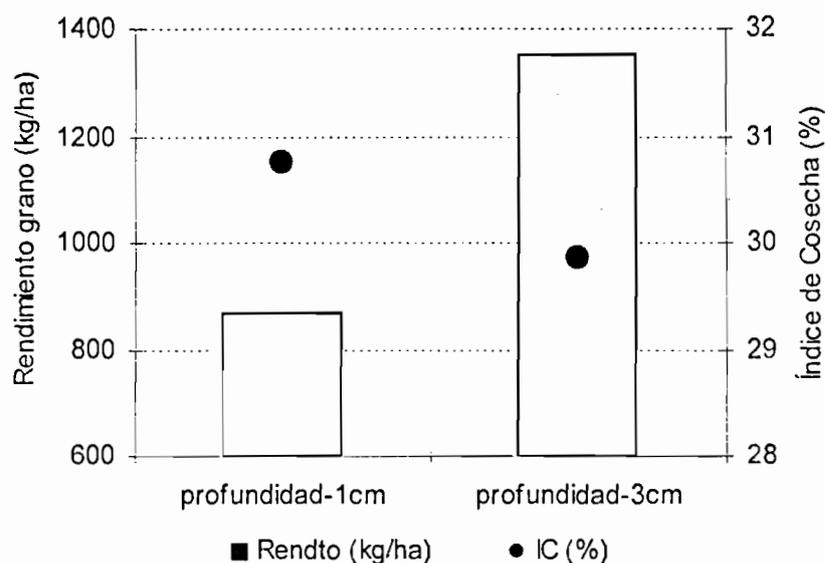


Figura 40 b. Relación del rendimiento e índice de cosecha con respecto a la profundidad de siembra.

4.5.2 Rendimiento de granos kg/ha

Esta variable fue evaluada mediante dos formas (Foto 8, Anexo 10.3), la primera consistió en el conteo y cosecha de plantas en 2 metros lineales (correspondiente a 1m^2) y la segunda toda la parte central de la unidad experimental de 14.8m^2 con el fin de comparar las 2 formas.

El rendimiento correspondiente a la primera forma nos hace entender como una manera de obtener valores precisos sobre las plantas cosechadas en un metro cuadrado, en cambio la segunda puede existir una variación que puede deberse a la heterogeneidad en número de plantas en las parcelas. Se observó una correlación de $r = 0.618$ entre los rendimientos de ambas formas de cosecha, que señala que no existen diferencias significativas, debido a la variación en número de plantas por metro cuadrado y plantas por parcela útil que originan diferencias en el rendimiento de granos (Figura 41)

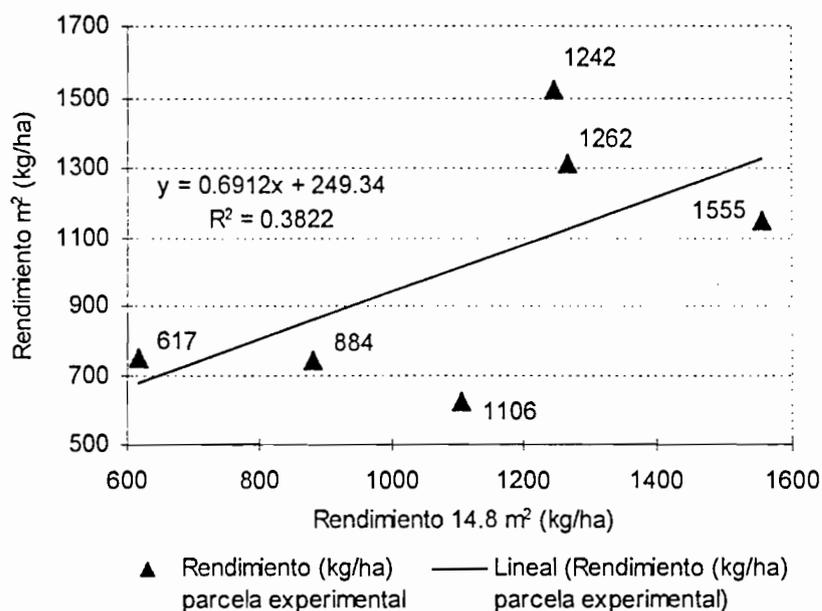


Figura 41. Rendimiento de semillas de quinua, cosechadas mediante dos formas de evaluación.

4.5.2.1 Efecto del número de plantas sobre el rendimiento

La figura 42 muestra la relación entre el número de plantas sobre el rendimiento. Los granos pequeños sembrados a profundidad de 3 cm presentaron mayor número de plantas generando un rendimiento equivalente a 1555 kg/ha, siendo superior a los otros tratamientos debido a 46 plantas cosechadas en un metro cuadrado frente a las plantas correspondientes a granos grande sembrados a profundidad de 1 cm que muestran un rendimiento de 617 kg/ha con una densidad menor de 8 plantas por m². Sin embargo al presentar pocas plantas, estas presentaban ramificaciones que aportaron en grano.

Mediante una prueba de correlación sobre el efecto de número de plantas en el rendimiento, nos muestra $r = 0.8701$ con un nivel de significancia ($Pr < 0.05$), y señala que existe asociación entre el número de plantas por metro cuadrado y el rendimiento, es decir que por cada 17 plantas se espera un incremento promedio de 686 kg/ha de rendimiento de grano, dependiendo de un buen manejo agronómico del cultivo y otros factores que acompañan.

De acuerdo a Espíndola (1996) y Bonifacio (2002), señalan que para la variedad Surumi el rendimiento en cultivo extensivo es de 1100 kg/ha, por lo que el

presente ensayo se enmarca dentro en este rango, donde los tratamientos presentaron un rendimiento promedio de 1111 kg/ha.

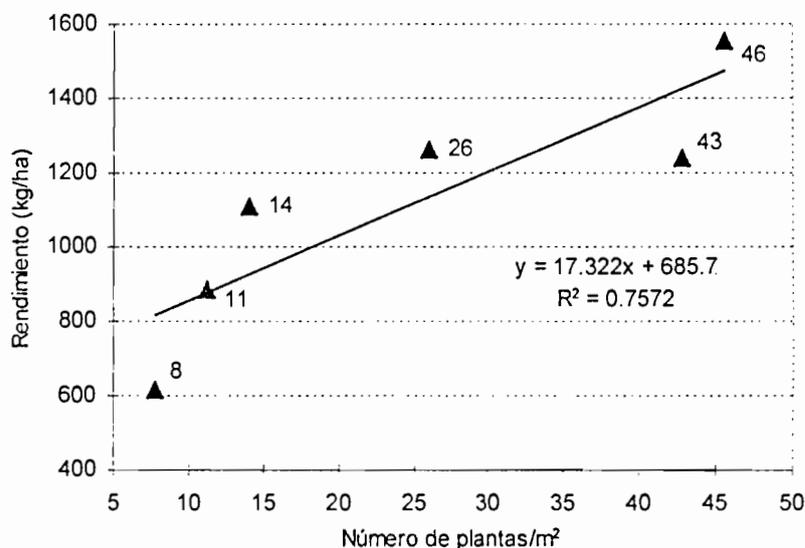


Figura 42. Efecto del número de plantas normales y ramificadas en el rendimiento de grano.

4.5.3 Elaboración del rendimiento de quinua

4.5.3.1 Componentes de rendimiento

El rendimiento de un cultivo varía fuertemente en una misma parcela y entre parcelas de una misma explotación o de una misma región agrícola. Esta variabilidad resulta de interacciones complejas entre la heterogeneidad del medio (Meynard y David, 1987), la diversidad de los sistemas de cultivo (producto de la historia agraria) o conocido como el itinerario técnico además del clima y el año. Es necesario tomar en cuenta los factores limitantes que existe en el campo (Crozat, 2003 y Latiri-Souki *et al.*, 1992).

El producto de los componentes de rendimiento es un concepto relativamente antiguo. Fue puesto en términos racionales por Grafius (1965) citado por Calle y Germain (1995). Son "componentes del rendimiento" el resultado de una descomposición matemática del rendimiento, donde éste resulta de la multiplicación acumulativa de una demografía de órganos por el peso del último. Así, en el caso de la quinua, el rendimiento se descompone en el producto del peso de 1 grano (muchas veces expresado por el peso de 1000 granos por el número de granos por unidad muestra m^2), este segundo "componente" puede

también descomponerse en el número de granos por panoja multiplicado por el número de panojas por unidad de muestra, que a su vez puede descomponerse en el número de panojas por planta multiplicado por la densidad del cultivo (número de plantas por m^2).

A su vez, Mamani (2004) menciona sobre los componentes de rendimiento como el producto de interacciones y manifestaciones de varios caracteres fenotípicos, los cuales se traducen en la producción de grano de cañahua y ejercen una influencia directa de los órganos sobre otros durante el ciclo del cultivo; el proceso de desarrollo de las partes de la planta pueden ser asociados entre los componentes que forman cohibición competitiva entre algunos caracteres de expresión morfológica.

La figura 43, presenta un esquema de los factores que influyen en la producción de grano de quinua de la variedad Surumi, donde las plantas para llegar a formar panojas, tienen que pasar por una serie de actividades como las labores de preparación del suelo para la siembra, la fecha de siembra, la profundidad de siembra, el tamaño de semilla, la densidad de semillas a utilizarse.

Estas actividades son importantes, y dependen para una buena implementación del cultivo, además de la precipitación oportuna, favorecerá un campo húmedo, en que las semillas realizaran el proceso de germinación, que corresponde una acción metabólica donde el embrión asegura la elongación de la radícula y después los cotiledones, seguido posteriormente de la emergencia, crecimiento y desarrollo de las nuevas plántulas.

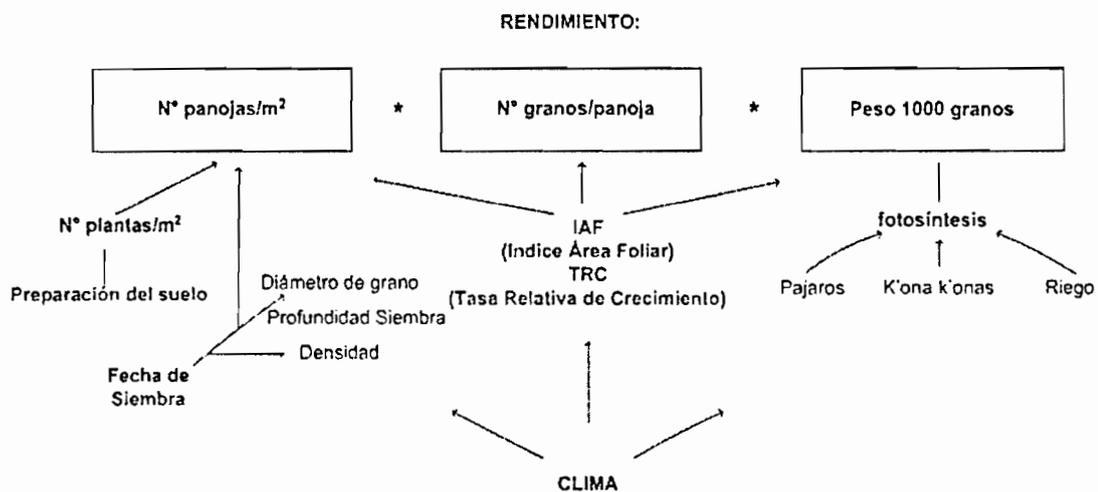


Figura 43. Esquema simplificado de la elaboración del rendimiento de la quinua var. Surumi (adaptado de Vilain, 1987)

Otro factor importante para el desarrollo de las plantas, es el componente clima, donde una precipitación oportuna generara la emergencia y crecimiento de las plantas, así la radiación, la concentración de CO₂, coadyuvan en la elaboración de fotosintatos útiles para la planta, traduciendo en el incremento del Área Especifica Foliar, dando como resultado, la buena formación de los granos, pero puede tener una influencia negativa el ataque de pájaros, larva y sobre todo el riego, sobre la actividad fotosintética de la hojas.

Entonces, todos estos factores se encuentran interrelacionados entre si, para llegar a convertirse en el rendimiento del cultivo de la quinua.

Para la obtención de la producción de un cultivo están involucrados un serie de componentes que interactúan, como se muestra en la Figura 44, el crecimiento de las plantas referidas a los tratamientos en función a los Grados – Día acumulados.

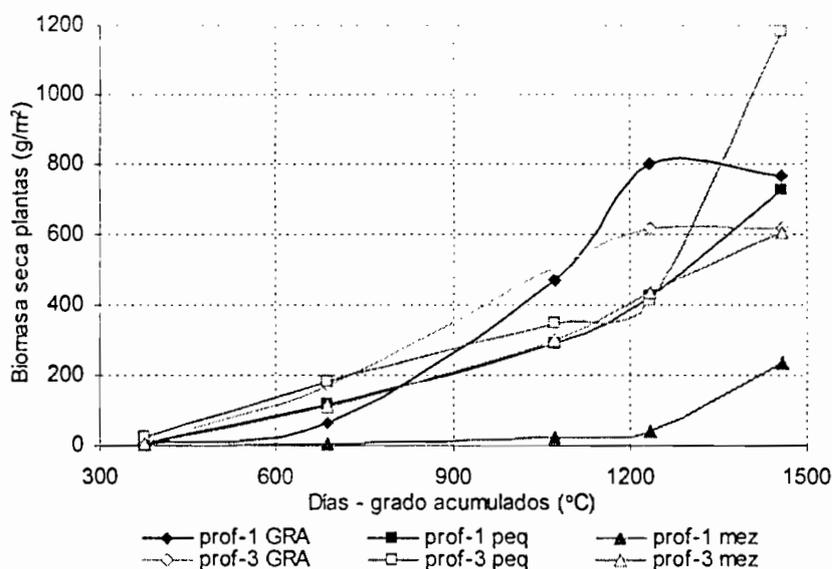


Figura 44. Evolución de la biomasa seca por m² de las plantas de quinua en función de Días – grado acumulados.

De acuerdo a la Figura 44, las plantas del tratamiento *prof-3 peq*, presentaron una máxima acumulación de biomasa seca de 1183g/m² a los 120 DDS, donde la sumatoria de los grados – día acumulados corresponde a 1463 °C, seguido por plantas del tratamiento *prof-1 GRA* con 765.8 g/m² frente a los demás tratamientos, esta superioridad es debida a la densidad mayor en número de plantas por metro cuadrado, que originaron el aumento de biomasa seca y la expansión de las ramificaciones foliares que compensa el incremento de biomasa

de la planta, por consiguiente la acumulación durante el periodo de desarrollo del cultivo juega un papel importante sobre la planta.

La evolución de la biomasa de la plantas, se presenta en una relación estrecha con la acumulación o suma de temperaturas, fisiológicamente con el aumento de la actividad fotosintética y la producción de la planta.

4.5.3.2 Relación entre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado

Primero, examinemos como conviene describir en el caso de la quinua la elaboración del rendimiento en función de sus diferentes componentes. La ecuación base es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \text{Número de granos/m}^2 * \text{Peso medio de un grano}$$

Estos dos componentes bien delimitados se forman durante las fases del ciclo del cultivo, cada uno esta influenciado por los factores y condiciones del medio durante su fase de formación, de donde resulta que se puede utilizar el valor de un componente del rendimiento como indicador del carácter más o menos favorable del medio (Meynard y David, 1987). En este aspecto, la calidad del grano juega un papel importante, por que es el producto que se comercializa y debe obedecer a ciertas exigencias que así lo dispone el mercado.

La Figura 45, muestra la relación existente entre el número de semillas por metro cuadrado y el rendimiento.

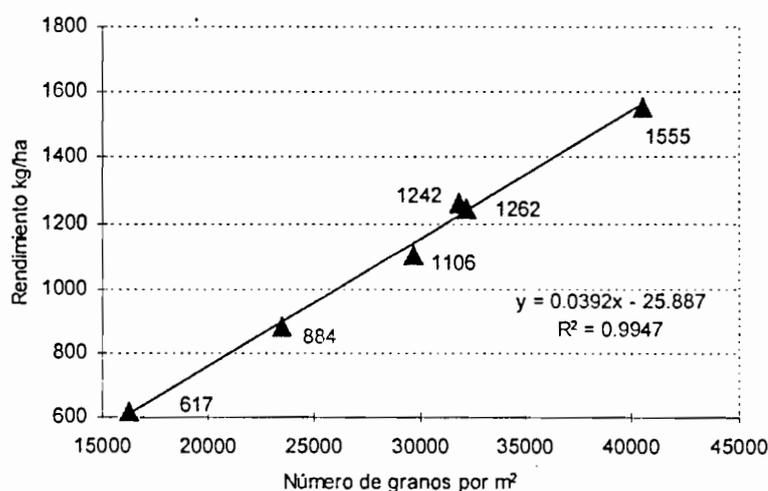


Figura 45. Relación entre el rendimiento y el número de granos por metro cuadrado.

La pendiente de la regresión lineal establece la relación entre el número de semillas por metro cuadrado y el rendimiento 440561 semillas para un metro cuadrado. Respecto a los tratamientos ambos muestran un valor significativo ($Pr < 0.05$), mostrándose una alta correlación positiva lineal de $r = 0.99$, entre N° de granos/ m^2 y el rendimiento y se puede esperar que a medida que el número de granos por metro cuadrado se incremente también aumenta el rendimiento. En otras palabras, el número de granos por metro cuadrado explica el 99.7% de la variación total en el rendimiento.

4.5.3.3 Relación entre el peso de mil semillas y el rendimiento.

La información acerca del peso de mil semillas es importante, por que nos hace conocer la relación entre el tamaño de la misma y su peso, este indicador nos muestra también el valor sobre el rendimiento (Figura 46).

El peso de mil semillas (PMS) presentó un rango entre 3.79 y 3.96 gramos, donde el tratamiento *prof-3 peq* muestra un rendimiento de 1555 kg/ha y 3.83 g en PMS, por otro lado los tratamientos *prof-3 GRA* y *mezcla* ($\frac{1}{2}$ grande + $\frac{1}{2}$ pequeño) presentaron rendimientos inferiores con 1262 y 1242 kg/ha y 3.96 y 3.86 g respectivamente, esta variación puede deberse al peso y número de semillas grandes o pequeñas de los tratamientos correspondientes.

En este caso se demuestra que las semillas que fueron sembradas a profundidad de 3 cm, no tuvieron problemas en el establecimiento, hasta llegar a la maduración fisiológica, por que al inicio se contaba con la suficiente humedad y la densidad de plantas por surco.

El coeficiente de correlación de $r = 0.432$, señala que no existe una asociación directa entre el peso de mil semillas y el rendimiento, desprendiéndose que a menor peso de granos el rendimiento será menor y a la inversa, a mediada que aumenta el peso de mil semillas también aumenta el rendimiento de grano.

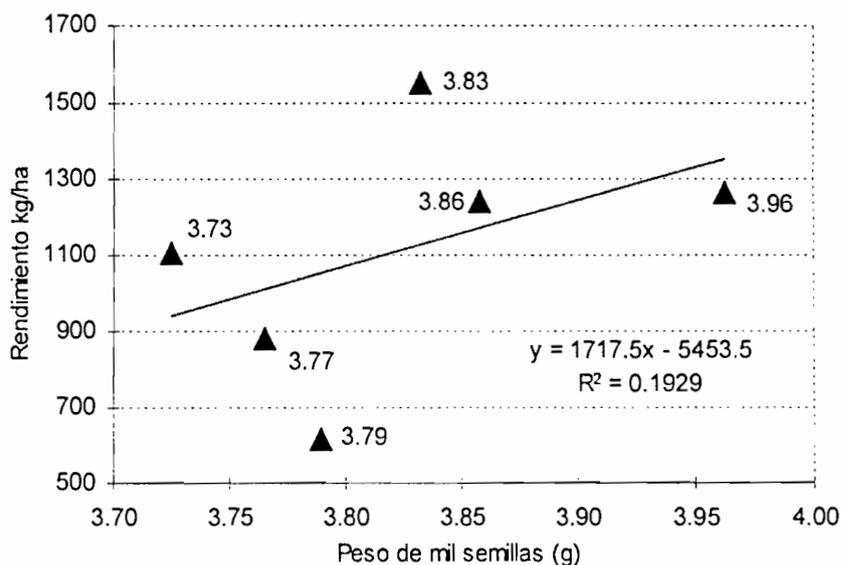


Figura 46. Relación entre el peso de mil semillas y el rendimiento.

4.5.3.4 Relación entre la biomasa seca de plantas y el número de granos

Según la planta va incrementando en peso y volumen, este también va generando el desarrollo de sus órganos.

Durante el desarrollo del cultivo, el comportamiento de la precipitación, la temperatura fueron normales, lo que ha favorecido el crecimiento y desarrollo de las plantas. El incremento de la biomasa en las plantas tiene su relación en el desarrollo de los otros órganos, en este caso se han desarrollado las ramificaciones, las panojas, los glomérulos y los granos.

Los tratamientos referidos en cuanto a granos sembrados a 3 cm de profundidad, presentaron una biomasa seca en plantas en un rango de 1176.4 y 680.1 g/m² y número de semillas por planta entre 752.8 y 1224.9 semillas por planta, por otra parte con respecto a profundidad de 1 cm las plantas muestran entre 646.7 y 225.5 g/m² de biomasa seca con un rango de número de semillas por planta entre 2085.9 y 2120.9 semillas (Figura 47).

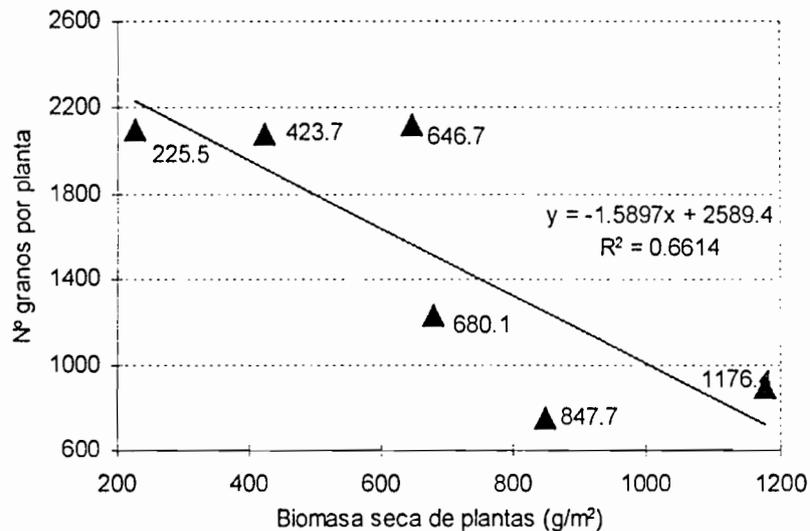


Figura 47. Relación entre la biomasa seca de plantas y el número de granos por planta.

La densidad en número de plantas por surco y el espacio entre las mismas ha tenido un efecto en el desarrollo de las panojas y por supuesto en el número de granos por planta, las plantas de prof 3 cm muestran menor cantidad de semillas por planta, este efecto es debido a la mayor densidad de plantas en el surco que ha originado un incremento de biomasa por superficie y el desarrollo normal de las panojas.

Sin embargo, las plantas de la profundidad de 1 cm, presentan menor biomasa, pero mayor número de granos por planta, es decir, las plantas han tenido espacio para aprovechar la luz, el desarrollo de las panojas, aumentando así el número de granos por planta por presentar ramificaciones, esta densidad menor en plantas es debida a que en las primeras semanas y a la profundidad de 1 cm, algunas semillas fueron consumidas por los pájaros y muerte por la sequedad de la cama de siembra.

De acuerdo a las condiciones de nutrición, existe una correlación de $r = -0.813$, encontrándose significancia ($Pr < 0.05$), de asociación entre el número de granos por planta y la biomasa seca (g/m^2), donde a medida que la planta asimile los nutrientes y transforme en materia seca, menor será la distribución a las panojas y la formación de los granos

6 ENSAYO EN MACETAS

6.1 Macetas con cama de siembra conformado por arena fina

El primer ensayo en macetas se utilizó como una prueba preliminar, con el fin de observar el comportamiento del tamaño de semillas sembradas a 5 profundidades sobre arena fina como cama de siembra, donde se evaluaron la altura de las plántulas y curvas de crecimientos de los diferentes tratamientos.

6.1.1 Altura de plántulas

Para esta variable se midió la altura de plántulas correspondientes de los diferentes tratamientos, desde la emergencia hasta los 18 días después de la siembra (Foto 12, Anexo 10.4).

Durante los primeros días, donde algunas semillas no germinaron y por lo tanto no emergieron de la cama de siembra, debido a factores como la viabilidad de las semillas o el tamaño de la misma por debajo del sustrato. Comparando la profundidad de siembra de 1 cm, cada aumento de 1 cm de profundidad provoca un día de retraso en la emergencia de la plántulas, por tratarse de una cama de siembra suave en este caso de arena fina, por su fuerza las semillas de tamaño grande emergieron un día más antes, seguidos después por semillas pequeñas y medianas (Figura 48).

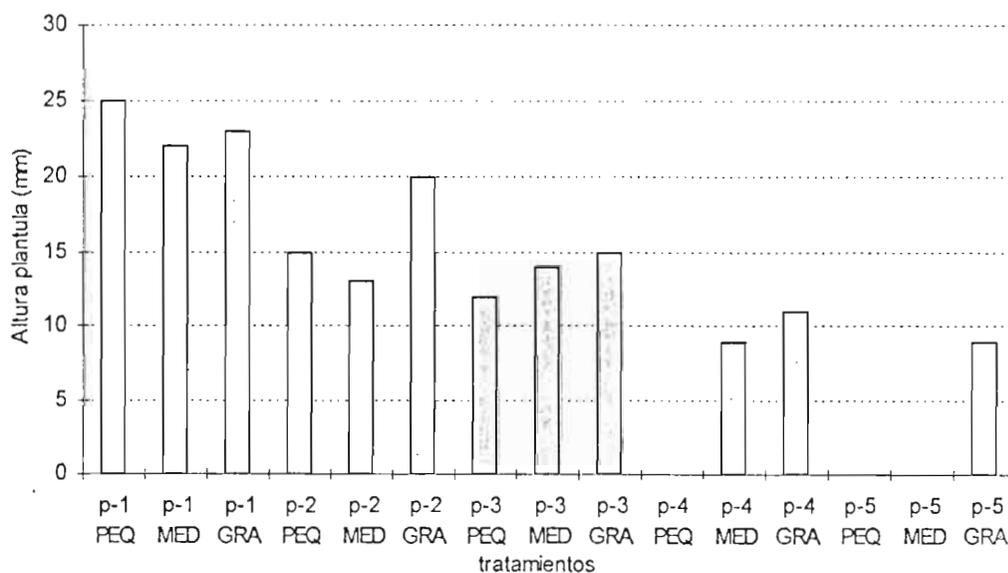


Figura 48. Altura de plántulas 18 días después de la siembra en relación con el tamaño del grano y la profundidad de siembra en condiciones no limitantes de agua. (leyenda : p = profundidad)

De acuerdo a la Figura 48, para las profundidades de 1 cm de siembra, las plántulas reportaron un valores en cuanto a altura de 25, 22 y 23 mm para semilla pequeña , mediana y grande; a su vez para profundidad de 2 cm de 15, 13 y 20 mm para semilla pequeña, mediana y grande, mientras para profundidad de 3 cm presentó de 12, 14 y 15 mm para semilla pequeña, mediana y grande confirmando, que al aumento del espesor de la cama de siembra provoca un retraso en la emergencia y el crecimiento de la plántula. Finalmente para las profundidades de 4 y 5 cm, presentaron alturas inferiores las plántulas de semillas grande y mediano.

4.6.1.2 Longitud y ancho de hoja cotiledonar

En la figura 49 se muestra el crecimiento de la longitud y ancho de la hoja cotiledonal, donde las plantulas de semillas grandes, medianas y pequeñas a una profundidad de 1 cm (p-1) reportan mayor crecimiento de las hojas cotiledonales en comparación a los demás tratamientos (p-2, p-3, p-4 y p-5).

Esta afirmación es corroborada por Boubaker *et al.*, (1999), donde manifiestan que desarrollo de estos órganos vegetativos como la radícula y cotiledón están asociados con la profundidad de siembra, además del peso específico de la semilla que influye en la germinación y emergencia. Tratándose del presente ensayo compuesto por una cama de siembra de arena fina y de acuerdo a las profundidades propuestas, la emergencia de las semillas fue de manera ideal.

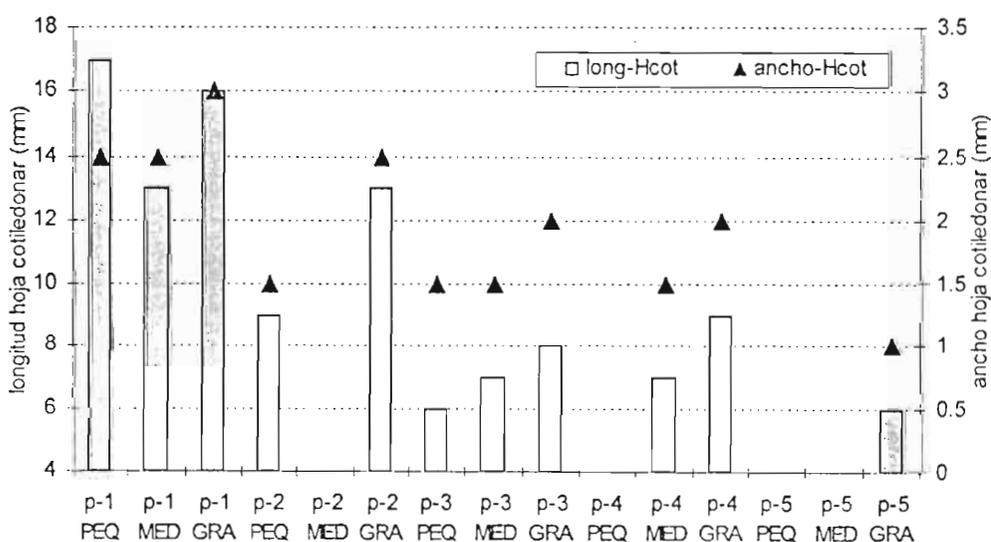


Figura 49. Relación entre longitud y ancho de hoja cotiledonar 18 DDS.

4.6.2 Macetas con sustrato y cama de siembra conformado por suelo del lugar

Este ensayo comprendió en la siembra de granos de tres tamaños: grande, pequeño y mediano bajo tres profundidades de siembra, en macetas con sustrato y cama de siembra conformado por suelo del lugar, con la finalidad de observar el comportamiento de las mismas, además de la biomasa a una determinada fecha para comparar la relación entre la parte subterránea y aérea.

4.6.2.1 Altura desde la base a la inserción de la hojas cotiledonares

Como resultado, tanto las plántulas de semillas grandes, medianas y pequeñas bajo profundidad de 3 cm, desarrollaron mayor altura desde la base hasta el punto de inserción de las hojas cotiledonares (14 DDS), debido a la humedad disponible en esta profundidad de acuerdo al suelo con textura Franco conformado por 18.8% arcilla, 48% limo y 33.3% de arena (Anexo 1 b).

Se confirma la aseveración propuesta por Tamet *et al.*, (1996), que para tener una eficiente emergencia la cama de siembra y la estructura del suelo conjugan en la emergencia de la plántula. A su vez, Vilche *et al.*, (2003), señala que las semillas de tamaño grande debido a su peso específico acumulan más humedad y que posteriormente se traducirá en la emergencia de la plántula (Figura 50).

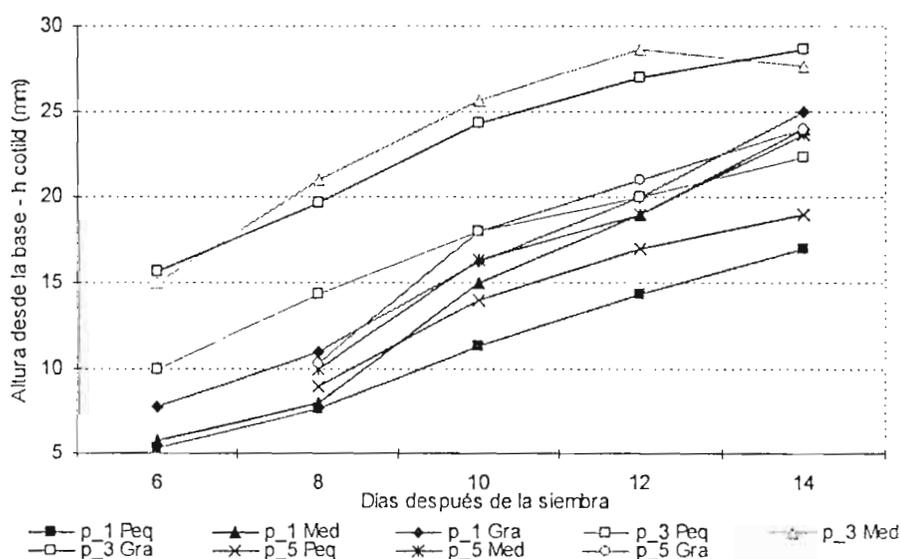


Figura 50. Evolución de la altura de la plántula desde la base a la inserción de la hoja cotiledonar, 14 DDS.

Para las profundidades de 1 y 5 cm de siembra los tamaños de semilla grande, mediano y pequeño, reportaron valores similares respecto a esta variable, debido a pérdida de humedad en la cama de siembra de 1 cm y por el espesor a 5 cm de profundidad que retraso el crecimiento de las plántulas, Corroborando lo señalado por Reuss *et al.*, (2001), que el crecimiento de la plántula esta ligado al tamaño de la semilla y como este se encuentre por debajo de la cama de siembra.

4.6.2.2 Biomasa seca de los diferentes órganos de la planta

La Figura 51, presenta la biomasa seca de los diferentes órganos tanto de la parte aérea y subterránea correspondiente a las plántulas evaluadas a los 56 días después de la siembra.

Las plantas provenientes de las macetas sembradas con granos pequeño, grande y mediano a 3 cm de profundidad, se manifestaron superiores en rendimiento de materia seca de hojas, tallos y raíz frente a las profundidades de 1 y 5 cm, destacándose esta profundidad, debido a la humedad proporcionada por las lluvias acaecidas durante el establecimiento de este experimento. Fisiológicamente, esta fase se considera importante debido al establecimiento del cultivo. Asimismo, se confirma acerca de la evaluación de emergencia en campo, donde se tuvo mayor número de plantas emergidas provenientes de semillas de tamaño grande y pequeño a profundidad de 3 cm.

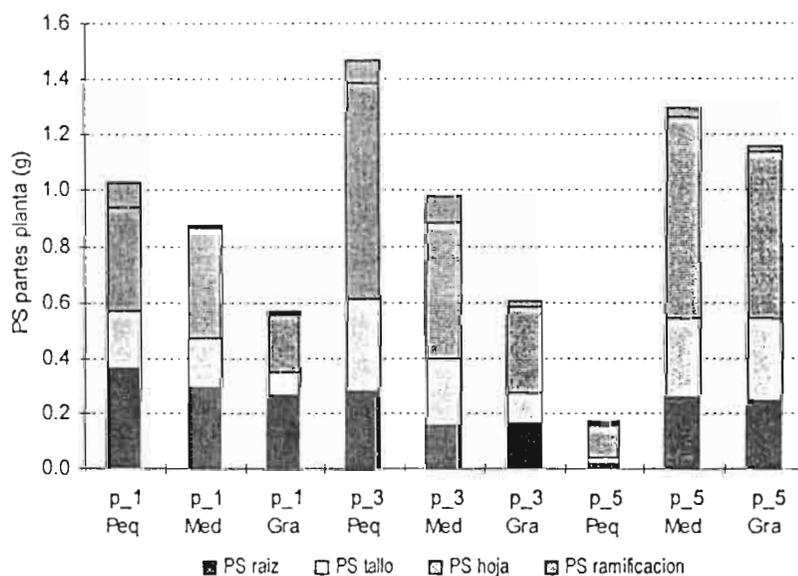


Figura 51. Biomasa seca de los diferentes órganos de la planta, parte aérea y subterránea 56 DDS.

4.6.2.3 Relación entre la biomasa seca de la raíz y plántula

Debido a la expansión del sistema radicular la profundidad de 1 cm se aprecia un 48% de la raíz con respecto al peso seco total de la planta (Figura 52). La profundidad de 3 cm reporta un rendimiento superior en materia seca de la planta en relación con la raíz, la razón de este tratamiento es adecuado en el establecimiento de la planta, con un valor medio de 20 a 25 % de biomasa de la raíz. Confirmando lo señalado por Bornas (1977) que obtuvo rendimiento superiores de materia seca en plantas provenientes de semillas sembradas a profundidad de 1.5 cm, en un experimento en macetas, debido al desarrollo radicular y de la planta que fue mayor.

Asimismo, Callot *et al.*, (1982), señalan que las raíces necesitan para el crecimiento del suministro de metabolitos elaborados en la parte aérea de la planta, que a su vez posibilita el aumento del sistema radicular y que este depende de las condiciones de crecimiento y elaboración de glúcidos que son útiles para la raíz.

El crecimiento y desarrollo de la raíz, está influenciado por las condiciones del medio, además de las características físicas del suelo, que puede ofrecer una resistencia a la penetración y todos los factores que tratan sobre el metabolismo de las raíces y pueden influir en el funcionamiento.

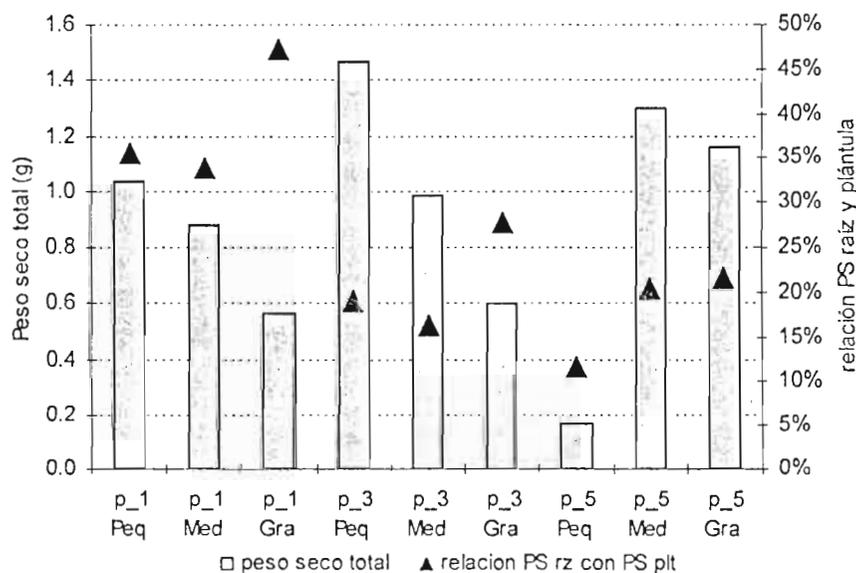


Figura 52. Relación entre la biomasa seca de raíz y planta 56 DDS.

4.6.2.4 Relación entre la longitud y biomasa seca de raíz

Como resultado, las semillas grandes, medianas y pequeñas sembradas a profundidad de 3 cm, desarrollaron mayor longitud de raíz de 175, 157 y 253 mm, pero en peso seco de raíz reportaron valores inferiores a los de 1 cm, debido a la mayor expansión del sistema radicular en las macetas, que se observa una resistencia del suelo, por la compactación y estructura del mismo y el aumento de la biomasa ha sido de manera normal.

Para la profundidad de 3 cm se presenta, una relación intermedia entre la longitud y biomasa seca, esto puede explicar un distribución normal de los asimilados de la parte aérea hacia la raíz.

Asimismo, las plantas provenientes de semillas grandes y medianas no tuvieron problemas, respecto al crecimiento de la raíz, a profundidad de 5 cm, pero, las plantas provenientes de semillas pequeñas, tuvieron un retraso en la emergencia y posteriormente en el crecimiento, principalmente a la fuerza del sustrato ofrecido por la profundidad. Existe una relación estrecha entre longitud y peso de raíz, que esta influenciado por la profundidad y cama de siembra. (Figura 53).

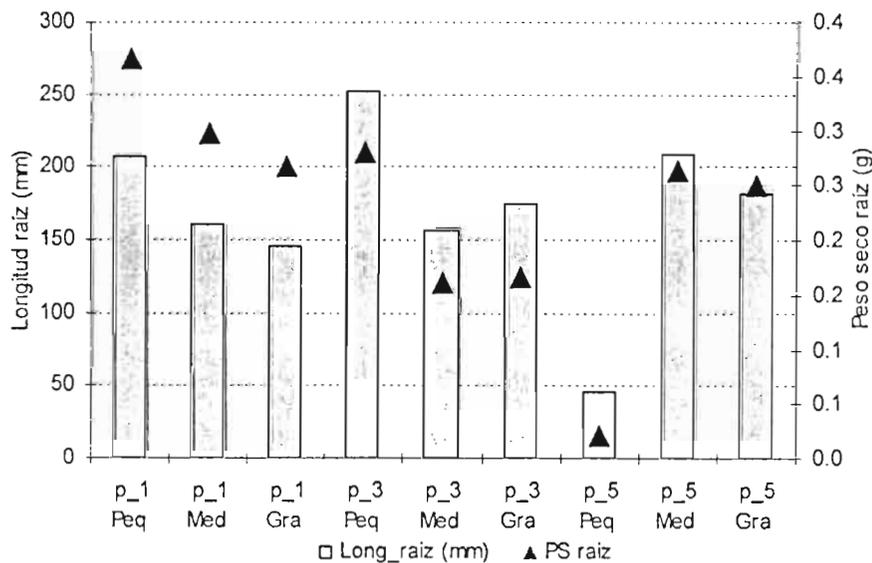


Figura 53. Relación entre la longitud y peso seco de raíz 56 DDS.

5. CONCLUSIONES

- Las semillas sembradas a 1 cm de profundidad presentaron un 6% de emergencia para grano grande y 7% en grano pequeño, traduciéndose en 8 y 21 plantas por m²; y las semillas sembradas a 3 cm, reportaron un 21% para grano grande y 19% en grano pequeño, representando a 26 y 54 plantas por metro cuadrado. La diferencia en cuanto al número de plantas emergidas por m², se debe principalmente al número de semillas contenidas en un gramo.
- La profundidad de 3 cm asegura la emergencia de plantas provenientes de semillas de tamaño grande y pequeño, debido a la humedad disponible en el surco que facilita la germinación y emergencia hasta presentarse una precipitación oportuna y evitar la evapotranspiración del suelo. Para la profundidad de 1 cm la emergencia es menor para ambos tratamientos, por tratarse de una siembra superficial debido a la poca humedad en el suelo y el ataque de pájaros.
- La cama de siembra de 1 y 3 cm de espesor a condiciones controladas como del experimento en macetas, demostró ser un buen dispositivo para el estudio en la emergencia y crecimiento de la raíz de las plantas y no así en profundidad de 5 cm, por el espesor mayor, lo que imposibilitó la emergencia de las plántulas.
- Durante las primeras fases del establecimiento del cultivo, existe competencia de acuerdo al vigor de las plantas provenientes de semillas de grano grande frente a grano pequeño, la profundidad juega un rol importante durante el aprovechamiento de la humedad del suelo, que provoca la germinación y emergencia de las plántulas.
- En el caso del IAF (Índice de Área Foliar) las plantas correspondientes a profundidades de siembra de 1 y 3 cm de granos grandes y pequeñas, presentaron índices entre 2 y 3.8 frente a 3.2 para los 120 DDS, principalmente este efecto se debe a la población de las plantas y la cobertura de las mismas, teniendo mayor disponibilidad de luz y realizar eficientemente la fotosíntesis.

- La concepción acerca de los componentes de rendimiento y la adaptación del esquema a la quinua, expresa de manera clara los componentes que interactúan paso por paso hasta llegar al producto final que son los granos, partiendo de la noción básica que es el peso medio de un grano (peso de 1000 gramos), pasando por las plantas existentes por metro cuadrado.
- El estudio sobre las profundidades de siembra, en las cuales los granos fueron colocados, para después medir la velocidad de crecimiento, la competencia en la emergencia de las plántulas, han mostrado que los granos grandes muestran mayor vigor en la emergencia, comprobado por la pruebas de imbibición de las cajas petri. En todo sentido, la siembra, la humedad del suelo y la preparación oportuna del suelo en el campo nos garantizará una buena población de plantas y consecuentemente una mayor producción, debido ante un mayor número de plantas por metro cuadrado, evitando la desarrollo de las malezas, frente al menor número de plantas, donde existe mayor presencia de malezas.

6. RECOMENDACIONES

Ante estos experimentos realizados sobre la influencia de la profundidad de siembra respecto al tamaño de grano, se deben continuar realizando estudios sobre el desarrollo radicular respecto a las semillas de otros cultivares y/o variedades.

Estudiar con detenimiento el desarrollo radicular mediante dispositivos especiales que nos explique si existe relación entre variedades, cultivares, las cuales pueden desarrollar en terrenos con poca preparación, y aún así la planta de quinua puede desarrollar y crecer.

Ante los cambios climáticos los cuales provocan un desfase en la presentación de la estaciones, principalmente las de lluvias, es necesario comprender fisiológicamente la actividad de la semilla de quinua, pues este es un recurso importante para el establecimiento del cultivo y por ende la del agricultor.

La utilización de los Grados-Días acumulados o Unidades Calor, debe emplearse con mayor frecuencia, pues este concepto nos indica y guía acerca de los comportamientos de temperatura y nos ayudan a predecir como manejar el cultivo, frente a las bajas temperaturas que son comunes en el altiplano.

Muchas veces se menciona acerca del rendimiento, producción, pero no se toma en cuenta los factores que interactúan para llegar al producto final, de esta manera se debe poner más énfasis sobre la utilización de la elaboración del rendimiento y los componentes de rendimiento, los cuales nos ayudan a comprender en que etapa del cultivo, se debe realizar un manejo adecuado y la operaciones oportunas.

También, hace falta tener conocimientos adicionales para conocer el efecto de diferentes temperaturas en campo para que la semilla comience a germinar.

7. BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, PC; CHURA, EJ; QUISPE, J. 2004. Crecimiento de raíces bajo diferentes condiciones de humedad del suelo en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). In: CD-Rom del XI Congreso internacional de cultivos andinos, Cochabamba, Bolivia, p. 6.

AGUILAR, R; PESKE, ST. 1992. Manual para el beneficio de semillas. 2da Ed. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, Colombia. p. 8-16.

ALVAREZ, M. & VON RUTTE, S. 1990. Genética. In: Quinoa hacia su cultivo comercial. Edt. Whali Ch. Ed. Latinreco S.A. Quito, Ecuador. p. 36-60.

AUFHAMMER, W; CZUCZOROVA, D; KAUL, HP and KRUSE, M. 1998. Germination of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* x *A. hybridus*): effects of seed quality, temperature, light, and pesticides. Eur. J. Agron., 8, 127-135 p.

BÁNYAI, J; BARABÁS, J. 2002. Handbook on statistics in seed testing. Edt. ISTA (international Seed Testing Association). Zurich, Suisse. 84p.

BARCELO, J. 1988. Fisiología Vegetal. 5ta. Ed. Madrid, España. 823 p.

BARBIER, JM. 1994. Élaboration du rendement chez le riz. In: Élaboration du rendement des principales cultures annuelles. coord. Combe L, Picard D. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). Paris, France. p. 53-71.

BEADLE, CL. 1988. Análisis del Crecimiento Vegetal. In: Técnicas en Fotosíntesis y Bioproduktividad. Eds. Coombs J, Hall DO, Long SP, y Scurlock JMO. Trad. A. Marino. Edt. Futura S.A. Chapingo, Mexico. p. 17-19

BERTI, M; SERRI, H; WILKENS, R; URBINA, MA; FIGUEROA, I. 1997. Determinación de madurez optima de cosecha en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Chillan. Agro-ciencia. 13(2), 135-141.

_____ ; SERRI, H; WILKENS, R; ALARCON, M. 1998. Estudio productivo en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variando la distancia entre y sobre hileras. Agro-ciencia. 14(1), 63-71.

BIDWELL, R. 1993. Fisiología vegetal. Edt. A.T.G. México DF, México. p. 75-91.

BOUBAKER, M; BEN-HAMMOUDA, M; GDIRI, H. 1999. Réponse du blé dur au stress hydrique et à la profondeur de semis pendant le stade jeune plante. Sécheresse 10 (1), 35-38.

BONIFACIO, A; SARAVIA, R. 1988. Siembra de la quinua a nivel experimental. Estación Experimental Patacamaya. IBTA. La Paz, Bolivia. p. 1-5.

_____. 2002. Variedades de quinua recomendadas para el altiplano norte y central. Edt. P. Meneces. PROINPA. La Paz, Bolivia. 8 p.

_____ ; VARGAS, A; ARONI, G. 2004. Nueva variedad "quinua" jacha grano. Revista de Agricultura, Año 56, No 32. Edt. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias "Martín Cardenas", UMSS. Cochabamba, Bolivia. p. 27-30.

BORNAS, EA. 1977. Respuesta de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedades sajama y kancolla a la profundidad de siembra en cuatro clases texturales de suelo. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Técnica del Altiplano. Puno, Perú. 52 p.

BRIFFAUX, G. 1991. Pratique de l'expérimentation au champ, cas des céréales à paille. ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages). Paris, France. 130 p.

CALLE, C. y GERMAIN, N. 1995. Un enfoque de investigación agronómica en base a la descomposición del rendimiento en componentes : aplicaciones al cultivo de trigo. Revista de Agricultura, información técnico-científica de la agropecuaria boliviana, Año L - Cochabamba - Bolivia, Agosto de 1994 - N° 24

CALLISAYA, I. 1994. Caracterización de las tierras de la Estación Experimental de Choquenaira según su capacidad de uso y aptitud para riego. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía, UMSA. p. 23-24.

CALLOT, G; CHAMAYOU, H; MAERTENS, C; SALSAC, L. 1982. Croissance et développement du système racinaire. *In*: Les interactions sol racine incidence sur la nutrition minérale. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). Paris, France. p. 206-231.

CALZADA, BJ. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica S.A. 3ra edición, Lima, Perú, 644 p.

CANAHUA, A; MUJICA, A. 1989. Fenología de cultivos andinos y uso de la información agroclimatológica. PICA. Puno, Perú. p. 23-26.

CARDENAS, M. 1944. Descripción preliminar de las variedades de *Chenopodium quinoa* de Bolivia. *In*. Enseñanza Superior Agronómica. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. p. 1-8.

CHIPANA, N. 1993. Estudio de características de calidad en la producción de semilla básica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía, UMSA. 100 p.

COSSIO, J. 1994. Preparación del terreno. *In*. Memorias del Seminario sobre investigación, producción y comercialización de la quinua. Edt. Y. Peric. Estación Experimental de Patacamaya La Paz, Bolivia. p. 27-28.

CRESPO, F. 2001. Caracterización y análisis de la competitividad de la quinua en Bolivia. Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible (CLACDS-INCAE)/Centro para el Desarrollo Internacional-Universidad

de Harvard/Corporación Andina de Fomento (CAF), Proyecto Andino de Competitividad, La Paz, Bolivia.

CROZAT, Y. 2003. Les méthodes et les outils du diagnostic agronomique. *In*: Memento de l'agronome. Edts. CIRAD, IRD. CD-rom. Montpellier, France.

DANIELSEN, S; MUNK, L. 2004. Evaluation of disease assessment methods in quinoa for their ability to predict yield loss caused by downy mildew. *Crop Protection*. 23, 219-228.

DIZES, J; BONIFACIO A. 1992. Estudio en microscopia electrónica de la morfología de los órganos de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en relación con la resistencia a la sequía. Actas del VII Congreso Internacional de cultivos andinos. La Paz, Bolivia. p. 69-74.

DOUGLAS, J. (comp.,ed.) 1982. Programas de semillas, guía de planeación y manejo de semillas. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Cali, Colombia. 358 p.

ERIKSSON, O. 1999. Seed size variation and its effect on germination and seedling performance in the clonal herb *Convallaria majalis*. *Acta Oecologica* 20(1) 61-66.

ESPINDOLA, G. 1981. V Curso de producción de quinua. Centro experimental para la industrialización de la quinua. Proyecto PNUD, FAO, MACA-IBTA. La Paz, Bolivia. 70 p.

_____. 1994. Mejoramiento del cultivo de la quinua. *In*. Memorias del Seminario sobre Investigación, producción y comercialización de la quinua. Edt. Y. Peric. Estación Experimental de Patacamaya. La Paz, Bolivia. p. 16-28.

_____; BONIFACIO, A. 1996. Producción y uso de semilla certificada. *In*. Catalogo de variedades mejoradas de quinua y recomendaciones para producción y uso de semilla certificada. IBTA-DNS, public. Conjunta, Boletín N°2, La Paz, Bolivia. p.10.

ESPINOSA, O. 1996. Componentes de un programa de producción de semilla e importancia de la semilla de buena calidad. *In*. Catalogo de variedades mejoradas de quinua y recomendaciones para producción y uso de semilla certificada. IBTA-DNS, public. Conjunta, Boletín N° 2. La Paz, Bolivia. 6 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. Bolivia y Ecuador. Consultado 16 agosto 2004. Disponible en: http://www.fao.org/inpho/compend/text/ch_11-03.html

FEISTRITZER, WP. 1977. Manual de producción, control de calidad y distribución de semillas de cereales. Dirección de producción y protección vegetal, FAO. (FAO: Cuadernos de fomento agropecuario N° 98). Roma, Italia. p. 260.

_____. 1985. Procesamiento de semillas cereales y leguminosas de grano. Dirección de producción y protección vegetal, FAO. (Colección FAO: producción y protección vegetal N° 21). Roma, Italia. p. 260.

FERNANDEZ, G; JOHNSTON, M. 1986. Fisiología vegetal experimental. Serie libros y materiales educativos. Editorial IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). San José, Costa Rica. 428 p.

FERRUFINO, J. 2003. Evaluación de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a diferentes espaciamientos entre surcos y entre plantas en la comunidad de Mamani. Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía, UMSA. 105 p.

GANDARILLAS, H. 1968. Mejoramiento de la quinua. *In*. Razas de quinua. Ministerio de Agricultura. Instituto Boliviano de Cultivos Andinos. Boletín Experimental N° 34. p. 12-18.

_____. 2001. Historia de la investigación para el desarrollo agropecuario en Bolivia. *In*. Memorias de un investigador. Edts. Humberto Gandarillas, Carlos Gandarillas y Antonio Gandarillas. Cochabamba, Bolivia. 232 p.

GARCIA-AGUSTIN, P; PRIMO-MILO, E. 1993. Germinación de las semillas. *In*. Fisiología y bioquímica vegetal. Edts. J. Azcon Bieto y M. Talon. Madrid, España. p. 419-448.

GOUET, JP. 1974. Les comparaisons de moyennes et de variances, application à l'agronomie. Bureau d'Etudes Statistiques de l'ITCF. Paris, France. 55 p.

_____, PHILIPPEAU, G. 1986. Comment interpréter l'analyse statistique les résultats d'une analyse de variance ? Service des Études Statistiques de l'ITCF. Paris, France. 47 p.

GUTIERREZ C, JA. 2003. Evaluación del ritmo de crecimiento y desarrollo de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en la Estación Experimental de Choquenaira (Bolivia). Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía, UMSA. 110 p.

HAKANSSON, I; MYRBECK, A and ETANA, A. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil & Tillage Research*, 64, 23–40 .

HOLDRIDGE, L. 1992. Ecología basada en zonas de vida. Editorial IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). San José, Costa Rica. p. 115-116.

IMPROTA, F and KELLEMS, RO. 2001. Comparison of raw, washed and polished quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) to wheat, sorghum or maize based diets on growth and survival of broilers chicks. Animal Science Department Brigham Young University. Provo, UT 84602 USA. Consultado 21 junio 2004. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/1/impr131.html>

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACION Y CALIDAD (IBNORCA). 2002. Norma Boliviana, NB 312003. La Paz, Bolivia.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA (INE). 2002. Datos estadísticos sobre exportación de productos. La Paz, Bolivia. Consultado 14 abril 2004. Disponible en: <http://www.ine.gov.org.html>

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). 1985. Seed science and technology. Règles Internationales pour les Essais de Semences. Règles 1985. Draper, S. (Chef editor). Volume 13, supplément 2. Zurich, Suisse. 236 p.

LA RAZON. 2004. La quinua boliviana es líder mundial y con poca exportación. Estrategias. B8-B9. 28 de marzo, 2004. La Paz, Bolivia.

LAREDO, Y. 2001. Laboratorio de semillas. Apuntes de Tecnología de semillas., Facultad de Agronomía, UMSA.

LATIRI-SOUKI, K; AUBRY, C; DORÉ, T et SEBILLOTTE, M. 1992. Élaboration du rendement du blé dur en conditions semi-arides en Tunisie: relations entre composantes du rendement sous différents régimes de nutrition azotée et hydrique. Cahiers d'agronomie. 12, 31-43.

LITTLE, T; HILLS, J. 1991. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 2da reimpresión. Edt. Trillas. México DF, México. 270 p.

LEES, P. 1980. Vigor de la semilla clave de mejores cosechas. Revista, Agricultura de las Américas, Agosto. p. 14-39.

LEDESMA, JM. 2000. Climatología y Meteorología Agrícola. Edt. Paraninfo S.A. Madrid, España. 451 p.

LEON, J. 1964. La quinua. In. Plantas Alimenticias Andinas. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Zona Andina. Boletín Técnico N° 6. Lima, Perú. p.6-18.

McMASTER, GS and WILHELM, WW. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. Agricultural and Forest Meteorology. 87, 291-300.

MEYNARD, JM; DAVID, G. 1987. Diagnostic sur l'élaboration du rendement des cultures. In: Colloque "Fertilité des sols et nutrition des plantes". Soc. Italienne de Sciences des sols. Sorrento, Italie. p. 1-19.

MAMANI REYNOSO F. y VILLALTA ROJAS P. 2004. Componentes del rendimiento en la producción de grano de seis cultivares de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). In CD-Rom del XI Congreso internacional de cultivos andinos, Cochabamba, Bolivia. p. 22 (4 páginas).

MONTES DE OCA, I. 1999. Geografía y recursos naturales de Bolivia. Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. 3ra Ed. Editorial Edobol. p. 419-420.

- JJICA, A. 1977. Tecnología del cultivo de quinua. Boletín Técnico, Serie Quinua N° 2. Fondo Simón Bolívar, Ministerio de Alimentación Zona XII-Puno. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Puno, Perú.
- MARREA, A. 1976. Importancia de la quinua. *In*. Cultivo de la quinua. Boletín 5. Ministerio de Alimentación. Dirección General de Producción. Lima, Perú. 5-8.
- MACHECO, A; MORLON, P; ROSSEL, J. 1978. Los sistemas radicales de las plantas de interés económico en el Altiplano de Puno: un estudio preliminar. Puno, Perú. 20 p.
- MESTALOZZI, HU. 1998. Flora altoandina ilustrada. Publicado por el Herbario Nacional de Bolivia y el Herbario Forestal Nacional. M & C Editores. Cochabamba, Bolivia. 242 p.
- MICARD, D. 1994. Introduction. *In*. Élaboration du rendement des principales cultures annuelles. coord. Combe L, Picard D. INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). Paris, France. 191 p.
- MOPINIGIS, F. 1985. Fisiología da semente. 2da Ed. Agiplan, Brasil. 289 p..
- MUNREGO, I; MALDONADO, S and OTEGUI, M. 1998. Seed structure and germination of reserves in *Chenopodium quinoa* Willd. *Annals of Botany*. 82, 481-488.
- MUNJISPE, QN. 1999. Estudio comparativo de variedades de Avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum aestivum*). Tesis Ing. Agr. La Paz, Bolivia. Facultad de Agronomía, UMSA. p. 15, 16.
- MUNAFFAILLAC, JP; FORESTIER, J. 1980. Composition et élaboration du rendement de l'arachide. I. Les caractéristiques du rendement et la fructification de la plante. *Cah. ORSTOM. Série Biol.*, No 42. p. 61-86.
- MUNEA, J. 1947. Morfología de la quinua. *In*. Observaciones sobre la biología floral y estudios de saponinas en *Chenopodium quinoa* Willd. Ministerio de Agricultura. Departamento de Experimentación. Serie Técnica No 3. La Paz, Bolivia. p: 15-16.
- MUNEUSS, SA; BUHLER, DD and GUNSOLUS, JL. 2001. Effects of soil depth and aggregate size on weed seed distribution and viability in a silt loam soil. *Applied Soil Ecology*. 16, 209-217.
- MUNOCHA, O; QUIROGA, C. 1996. Aves de la reserva nacional de fauna andina Eduardo Avaroa, Guía de campo ilustrada. Publicado por el Museo Nacional de Historia Natural. La Paz, Bolivia. 95 p.
- MUNRODRÍGUEZ, FH; RODRÍGUEZ, AJ. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. Edt. Trillas. Mexico D.F., Mexico. 196 p.

- RODRIGUEZ, M. 1997. Fisiología Vegetal. 2da Ed. Editorial Los Amigos del Libro, Cochabamba, Bolivia. 425 p.
- SALISBURY, F. & ROSS, C. 2000. Fisiología de las plantas. Edt. Paraninfo S.A. Madrid, España. 985 p.
- SCURLOCK, JMO; LONG, SP; HALL, DO y COOMBS, J. 1988. Introducción. *In*. Técnicas en Fotosíntesis y Bioproduktividad. Trad. A. Marino. Edt. Futura S.A. Chapingo, Mexico. 258 p.
- STIBBE, C. and MÄRLÄNDER, B. 2001. Field emergence dynamics significance to intraspecific competition and growth efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Eur. J. Agron.*, 16, in press.
- TAMET, V; BOIFFIN, J; DURR, C and SOUTY, N. 1996. Emergence and early growth of an epigeal seedling (*Daucus carota* L.): influence of soil temperature, sowing depth, soil crusting and seed weight. *Soil & Tillage Research*. 40, 25-38.
- TAPIA, M. 1979. La quinua y la kañiwa. Cultivos andinos. Ed. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Bogotá, Colombia, 227 p.
- TAPIA, M. & ARONI, G. 2001. Tecnología del cultivo orgánico de la quinua. *In*. Quinoa: (*Chenopodium quinoa* Willd.): ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Coods.: Ángel Mújica S; Sven-Erik Jacobsen, Juan Izquierdo y Jean Pierre Marathee. CIP, UNAP, FAO. CD Cultivos Andinos, versión 1.0. Edt. FAO. Santiago, Chile
- TELLERÍA, PW. 2000. Criterios científicos para medir la productividad agrícola. *Revista del Desarrollo Rural PROCAMPO* N°. 86. Plural Editores. La Paz, Bolivia. p.16-18.
- QUIROGA, CP. 2003. Una década de política agropecuaria (1990-1999). *Revista del Desarrollo Rural PROCAMPO* N°. 90. Plural Editores. La Paz, Bolivia. p.15-17.
- UDABE, BJ. 1994. Diagnóstico socioeconómico de la micro región Irpa Tayka Choquenaira. Estación Experimental Radio San Gabriel Choquenaira. Proyecto "Irpa Tayka", Prov. Ingavi. La Paz, Bolivia. 209 p.
- URUEÑA, B. 1980. Efectos de la escarificación química con ácido sulfúrico a diferentes concentraciones y tiempos de tratamientos, sobre la ruptura de la latencia en semillas de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.). Tesis Ing. Agr. Ibaque, Colombia. Universidad de Tolima, Facultad de Agronomía. p. 70.
- VAVILOV, N. 1951. Estudios sobre el origen de las plantas cultivadas. Trad. Felipe Freír. Buenos Aires, Argentina. Artes Gráficas ACME. p. 185.
- VILAIN, M. 1987. La production végétale: Les composantes de la production. Ed. Tec & Doc Lavoisier. Paris, France. v.1, 416 p.

- VILAIN, M. 1989. La production végétale: La maîtrise technique de la production. Ed. Tec & Doc Lavoisier. Paris, France. v.2, 361 p.
- VILCHE, C; GELY, M; SANTALLA, E. 2003. Physical Properties of Quinoa Seeds. Biosystems Engineering. 86 (1), 59-65.
- WAHLI, C. 1990. Quinoa su cultivo comercial. Ed. Latinreco S.A. Quito, Ecuador. p. 206.
- WILSON, HG. 1990. *Quinoa* and relatives (*Chenopodium* sect. *Chenopodium* subsect. *Cellulata*). Economic Botany, 44 (3 Supplement). New York Botanical Garden, Bronx, USA. Pp. 92-110.
- YANG, S; LOGAN, J; COFFEY, DL. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree-days. Agricultural and Forest Meteorology. 74, 61-74.
- YOBI, A; NEFFATI, M; HENCHI, B. 2001. Étude comparative de la croissance du système racinaire chez deux arbustes autochtones de la Tunisie méridionale: *Rhus tripartitum* (Ucria) Grande et *Periploca angustifolia* Labill. Implications pour l'élevage des plants en pépinière. Sécheresse. 12(4), 245-250.

8. ANEXOS

ANEXO 1a. Datos de precipitación de 15 años registrados (SENAMHI, 2000)

Fecha	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Precipitación total	6.3	15.2	33.4	35.7	53.4	92.8	131.4	97.3	66.3	38.4	15.6	2.6

ANEXO 1b. ENSAYO (2002-2003) Estación Experimental de Choquenaira

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

CETABOL-JICA

Laboratorio de suelos

Lugar: Choquenaira (lado invernadero)

Warnes, Santa Cruz

Parámetros	Unidades	Resultados	Clasificación	Observación e Incidencia en el suelo
H ₂ O (1:2:5)	-----	6.43	Ligeramente ácido	Se reduce la disponibilidad de P y Mo
Inductividad eléctrica; 1:5 (C.E.)	umho/cm	201.67	Debilmente salino	El rendto. en cultivos sensibles puede ser afectado
Humedad	%	18.67		
Orgánica	%	48.00		
Humedad natural	%	33.33		
Reacción		F	Franco	
Densidad aparente (D.A.)	g/cm ³	1.50		
Carbono orgánico (C)	%	2.37		
Materia orgánica (M.O.)	%	4.23	Alto	No descuidar el contenido de M.O.
Nitrogeno total (N)	%	0.21	Alto	No descuidar el contenido de N
Liberación C/N	mg/kg	11.33	Normal liberación de N	Mantenimiento de N en el suelo
Nitrogeno disponible por extracción	mg/kg	58.67	Moderado	Aplicar al suelo M.O. para mantenimiento
Forma Olsen (P)	me/100g	46.67	Muy alto	Suficiente P en el suelo
Potasio intercambiable (K)	me/100g	1.10	Muy alto	Suficiente K en el suelo
Calcio intercambiable (Ca)	me/100g	10.19	Alto	
Magnesio intercambiable (Mg)	me/100g	1.85	Moderado	Suficiente Mg en el suelo
Sodio intercambiable (Na)	me/100g	0.29	Bajo	Aceptable para el desarrollo de los cultivos
Acidez intercambiable (H+Al)	me/100g	0.00		
Aluminio intercambiable (Al)	me/100g	0.00		
Total bases intercambiables (TBI)	me/100g	13.43		
Capacidad intercambio catiónico (CIC)	me/100g	13.43	Moderado	Suministro normal de bases y nutrientes
Saturación de bases (S.B.)	%	100.00	Suelo saturado	El suelo no necesita encalado
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	%	2.00	Bajo	Aceptable
Saturación de potasio (S.K)	%	8.33	Alto	
Saturación de calcio (S.Ca)	%	76.00	Alto	Saturación de Ca ideal
Saturación de magnesio (S. Mg)	%	14.00	Moderado	Saturación de Mg ideal
Saturación de aluminio (S. Al)	%	0.00		
Potasio soluble (K)	me/100g	0.00		
Calcio soluble (Ca)	me/100g	0.00		
Magnesio soluble (Mg)	me/100g	0.00		
Sodio soluble (Na)	me/100g	0.00		
Relación Ca/Mg	-----	5.67	Normal	Suelo normal
Relación Mg/K	-----	2.33	Bases en desequilibrio	Carencia de Mg por exceso de K
Hierro (Fe)	mg/kg	24.53	Medio	Suficiente para muchos cultivos
Manganeso (Mn)	mg/kg	56.30	Muy alto	Pueden presentarse desequilibrios
Zinc (Zn)	mg/kg	3.27	Alto	Los cultivos no responden a la adición de Zn
Cobre (Cu)	mg/kg	1.17	Alto	Los cultivos no responden a la adición de Cu
Boro (B)	mg/kg	0.00		No determinado

ANEXO 2. ANVA de porcentaje de germinación de semilla

<i>Fuente de variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
Tamaño de grano	2	16.9	8.4	5.143	0.039 *
Error	6	8.7	1.4		
Total	8	25.6			

CV = 5.4% * significativo

ANEXO 3. ANVA de profundidad de enraizamiento, 60 DDS

<i>FUENTE VARIACION</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr > F</i>
Bloque	3	147.70	49.23	9.57	0.0017 **
Profundidad	1	40.56	40.56	7.89	0.0158 ns
Bloque*Prof	3	91.70	30.57	5.94	0.0101 *
Tamaño	2	146.91	73.45	14.26	0.0007 **
Prof*Tamaño	2	0.56	0.28	0.05	0.9468 ns
Error (b)	12	61.72	5.14		

Coeficiente variación = 11.67 %

* Significativo ** Altamente significativo; ns No Significativo

ANEXO 4. ANVA de altura de planta 45 DDS

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	0.755	0.755	0.24	0.6489 ns
PROF	1	37.489	37.489	11.99	0.258 *
BLOQUE*PROF	1	2.736	2.736	0.88	0.4025 ns
TAMAÑO	2	0.263	0.131	0.04	0.9592 ns
PROF*TAMANO	2	9.176	4.588	1.47	0.3327 ns

CV = 23.2% * significativo, ns No significativo

Prueba de hipótesis para *Bloques* y *Profundidad* (parcela principal), con el término *Bloque*Prof*, como error (error de parcela mayor)

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	0.755	0.755	0.28	0.6921 ns
PROF	1	37.489	37.489	13.7	0.1680 ns

ANVA 5. ANVA de diámetro de tallo 120 DDS

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	4.763	4.763	1.48	0.2904 ns
PROF	1	61.653	61.653	19.18	0.0119 *
BLOQUE*PROF	1	0.472	0.472	0.15	0.7210 ns
TAMAÑO	2	21.750	10.875	3.3.8	0.1380 ns
PROF*TAMANO	2	15.617	7.808	2.13	0.2039 ns

CV = 11.2% * significativo, ns No significativo

Prueba de hipótesis para *Bloques* y *Profundidad* (parcela principal), con el término *Bloque*Prof*, como error (error de parcela mayor)

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	4.763	4.763	10.09	0.1942 ns
PROF	1	61.653	61.653	130.61	0.0556 ns

ANEXO 6. ANVA para longitud de panoja 156 DDS ANTES DE LA COSECHA

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	29.516	29.516	4.25	0.1082 ns
PROF	1	238.610	238.610	34.38	0.0042 **
BLOQUE*PROF	1	0.056	0.056	0.01	0.9327 ns
TAMAÑO	2	133.464	66.732	9.61	0.0297 *
PROF*TAMANO	2	47.872	23.936	3.45	0.1347 ns

CV = 8.2% * significativo, ** altamente significativo, ns No significativo
 Prueba de hipótesis para *Bloques y Profundidad* (parcela principal),
 con el término *Bloque*Prof*, como error (error de parcela mayor)

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	29.516	29.516	526.76	0.0277 *
PROF	1	238.610	238.610	4258.36	0.0098 **

ANEXO 7. ANVA para diámetro de panoja 156 DDS ANTES DE LA COSECHA

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	1.2471	1.2471	1.83	0.2471 ns
PROF	1	4.8501	4.8501	7.13	0.0557 *
BLOQUE*PROF	1	0.2504	0.2504	0.37	0.5767 ns
TAMAÑO	2	0.1541	0.0771	0.11	0.8956 ns
PROF*TAMANO	2	2.2174	1.1087	1.63	0.3034 ns

CV = 15.8% * significativo, ns No significativo

Prueba de hipótesis para *Bloques y Profundidad* (parcela principal),
 con el término *Bloque*Prof*, como error (error de parcela mayor)

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	1	1.2471	1.2471	4.98	0.2682
PROF	1	4.8501	4.8501	19.37	0.1422

ANEXO 8. ANVA para PESO DE MIL SEMILLAS

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	3	0.84685	0.28228	4.37	0.0267 *
PROF	1	0.09250	0.09250	1.43	0.2543 ns
BLOQUE*PROF	3	0.03671	0.01224	0.19	0.9014 ns
TAMAÑO	2	0.03543	0.01772	0.27	0.7646 ns
PROF*TAMANO	2	0.01123	0.00562	0.09	0.9172 ns

CV = 6.65% * significativo, ns No significativo

Prueba de hipótesis para *Bloques y Profundidad* (parcela principal),
 con el término *Bloque*Prof*, como error (error de parcela mayor)

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	3	0.84685	0.28228	23.07	0.0142 *
PROF	1	0.09250	0.09250	7.56	0.0708 ns

ANEXO 9. ANVA para PESO VOLUMETRICO

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	3	12.7770	4.2590	6.89	0.0060 *
PROF	1	0.6370	0.6370	1.03	0.3301 ns
BLOQUE*PROF	3	1.3347	0.4449	0.72	0.5591 ns
TAMAÑO	2	0.0752	0.0376	0.06	0.9413 ns
PROF*TAMANO	2	1.2114	0.6057	0.98	0.4035 ns

CV = 1.13%

* significativo, ns No significativo

Prueba de hipótesis para *Bloques y Profundidad* (parcela principal),
con el término *Bloque*Prof*, como error (error de parcela mayor)

<i>Fuente de Variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>Pr>F</i>
BLOQUE	3	12.7770	4.2590	9.57	0.0480 *
PROF	1	0.6370	0.6370	1.43	0.3174 ns

Anexo 10.1



Foto 1. Apertura de surcos y siembra de semillas de quinua de tamaño GRANDE, pequeña y Mezcla bajo 2 profundidades : 1 cm y 3 cm.

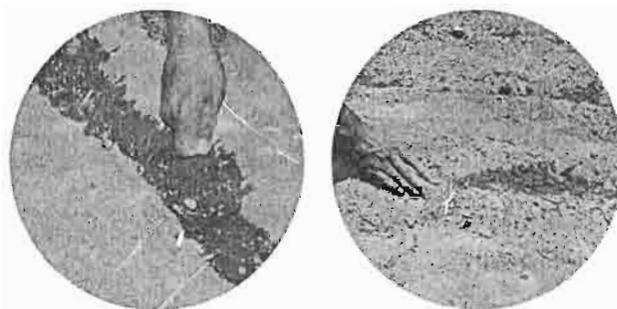


Foto 2. Distribución de la semilla a chorro continuo en el surco después de regarlo, procediéndose luego al tapado con tierra del camellon. (método SURCO-RIEGO-SIEMBRA)



a



b

Foto 3. Efecto de la profundidad de siembra sobre la emergencia de las plantas con el mismo tamaño de semilla GRANDE. Nótese que en la profundidad 3 cm (a) se presentan mayor número de plantas con respecto a la profundidad 1 cm (b). (06 de diciembre de 2002, 38 DDS).

Anexo 10.2



(20/12/2002 – 51 DDS)



(21/01/2003 – 83 DDS)

Foto 4. Consecuencia de una emergencia regular en los surcos de plantas provenientes de la siembra « PROFUNDIDAD 3 cm + TAMAÑO GRANDE » en la distribución y la cobertura del suelo



Foto 5. Desarrollo foliar a los 83 Días Después de la Siembra (a) y consecuencia de la granizada del 23 de febrero (b). Nótese el calibre = moneda de 1 Bs con un diámetro de 2,7 centímetros.

Anexo 10.3

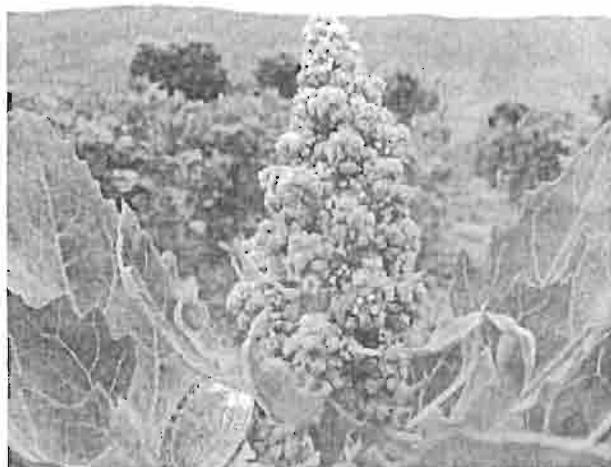


Foto 6. Panoja de quinua surumi con inicio de floración.



Foto 7. Madurez fisiológica de la plantas de quinua (166 DDS).



Foto 8. Evaluación de la cosecha mediante 2 formas :

(a) = parcela útil, área comprendida de 14,8 m², (b) = cosecha de 2 metros lineales (1 m²)

Anexo 10.4



Foto 9. Estado de la plántula 14 hojas (ramificación) profundidad 3 cm, grano grande.

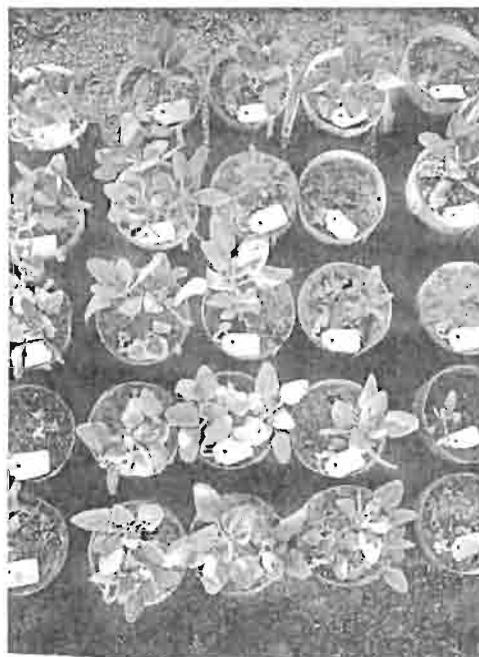


Foto 10. Disposición de macetas con sustrato y cama de siembra conformada por el suelo del lugar.

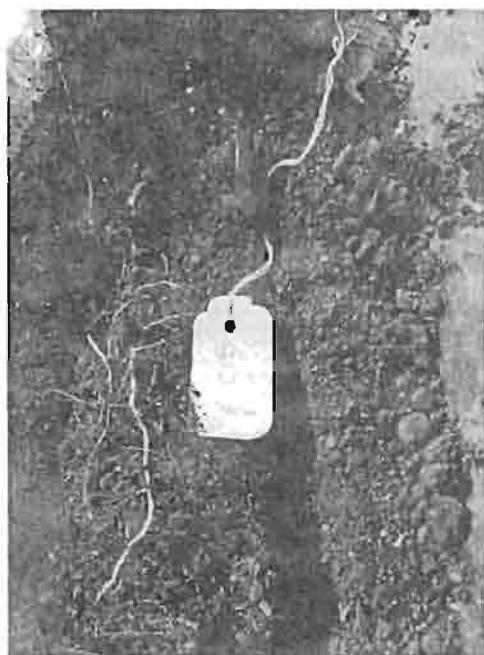


Foto 11. Longitud de raíz en maceta con sustrato y cama de siembra conformada por tierra del lugar (prof-3 cm grano mediano).

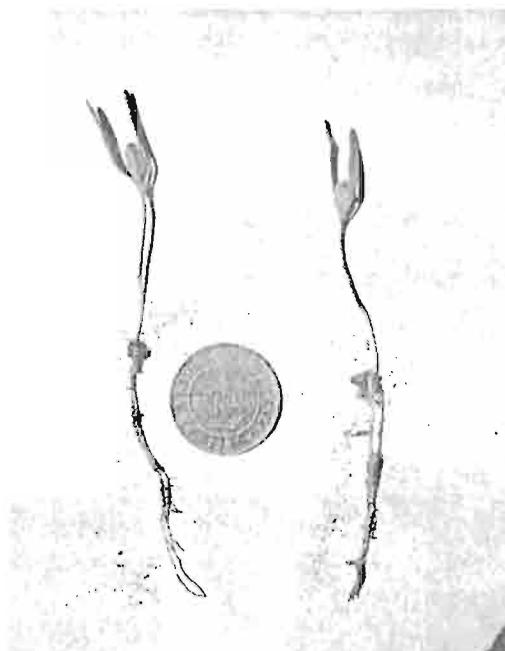


Foto 12. Estado hoja cotiledonar de plántulas. A la izquierda: semilla grande y derecha: semilla pequeña (siembra a 3 cm de profundidad).