

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE ABONO ORGÁNICO Y
RIEGO DEFICITARIO SOBRE EL DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE
QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EN EL ALTIPLANO CENTRAL**

Rubén Andrés Huanca Apaza

La Paz – Bolivia

2008

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE ABONO ORGÁNICO Y RIEGO
DEFICITARIO SOBRE EL DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE QUINUA
(*Chenopodium quinoa* Willd.) EN EL ALTIPLANO CENTRAL**

*Tesis de grado presentada como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

Rubén Andrés Huanca Apaza

Tutor:

Ing. Rómulo Marza Mamani

Asesores:

Ing. Ph. D. Magali García Cárdenas

Ing. M. Sc. Sam Geerts

Tribunal Examinador:

Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera

Ing. Ph. D. Aquiles Arce Laura

Ing. Roberto Miranda Casas

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador:

.....

2008

Dedicatoria:

A la memoria de mi abuelita Rosa Durán (†) por su generosidad, apoyo y cariño. Siempre vivirás en nuestro corazón.

A mis abuelitos Tomás Apaza y Carmen Callisaya por su amor y cariño hacia toda la familia.

A mis papás Ponciano Huanca y Alicia Apaza por todo el esfuerzo realizado, amor, paciencia, su enseñanza de lucha y consejos para hacernos personas de bien..

A mis hermanas Geovana Andrea y Tatiana Noemí por tenerlas a mi lado, enfrentar juntos situaciones adversas y compartir momentos de alegría.

R.A.H.A.

㊦5月㊦! (自㊦申㊦㊦)! ㊦㊦八! (自㊦企㊦株!

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a todas las instituciones y personas que me colaboraron en forma directa e indirecta durante la realización de este trabajo.

Agradezco a DIOS por haberme permitido la vida en este mundo y haber guiado mis pasos, por haberme dado una familia en la que apoyarme.

Al Proyecto QUINAGUA (Cooperación del Consejo Interuniversitario Flamenco - Bélgica) por haberme brindado el apoyo y la oportunidad de realizar la tesis a través de la beca otorgada.

Al Instituto de Desarrollo Regional (IDR-UMSA), Campus Universitario de Patacamaya y los responsables del Campus Ing. Rómulo Marza M. e Ing. Guillermo Marca M. por el apoyo.

A la Universidad Mayor de San Andrés a través de la Facultad de Agronomía, por haberme acogido y formado en sus aulas durante los años de estudio y el plantel docente por los conocimientos impartidos.

A la consultora COMAT S.R.L. por facilitarme información, a los gerentes Marco Silvestre y Noemí Gutierrez por el apoyo moral y amistad.

Agradecimiento muy profundo a la coordinadora del proyecto QUINAGUA y asesora Ing. Ph.D. Magalí García C., por haber confiado en mi persona para la realización de este trabajo, por el apoyo brindado, por todas las correcciones y sugerencias realizadas para el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. M.Sc. Sam Geerts por el asesoramiento y consejos brindados, por los conocimientos compartidos libremente y especialmente por su paciencia. Asimismo por brindarme su amistad más que asesor y su apoyo en campo, muchas gracias.

A los miembros de tribunal revisor Ing. M.Sc. Jorge Pascuali C., Ing. Ph.D. Aquiles Arce L. e Ing. Roberto Miranda C. por todas las correcciones, aportes y sugerencias brindadas en este trabajo.

Al Ing. Edwin Yucra S. por su amistad, sugerencias y apoyo desinteresado a los tesisistas del proyecto.

A mis queridos papás por todo el cariño, consejos y el gran esfuerzo para apoyarme económicamente durante todos los años de estudio; a mis hermanas por su apoyo y colaboración en situaciones buenas y malas.

A todos los tíos(as) y primos(as) de la familia Huanca y Apaza por su apoyo moral y darme ánimos, en especial a mis abuelitos Carmen y Tomás por todo su cariño, a mi tía Graciela por brindarnos su apoyo y alegría, a mis primas Shirley, Sheyla e Ivon.

A los tesisistas del proyecto QUINAGUA por su amistad, apoyo y brindar información: Richard Mamani Y., Armando Mamani M., Jorge Mendoza M., Octavio Condori C., Gladis Yana O., Edwin Mayta C. y Sonia Sarco. P.

A los amigos, compañeros agrónomos activos y retirados de la carpa Collpani por su apoyo moral a la distancia y los momentos compartidos: Marcial Achu A. (†), Verónica Álvarez K., Romel Chambi V., Daniel Choque A., Soledad Condori T., Vicente Garay C., Ida Huanto M., Freddy Meléndez H., Nieves Morales H., Patricia Nina D. y Gustavo Palma P.

A Mónica Fernández M., Edwin Alí Q., María Gallardo V., Caren Aliaga G., Carla Arzabe C., Ana Ticona Q. y todos los demás amigos y compañeros de clases por haber forjado esos vínculos de amistad y todos esos buenos recuerdos durante los años de estudio dentro de la facultad.

A todas aquellas personas que me colaboraron y que no mencioné, mil gracias!!!.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE ANEXOS	VIII
RESUMEN	IX
SUMMARY	XI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Hipótesis.....	3
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Características de la quinua	4
2.1.1 Origen e importancia.....	4
2.1.2 Taxonomía y morfología	6
2.1.3 Fenología del cultivo	8
2.1.3.1 Definición de fenología.....	8
2.1.3.2 Fases fenológicas	9
2.1.4 Requerimientos edafoclimáticos	12
2.1.4.1 Suelo	12
2.1.4.2 pH.....	12
2.1.4.3 Clima	12
2.1.4.4 Agua.....	13
2.1.4.5 Temperatura.....	13
2.1.4.6 Fotoperiodo	14
2.1.4.7 Altura.....	14
2.1.5 Variedades.....	14
2.2 Características de los abonos orgánicos (estiércol)	16
2.2.1 Generalidades de estiércol	16
2.2.2 Importancia del estiércol	18
2.2.3 Efectos del estiércol sobre las propiedades del suelo	19
2.2.4 Descomposición y mineralización del estiércol.....	19
2.2.5 Composición del estiércol	20
2.2.6 Aplicación de abono en cultivo de quinua.....	21
2.3 Riego.....	22
2.3.1 Generalidades de riego.....	22
2.3.2 Riego suplementario o deficitario.....	23

2.3.3	Necesidad de riego en Bolivia.....	24
2.3.4	Riego en quinua.....	24
2.3.5	Sistema suelo-agua-planta.....	25
2.3.6	Características de la sequía y déficit hídrico.....	26
2.3.6.1	Sequía.....	26
2.3.6.2	Déficit hídrico.....	27
2.3.6.3	Crecimiento de las plantas bajo estrés hídrico.....	28
2.3.6.4	Respuesta de la planta a la sequía.....	29
2.3.6.5	Resistencia a la sequía.....	29
2.3.6.6	Mecanismos de escape a la sequía.....	30
2.3.6.7	Efecto de la sequía en las fases fenológicas de quinua.....	31
2.3.7	Medición del estado hídrico en quinua.....	32
2.3.7.1	Cámara Scholander.....	33
2.3.7.2	Porómetro de difusión.....	34
2.3.7.3	TDR (Time Domain Reflectometry).....	35
3	LOCALIZACIÓN.....	37
3.1	Ubicación geográfica.....	37
3.2	Características agroecológicas de la zona.....	37
3.2.1	Clima.....	37
3.2.2	Riesgos climáticos.....	38
3.2.3	Suelo.....	39
3.2.4	Vegetación.....	40
3.2.5	Características fisiográficas.....	40
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
4.1	Materiales y equipos.....	41
4.1.1	Material biológico.....	41
4.1.2	Material de campo.....	41
4.1.3	Material de gabinete.....	42
4.1.4	Equipos.....	42
4.2	Metodología.....	42
4.2.1	Procedimiento experimental.....	42
4.2.2	Diseño experimental.....	43
4.2.3	Modelo lineal aditivo.....	43
4.2.4	Factores de estudio.....	43
4.2.5	Tratamientos.....	44
4.2.6	Dimensiones.....	45
4.2.7	Croquis del experimento.....	45
4.3	Trabajo de campo.....	47
4.3.1	Muestreo de suelo.....	47
4.3.2	Preparación y delimitación del terreno.....	47
4.3.3	Siembra.....	47
4.3.4	Riego.....	48
4.3.5	Medición de la conductancia estomática.....	49
4.3.6	Medición del potencial hídrico foliar.....	50
4.3.7	Medición de la humedad del suelo.....	50

4.3.8	Comportamiento climático Gestión 2006/2007	51
4.3.8.1	Precipitación.....	51
4.3.8.2	Temperatura.....	52
4.3.9	Labores culturales y control fitosanitario.....	53
4.3.10	Cosecha, trilla y venteo.....	54
4.4	Variables de respuesta.....	54
4.4.1	Variables agronómicas	54
4.4.1.1	Porcentaje de germinación.....	54
4.4.1.2	Altura de planta	55
4.4.1.3	Diámetro de panoja	55
4.4.1.4	Longitud de panoja.....	55
4.4.1.5	Peso de 1000 granos	55
4.4.1.6	Rendimiento	55
4.4.1.7	Índice de cosecha	55
4.4.2	Variables fenológicas.....	56
4.4.2.1	Días a las etapas fenológicas.....	56
4.4.2.2	Determinación en grados días.....	56
4.4.3	Variables de riego.....	57
4.4.3.1	Velocidad de Infiltración	57
4.4.3.2	Contenido de agua en el suelo.....	57
4.4.3.3	Eficiencia de uso de agua (EUA) en grano.....	58
4.4.3.4	Eficiencia de uso de agua (EUA) en biomasa	58
4.4.3.5	Evolución de la biomasa.....	59
4.4.3.6	Determinación del potencial hídrico foliar.....	59
4.4.3.7	Determinación de la conductancia estomática	59
4.4.4	Variables económicas.....	59
4.4.4.1	Ingreso Bruto.....	60
4.4.4.2	Ingreso Neto.....	60
4.4.4.3	Relación beneficio/costo.....	60
5	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	62
5.1	Evaluación de niveles de fertilización orgánica y riego deficitario	62
5.1.1	Variables agronómicas	62
5.1.1.1	Porcentaje de germinación.....	62
5.1.1.2	Altura de planta	63
5.1.1.3	Diámetro de panoja	66
5.1.1.4	Longitud de panoja.....	68
5.1.1.5	Peso de 1000 granos	69
5.1.1.6	Rendimiento	72
5.1.1.7	Índice de cosecha	73
5.1.2	Variables fenológicas.....	75
5.1.2.1	Días a la Floración	76
5.1.2.2	Días a la etapa de grano lechoso.....	77
5.1.2.3	Días a la etapa de masa de grano	79
5.1.2.4	Días a la etapa de grano pastoso duro	81
5.1.2.5	Determinación en grados días.....	83

5.2	Evaluación del estrés hídrico.....	86
5.2.1	VARIABLES DE RIEGO.....	86
5.2.1.1	Velocidad de infiltración.....	86
5.2.1.2	Evolución del agua en el suelo.....	86
5.2.1.3	Contenido de agua en el suelo.....	87
5.2.1.4	Eficiencia de uso de agua en grano.....	91
5.2.1.5	Eficiencia de uso de agua en biomasa.....	93
5.2.1.6	Evolución de la biomasa.....	95
5.2.1.7	Determinación del potencial hídrico foliar.....	98
5.2.1.8	Determinación de la conductancia estomática.....	102
5.3	ANÁLISIS INTEGRAL.....	105
5.3.1	Análisis Integral riego con variables agronómicas.....	105
5.3.2	Análisis integral riego con variables fenológicas.....	106
5.4	ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	107
5.4.1	VARIABLES ECONÓMICAS.....	107
5.4.1.1	Ajuste de los rendimientos.....	107
5.4.1.2	Precio de campo.....	108
5.4.1.3	Costos que varían.....	108
5.4.1.4	Beneficio bruto.....	108
5.4.1.5	Beneficio neto.....	108
5.4.1.6	Relación Beneficio-Costo.....	109
6	CONCLUSIONES.....	110
7	RECOMENDACIONES.....	114
8	BIBLIOGRAFÍA.....	116
9	ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición nutritiva del grano de quinua frente a otros cereales.....	5
Cuadro 2.	Variedades de Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.)	16
Cuadro 3.	Composición aproximada de las materias fertilizantes orgánicas	20
Cuadro 4.	Aporte de nutrientes por tipo de estiércol (kg/t de producto).....	21
Cuadro 5.	Frecuencia de presentación de heladas y granizo por meses	39
Cuadro 6.	Características agronómicas variedad Santa María.....	41
Cuadro 7.	Descripción de los tratamientos	44
Cuadro 8.	Balance hídrico y programación de riego calculado.....	49
Cuadro 9.	Riego total aplicado y precipitación.....	52
Cuadro 10.	Promedios de porcentaje de germinación en placas petri y campo	62
Cuadro 11.	Determinación en grados día (°C d) con relación a cada etapa fenológica para los nueve tratamientos.....	83
Cuadro 12.	Análisis de costos de producción	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cámara de presión tipo Scholander	33
Figura 2. Porómetro tipo AP-4	35
Figura 3. T.D.R. (Reflectometría en el dominio del tiempo).....	36
Figura 4. Ubicación de Patacamaya	37
Figura 5. Croquis del experimento.....	46
Figura 6. Precipitación durante la gestión agrícola 2006/2007	51
Figura 7. Temperaturas registradas en Patacamaya durante la gestión 06/07.....	53
Figura 8. Calibración del T.D.R.....	58
Figura 9. Promedios de altura de planta de Quinua por tipos de riego.....	63
Figura 10. Promedios de altura de planta de Quinua por niveles de abono	64
Figura 11. Curva de crecimiento Sigmoidal del cultivo de quinua para los nueve tratamientos durante el ciclo agrícola 2006/2007	65
Figura 12. Promedios de diámetro de panoja de Quinua por tipos de riego.....	66
Figura 13. Promedios de diámetro de panoja de quinua por niveles de abono	67
Figura 14. Promedios de longitud de panoja de quinua por tipos de riego.....	68
Figura 15. Promedios de longitud de panoja de quinua por niveles de abono.....	69
Figura 16. Promedios de peso de 1000 granos de quinua por tipos de riego.....	70
Figura 17. Promedios de peso de 1000 granos de quinua por niveles de abono	71
Figura 18. Promedio de rendimientos	72
Figura 19. Índice de cosecha para los nueve tratamientos.....	74
Figura 20. Índice de cosecha por tipos de riego	74
Figura 21. Índice de cosecha por niveles de abono.....	75
Figura 22. Días a la floración por tipos de riego	76
Figura 23. Días a la floración por niveles de abono orgánico	77
Figura 24. Días a la etapa de grano lechoso por tipo de riego	78
Figura 25. Días a la etapa de grano lechoso por niveles de abono	79
Figura 26. Días a la etapa de masa de grano por tipos de riego	80
Figura 27. Días a la etapa de masa de grano por niveles de abono.....	81
Figura 28. Días a la etapa de grano pastoso duro por tipos de riego	82
Figura 29. Días a la etapa de grano pastoso duro por niveles de abono.....	82
Figura 30. Grados días hasta la etapa de grano pastoso de los nueve tratamientos	84
Figura 31. Grados días por tipos de riego hasta la etapa de grano pastoso.....	85
Figura 32. Grados días por niveles de abono hasta la etapa de grano pastoso	85
Figura 33. Velocidad de Infiltración.....	86
Figura 34. Curva de retención de Agua	87
Figura 35. Contenido de humedad del suelo para riego deficitario 1 gestión agrícola 06/07	88
Figura 36. Contenido de humedad del suelo para riego deficitario 2 gestión agrícola 06/07	89
Figura 37. Contenido de humedad del suelo para riego deficitario 2 gestión agrícola 06/07	90
Figura 38. Eficiencia de uso de agua en la producción de grano (kg/m ³) para los 9 tratamientos.....	91

Figura 39. Promedios de eficiencia de uso de agua por grano en relación a tipos de riego.....	92
Figura 40. Promedio de eficiencia de uso de agua en grano con relación a niveles de abono	92
Figura 41. Eficiencia de uso de agua en la producción de biomasa total cosechada (kg/m ³) para los 9 tratamientos	93
Figura 42. Eficiencia de uso de agua en biomasa por tipos de riego.....	94
Figura 43. Eficiencia de uso de agua en biomasa por niveles de abono	94
Figura 44. Evolución de la biomasa (húmeda).....	95
Figura 45. Evolución de la biomasa (seca).....	97
Figura 46. Medición del potencial durante todo el ciclo a las 6:30 de la mañana	98
Figura 47. Medición del potencial durante todo el ciclo a las 11:30 de la mañana	99
Figura 48. Medición del potencial durante tres semanas a las 6:30 de la mañana	100
Figura 49. Medición del potencial durante tres semanas a las 11:30 de la mañana	100
Figura 50. Medición del potencial en distintas horas de un mismo día	101
Figura 51. Medición de la conductancia durante todo el ciclo.....	103
Figura 52. Medición de la conductancia durante tres semanas	103
Figura 53. Medición de la conductancia estomática en distintas horas de un mismo día.....	104
Figura 54. Comparación de riego deficitario con variables agronómicas.....	105
Figura 55. Comparación de riego deficitario con variables fenológicas	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica del lugar del experimento	124
Anexo 2. Análisis de varianza para altura de planta del cultivo de quinua.....	125
Anexo 3. Análisis de varianza para diámetro de panoja del cultivo de quinua.....	125
Anexo 4. Análisis de varianza para longitud de panoja del cultivo de quinua	125
Anexo 5. Análisis de varianza para peso de 1000 granos del cultivo de quinua.....	126
Anexo 6. Análisis de varianza para rendimiento de grano del cultivo de quinua	126
Anexo 7. Análisis de varianza para índice de cosecha	126
Anexo 8. Análisis de varianza para días a la floración	127
Anexo 9. Análisis de varianza para días a la etapa de grano lechoso	127
Anexo 10. Análisis de varianza para días a la etapa de masa de grano	127
Anexo 11. Análisis de varianza para grano pastoso duro	128
Anexo 12. Análisis de varianza para etapa de grano pastoso en grados día	128
Anexo 13. Análisis físico-químico de abonos.....	129
Anexo 14. Análisis físico-químico de suelos antes de la siembra	130
Anexo 15. Análisis físico-químico de suelos después de la cosecha	131
Anexo 16. Descripción de calicatas después de la cosecha dentro del área experimental	132
Anexo 17. Análisis físico-químico del agua de riego de patacamaya	133
Anexo 18. Análisis químico de Nitrógeno, Fósforo y Potasio de las hojas de quinua.....	134
Anexo 19. Costos de producción para el cultivo de quinua.	135
Anexo 20. Registro fotográfico del trabajo	136

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en el Altiplano Central en predios del Campus Universitario del municipio de Patacamaya (ex-IBTA) entre el período agrícola octubre de 2006 a junio de 2007, geográficamente se encuentra ubicado a 17°16' de Latitud Sur y 67°57' de Longitud Oeste y una altitud de 3799 msnm . Entre los objetivos planteados se tiene: evaluar el efecto de tres niveles de fertilización orgánica (estiércol ovino) y tres niveles de riego deficitario (RD) sobre las variables agronómicas y fenológicas de la quinua, la evolución del estrés hídrico por aplicación de diferentes niveles de riego deficitario (RD) y los costos de producción de quinua considerando la aplicación de riego; para lo cual se utilizó la variedad de quinua “Santa María” por ser una variedad ya adaptada para el altiplano central.

Se tuvo dos factores de estudio riego deficitario (RD) y niveles de abono orgánico, ambos con tres niveles: RD 1 (establecimiento), RD 2 (establecimiento, floración y grano lechoso) y RD 3 (establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso) para el factor riego deficitario y 0, 5 y 10 t/ha para el factor niveles de fertilización orgánica. Entre las variables agronómicas evaluadas se tuvieron: altura de planta, diámetro de panoja, longitud de panoja, peso de 1000 granos, rendimiento e índice de cosecha; para las variables fenológicas se evaluaron los días a las etapas fenológicas (floración, grano lechoso, masa de grano y grano pastoso duro) y grados día.

El efecto de los niveles de abono en todas las variables agronómicas, estadísticamente no mostró diferencias significativas, esto debido al estado de descomposición del abono y tiempo de aplicación antes del establecimiento del cultivo que por lo menos debería ser unos tres meses. Para las variables fenológicas solo en la etapa de grano lechoso se tiene diferencias significativas entre los niveles de 0 y 5 t/ha de abono, el efecto de la materia orgánica no es inmediato en las demás variables, pero su presencia ayuda en la retención de humedad del suelo que aprovechan las plantas para su desarrollo.

El efecto de riego en la variable peso de 1000 granos es muy notorio ya que se tiene diferencias significativas, los tratamientos con RD 1 llegaron a obtener sólo 3,6 g en peso frente a 5,1 g de los tratamientos con RD 2 y RD 3; en la variable rendimiento los tratamientos con RD 1 obtuvieron valores menores a 1000 kg/ha a diferencia de los tratamientos con RD 2 y RD 3 que superan los 1000 kg/ha, el efecto de riego en etapas críticas y periodos de sequía son muy beneficiosos ya que no solo favorece el incremento del rendimiento sino también mejora la calidad de grano en cuanto a tamaño (peso de 1000 granos). Con relación a las variables días a las etapas fenológicas (floración, grano lechoso, masa de grano y grano pastoso duro) y grados día el efecto del riego se refleja en los tratamientos con RD 1 mostrando diferencias estadísticas significativas frente a los tratamientos con RD 2 y RD 3, se comprueba el efecto del riego en el desarrollo, ya que los tratamientos con RD 2 y RD 3 necesitaron menos días para llegar a cada etapa a partir de la floración hasta grano pastoso duro.

Para la evolución del estrés hídrico se utilizaron los equipos T.D.R. (Time Domain Reflectometry) para medir la humedad del suelo, Cámara Scholander para determinar el potencial hídrico foliar y Porómetro para medir la conductancia estomática; se determinó que al existir un menor contenido de humedad en el suelo, los valores del potencial hídrico foliar incrementan provocando un estrés por falta de agua a las plantas; asimismo los valores de conductancia estomática son menores ya que la plantas a falta de agua tratan de evitar pérdidas de agua por transpiración cerrando los estomas. Mediciones realizadas entre las 6:30 de la mañana con la Cámara Scholander mostraron valores de potencial entre -1MPa y -2MPa, en cambio cerca de medio día 11:30 estos valores se incrementaron entre -2MPa y -3MPa, lo que muestra que las plantas sufren mayor estrés hídrico por el incremento de la radiación.

Finalmente para los costos de producción los tratamientos que mayor beneficio/costo mostraron fueron los que no tenían ningún nivel de abono (0 t/ha) 2,40 Bs para RD 1, 4,01 Bs para RD 2 y 3,54 Bs para RD 3, de estos tres el tratamiento con RD 2 es el que obtuvo mayor rentabilidad por obtener mayor rendimiento al aplicar riego en etapa de floración y grano lechoso, cuando la planta demanda mayor cantidad de agua.

SUMMARY

The investigation work was carried out in the Bolivian Central Highland in the University Campus of the municipality of Patacamaya (ex-IBTA) during the period of October 2006 to June 2007, geographically it is located at 17°16' of South Latitude and 67°57' of West Longitude and an altitude of 3799 masl . The objectives were: to evaluate the effect of three levels of organic fertilization (sheep's manure) and three levels of deficit irrigation (DI) on the agronomic and phenological variables of quinoa, the evolution of the drought stress for application of different levels of deficit irrigation (DI) and the production costs of quinoa considering the irrigation application; therefore the quinoa variety "Santa María" was used, which is a variety adapted for the central highland.

The two study variables were: deficit irrigation (RD) and organic fertilization, both with three levels: DI 1 (establishment), DI 2 (establishment, flowering and milky grain) and DI 3 (establishment, pre-flowering, flowering and milky grain) for the factor deficit irrigation and 0, 5 and 10 ton/ha for the factor levels of organic fertilization. Among the evaluated agronomic variables there were: plant height, flower bud diameter, flower bud longitude, weight of 1000 grains, yield and harvest index; the phenological variables were evaluated for days to the phenological stages (flowering, milky grain, pasty grain and hard grain) and degree day sums.

The effect of the organic fertilization levels in all the agronomic variables, statistically didn't show significant differences, this was due to the state of decomposition of the manure and time of application before the establishment of the crop that at least it should be about three months earlier. For the phenological variables only in the stage of milky grain one has significant differences between the levels of 0 and 5 ton/ha, the effect of the organic matter is not significant in the other variables, but its presence helps in the retention of humidity of the soil that the quinoa plants take advantage for its development.

The irrigation effect in the variable weight of 1000 grains is very notorious since one has significant differences, the treatments with DI 1 ended up only obtaining 3,6 g in weight compared with 5,1 g from the treatments with DI 2 and DI 3; for the variable yield the treatments with DI 1 obtained smaller values than 1000 kg/ha contrary to the treatments with DI 2 and DI 3 that bypassed 1000 kg/ha, the irrigation effect in critical stages and periods of drought are very beneficial since not alone it favors the increment of the yield but also improves the grain quality and size (weight of 1000 grains). With respect to the variable days to the phenological stages (flowering, milky grain, pasty grain and hard grain) and degree day sums the effect of the irrigation is reflected in the treatments with DI 1 showing significant statistical differences compared with the treatments with DI 2 and DI 3, this proves the effect of the irrigation in the development, since the treatments with DI 2 and DI 3 needed less days to reach each phenological stage starting from the flowering until hard grain.

For the evolution of the drought stress the TDR (Time Domain Reflectometry) equipment was to measure the humidity of the soil, Camera Scholander to determine the leaf water potential and Porometer to measure the stomatal conductance; it was determined that for smaller soil water contents, the values of the leaf water potential increases causing a stress due to lack of water for the plants; also the values of stomatal conductance are smaller in response to drought stress since the plants try to avoid losses of water by transpiration by closing their stomata: Measures carried out at 6:30 in the morning with the Camera Scholander showed potential values between -1MPa and -2MPa, on the other hand near mid-day (11:30) these values were increased between -2MPa and -3MPa, what shows that the plants suffer bigger drought stress due to the increment of the radiation.

Finally for the production costs the treatments that bigger benefit/cost showed those that didn't have any manure level were (0 t/ha) 2,40 Bs for DI 1, 4,01 Bs for DI 2 and 3,54 Bs for DI 3, of these three the treatment with DI 2 is the one that obtained bigger profitability to obtain bigger yield when applying irrigation in stage of flowering and milky grain, when the plant demands bigger quantity of water.

1 INTRODUCCIÓN

La Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano andino que sirve de alimento desde épocas prehispánicas debido a su elevado valor nutritivo en cuanto a proteínas, vitaminas y minerales (PROINPA, 2003). Actualmente es uno de los principales cultivos que generan ingresos económicos a familias de agricultores en el Altiplano Boliviano, llegando a superar precios por tonelada de hasta cinco veces más que la soya en mercados de Europa y Estados Unidos, sobre todo si su producción fue orgánica (Infoagro, 2002).

Por otra parte es uno de los pocos cultivos de los que se puede obtener producciones económicamente rentables en el Altiplano Boliviano ante la presencia de condiciones climáticas muy drásticas (sequías, temperaturas extremas, etc.) por su amplia variabilidad genética. A pesar de su extrema resistencia, estudios han demostrado que limitadas aplicaciones de riego y fertilizante podrían incrementar sustancialmente su rendimiento. Esto significa que un limitado riego suplementario en quinua es beneficioso para prevenir malas cosechas en años secos.

Igualmente el uso de los abonos orgánicos tiene una influencia positiva en la producción agrícola, por contener nutrientes benéficos para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. La incorporación de estos residuos orgánicos, permite mejorar las condiciones físicas del suelo y aumenta la actividad microbiológica en el suelo.

Con relación al uso de estiércol, se realizaron ya distintos trabajos de investigación en diferentes cultivos y lugares; en cuanto al cultivo de quinua se tiene trabajos de investigación pero con aplicación de fertilizantes inorgánicos, casi no se tiene experiencias con el uso de abonos orgánicos.

En el Altiplano boliviano no se tiene muchos trabajos de investigación en los que se aplique riego a cultivos realizados a campo abierto, sobre todo en quinua que por lo

general se produce a secano, ya que existe muy poco interés por parte de los agricultores en realizar trabajos adicionales, posiblemente porque esto significaría un incremento en el uso de mano de obra y como consecuencia en los costos de producción.

“Bolivia tiene la menor cobertura de riego por área potencial regable en América Latina. Solamente unas 226500 hectáreas tienen riego, lo que representa el 14% del total de superficie cultivada anual (1800000 hectáreas), la mayor parte ubicada en valles y altiplano” MAGDER (2002), citado por Rojas (2004).

La anterior cita demuestra el poco desarrollo del riego en Bolivia, siendo este fenómeno mucho más notorio en quinua. Entonces se dan hipótesis que mencionan que por esta razón los rendimientos son bajos, influyendo de forma directa en los ingresos económicos de los productores y por lo tanto en la calidad de vida de los mismos.

Experiencias previas han demostrado que con limitadas cantidades de agua adicionada al cultivo como riego, los rendimientos pueden elevarse y estabilizarse en mas de 1000 kg/ha , nivel que es superior al presente. También se ha sugerido que otro gran limitante para la producción de quinua es la falta de Nitrógeno, sin embargo no se conoce el efecto sinérgico de estos dos factores de cultivo.

Por estos motivos, con el presente trabajo, se pretende evaluar la interacción entre la aplicación de riego y de abono orgánico sobre el rendimiento de la quinua por medio de la aplicación de riego deficitario para cubrir parcialmente la demanda de agua del cultivo y la utilización de abono orgánico (estiércol ovino) para reducir los costos de producción, y obtener mayores ingresos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar los rendimientos del cultivo de la Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo la aplicación de distintos niveles de abono orgánico (estiércol ovino) en sinergia con riego deficitario en la localidad de Patacamaya, Provincia Aroma del departamento de La Paz.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de tres niveles de fertilización orgánica (estiércol ovino) y tres niveles de riego deficitario sobre las variables agronómicas y fenológicas de la quinua.
- Evaluar la interacción entre niveles de fertilización orgánica y niveles de riego deficitario sobre las variables agronómicas del cultivo de quinua.
- Evaluar la evolución del estrés hídrico en cuanto a la fisiología bajo diferentes niveles de riego deficitario.
- Evaluar los costos parciales de producción de la quinua considerando la aplicación de riego deficitario.

1.2 Hipótesis

- La aplicación de diferentes niveles de abono orgánico y riego deficitario, no produce diferencias en las variables agronómicas y fenológicas de quinua.
- La fertilización orgánica y el riego no muestran efectos sinérgicos sobre los rendimientos de la quinua.
- No existen niveles claves de potencial hídrico foliar ni de resistencia estomática para delimitar niveles de estrés hídrico en la quinua.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características de la quinua

2.1.1 Origen e importancia

PROINPA (2003), indica que, el cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se remonta a épocas prehispánicas 500 años a.c., donde las culturas existentes cultivaban la quinua en las laderas de las serranías aledañas a los salares de Uyuni y Coipasa. Fue el principal alimento de nuestras culturas bolivianas y actualmente es el alimento de mucho valor para el mundo entero, por su valioso aporte en proteínas, vitaminas, minerales y el balance existente entre estos.

Mujica *et al.* (2004), menciona que la zona andina comprende uno de los ocho mayores centros de domesticación de plantas cultivadas del mundo, dando origen a uno de los sistemas agrícolas más sostenibles y con mayor diversidad genética del mundo. Menciona también que la quinua fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas, y reemplazada por los cereales a la llegada de los españoles, a pesar de constituir un alimento básico de la población desde entonces.

Infoagro (2002), menciona que, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano nativo de los Andes, por ende las condiciones agrícolas y de cultivo son las óptimas en las regiones del altiplano y los valles altos de nuestro país. Es un cultivo con buenos rendimientos en lugares áridos y semiáridos. Por otra parte, los precios pagados en mercados europeos y estadounidenses por tonelada métrica de quinua orgánica son elevados, hasta cinco veces más que el precio internacional de la soya por tonelada métrica.

Infoagro (2002), también indica que este grano es el único alimento vegetal que provee de todos los aminoácidos esenciales para la vida del ser humano y en valores cercanos a los establecidos por la FAO, lo cual hace que la proteína de la quinua sea

de excelente calidad; sus características nutritivas hacen que se equipare a la leche. Aunque el ser humano no puede sobrevivir con un solo alimento, afirma que si tuviera que depender de un solo alimento para sobrevivir, la mejor opción sería sin lugar a dudas la quinua.

En el Cuadro 1 se presenta una comparación nutritiva de la quinua:

Cuadro 1. Composición nutritiva del grano de quinua frente a otros cereales

Componentes	Quinua	Trigo	Avena
Calorías	336,0	330,0	405,0
Agua	10,8	16,5	9,3
Proteínas	12,1	9,2	10,6
Grasas	6,1	1,5	10,2
Carbohidratos	68,3	71,6	68,5
Fibra	6,8	3,0	2,7
Cenizas	2,7	1,1	1,5
Calcio	107,0	36,0	100,0
Fósforo	302,0	224,0	321,0
Hierro	5,2	4,6	2,5
Tiamina	1,5	0,2	0,0
Riboflavina	0,3	0,8	0,0
Niacina	1,2	2,8	0,0
Ac. ascórbico	1,1	0,0	0,0

Fuente: PROCISUR-ICCA (1997), citada por Infoagro (2002).

Este grano según PROINPA (2002), contiene proteínas de alto valor nutricional, que incluso pueden reemplazar a las proteínas de la carne. La quinua es importante no solo por su valor nutritivo, sino porque es un cultivo rústico, que se adapta y tiene buenos rendimientos por encima de los 1000 kg/ha en condiciones muy adversas, por ejemplo cerca del Salar de Uyuni, en áreas desérticas (con menos de 150 mm de precipitación al año), salitrosas y por encima de los 3800 msnm , donde existen frecuentes heladas.

2.1.2 Taxonomía y morfología

Según Mujica *et al.* (2004) y actualizada según The Angiosperm Phylogeny Group (2003), la clasificación taxonómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es la siguiente:

Reino	:	Vegetal
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Sub Clase	:	Angiospermas
Orden	:	Caryophyllales
Familia	:	Amaranthaceae
Sub-familia	:	Chenopodioideae
Genero	:	Chenopodium
Especie	:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willdenow

Encarta (2007), menciona que, la quinua es una herbácea que alcanza de 1 a 2 m de altura. De su tallo principal salen ramas que se hacen más cortas a medida que brotan a más altura, formando un cono. Las hojas son lanceoladas, no denticuladas, farinosas de nervaduras pinnadas. Las flores son pequeñas en pedúnculos apretados, terminales, hermafroditas. La semilla es un grano pequeño de forma discoidal. Tradicionalmente, en Bolivia, las hojas y las flores se mastican mezcladas con hojas de coca por su gran poder analgésico y desinfectante.

Tapia (1997), describe a la planta de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como una planta anual de tamaño muy variable, puede medir desde 1 hasta 3,5 m de altura, según los ecotipos, las razas y el medio ecológico donde se cultiven. Morfológicamente se describe a la quinua de la siguiente manera:

- a) **Raíz:** Es fasciculada, llegando a tener una profundidad de 0,50 a 2,80 m según el ecotipo, la profundidad del suelo y la altura de la planta. En algunos ecotipos

de Colombia se ha observado que, en caso de fuertes vientos, la raíz no soporta el peso de la planta y esta puede volcarse.

- b) Tallo:** Es de sección circular cerca de la raíz, transformándose en angular a la altura donde nacen las ramas y hojas. La corteza del tallo esta endurecida, mientras la médula es suave cuando las plantas son tiernas y seca con textura esponjosa cuando maduran.
- c) Hojas:** Son de carácter polimorfo en una sola planta: las hojas basales son romboides, mientras las hojas superiores, generalmente alrededor de la inflorescencia, son lanceoladas. La lámina de las hojas tiernas esta cubierta de una pubescencia granulosa vesciculosa en el envés y algunas veces en el haz. Esta cobertura varía del blanco al color rojo-púrpura, aunque también existen variedades sin pubescencia.
- d) Inflorescencia:** Se denomina panícula, por tener un eje principal más desarrollado, del cual se originan ejes secundarios. Según el tipo de la panoja se agrupa a todas las quinuas en amarantiforme, glomerulada e intermedia. La inflorescencia glomerulada se considera la forma primitiva y conjuntamente con la amarantiforme pueden ser laxas o compactas; este carácter esta muy relacionado al rendimiento del cultivo.
- e) Flores:** En una misma inflorescencia se pueden presentar flores hermafroditas, generalmente terminales y femeninas o pistiladas. La proporción de flores pistiladas varía según los ecotipos. Se estudió 40 introducciones procedentes de Ecuador, Perú y Bolivia, observando más de 240 flores en 102 plantas por introducción. El autor concluye que la quinua puede presentar una gran variación sexual y cuando se presentan flores hermafroditas con poco grano de polen, su tendencia es a la esterilidad masculina; por lo que pueden haber individuos totalmente alógamos.

- f) Fruto:** El fruto de la quinua es un aquenio, tiene forma cilíndrico – lenticular, levemente ensanchado hacia el centro, en la zona ventral del aquenio se observa una cicatriz que es la inserción del fruto en el receptáculo floral, está constituido por el perigonio que envuelve a la semilla por completo y contiene una sola semilla, de coloración variable, con un diámetro de 1,5 a 4 mm , la cual se desprende con facilidad a la madurez y en algunos casos se puede permanecer adherido al grano incluso después de la trilla dificultando la selección, el contenido de humedad del fruto a la cosecha es de 14,5%.
- g) Semilla:** Constituye el fruto maduro sin el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presenta tres partes bien definidas que son: epispermo, embrión y perisperma. El epispermo esta constituido por cuatro capas, la saponina que le da el sabor amargo al grano se ubica en la primera membrana.

2.1.3 Fenología del cultivo

2.1.3.1 Definición de fenología

Para Torrez (1984), citado por Mamani (2007), la fenología estudia los fenómenos morfológicos periódicos que suceden en los seres vivos durante su crecimiento y sus relaciones con las condiciones medio ambientales de luz, temperatura, humedad, etc. La emergencia de los cultivos, brotación de los frutos, floración, fructificación, corresponden a estudios de fenología vegetal. La fenología según Espíndola (1995), citado por Alanoca (2002), estudia los fenómenos periódicos de las plantas, en sus relaciones con los factores ambientales como la luz, temperatura, humedad, longitud del día, etc.

Mujica *et al.* (2004), menciona que la fenología son los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la formación de nuevas semillas, los cuales son el resultado de las condiciones ambientales, cuyo seguimiento

es una tarea muy importante para agrónomos y agricultores, puesto que ello servirá para efectuar futuras programaciones de las labores culturales, riegos, control de plagas y enfermedades, aporques, identificación de épocas críticas; asimismo le permite evaluar la marcha agrícola y tener una idea concreta sobre los posibles rendimientos de sus cultivos, mediante pronósticos de cosecha, puesto que el estado del cultivo es el mejor indicador del rendimiento.

2.1.3.2 Fases fenológicas

Espíndola (1994), citado por Rodríguez (2005), trabajando con quinua eminentemente altiplánicas, señala que en la planta se pueden distinguir notoriamente nueve etapas morfo-anatómicas distinguibles, las mismas que se describen con las siguientes características:

- 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 dos cotiledones varía de 3 a 5 días.
- 1. Etapa cotiledonar:** Es la etapa posterior al cuarto día en la que el hipocotilo 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 a 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 del tercio inferior. El aspecto externo que caracteriza a esta etapa es la fácil visualización de 13 hojas alternas completamente expandidas. Sin embargo, lo que mas 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 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 prefloración, en esta etapa aun no hay apertura de ninguna flor. El despunte de la flórula (inflorescencia) constituida por un gran número de panículas, tiene el aspecto visible en una bellota con la cúspide hacia arriba. Posteriormente, con el proceso de la elongación, adquiere la forma de un cono con la cúspide roma. Si la planta es de hábito 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 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 fase de floración cuando el 50% de la población de flores de la panoja principal ya están florecidas y las restantes en trabajo de floración. El tiempo de floración varía en función a las condiciones ambientales y en general dura de 15 a 20 días, desde la primera flor aparecida hasta la última flor de las panojas basales.
- 7. Etapa de grano lechoso:** Es la etapa de la fecundación. En el óvulo de una 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. Esto marca el principio de un periodo de rápida acumulación de fotosintatos en las células perispérmicas, acumulación que no es sino consecuencias del paulatino incremento de la actividad fotosintética de las hojas y tallos verdes. 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 de grano:** Es la etapa en la 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 de 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:** 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 la semilla es dificultosamente partida bajo la presión de las uñas de los dedos, como consecuencia de que las estructuras almidonosas del perisperma se han solidificado, relegando el contenido de agua en un rango de 15 a 20%. Morfológicamente las plantas en su generalidad muestran hojas verde-amarillentas que van defoliándose en forma gradual.

2.1.4 Requerimientos edafoclimáticos

2.1.4.1 Suelo

Mujica *et al.* (2004), menciona que la quinua prefiere suelo franco, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas y un contenido medio de nutrientes, ya que la planta es exigente en nitrógeno y calcio, moderadamente en fósforo y poco de potasio. También se adapta a suelos franco arenosos, arenosos o franco arcillosos, siempre que se le provea de nutrientes y no exista la posibilidad de encharcamiento del agua, puesto que es muy susceptible al exceso de humedad sobre todo en los primeros estados.

2.1.4.2 pH

Según Mujica *et al.*(2004), la quinua tiene un amplio rango de crecimiento y producción a diferentes pH del suelo, se ha observado que da producciones buenas en suelos alcalinos de hasta 9 de pH en los salares de Bolivia y de Perú, como también en condiciones de suelos ácidos encontrando extremos de acidez donde prospera la quinua equivalente a 4,5 de pH en la zona Michiquillay en Cajamarca, Perú.

Estudios efectuados al respecto indican que pH de suelo alrededor de la neutralidad son ideales para la quinua; sin embargo es conveniente recalcar que existen genotipos adecuados para condiciones extremas de salinidad o alcalinidad, por lo que se recomienda utilizar el genotipo más adecuado para cada condición de pH.

2.1.4.3 Clima

Mujica *et al.* (2004), con respecto a clima la quinua por ser una planta que presenta mucha plasticidad y tener amplia variabilidad genética, se adapta a diferentes climas desde el desértico, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando hasta

las cabeceras de la ceja de selva con mayor humedad relativa en la puna y zonas cordilleranas de grandes altitudes, por ello es necesario conocer que genotipos son adecuados para cada una de las condiciones climáticas.

2.1.4.4 Agua

Mujica *et al.* (2004), también afirma que la quinua es un organismo eficiente en el uso de agua, a pesar de ser una planta C3, puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten no solo escapar a los déficit de humedad, sino tolerar y resistir la falta de humedad del suelo; en general, la quinua prospera con 250 a 500 mm anuales en promedio, en caso de utilizar riegos estos deben ser suministrados en forma periódica y ligeros; sin embargo a la quinua también se la encuentra creciendo y dando producciones aceptables con precipitaciones mínimas de 200-250 mm anuales, como es el caso del altiplano sur boliviano.

En lo referente a humedad relativa, la quinua crece sin mayores inconvenientes desde el 40% en el altiplano hasta el 100% de humedad relativa en la costa, esta alta humedad relativa se presenta en los meses de mayor desarrollo de la planta (enero y febrero), lo que facilita que prosperen con mayor rapidez las enfermedades fungosas como es el caso del Mildew o Mildiú (*Peronospora farinosa*), por ello en zonas con alta humedad relativa se debe sembrar variedades resistentes al mildiú.

2.1.4.5 Temperatura

Con relación a la quinua, según Mujica *et al.* (2004), la temperatura media adecuada para la quinua esta alrededor de 15-20 °C , sin embargo se ha observado que con temperaturas medias de 10 °C se desarrolla perfectamente el cultivo, así mismo ocurre con temperaturas medias y altas de hasta 25 °C , prosperando adecuadamente. Al respecto se ha determinado que esta planta también posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas, soportando hasta -8 °C en

determinadas etapas fenológicas, siendo la mas tolerante la ramificación y las más susceptibles la floración y llenado de grano.

2.1.4.6 Fotoperiodo

La quinua por su amplia variabilidad genética (Frere *et al.*, 1975 citado por Mujica, 2004), presenta genotipos de días cortos, de días largos e incluso indiferentes al fotoperiodo, adaptándose fácilmente a estas condiciones de luminosidad, este cultivo prospera adecuadamente con tan solo 12 horas diarias en el hemisferio sur sobre todo en los Andes de Sud América, mientras que en el hemisferio norte y zonas australes con días de hasta 14 horas de luz prospera en forma adecuada, como lo que ocurre en las áreas nórdicas de Europa. En la latitud sur a 15°, alrededor del cual se tiene las zonas de mayor producción de quinua, el promedio de horas luz diaria es de 12,19 con un acumulado de 146,3 horas al año.

2.1.4.7 Altura

Según Mujica *et al.* (2004), la quinua crece y se adapta desde le nivel del mar hasta cerca de los 4000 msnm , quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su periodo vegetativo, comparados a la zona andina, observándose que el mayor potencial productivo se obtiene a nivel del mar habiendo obtenido hasta 6000 kg/ha , con riego y buena fertilización.

2.1.5 Variedades

Actualmente existe gran cantidad de variedades y cultivares utilizados comercialmente en la producción de quinua (Mujica *et al.*, 2004). Entre estas se tiene principalmente de Perú, Bolivia, Ecuador, Argentina, Colombia, etc. En Bolivia se tiene entre otros a: Sajama, Sayaña, Chucapaca, Camiri, Huaranga, Ratuqui, Samaranti, Robura, Real, Toledo, Pandela, Utusaya, Mañiqueña, Señora, Achachino, Limeña, etc.

Infoagro (2002), menciona que en el altiplano boliviano se clasifica a la quinua de acuerdo a diferentes aspectos técnicos como periodo vegetativo (precoz, semiprecoz, tardío), resistencia a heladas, resistencia a sequías, contenido de saponina (dulce, semidulce, amarga), resumiendo su diversidad en 5 categorías básicas:

- a)** Quinua de valles (2000 y 3000 msnm) son tardías y de porte alto.
- b)** Quinua de altiplano (alrededor del Lago Titicaca) soportan heladas y relativa escasez de lluvias.
- c)** Quinua de terrenos salinos (llanuras del altiplano de Bolivia), soportan suelos salinos.
- d)** Quinua del nivel del mar (encontrada en el sur de Chile), son plantas pequeñas, sin ramas y con granos amargos.
- e)** Quinuas sub-tropicales (valles interandinos de Bolivia) presentan granos pequeños blancos o amarillos.

En el Banco Nacional de Germoplasma a cargo de la Fundación PROINPA localizado en el departamento de La Paz se conservan mas de 2834 variedades de quinua (PROINPA, 2002), muchas de las accesiones actualmente tienen uso comercial, es el caso de la quinua “Real Blanca” (Altiplano Sur), que es muy cotizada en los mercados nacionales e internacionales. Las accesiones procedentes del Altiplano Norte y Centro, por su tamaño pequeño o mediano, eran utilizadas principalmente para el autoconsumo. Actualmente su demanda se ha incrementado ante la diversidad de productos que oferta la agroindustria.

Según Tapia (1997), técnicas como la hibridación han sido empleadas con relativa respuesta, debido a la amplia variabilidad que muestra la quinua. Los ecotipos de la zona de los salares al sur de Bolivia presentan la mejor adaptación a bajas precipitaciones y suelos salinos. A continuación se presenta las variedades más representativas en el altiplano:

Cuadro 2. Variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Variedad	Tipo	Color/grano	Sabor
Chucapaca	Cruce (Real x Sajama)	Blanco	Semidulce
Kamiri	Cruce (Real x Sajama)	Blanco	Semidulce
Waranga	Cruce (Real x Sajama)	Blanco	Semidulce
Sajama	Cruce (Dulce x Altiplano)	Blanco	Dulce
Sajama amarantiforme	Cruce (Dulce x Altiplano)	Blanco	
Samaranti	Altiplano	Blanco	Amargo
Sayaña	Altiplano	Amarillo-crema	Amargo
Pasancalla	Salar	Rosado	Amargo
Real Blanca	Salar	Blanco	Amargo

Fuente: Tapia (1997)

2.2 Características de los abonos orgánicos (estiércol)

2.2.1 Generalidades de estiércol

Para la National Plant Food Institute (2001), el abono animal es más valioso por su materia orgánica que por sus elementos fertilizantes. El estiércol natural contiene 60% o más de humedad y es desagradable al manipularlo, mientras que el material desecado comercial es inodoro e inofensivo. El abono sin tratar contiene grandes cantidades de semilla de maleza con capacidad de germinación y, además, es un fertilizante desbalanceado para la mayoría de las condiciones debido a que es demasiado pobre en fósforo aprovechable. Casi siempre contiene todos los nutrientes secundarios y micro, aunque las cantidades relativas dependen de la dieta del animal. Proporciona alimento para las bacterias del suelo y mejora la labranza de la tierra.

Chilón (1997), define como materia orgánica del suelo a los productos de la predescomposición y descomposición de toda fuente primaria y secundaria de la materia orgánica no humificada, formado por la biomasa vegetal y animal, la biomasa

microbiana y el humus; constituida a su vez por sustancias no húmicas como materiales orgánicos sencillos, azúcares y aminoácidos; materiales orgánicos de elevado peso molecular; polisacáridos y proteína; también sustancias húmicas estrictas.

Aguirre (1977), citado por Catari (2002), indica que el estiércol está compuesto por una mezcla de paja o productos que llegan a formar las deyecciones de los animales (sólidas y líquidas). Su descomposición se obtiene a través de un proceso de fermentación, como resultado de este proceso se forma el “estiércol hecho” con excelentes cualidades como fertilizantes orgánicos.

Según Fuentes (2002), los fertilizantes orgánicos son aquellos productos que tienen por misión fundamental generar humus. También aportan, en mayor o menor proporción, elementos nutritivos, pero este aspecto se considera secundario, ya que habitualmente el suministro de elementos nutritivos se hace con fertilizantes minerales. Según el grado de transformación diferencia tres clases de estiércol detallados a continuación:

- a) ***Estiércol fresco***: cuando se puede identificar el material empleado para camas, ya que la transformación apenas ha comenzado.

- b) ***Estiércol semihecho***: tiene un grado intermedio de descomposición.

- c) ***Estiércol maduro***: cuando ya no se puede identificar el material empleado para camas.

Encarta (2007), menciona que, el estiércol y los desechos vegetales o animales utilizados como fertilizante son ricos en humus (materia orgánica en descomposición), el estiércol libera muchos nutrientes importantes en el suelo. No obstante, es deficiente en tres de ellos: nitrógeno, fósforo y potasio. Un fertilizante comercial contiene unas veinte veces más nitrógeno, fósforo y potasio que el estiércol. Por ello,

éste se utiliza a menudo junto con otros fertilizantes. El estiércol contribuye también a aflojar el suelo y retener el agua.

2.2.2 Importancia del estiércol

Ignatieff y Harold (1969), citados por Catari (2002), señalan que la materia orgánica del suelo, está formada de excrementos y despojos animales. El ganado que padece en los campos, los gusanos y una innumerable variedad de insectos del suelo, a los que se unen millones de microorganismos, bacterias, hongos y actinomicetes, contribuyen todo a la descomposición de los residuos de las plantas y a su esparcimiento por la superficie del suelo.

Jacob y Uexkull (1973), citados por Catari (2002), indican que la mayoría de los abonos de origen animal, contienen varios elementos nutritivos (particularmente N, P, K así como pequeñas cantidades de elementos menores), cuya concentración es sin embargo, más baja que las de los fertilizantes minerales. A pesar de ello, el estiércol no debe valorarse únicamente por su contenido en nutrientes, sino también por su benéfico efecto en el suelo.

Según SEMTA (1987), cuando las tierras se utilizan de manera inadecuada, las cosechas se reducen y el producto no alcanza para el autoconsumo, por lo tanto se deben emplear los abonos naturales como el estiércol, para obtener buenos resultados en la producción.

Para Tisdale *et al.* (1991), el estiércol debe considerarse primeramente como un abono nitrogenado y en un nivel menor como un abono potásico. La pérdida de nutrientes en el estiércol es seria, por ejemplo, si el estiércol se deja secar en la superficie del suelo después de ser esparcido y antes de ser labrado, un 25% de nitrógeno puede perderse por volatilización en un día y un 50% en 4 días.

2.2.3 Efectos del estiércol sobre las propiedades del suelo

Según Thompson y Troech (1982), citados por Catari (2002), la materia orgánica es capaz de retener un peso de agua superior al suyo, esto es debido a que presenta elevada porosidad. Un 1% de estiércol en el suelo a capacidad de campo retiene aproximadamente 1,5% de agua en volumen.

Donahue (1981), indica que la materia orgánica y el estiércol es una porción activa importante del suelo, este se encuentra en pequeña cantidad (1 a 5%), que puede modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, aumenta la porosidad y mejora las relaciones agua-aire, reduciendo la erosión ocasionada por el agua y el viento. También señala que la materia orgánica es fuente de nitrógeno en el suelo, de 5-60% de fósforo y 80% de azufre.

2.2.4 Descomposición y mineralización del estiércol

Gross (1981), señala que desde el momento en que se entierra el estiércol entra en descomposición por la acción de una multitud de microorganismos: hongos, levaduras, y sobre todo bacterias, sin olvidar los gusanos y animales del suelo. Estos microorganismos humificadores transforman la materia orgánica en productos cada vez más sencillos.

Thompson y Troech (1982), citados por Catari (2002), manifiestan que los factores más importantes que afectan la cantidad de materia orgánica del suelo son: tipo de estiércol, topografía, naturaleza de los materiales primarios, clima y tiempo.

Para SICA (2001), los procesos de mineralización y descomposición consisten en alimentar al suelo para que los microorganismos allí presentes, después de atacar a la materia orgánica y mineral que se incorpora, tornen asimilables los nutrientes y de esta manera puedan ser absorbidos por las raíces de las plantas, para propiciar su desarrollo y fructificación. Se puede realizar la incorporación de materiales orgánicos

de origen vegetal o animal como: estiércoles, residuos de cosechas y de la agroindustria, humus de lombriz, cenizas, compost, etc.

2.2.5 Composición del estiércol

Jacob y Uexkull (1973), citados por Catari (2002), afirman que el estiércol fresco de los equinos y bovinos contienen del 20 al 25% de materia seca; 0,30 a 0,60% de nitrógeno; 0,20 a 0,35% de anhídrido fosfórico (P_2O_5); y 0,15 a 0,70% de potasa (K_2O); además de cantidades considerables de otros nutrientes. Estas cifras son aproximadas, debido a que los estiércoles difieren mucho en la descomposición, dependiendo esta de factores tales como clase, edad de cada animal, cantidad y digestibilidad del forraje como alimentos consumidos por el ganado, detallados en el siguiente Cuadro 3:

Cuadro 3. Composición aproximada de las materias fertilizantes orgánicas

MATERIAS	N Total %	P₂O₅ Total %	K₂O Total %	CaO Total %	MgO Total %	SO₃ Total %	Índice acidez	Índice básico
G. de Mural.	8.5	5.0	1.5	7.5	0.5	2.0	(1)	-
E. Vacuno	2.0	1.5	2.0	4.0	1.0	0.5	-	(2)
E. Caballo	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	-	(2)
E. cabra	1.5	1.5	3.0	2.0	(X)	(X)	-	22
E. Oveja	2.0	1.5	3.0	5.0	2.0	1.5	-	(2)
Gallinaza	5.0	3.0	1.5	4.0	1.0	2.0	(1)	-

Fuente: Jacob y Uexkull (1973) citado por Catari (2002).

(-) Contenido nulo o inferior al 0.5% (X) Se carece de datos

(2) Alcalino o básico (1) Ácido

Fuentes (2002), indica que es muy difícil dar cifras sobre la riqueza del estiércol en elementos nutritivos, ya que depende de muchos factores como: el producto empleado para camas, la especie de ganado, las pérdidas producidas durante la

elaboración, etc. Se pueden dar las cifras siguientes, expresadas en kg de elementos nutritivos por cada tonelada de producto en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Aporte de nutrientes por tipo de estiércol (kg/t de producto)

Especie	N	P₂O₅	K₂O
Caballar	6	2,5	6
Vacuno	3,5	1,5	4
Porcino	4,5	2	6
Ovino	8	2	7

Fuente: Fuentes (2002).

2.2.6 Aplicación de abono en cultivo de quinua

Según Mujica *et al.* (2004), la incorporación del estiércol en la época de roturación de suelos varía entre 4 a 10 t/ha , conforme se trate de aplicación en el sistema de hoyos, surcos y voleo. Cuando se utiliza compost esta determinado que incorporando 300 g por hoyo se utiliza hasta 2,1 t/ha . El uso de abono orgánico se puede calificar todavía de moderado, sin embargo la tendencia es al aumento paulatino, tanto para la producción orgánica, como para la producción convencional de la quinua.

Tapia (1997), indica que, a menudo se ha indicado que la quinua es un cultivo rústico y que se produce en suelos pobres. Aunque efectivamente se puede desarrollar en estos suelos, los rendimientos serán lógicamente bajos. En la práctica, los campesinos no fertilizan la quinua, dependen de los nutrientes aplicados al cultivo anterior que es generalmente papa. Cuando se siembra quinua después de un cereal o se repite quinua, se debe aplicar por lo menos estiércol de corral.

Para el cultivo de la quinua, SICA (2001), recomienda, la aplicación de 20 t/ha de estiércol de origen bovino o 6 t/ha de gallinaza, en ambos casos descompuestos, que se deben incorporar al suelo mediante el pase de una rastra 2 meses antes de la siembra. Para el mejoramiento de la cosecha, se recomienda aplicar aspersiones

foliares de BIOL, que estimulan el crecimiento de la base radicular y foliar, permitiendo que la planta saque sus nutrientes de horizontes más profundos que los normales y que realice una mayor actividad fotosintética, lo que da como resultado un aumento de la productividad (mayor al 50%).

2.3 Riego

2.3.1 Generalidades de riego

Frías (1998), citado por Mendoza (2004), menciona que, el riego por ser uno de los dinamizadores de la agricultura en zonas de nuestro país y muy particularmente en el altiplano, donde se tienen zonas áridas y semiáridas para la producción agrícola, se caracteriza fundamentalmente por suplir las deficiencias que existen por la falta de lluvias, cuando estos no son suficientes para satisfacer y completar las necesidades de los cultivos durante el año agrícola, siendo el eje principal en la agricultura.

Gurovich (1999), define al riego como una técnica o práctica de producción, como una aplicación oportuna o uniforme de agua a un perfil de suelo para reponer en éste, el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos.

Según Encarta (2007), el riego es la aportación de agua a la tierra por distintos métodos para facilitar el desarrollo de las plantas. Se practica en todas aquellas partes del mundo donde las precipitaciones no suministran suficiente humedad al suelo o bien donde se quieren implantar cultivos de regadío. En las zonas secas, el riego debe emplearse desde el momento en que se siembra el cultivo. En regiones de pluviosidad irregular, se usa en los periodos secos para asegurar las cosechas y aumentar el rendimiento de éstas. Esta técnica ha aumentado notablemente la extensión de tierras cultivables y la producción de alimentos en todo el mundo.

El riego es el suministro oportuno de la cantidad adecuada de agua a los cultivos (Chipana, 1996) de tal manera que éstos no sufran disminución en sus rendimientos y

sin causar daño al medio ambiente. La práctica del riego combina elementos de la ciencia del suelo, agronomía, ciencias sociales, hidráulica, hidrología y economía.

2.3.2 Riego suplementario o deficitario

Oweis y Hachum (2005), menciona que el riego suplementario es la aplicación de riego cuando la lluvia no es suficiente para los requerimientos de la planta. La cantidad adicional aplicada sola es insuficiente para la sobrevivencia del cultivo. El riego deficitario (English, 1990), tiene como meta principal maximizar la eficiencia del uso del agua y de estabilizar en vez de maximizar la producción. Eso es muy válido en lugares con recursos limitados de agua como el Altiplano.

Winter (1981), indica que “cuando la evaporación es mayor que la precipitación, en la temporada de crecimiento, y si se acepta que el no tener deficiencias hídricas es requisito previo para tener un rendimiento máximo, de ello se desprende que el riego suplementario hará aumentar la producción en la mayoría de las zonas del mundo”.

Freere *et al.* (1978), citado por Ramos (2000), menciona que el riego suplementario puede tener un aporte significativo en regiones con precipitaciones erráticas y muchas veces concentradas en solo 2 o 3 meses. Podría afirmarse, entonces, que en toda la región andina se puede usar el riego suplementario, con el objetivo de que los cultivos tengan un normal desarrollo, bajo un régimen pluvial muy variable de las montañas andinas, en las que crecen dichos cultivos.

Las prácticas de riego deficitario según Kirda *et al.* (2000), son diferentes a las prácticas de riego tradicional. Se necesita conocer el nivel de transpiración permisible sin una reducción importante en los rendimientos de un cultivo. El principal objetivo del riego deficitario es incrementar la eficiencia de uso de agua (EUA) de un cultivo, eliminando riegos que tienen poco impacto en el cultivo. El resultado de la reducción de la cosecha puede ser pequeño comparado con los beneficios ganados por utilizar el agua ahorrada para regar otros cultivos, en los cuales el agua sería normalmente insuficiente bajo prácticas tradicionales de riego.

2.3.3 Necesidad de riego en Bolivia

Según PRONAR (1998), las regiones que por sus características climáticas presentan un mínimo de seis meses de déficit hídrico al año, en las cuales la escasez de agua representa el obstáculo mayor para el desarrollo de los cultivos, lo cual hace necesario la aplicación del agua de riego. Las zonas agroecológicas identificadas con déficit hídrico son aquellas cuyos niveles de precipitación son menores a la evapotranspiración. Estas regiones representan alrededor del 40% del territorio nacional. En el Altiplano boliviano (Geerts *et al.*, 2006) se encuentran amplias regiones donde un riego deficitario pueda estabilizar el rendimiento de la quinua.

Orsag (1989), citado por Alanoca (2002), menciona que existe la alternativa de agua en el altiplano (pozos y ríos) como una solución bastante alentadora mediante la aplicación de riego, comparado con la agricultura tradicional a secano, pero se debe tener cuidado en considerar el tipo de suelo, así como la calidad de agua para tener un riego más eficiente y menos erosivo.

2.3.4 Riego en quinua

Freere *et al.* (1978), citado por Ramos (2000), indica que la importancia del riego suplementario radica en que una aplicación oportuna, en determinadas fases fenológicas, reduce pérdidas en el rendimiento de las plantas cultivadas. En el cultivo de la quinua para asegurar la germinación, en regiones secas, se efectúa riego suplementario para evitar fracasos en las primeras fases de su crecimiento.

Según Alanoca (2002), pocos trabajos han considerado el riego como un factor importante para el cultivo de la quinua. Como en la mayoría de las especies cultivadas, la quinua también es susceptible a la sequía en determinadas fases fenológicas, ante todo en la fase de floración y por lo tanto una alternativa puede ser la aplicación de riego suplementario, que favorece al proporcionar humedad en el suelo, también aumenta la productividad del mismo, pero no solo se debe

proporcionar solo humedad, sino debe hacerse en el momento y cantidad adecuada, haciendo que esta se independice del régimen de lluvias.

García (2003), menciona que el estrés hídrico en quinua parece ser crítico durante todo el desarrollo de los órganos de reproducción, esto es desde la antesis hasta el llenado de grano, por lo tanto estas son las etapas donde se debe aplicar riego suplementario.

Mamani (2007), indica que los cultivos de quinua durante años secos o muy secos resultan en un rendimiento pobre con relación a cualquier otra opción de aplicación de agua. Por lo tanto es muy recomendable aplicar riego suplementario en años secos en etapas sensibles, incluso en pequeñas cantidades. Es importante evitar un déficit hídrico durante las etapas de prefloración, floración y grano lechoso, puesto que son las etapas más susceptibles al déficit hídrico.

2.3.5 Sistema suelo-agua-planta

Buckman y Brady (1977), citados por Ramos (2000), mencionan que para tener una idea general de la significación del agua en el suelo es necesario sentar dos conceptos importantes que son:

- El agua es retenida dentro de los poros del suelo con grados variables de intensidad, según la cantidad de agua presente.
- El agua junto con sus sales disueltas en ella, forma la solución del suelo, tan importante como medio para abastecer los principios nutritivos para las plantas que se desarrollan en dicho suelo.

Según Kramer (1974), el interés por el suelo se centra principalmente en su papel como un lugar de almacenamiento de agua, ámbito de crecimiento de la raíz, pero también es un depósito de elementos minerales y proporciona ancladero a las plantas.

Además contiene una población microbiológica activa y muchos organismos grandes, tales como las lombrices de tierra, que tienen efectos importantes sobre sus características químicas, físicas y el crecimiento de las raíces.

Kramer (1974), también afirma que la importancia ecológica del agua se debe a su importancia fisiológica. El único medio por el cual un factor ambiental tal como el agua puede afectar al crecimiento vegetal consiste en afectar a los procesos fisiológicos y condiciones internas. Casi cada proceso vegetal está directa o indirectamente afectado por el abastecimiento en agua, dentro de ciertos límites, la actividad metabólica de células y plantas se encuentra estrechamente relacionada con su contenido hídrico, por ejemplo: la respiración de semillas jóvenes, en proceso de maduración, es muy alta, pero disminuye regularmente durante la maduración al reducirse el contenido hídrico.

2.3.6 Características de la sequía y déficit hídrico

2.3.6.1 Sequía

Sánchez y Aguirreolea (1993), citados por Ramos (2000), indican que existen cuatro tipos de sequía:

- a) **Sequía permanente:** Caracteriza a los climas más secos. La escasa vegetación existente, esta adaptada a la aridez de la zona y no es posible una agricultura de altos rendimientos sin riego continuo.

- b) **Sequía estacional:** Se presenta en aquellos climas que tienen estaciones anuales lluviosas y secas claramente definidas. En estas condiciones, conviene ajustar la siembra de manera que los cultivos se desarrollen durante la estación lluviosa.

- c) **Sequía impredecible:** Se refiere a un fallo anormal en la precipitación; se presenta, prácticamente, en cualquier lugar pero es más característico de climas húmedos y sub-húmedos.

- d) **Sequía no aparente:** Se presenta cuando por temperaturas altas, vientos fuertes, o ambas cosas, se inducen tasas elevadas de evaporación y transpiración. Incluso las lluvias frecuentes no suministran agua suficiente como para restablecer la cantidad perdida.

Kramer (1983), citado por Mamani (2007), define la sequía desde el punto de vista meteorológico, como la ausencia de lluvia por un periodo de tiempo largo que resulta en una deficiencia de agua en el suelo, con el consiguiente daño para las plantas.

2.3.6.2 Déficit hídrico

García (1991), realizó un análisis del comportamiento hídrico de dos variedades de quinua frente a la sequía, confirmando que el potencial hídrico foliar de equilibrio medio antes de la salida del sol, en el cultivo de la quinua se relaciona con la cantidad de agua existente en el suelo, debido a que las plantas aun no son afectadas por la radiación. Encontrándose para tratamientos bajo riego una leve reducción del potencial hídrico foliar de equilibrio con el tiempo y para tratamientos a secano una constante reducción, confirmándose así la escasez creciente de agua. Con relación al potencial hídrico foliar mínimo medido al medio día, también confirma que conforme aumenta el déficit de agua en el suelo, las plantas también sufren una reducción de su potencial hídrico foliar.

Winter (1981), indica que la tensión hídrica tiene efectos fisiológicos, como el cierre de estomas que origina una reducción en el desplazamiento de agua hacia fuera y el movimiento de dióxido de carbono hacia el interior de la planta; lo que hace disminuir el índice de la fotosíntesis, como consecuencia una disminución en el aumento de

peso seco, una reducción en el índice de síntesis de proteína y de hecho una disminución en el ritmo de todos los metabolismos de la planta.

2.3.6.3 Crecimiento de las plantas bajo estrés hídrico

Tudela y Tadeo (1993), citados por Ramos (2000), con relación al estrés hídrico mencionan que las plantas están sometidas, frecuentemente, a situaciones desfavorables para su desarrollo y funcionamiento óptimo, ocasionadas por alteraciones en el medio ambiente, este conjunto de situaciones desfavorables se conoce con el nombre de estrés medio ambiental.

Rodríguez (1991), afirma que las actividades fisiológicas normales de las plantas se mantienen bajo condiciones ambientales ideales, pero casi frecuentemente las plantas viven en condiciones adversas o estresantes, lo cual origina en el organismo una reacción, mediante varios mecanismos bioquímicos y fisiológicos variados, para superar, evitar o neutralizar esa tensión.

El ambiente estresante según Delatorre (1999), citado por Cahuaya (2001), se da cuando el potencial ambiental difiere del potencial del organismo, provocando una transferencia de energía o materia hacia o desde el organismo (factor de estrés), lo que produce la activación de una función metabólica que genera una respuesta.

González (1999), citado por Ramos (2000), distingue básicamente dos tipos de estrés: los originados por factores bióticos y los originados por factores abióticos. Los principales factores limitantes para el normal desarrollo de las plantas son los abióticos o ambientales. Resultantes de extremos de climas: calor, frío, helada. Pero tal vez la más importante es la sequía.

2.3.6.4 Respuesta de la planta a la sequía

Rodríguez (1991), indica que existen dos tipos de reacciones por parte de la planta, en respuesta a la sequía:

- a) **Elasticidad:** una vez que la sequía cesa, el organismo vuelve a su estado inicial o estado de desarrollo en el que se encontraba.

- b) **Plasticidad:** involucra una rápida y alta flexibilidad para reaccionar a los cambios en la distribución de los recursos dentro del hábitat. Dichos cambios son ajustes morfogénéticos, tanto en la distribución de productos fotosintetizados entre la raíz y el vástago, como en el tamaño, morfología, y distribución de las hojas individuales y las raíces, una característica que involucra una alta tasa de reinversión de los materiales adquiridos en el crecimiento y la respiración. El efecto de tales reacciones, junto con el rápido reemplazo de las hojas y de las raíces, es el de producir, durante la estación de crecimiento, constantes reajustes en la distribución espacial de las superficies de absorción (ejemplo: el follaje y la superficie radical) de la planta durante la estación de crecimiento.

Para Jacobsen y Mujica (1999), la plasticidad es el desarrollo de una planta con ritmos variables de crecimiento, por ejemplo, la quinua crece cuando hay humedad y detiene su crecimiento cuando se presenta una sequía. Por lo que en quinua la tolerancia a la sequía se debe a la plasticidad.

2.3.6.5 Resistencia a la sequía

Bidwell (1993), indica que la resistencia a la sequía no es un fenómeno simple, ni tampoco existe un solo mecanismo de resistencia ante cualquier tipo particular de tensión.

Rodríguez (1991), define la resistencia a sequía como una capacidad que poseen las plantas para resistir o sobrevivir a los períodos de sequía, sin ningún o con poco efecto nocivo que comprometa la vida de la planta.

Para Armas *et al.* (1990) la resistencia a sequía es una capacidad que tienen las plantas para sobrevivir, durante los períodos de sequía, con poca o ninguna consecuencia para ella. Dos amplios tipos de resistencia a sequía son:

- a) **Prevención:** Se basa usualmente en un mecanismo que permite a la planta, crear un ambiente interno de tal manera que sus células no estén bajo tensión, aun cuando el ambiente externo sea muy tensionante.

- b) **Tolerancia:** Consiste en la habilidad de la planta para tolerar períodos sin lluvia. Esta tolerancia se puede efectuar reduciendo el agua transpirada; incrementando la resistencia estomatal o cuticular que consiste en un mecanismo fisiológico por el cual la planta limita la pérdida de agua; manteniendo la velocidad de absorción del agua; o mediante el control estomático.

2.3.6.6 Mecanismos de escape a la sequía

Sánchez y Aguirreolea (1993), citados por Ramos (2000), indican que entre los medios de escape a la sequía se encuentra:

- a) **Precocidad a la maduración.** Básicamente es una adaptación, aunque menos extrema, se encuentra en muchas plantas cultivadas, en las de los cultivos más tolerantes a la sequía, son frecuentemente los que primero florecen y maduran, evitando así lo peor de la estación seca. Muchas de estas especies anuales adelantan su floración si se les somete a una sequía prematura.

b) Conservación del agua. La forma más corriente de regular el equilibrio hídrico, y mantener la turgencia en la planta, es reducir la pérdida de agua o almacenarla. Entre los mecanismos más comunes se consideran:

- Cierre estomático rápido y completo.
- Cutícula gruesa y muy impermeable.
- Pérdida de hojas.
- Reducción de la transpiración.
- Almacenamiento de agua.

c) Mantenimiento de la absorción de agua. Muchas plantas que tienen éxito en habitats secos dependen del desarrollo de un sistema radical profundo y extenso, el cual puede obtener agua de un volumen muy grande del suelo.

2.3.6.7 Efecto de la sequía en las fases fenológicas de quinua

Espíndola (1994), sostiene que en un trabajo de respuestas fisiológicas, morfológicas y agronómicas de la quinua al déficit hídrico, en condiciones controladas, indica que la fase fenológica de grano lechoso es la más susceptible al déficit hídrico, para el rendimiento de grano.

Huiza (1994), citado por Ramos (2000), menciona que en un trabajo similar, da a conocer que la fase fenológica de grano lechoso es la más susceptible al déficit hídrico ya que reportó un 60% de pérdida en el rendimiento de grano, debido a que la sequía se presentó en esta fase.

Por su parte Jacobsen *et al.* (1999), indica que en quinua las fases fenológicas más susceptibles a la sequía, para el rendimiento de grano son; la vegetativa, antesis y llenado de grano.

Ramos (2000), indica que muchos investigadores coinciden en señalar que los efectos de la sequía se ven reflejados en el rendimiento del cultivo, por cual esta variable es muy importante para cuantificar los daños ocasionados por la sequía.

2.3.7 Medición del estado hídrico en quinua

Al respecto Gurovich (1999), señala que el status de agua en la planta representa una integración de la demanda atmosférica, del potencial del agua en el suelo, de la densidad y la distribución radical, así como de otras características específicas de absorción de agua del sistema radical del cultivo. Mediciones directas hechas en la misma planta podrían servir para implementar un método útil para efectuar riegos programados, donde la planta responde fisiológicamente y en forma cuantitativa a los requerimientos evapotranspirativos del ambiente.

Larqué (1990), sostiene que el estado hídrico de las plantas presenta un contexto en el cual se conoce la condición que guarda el agua en las plantas, en relación con sus requerimientos fisiológicos. Este estado hídrico se puede conocer si se determina dos parámetros:

- a) Contenido de agua (θ).
- b) Energía libre del agua dentro de los tejidos o potencial de agua (ψ_A).

El contenido de agua (θ), define la cantidad de agua que los tejidos tienen almacenada, en relación con la máxima cantidad que pueden almacenar. Está determinado por las características de capacitancia de los tejidos y el balance entre el movimiento del agua dentro y fuera de la planta.

El potencial de agua (ψ_A), es la capacidad que tiene el agua desde el punto de vista termodinámico para realizar una función. De esta manera se establece la tendencia del movimiento del agua en el sistema. Factores como temperatura, presencia de solutos, etc, determinan el potencial de agua (ψ_A).

2.3.7.1 Cámara Scholander

Según Larqué (1990), denominada también bomba de presión o bomba de Scholander, esta técnica la creó a principios del siglo pasado Dixon; Scholander la modificó en los años 60. El principio se basa en la teoría tensocoheso-transpiratoria que Dixon y Joly propusieron en 1894 la cual explica el ascenso del agua de la raíz a las hojas.

Con base en esta teoría se sabe que el agua dentro del xilema está bajo tensión debido a la transpiración de las plantas. Dicha tensión se debe al déficit de presión de vapor en la atmósfera. La técnica consiste en medir la tensión generada en el xilema y aplicar una presión generada por aire comprimido o un gas (nitrógeno). La presión necesaria para mover las columnas de agua en el xilema y contrarrestar la tensión equivale a la tensión original del agua en el xilema.



Fuente: Propia.

Figura 1. Cámara de presión tipo Scholander

Para Gurovich (1999), la cámara de presión estima el potencial de agua en la planta, pudiendo evaluarse con los resultados de estas mediciones, parámetros como relaciones agua - suelo, la influencia del ambiente climático, el estado hídrico relativo al interior de la planta, etc. Estas mediciones pueden indicar valiosos datos que

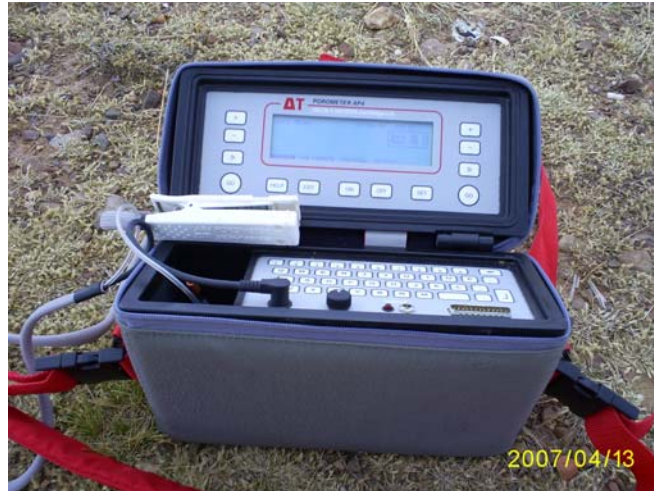
afectan al rendimiento, crecimiento y desarrollo de la planta. La cámara de presión es comercialmente utilizada, con un costo razonable, y es apropiada para medir el potencial hídrico en la hoja de muchas plantas vasculares.

Gurovich (1999), también indica que el valor del potencial de agua en la hoja representa la tensión con que es retenida la savia en el xilema, que es prácticamente agua pura. El potencial hídrico de la hoja (presión potencial del xilema) es frecuentemente usado para cuantificar el status hídrico que relaciona la respuesta fisiológica específica de la planta con el mecanismo de apertura y cierre estomático.

2.3.7.2 Porómetro de difusión

Larqué (1990), dice que existen muchas maneras para estimar la apertura de los estomas, las cuales se han publicado a lo largo de la historia dentro del campo de la fisiología vegetal. Al aparato para medir la transpiración se le conoce con el nombre de porómetro de difusión o medidor de resistencia a la difusión. En teoría se considera a los estomas como una resistencia a la salida del vapor de agua. Cuando se hacen determinaciones con este aparato se obtienen mediciones de la resistencia a la difusión del vapor de agua ($s\text{ cm}^{-1}$), conductancia (cm s^{-1}) o directamente mediciones de pérdida de agua expresada en $\mu\text{H}_2\text{O cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$.

Para Jacobsen y Mujica (1999), la porimetría es el estudio de la difusión de gas a través de los poros, especialmente a través de los estomas de la hoja. La transpiración de la planta se controla principalmente mediante la apertura y cierre de los estomas, por lo cual el uso de porómetros es vital en muchas áreas de investigación de plantas.



Fuente: Propia.

Figura 2. Porómetro tipo AP-4

En el estudio de la relación agua - planta, es decir, la pérdida de vapor de agua a través de los estomas de la hoja, es uno de los factores críticos que vincula a la transpiración con la temperatura ambiental, presión, humedad y velocidad del viento. Los estomas son sensibles a la luz, humedad relativa, dióxido de carbono, estrés de sequía y agentes patógenos. Por lo tanto, la porometría es una herramienta valiosa para cuantificar el efecto de la influencia de estos factores sobre el comportamiento de los estomas, es decir, la conductancia o resistencia estomática.

Hay dos tipos de porómetros: de estado constante con una cámara de hoja ventilada, donde la calibración se realiza en el laboratorio, y de difusión dinámica con una cámara de hoja sin ventilación, donde la calibración se lleva a cabo en el campo.

2.3.7.3 TDR (Time Domain Reflectometry)

Olivera (2003), citado por Fernández (2006), con respecto al TDR (Reflectometría en el dominio del tiempo por sus siglas en inglés), menciona que es un método que empezó a utilizarse en la última década, la técnica del TDR fue originalmente realizada para detectar defectos y puntos de ruptura en los cables telefónicos y de televisión. La cual se caracteriza por evitar tomar muestras destructivas, repetir el

muestreo en un espacio y tiempo, es automático y de fácil calibración, siendo que no existe riesgo de radiación para el operador, obteniéndose con rapidez los resultados.

Fernández (2006), menciona que el TDR utiliza los impulsos electromagnéticos que viajan a lo largo de un cable y se reflejan cuando encuentran un cambio de impedancia. Esto ocurre en el extremo del cable o en una rotura o imperfección, el TDR mide el tiempo en que la señal lleva el recorrido a lo largo del cable y la vuelta al instrumento.



Fuente: Propia

Figura 3. T.D.R. (Reflectometría en el dominio del tiempo)

Jacobsen y Mujica (1999), indican que el TDR mide la constante dieléctrica del suelo a través de una instalación permanente similar a la sonda de neutrones. También necesita un operador.

3 LOCALIZACIÓN

3.1 Ubicación geográfica

El presente trabajo se realizó en el Campus Universitario de Patacamaya (Ex – IBTA) dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés. Se encuentra aproximadamente a 105 km de la ciudad de La Paz, este municipio se constituye en la capital de la Quinta Sección de la provincia Aroma (Figura 4 y Anexo 1). Geográficamente se encuentra ubicado a 17° 15' 43,9" de Latitud Sur y 67° 56' 45,5" de Longitud Oeste, situado al Sudeste del departamento de La Paz, dentro de la provincia Aroma, la altitud aproximada es de 3799 msnm (Plan de Desarrollo Municipal-Gobierno Municipal de Patacamaya, 2007-2011)



Fuente: Instituto Geográfico Militar (2003).

Figura 4. Ubicación de Patacamaya

3.2 Características agroecológicas de la zona

3.2.1 Clima

El clima de esta región se caracteriza por tener dos tipos de épocas, una estación seca que comprende desde el mes de Abril a Septiembre y la húmeda de Octubre a

Marzo; se presentan temperaturas promedios de 14 °C entre los meses de Octubre a Enero, 11 °C entre Febrero y Abril, menores a 0 °C durante los meses de Mayo y Junio, y 6 °C entre los meses de Julio a Septiembre. De acuerdo a la estación experimental de Patacamaya, se tiene que la precipitación pluvial varía entre 350 mm a 450 mm (Plan de Desarrollo Municipal – Gobierno Municipal de Patacamaya, 2001-2006).

La humedad promedio de dos gestiones anteriores marcó >60% los meses de enero, Febrero y Marzo. (Plan de Desarrollo Municipal-Gobierno Municipal de Patacamaya, 2007-2011).

3.2.2 Riesgos climáticos

De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal de Patacamaya (2007-2011), se tiene los siguientes riesgos climáticos:

- **Vientos.** El comportamiento de los vientos es variable; debido a la ubicación de las serranías; en la zona alta los vientos son más fuertes en comparación a las zonas bajas o planicies.
- **Sequías.** Son fenómenos que generalmente son el resultado de desbalances extremos entre la evaporación y la precipitación temporal. Son mas frecuentes en el altiplano, acelerando los procesos de desertificación. La falta de lluvias en el periodo de crecimiento de las plantas es de más peligro, se corre el riesgo de perder la producción. La ocurrencia de sequías al igual que las heladas, tienen una tendencia a aumentar hacia el sur y hacia el occidente, siendo los periodos más susceptibles los meses de Mayo a Noviembre.
- **Heladas.** La ocurrencia de las heladas son cada vez más frecuentes y más fuertes en toda la región, incrementándose el número de días con este fenómeno, muchas veces ocasionando grandes pérdidas en los diferentes

cultivos del altiplano, llegando a alcanzar 300 días de heladas al año. La ocurrencia de heladas coincide con el inicio de la época de crecimiento de las plantas, por lo que genera reducción en los rendimientos de los cultivos del lugar, como se puede observar en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Frecuencia de presentación de heladas y granizo por meses

Meses	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
Promedio de días con helada	29	30	27	18	10	6	2	1	1	2	11	26
Frecuencia de heladas (%)	95	95	87	59	33	19	6	2	2	6	37	83
Promedio de días con granizo	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal de Patacamaya (2007-2011).

Según el Cuadro 5, la mayor frecuencia de heladas se da entre los meses de mayo a agosto, periodo conocido como época seca, disminuyendo a medida que comienza la época de lluvias. La ocurrencia de heladas en el Altiplano sobrepasa los 200 días por año; en el extremo sudoeste de la Cordillera Occidental llega muy frecuente a más de 300 días al año.

- **Granizada.** Es uno de los fenómenos naturales climáticos que causa serios daños en la agricultura, debido al impacto físico que presenta este fenómeno en los cultivos. Este fenómeno se presenta en los meses de Octubre y Marzo, siendo el inicio y final de la época de lluvias como se puede ver en el Cuadro 5.

3.2.3 Suelo

Los suelos tienen la particularidad de ser heterogéneos debido a su origen fluvio lacustre. El contenido de materia orgánica es bajo, tiene una textura franco arcillosa,

con pH de ligeramente básico a neutro, la profundidad de la capa arable es de 15 a 45 cm , se hace siembra de papa, cebada, alfalfa y quinua (Plan de Desarrollo Municipal-Gobierno Municipal de Patacamaya, 2001-2006).

3.2.4 Vegetación

La composición florística está compuesta predominantemente por gramíneas perennes, alternadas con arbustos muy dispersos que se desarrolla durante el periodo lluvioso como: Mostacilla (*Brassica campestris*), Sanu Sanu (*Ephedra americana*), Q'ora (*Tarasa tenella*), Ñaka thola (*Baccharis incarum*), Cola de Ratón (*Hordeum muticum*), Añahuaya (*Adesmia sp.*), Sauri Sauri (*Erodium cicutarum*) (Plan de Desarrollo Municipal-Gobierno Municipal de Patacamaya, 2001-2006).

3.2.5 Características fisiográficas

La localidad de Patacamaya se encuentra situada en la unidad fisiográfica en medio de las cordilleras Occidental y Oriental. Fisiográficamente se divide en dos sectores: el primero constituido por serranías onduladas y montañosas, ubicándose al Noreste y Noroeste del municipio, el segundo caracterizado por una planicie de origen aluvial (Plan de Desarrollo Municipal-Gobierno Municipal de Patacamaya, 2001-2006).

En Patacamaya se puede distinguir una topografía variada, con colinas onduladas, llanuras y serranías de pendientes suaves a fuertemente escarpadas que oscilan entre 2% y 30% en dirección Noreste y Noroeste. En este contexto el grado de erosión es variable de acuerdo a las características de los suelos, tipo de vegetación, precipitación y vientos. Hacia el sur predomina la planicie que abarca un 45% de la superficie total, los restantes 55% se encuentran al Norte de la carretera La Paz Oruro donde se presenta las ondulaciones y serranías (Plan de Desarrollo Municipal de Patacamaya, 2007-2011).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales y equipos

4.1.1 Material biológico

- Para el presente trabajo de investigación se utilizó Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad Santa María, adecuada para el altiplano central, con las siguientes características:

Cuadro 6. Características agronómicas variedad Santa María

Características	Variedad Santa María
Precocidad	Semiprecoz (150-160 días)
Tolerancia a enfermedades	Medianamente tolerante
Tolerancia a insectos	Medianamente resistente
Contenido de saponina	Sin saponina (dulce)
Tamaño de grano	Grande
Tolerancia a heladas (-5 °C en floración)	Tolerante
Tolerancia a sequía	Medianamente resistente

Fuente: IBTA (1996).

4.1.2 Material de campo

- Insumos (estiércol ovino, insecticida Karate).
- Tractor agrícola, estacas, rastrillo, hoces, chontas, cámara fotográfica, libreta de campo, marbetes, bolsas de plástico, flexómetro, cinta métrica, picotas, mochila fumigadora, callapos, picotas, calibrador vernier.

4.1.3 Material de gabinete

- Computadora, Hojas Bond, Bolígrafos, Calculadora, Programa S.A.S (SAS Insitute,1994)

4.1.4 Equipos

- Estación meteorológica automática para el registro de datos meteorológicos en la gestión 2006/2007.
- Cámara Scholander y tanque de nitrógeno para determinar el potencial hídrico foliar.
- Porómetro tipo AP4 para determinar la resistencia estomática.
- T.D.R. (Time Domain Reflectometry) y tubos de acceso para determinar el contenido de agua en el suelo.
- Doble cilindro para determinar la velocidad de infiltración a saturación.
- Recipiente con arena y ollas a presión para la determinar curva de retención de agua en el suelo.
- Hidrómetro para determinar la textura del suelo.
- Horno de precisión (0-150 °C).

4.2 Metodología

4.2.1 Procedimiento experimental

Este trabajo de investigación se realizó durante la gestión agrícola 2006-2007, realizando la evaluación desde la siembra el 22 de Octubre de 2006 hasta la cosecha y obtención de grano limpio en Junio de 2007.

4.2.2 Diseño experimental

Para el análisis y la interpretación de datos obtenidos se empleo el diseño experimental de Diseño de Bloques Completos al Azar con un arreglo de parcelas divididas, debido a la heterogeneidad del terreno. Varios autores recomiendan este diseño al tener un factor en estudio de mayor importancia, y a la gran dificultad en el manejo de abonos en superficies grandes (Calzada, 1982).

El arreglo de parcelas divididas, se refiere a realizar la distribución de los factores en estudio considerando que uno de ellos tiene mayor importancia; desde el punto de vista investigativo es el que debe ser colocado en la parcela pequeña o subparcela (Arteaga, 2001).

4.2.3 Modelo lineal aditivo

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \varepsilon_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk} \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- Y_{ijk} = Observación cualquiera.
- μ = Media de la población.
- β_j = Efecto del j-ésimo bloque.
- α_i = Efecto del i-ésimo riego.
- ε_{ij} = Error de parcela grande.
- γ_k = Efecto del k-ésimo fertilizante.
- $(\alpha\gamma)_{ik}$ = Interacción entre i-ésimo riego y k-ésimo fertilizante.
- ε_{ijk} = Error experimental.

Fuente: Arteaga, 2001.

4.2.4 Factores de estudio

En el presente trabajo de investigación se aplicaron los siguientes factores de estudio:

Factor Principal: Riego

- a_1 : Deficitario 1: establecimiento
- a_2 : Deficitario 2: establecimiento, floración y grano lechoso
- a_3 : Deficitario 3: establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso

Factor Secundario: Niveles de fertilización orgánica (aplicación inicial)

- b_1 : 0 t/ha.
- b_2 : 5 t/ha.
- b_3 : 10 t/ha.

4.2.5 Tratamientos

Los factores antes mencionados fueron distribuidos al azar en nueve tratamientos como muestra a continuación:

Cuadro 7. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Riego	Niveles de fertilización orgánica ovina (t/ha)	Interacción
1	Deficitario 1: establecimiento	0	a_1*b_1
2	Deficitario 1: establecimiento	5	a_1*b_2
3	Deficitario 1: establecimiento	10	a_1*b_3
4	Deficitario 2: establecimiento, floración y grano lechoso	0	a_2*b_1
5	Deficitario 2: establecimiento, floración y grano lechoso	5	a_2*b_2
6	Deficitario 2: establecimiento, floración y grano lechoso	10	a_2*b_3
7	Deficitario 3: establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso	0	a_3*b_1
8	Deficitario 3: establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso	5	a_3*b_2
9	Deficitario 3: establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso	10	a_3*b_3

4.2.6 Dimensiones

A continuación se hace un detalle de las dimensiones de terreno utilizados en este trabajo de investigación:

Área unidad experimental	: 55 m ²
Área parcela principal + pasillos	: 176 m ²
Área por bloque + pasillos	: 592 m ²
Área experimento (3 bloques + pasillos)	: 1924 m ²
Efecto bordura	: 3 m a cada lado del experimento
Área bordura	: 771 m ²
Área experimento + bordura	: 2695 m ²
Distancia entre surcos	: 0,50 m

4.2.7 Croquis del experimento

Se muestra a continuación la distribución de los tratamientos dentro de los tres bloques presentes en el experimento:

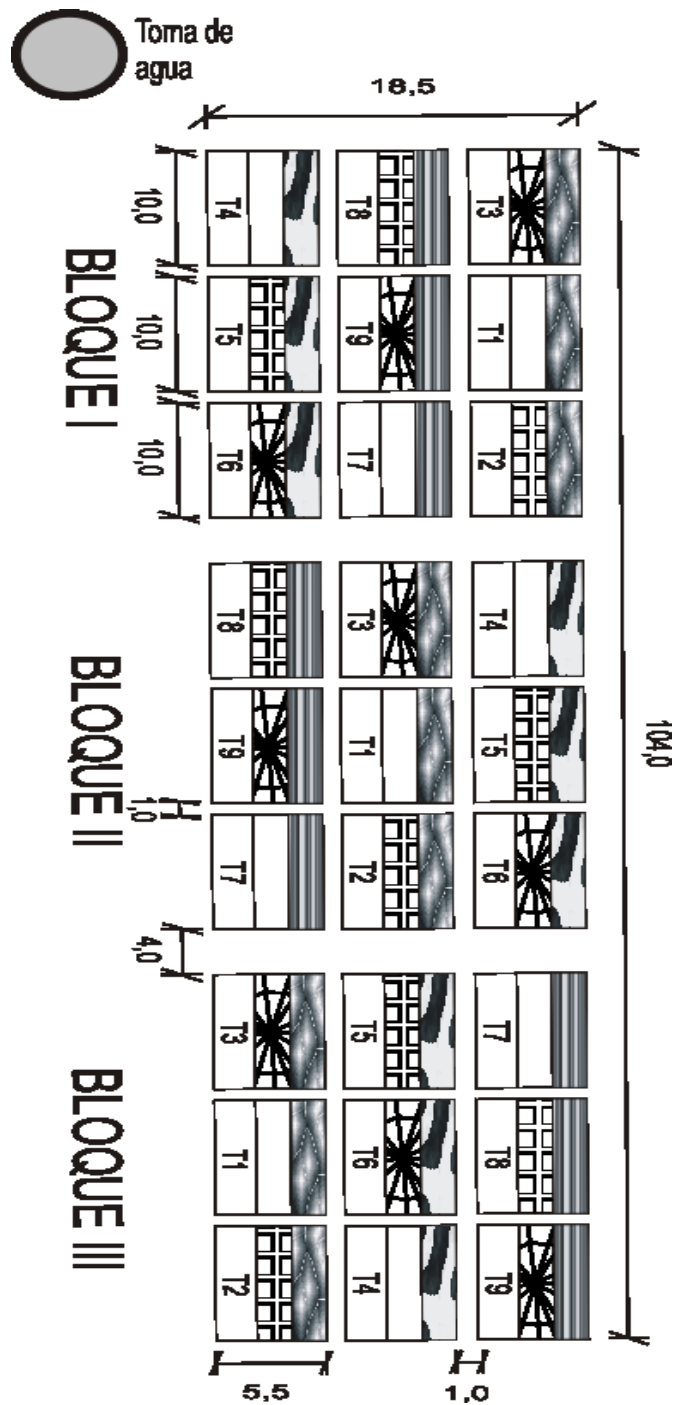


Figura 5. Croquis del experimento

Donde:



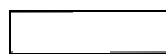
Riego deficitario 1



Riego deficitario 2



Riego deficitario 3



0 t/ha abono



5 t/ha abono



10 t/ha abono

4.3 Trabajo de campo

4.3.1 Muestreo de suelo

Se realizó la toma de muestras de suelo por el método de zigzag en cuatro lugares del área de estudio; posteriormente se hizo una mezcla de las cuatro muestras para realizar un cuarteo, obteniendo de esta manera 3 muestras de suelo, con un peso de 1 kg cada una. Las muestras fueron evaluadas tanto física como químicamente. Luego se tomaron muestras no perturbadas para el análisis físico de retención de agua en el suelo con la metodología de recipiente con arena y ollas a presión.

4.3.2 Preparación y delimitación del terreno

En cuanto a la preparación del terreno se realizó distintas labores como limpieza de los restos vegetales del cultivo anterior y hierbas en el área de estudio. No se hizo un roturado ya que el suelo había sido utilizado una gestión anterior con cultivo de papa; el abonado se hizo con estiércol ovino de acuerdo a los distintos niveles fertilización en estudio, teniendo cuidado de realizar una dispersión homogénea para cada tratamiento y por último el nivelado. Concluidas estas labores se procedió a delimitar el terreno en general para diferenciarlo por tratamientos en fecha 12 de Octubre de 2006 (Anexo 20-a y 20-b).

4.3.3 Siembra

Antes de realizar la siembra se hizo la apertura de surcos con un tractor, en cada unidad experimental se realizó la siembra directa a chorro continuo en el entresurco o camellón, en fecha 22 de Octubre de 2006, los distanciamientos entre surcos fueron de 0,5 m , teniendo por lo tanto once surcos por unidad experimental. Se instalaron pasillos entre bloques de 3 metros y entre tratamientos de 1 m .

4.3.4 Riego

Se aplicó riego por surcos (Anexo 20-g y 20-h) de acuerdo a los tratamientos propuestos en este trabajo y cuando hubo períodos con poca o nula precipitación pluvial. Para cubrir con la demanda de agua del cultivo se realizó el cálculo del balance hídrico con datos de 40 años; para ello se utilizó la ecuación de FAO Penman-Monteith propuesto por Allen *et al.* (2006).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día⁻¹)
- R_n : Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹)
- G : Flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹)
- T : Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- u₂ : Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
- e_s : Presión de vapor de saturación (kPa)
- e_a : Presión real de vapor (kPa)
- e_s - e_a : Déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ : Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
- γ : Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

Una vez obtenida la ET_o, se procedió a calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c) con la siguiente formula (Allen *et al.*, 2006):

$$ET_c = ET_o * K_c \dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- ET_c : Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)
- ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día⁻¹)
- K_c : Coeficiente del cultivo

En el Cuadro 8, se presenta el balance hídrico con el cual se hizo la programación de riego para cada cuatro días, riego por bloque y riego por surco, calculado para la gestión agrícola 2006/2007:

Cuadro 8. Balance hídrico y programación de riego calculado para la gestión 2006/2007 expresado en mm

Mes	Eto	Kc	Eta/día	Consumo por mes	Precipitación
Octubre	4,8	0,5	2,4	59,4	15,0
Noviembre	4,9	0,6	2,9	40,5	46,5
Diciembre	4,3	0,8	3,8	27,3	90,5
Enero	4,3	1,0	4,3	21,3	112,0
Febrero	4,3	1,0	4,3	52,4	68,0
Marzo	4,2	1,0	4,2	81,2	49,0
Total planificado				282,1	381,0

4.3.5 Medición de la conductancia estomática

Para la medición de la conductancia estomática se utilizó el Porómetro tipo AP-4 (Anexo 20-j), previamente se realizó una calibración del equipo para el lugar del experimento con los implementos y accesorios necesarios (Anexo 20-k).

Una vez calibrado el equipo se procedió a realizar las mediciones una vez por semana, aproximadamente entre las 11:00 de la mañana hasta mediodía, para realizar estas mediciones se eligieron 6 plantas al azar y se procedió a medir la conductancia estomática en las hojas; las hojas no deberían ser ni muy jóvenes ni muy adultas por lo que se hacía un corte imaginario de la planta en cuatro secciones en forma vertical, tomándose en cuenta las hojas que estaban entre la primera y segunda parte contando desde la parte apical de la planta hacia el tallo (Anexo 20-l).

4.3.6 Medición del potencial hídrico foliar

Para la medición del potencial hídrico foliar se utilizó la Cámara o Bomba de presión Scholander (Anexo 20-m). Se corta la base del pecíolo y se coloca dentro de la cámara de presión dejando una sección del pecíolo fuera de ella, se cierra la cámara y se aumenta la presión a una velocidad aproximada de 0,01 MPa por segundo.

Las lecturas se hacen con lupa o simple observación en el momento que se observa una gota de agua en la sección del pecíolo cortado que quedó fuera de la cámara, se registra la presión alcanzada en el manómetro y esta se considera el equivalente al potencial del agua de la planta.

Después se libera la presión de la cámara y se toma otra medición de la misma manera (Anexo 20-n y 20-o); se recomienda trabajar con rapidez para prevenir que el material pierda excesiva cantidad de agua por transpiración y esto afecte el potencial de agua (Larqué, 1990).

Las mediciones se hicieron una vez por semana y dos veces por día de medición, la primera medición se realizó entre las 6:00 a 6:30 de la mañana y la segunda medición entre las 11:30 a 12:30 del medio día.

4.3.7 Medición de la humedad del suelo

La medición de humedad del suelo se hizo con el equipo T.D.R. (Anexo 20-p) primeramente se instalaron los tubos de acceso en cada tratamiento (Anexo 20-q), estos tubos son de plástico con una longitud de 1 m y para la instalación de los mismos se utilizó un barreno.

Una vez instalados los tubos de acceso a una profundidad de 30 cm se realizó la medición una vez por semana introduciendo la sonda del T.D.R. dentro de los tubos de acceso y registrando el valor que mostraba el generador de pulsos (Anexo 20-r).

4.3.8 Comportamiento climático Gestión 2006/2007

El registro de datos meteorológicos se hizo con una estación meteorológica automática, obteniendo datos como precipitación, temperaturas máximas y mínimas, etc.

4.3.8.1 Precipitación

En la Figura 6, se muestra la precipitación durante el período agrícola 2006/2007, teniendo mayor cantidad de lluvia entre los meses de Noviembre y Diciembre siendo 15 mm el máximo valor. En la misma figura se observa también el valor de la ETo que muestra que sus máximos valores ocurrieron en Marzo y Abril con un máximo valor de 7 mm/día.

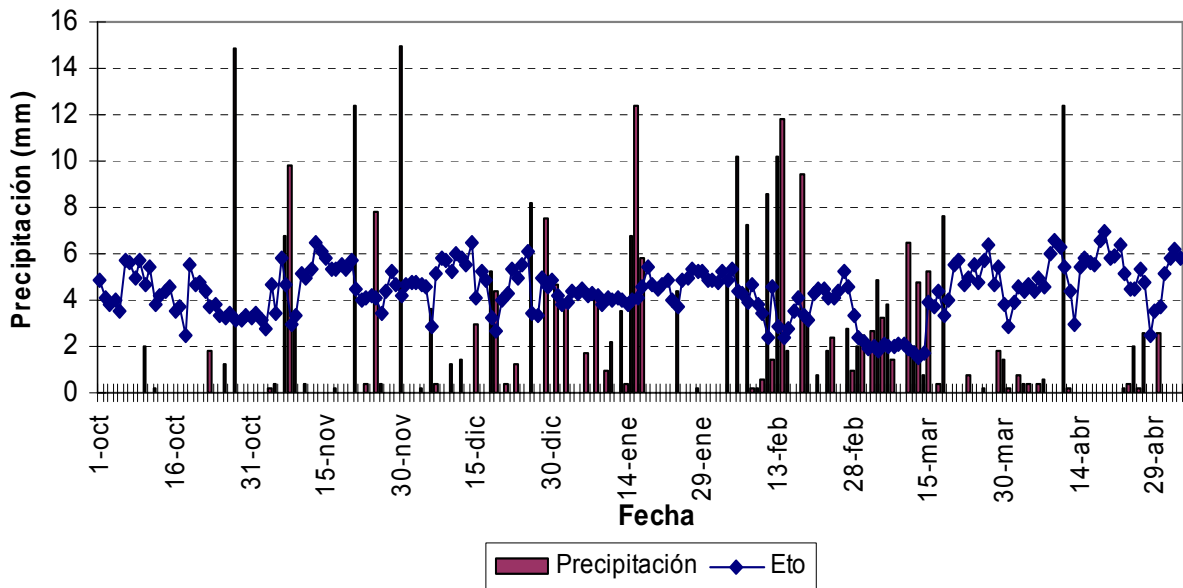


Figura 6. Precipitación durante la gestión agrícola 2006/2007

La precipitación recibida en la gestión 2006/2007 fue de 361 mm , en el Cuadro 9 se presenta una comparación del riego total planificado y aplicado para los nueve tratamientos.

Cuadro 9. Riego total aplicado y precipitación

Meses de riego	Riego planificado	Riego aplicado								
		Riego deficitario 1			Riego deficitario 2			Riego deficitario 3		
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Octubre	59,40	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50
Noviembre	40,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
Diciembre	27,30				36	36	36	72	72	72
Enero	21,30				67,50	67,50	67,50	67,50	67,50	67,50
Febrero	52,40									
Marzo	81,20									
Subtotal riego	282,10	36,00	36,00	36,00	139,50	139,50	139,50	175,50	175,50	175,50
Precipitacion	381,00	360,70	360,70	360,70	360,70	360,70	360,70	360,70	360,70	360,70
TOTAL (riego+precipitación)	663,10	396,70	396,70	396,70	500,20	500,20	500,20	536,20	536,20	536,20

De acuerdo al Cuadro 9, muestra que las laminas de riego planificadas y aplicadas no son las mismas, esto se debe a que la situación en campo es muy diferente a lo que se planifica, ya que intervienen muchos factores, en el caso del presente trabajo se debió a la disponibilidad de agua, hubo varios días en los que no se contó con este elemento debido a cortes de energía que se tenía.

Asimismo, otro factor fue la forma de riego, se utilizó mangueras de 2 pulgadas de diámetro para transportar el agua desde la toma de agua hasta el área del experimento, se realizaron mediciones de caudal antes de cada riego para calcular el tiempo de riego y cumplir con el riego planificado por mes; el solo hecho de transportar las mangueras a cada grupo de tratamientos hacía variar el tiempo de riego, como se puede ver en la Figura 6.

Finalmente otro de los factores fue la precipitación, ya que fue un año seco en comparación a los años anteriores y a lo planificado.

4.3.8.2 Temperatura

Durante la gestión agrícola 2006/2007 se registraron las temperaturas máximas y mínimas diarias como se muestra en la Figura 7.

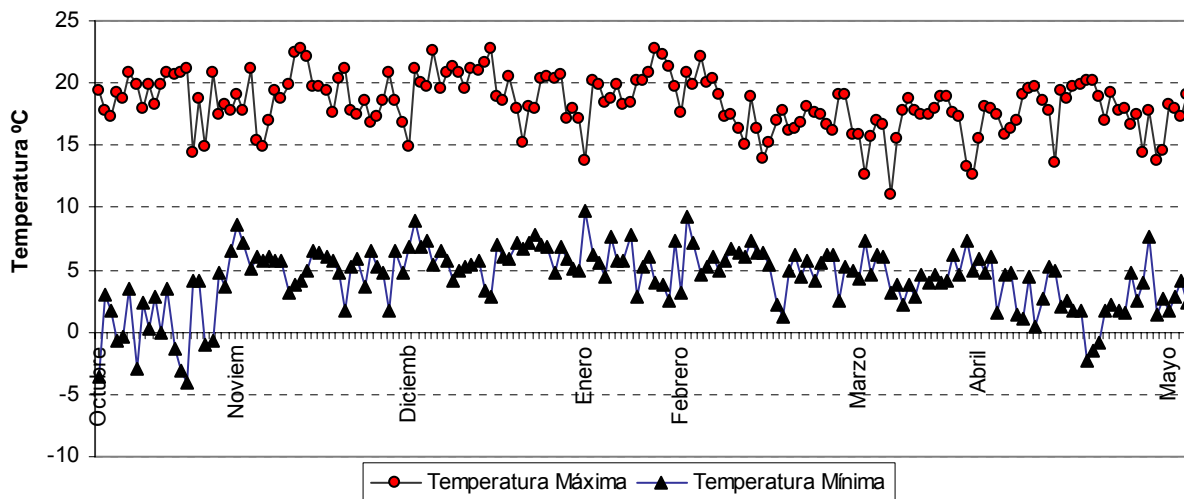


Figura 7. Temperaturas registradas en Patacamaya durante la gestión 06/07

Se puede observar que los máximos valores de temperatura ocurrieron durante los meses de Noviembre y Diciembre superando los 20 °C . En cambio se presentaron heladas por debajo de 0 °C en el mes de Octubre y fines de Abril. Sin embargo, durante el periodo de crecimiento y desarrollo, no se presentaron heladas.

4.3.9 Labores culturales y control fitosanitario

Se hace notar que al utilizar abono orgánico o estiércol ovino, se tiene una alta probabilidad de que haya semillas en estado latente, ya que no todas son digeridas en su totalidad por los animales, por lo que el mayor trabajo de labor cultural que se hizo en el experimento fue el deshierbe en los tratamientos con dosis de abono.

Posteriormente también se hizo un aporque en algunos tratamientos, ya que al realizar el riego se arrastraba sedimentos que iban tapando considerablemente los surcos, o en su defecto para evitar que las raíces de las plantas queden a la intemperie y sean arrastradas por el agua.

En el caso de control fitosanitario no se detectó la presencia de enfermedades en el cultivo de Quinoa durante el seguimiento del experimento, pero si se tuvo la presencia de plagas como: Kcona kcona (*Eurysacca melanocampta*) y Ticona (*Feltia experta*)

por lo que se realizó un control con Karate (insecticida de amplio espectro y etiqueta amarilla) a una dosis de 1ml por litro de agua para detener su ataque a las panojas, evitar que cause daños de consideración al cultivo y que haya interferencia con los factores principales (abono y riego).

4.3.10 Cosecha, trilla y venteo

A medida que cada tratamiento iba llegando a su madurez fisiológica en su totalidad, se realizó la cosecha en forma manual, dejando expuestas las plantas al sol con el fin de reducir su humedad por desecamiento por radiación solar por una a dos semanas (Anexo 20-u).

Las actividades de trilla y venteo también se las realizaron en forma manual y conjunta, separando el grano obtenido por cada tratamiento en su totalidad en diferentes bolsas de saqaña. No se consideró el efecto de bordura porque todo el experimento estaba dentro del cultivo principal de quinua.

4.4 Variables de respuesta

4.4.1 Variables agronómicas

4.4.1.1 Porcentaje de germinación

Se realizó varias repeticiones en placas petri para determinar el porcentaje de germinación en laboratorio, colocando 100 semillas en placas con papel filtro humedecido; por otra parte también se hicieron repeticiones de germinación en campo, sembrando también 100 semillas por metro lineal.

4.4.1.2 Altura de planta

Se registró una vez a la semana en centímetros (cm), desde el cuello de la planta hasta el ápice de la panoja.

4.4.1.3 Diámetro de panoja

Se tomó en cuenta en centímetros (cm), de la parte media de la panoja principal, pero se registró cuando las panojas estaban cambiando de la etapa fenológica de floración a grano lechoso, la frecuencia de medición fue semanal, cada 7 días.

4.4.1.4 Longitud de panoja

Se registró en centímetros (cm), desde la base hasta el ápice de la panoja principal, cuando esta ya se diferenciaba notoriamente, la frecuencia de medición fue cada 7 días a partir de la diferenciación.

4.4.1.5 Peso de 1000 granos

Se registró el peso en gramos (g) de 1000 granos de Quinoa para cada tratamiento luego de la cosecha y venteo.

4.4.1.6 Rendimiento

Se tomó en cuenta el peso total de grano cosechado por unidad experimental, para luego realizar la conversión a t/ha.

4.4.1.7 Índice de cosecha

El índice de cosecha se determinó mediante la relación del peso de grano limpio a la cosecha respecto al peso de la biomasa seca aérea total (Robles, 1986).

$$IC = \frac{\text{Peso de grano}}{\text{Biomasa seca aérea total}} \dots\dots \text{Ecuación 4}$$

4.4.2 Variables fenológicas

4.4.2.1 Días a las etapas fenológicas

Se registró el número de días desde la siembra, hasta que el 50% de las plantas de cada tratamiento iba cambiando para cada etapa fenológica.

4.4.2.2 Determinación en grados días

El concepto de crecimiento en grados días o tiempo térmico fue utilizado para analizar los resultados en experimentos de crecimiento. Este concepto estipula que un monto fijo de grados días es requerido para que una fase de desarrollo dada sea consumada o completada, la temperatura es contada absolutamente encima de un umbral de temperatura (temperatura base) sobre una base diaria (Bois *et al.*, 2006)

Esto se determinó realizando una sumatoria de los grados día por día hasta que los tratamientos hayan cumplido su ciclo vegetativo, se utilizó la siguiente ecuación según Bois *et al.* (2006):

$$GD = \sum \frac{T_x^* - T_m^*}{2} \dots\dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

GD : Grados días

T_x^* : Temperatura máxima diaria

T_m^* : Temperatura mínima diaria

Para la sumatoria de grados días se utilizaron las siguientes relaciones:

Si T_x^* es mayor a la temperatura óptima (T_o) entonces la T_x^* es igual a la T_o .

Si T_m^* es menor a la temperatura basal (T_b) entonces la T_m^* es igual a la T_b .

La temperatura basal (T_b) es igual a 1°C.

La temperatura óptima (T_o) es igual a 22°C.

4.4.3 Variables de riego

4.4.3.1 Velocidad de Infiltración

Se realizó una repetición en cada bloque con los cilindros infiltrómetros en fecha 20 de Noviembre de 2006.

4.4.3.2 Contenido de agua en el suelo

Se utilizó el equipo TDR (Reflectometría en el Dominio del Tiempo por sus siglas en inglés), teniendo un tubo de acceso de 1m de longitud enterrado en cada unidad experimental entre 25-30 cm de profundidad, la medición se realizó una vez por semana.

Para realizar la medición del contenido de humedad del suelo con el equipo T.D.R., primeramente se realizó una calibración del equipo, como se muestra en la Figura 8:

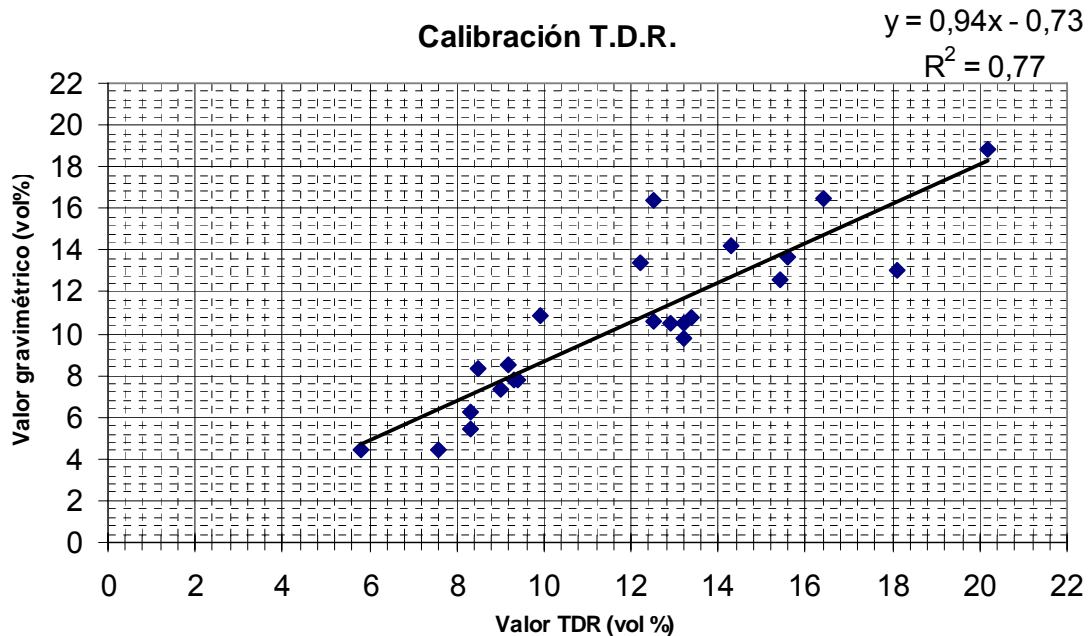


Figura 8. Calibración del T.D.R.

4.4.3.3 Eficiencia de uso de agua (EUA) en grano

Se refiere a la cantidad de agua necesaria para producir rendimientos en grano. Es la relación entre el peso del grano limpio sobre el volumen de agua consumido por las plantas en todo el ciclo (riego + precipitación, corregido por el contenido de agua antes y después del ciclo), como se observa en la siguiente ecuación:

$$EUA_g = \frac{\text{Peso de grano}}{\text{Evapotranspiración actual del cultivo}} \dots \text{Ecuación 6}$$

4.4.3.4 Eficiencia de uso de agua (EUA) en biomasa

Es la relación del peso total de la biomasa aérea seca cosechada sobre el volumen de agua consumido por las plantas en todo el ciclo (riego + precipitación, corregido por el contenido de agua antes y después del ciclo) como se observa en la siguiente ecuación:

$$EUA_b = \frac{\text{Peso de biomasa sec a} + \text{peso de grano}}{\text{Evapotranspiración actual del cultivo}} \dots\dots \text{Ecuación 7}$$

4.4.3.5 Evolución de la biomasa

Para esta medición se determinó un metro lineal por unidad experimental. En este sector se cosecharon las plantas y se realizó el pesaje en fresco. Posteriormente se colocaron las muestras en la mufla para lograr el secado. Finalmente se pesaron nuevamente las muestras, con el fin de determinar la materia seca. Durante el ciclo del cultivo se realizaron tres muestreos, a los 90 días, 120 días y a la cosecha.

4.4.3.6 Determinación del potencial hídrico foliar

Se midió cada semana con una “Cámara de presión tipo Scholander”, el cual consistió en colocar hojas de quinua en una cámara herméticamente cerrada y aplicando presión a través de un tanque con Nitrógeno (Anexo 14-o), llegando un momento en el que la hoja comienza a liberar agua a través del pecíolo. En este momento se considera un equilibrio entre la cámara y la tensión de agua en la hoja.

4.4.3.7 Determinación de la conductancia estomática

La conductancia estomática está relacionada con el estrés de las plantas y con la disminución del potencial hídrico foliar durante el estrés hídrico; se utilizó el equipo “Porómetro tipo AP4” y su principio se basa en el estudio de la transferencia de masa gaseosa a través de los estomas. Su medición fue también semanal.

4.4.4 Variables económicas

En la presente investigación se consideró la rentabilidad de la variedad. Esta evaluación se realizó siguiendo el método de costos marginales para la estimación de estos costos comparativos, metodología utilizada en la evaluación económica en los

campos de agricultura (Perrin *et al.*, 1988), por lo que se tiene el siguiente desglose económico:

4.4.4.1 Ingreso Bruto

El ingreso bruto es el resultado del rendimiento del cultivo de quinua por el precio del mismo en el mercado, por unidad de superficie.

$$IB = R * P \dots\dots \text{Ecuación 8}$$

Donde: IB = Ingreso Bruto
R = Rendimiento
P = Precio en el mercado

4.4.4.2 Ingreso Neto

El ingreso es el resultado del ingreso bruto menos los costos de producción:

$$IN = IB - CP \dots\dots \text{Ecuación 9}$$

Donde: IN = Ingreso Neto
CP = Costos de producción

4.4.4.3 Relación beneficio/costo

Beneficio/costo es una relación de los ingresos brutos sobre los costos de producción, el cual indica la rentabilidad de una actividad.

$$\boxed{B/C = \frac{IB}{CP}} \dots \text{Ecuación 10}$$

Donde: B/C = Relación Beneficio Costo

IB = Ingreso Bruto

CP = Costos de producción

La relación Beneficio/Costo (B/C) se determina de la siguiente manera:

La relación B/C > 1: Los ingresos económicos son mayores a los gastos de producción por lo tanto el cultivo con cierto sistema de producción es rentable, el agricultor tiene ingresos.

La relación B/C = 1: Los ingresos económicos son iguales a los costos de producción, el cultivo con cierto sistema de producción no es rentable, solo cubre los gastos de producción, el agricultor no gana ni pierde.

La relación B/C < 1: No existe beneficios económicos, por lo tanto el cultivo con cierto sistema de producción no es rentable, el agricultor pierde.

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

De acuerdo al diseño experimental en el presente trabajo de investigación; los análisis de varianza (ANVA) con sus respectivos coeficientes de variación (C.V.), las comparaciones de medias de Tukey al 5 % y los contrastes, se utilizaron para el procesamiento de datos. Las interpretaciones respectivas se presentan a continuación, para cada parámetro de evaluación por separado.

5.1 Evaluación de niveles de fertilización orgánica y riego deficitario

5.1.1 Variables agronómicas

5.1.1.1 Porcentaje de germinación

El porcentaje de Germinación se determinó en dos condiciones, en placas petri y en campo, de acuerdo al Cuadro 10 se tiene:

Cuadro 10. Promedios de porcentaje de germinación en placas petri y campo

Repetición	% Germinación placas petri	% Germinación en campo
1	97	78
2	93	82
3	95	86
4	96	75
5	95	72
Promedio	95	79

Como se observa en los valores presentados, se tiene una gran diferencia entre las semillas colocadas en placas petri 95% y las sembradas en campo 79%; esto se debe a que en las placas petri es posible proveer de humedad necesaria y proteger de la

radiación, en cambio en la siembra en campo se realizó un riego antes de colocar la semilla, entonces podría haber influido la radiación solar que secó rápidamente el suelo, quemando algunas semillas.

5.1.1.2 Altura de planta

El análisis de varianza para la variable altura de planta (Anexo 2) indica que no existen diferencias significativas producidas por el tipo de riego. También podemos observar que no existen diferencias estadísticas significativas entre los niveles de fertilización orgánica, lo que quiere decir que ni la fertilización orgánica ni el tipo de riego deficitario han influido en la altura de planta.

Del mismo modo se observa que no existen diferencias significativas en la interacción riego por nivel de fertilización, lo cual indica que la altura de planta es un componente de rendimiento que expresa eficientemente el impacto de niveles incluso reducidos de aplicación de agua y de fertilizantes.

Por último se observa un coeficiente de variación con un valor de 8,93% , lo cual indica que los datos son confiables debido a un buen manejo de campo.

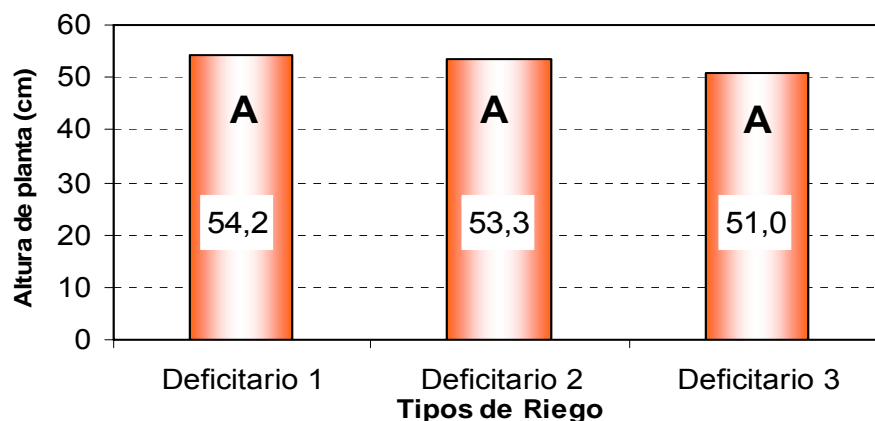


Figura 9. Promedios de altura de planta de Quinoa por tipos de riego

La Figura 9, confirman que no existen diferencias significativas entre los tipos de riego; para determinar a que se debió la similitud de respuesta al riego (y el hecho de tener efecto significativo del bloque) se realizó dos calicatas en el área experimental (Anexo 16), llegando a identificar que el suelo en el primer bloque era de textura franco a arcilloso; en cambio en los otros bloques se encontró con un suelo más arcilloso con gran cantidad de grava. De esta manera se encontró que el tipo de suelo afectó definitivamente a todos los tratamientos y factores para el crecimiento de la planta.

Similarmente el la Figura 10, muestra la respuesta de la variable altura de planta a los niveles de abono orgánico, donde se observa que no existe diferencias significativas para la variable altura de planta por la aplicación de abono, esto puede deberse al periodo de incorporación del abono, casi un mes antes de la siembra por lo que no le dio tiempo de descomponerse para ser mas asimilable.

Al respecto, Paz Yuste (1997), menciona que el abono orgánico debe considerarse como una inversión a mediano y largo plazo, su incorporación se la debe hacer en otoño o en invierno, para que en primavera se encuentren en estado avanzado de descomposición.

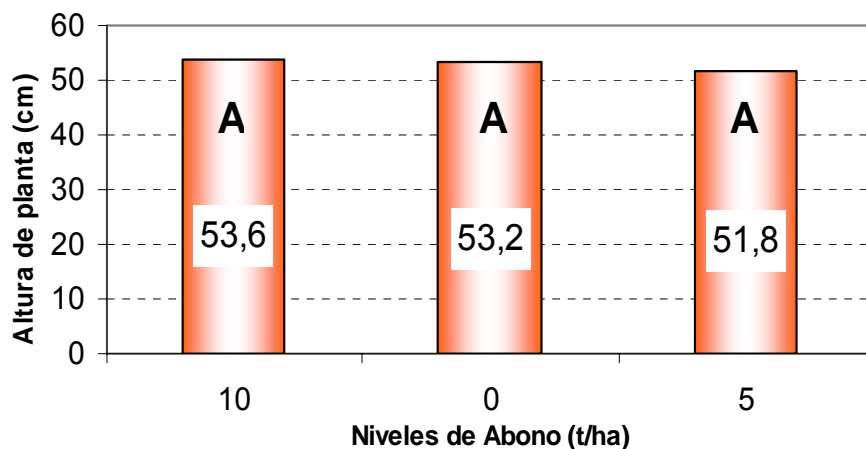


Figura 10. Promedios de altura de planta de Quinoa por niveles de abono

La curva de crecimiento de la planta, así como cualquiera de sus órganos y en general de todos los seres vivos, posee la típica forma de “S” o sigmoide (Alcón, 2005). En la Figura 11, se presenta la evolución del crecimiento para los nueve tratamientos, donde se puede observar que todos los tratamientos en las primeras semanas tienen un comportamiento similar, esto se debe a que todos los tratamientos recibieron riego en el establecimiento y agua de lluvia.

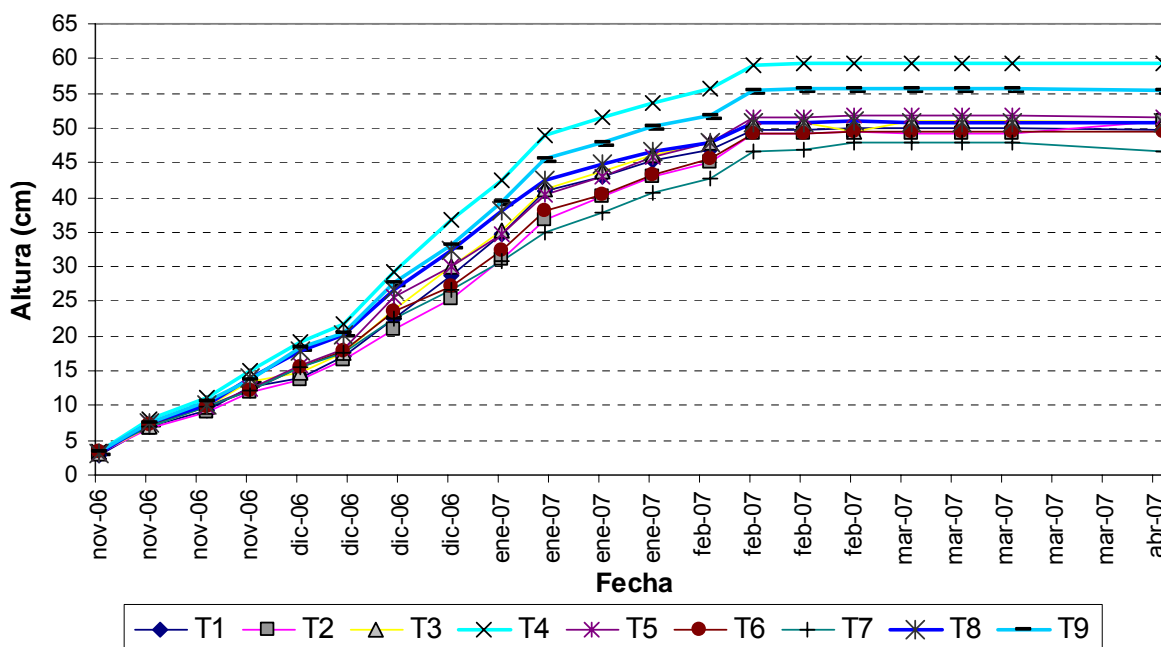


Figura 11. Curva de crecimiento Sigmoide del cultivo de quinua para los nueve tratamientos durante el ciclo agrícola 2006/2007

Los tratamientos T4 y T9 son los que alcanzaron mayor tamaño en relación a los demás tratamientos; probablemente el efecto de los bloques (Anexo 2) y el tipo de suelo (Anexo 16) se ve demostrado en el T4 que solo recibió riego en el establecimiento; en el caso del T9 el riego deficitario aplicado podría haber sido un factor influyente, al igual que los bloques y el suelo.

El tratamiento T7 es el que obtuvo un menor tamaño en cuanto a evolución frente a los demás tratamientos, esto puede deberse a su disposición en los bloques (Figura 6) ya que al encontrarse casi al final, en el momento de realizar el riego el agua se iba

infiltrando rápidamente en tratamientos que se encontraban antes, llegando con un menor caudal a este tratamiento.

Los tratamientos T5 y T8 tienen un comportamiento similar en casi todo el ciclo, aunque no se nota grandes diferencias en la figura estos dos tratamientos tienen alturas un poco mayores a los tratamientos T1, T2, T3 y T6. Entonces la aplicación de riego deficitario en etapas críticas favorece también en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

5.1.1.3 Diámetro de panoja

El análisis de varianza mostrado en el Anexo 3, indica que al igual que en el caso de la altura de planta, no existen diferencias significativas de diámetro de panoja entre bloques, tipos de riego, niveles de abono e interacción de riego por abono. El coeficiente de variación de 13,74% indica la confiabilidad de los datos obtenidos en campo.

Con respecto a la prueba de Tukey, se presentó un comportamiento similar en cuanto a diámetro de panoja y tipos de riego, como se muestra en la Figura 12.

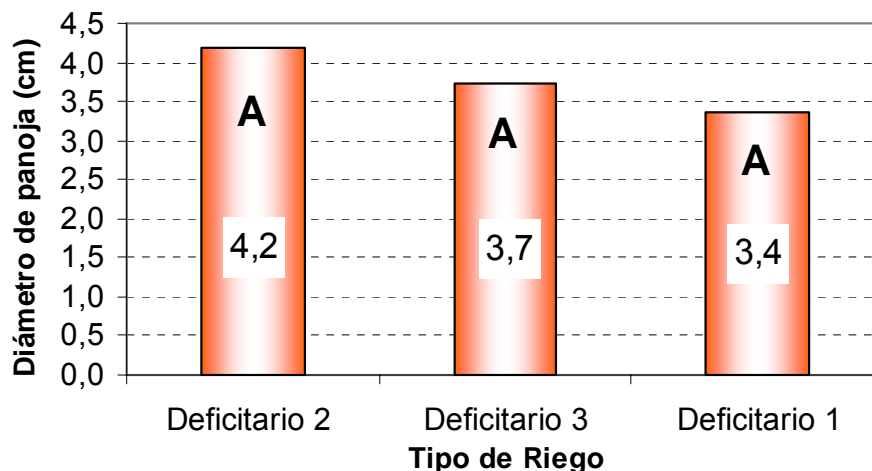


Figura 12. Promedios de diámetro de panoja de Quinua por tipos de riego

Se observa que no existen diferencias significativas por tipos de riego según la prueba de Tukey. A pesar de no existir diferencia estadística, es remarcable que el mayor diámetro de panoja obtenido es de 4,2 cm con riego deficitario 2, seguido de 3,7 cm por el riego deficitario 3, y por último 3,4 cm para el riego deficitario 1.

Ramos (2000) que realizó experimentos de riego diferenciado por etapas fenológicas, encontró que los componentes de rendimiento altura de planta, longitud de panoja y diámetro de panoja, se comportan de manera similar en los tratamientos con riego en comparación al que estaba a secano, atribuyendo esto a la plasticidad de crecimiento fenotípica que posee esta especie.

Se identifica que no se tiene diferencias significativas en cuanto a diámetro de panoja y niveles de abono (Figura 13), teniendo un comportamiento similar en los tres niveles de abono aplicados.

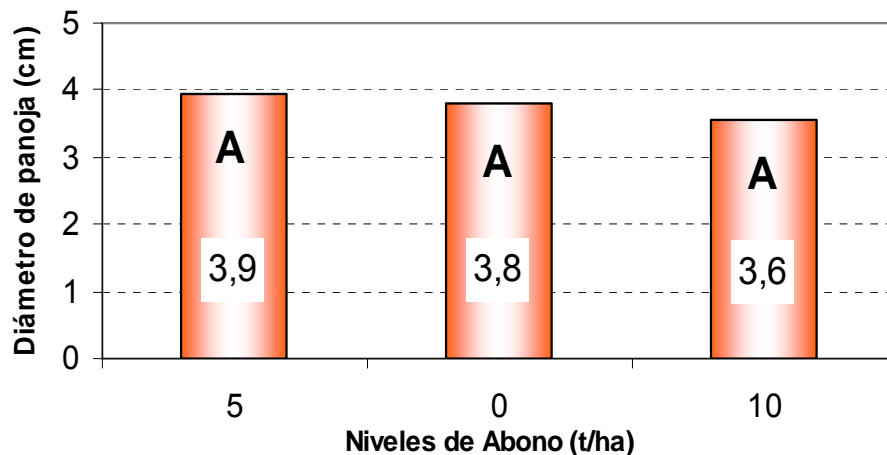


Figura 13. Promedios de diámetro de panoja de quinua por niveles de abono

En la Figura 13 se muestra los promedios de diámetro de panoja, teniendo 3,9 cm para un abonamiento de 5 t/ha , 3,8 cm para 0 t/ha y 3,6 cm para 10 t/ha ; posiblemente el abono orgánico no ha sido asimilado por las plantas, probablemente por el estado de descomposición del abono, ya que no era fresco y no se le hizo un previo tratamiento por motivos de tiempo.

Al respecto Cahuaya (2001), hace notar que para la aplicación del estiércol, este previamente deberá descomponerse, humificarse y mineralizarse para posibilitar que los nutrientes que contienen sean liberados al suelo y asimilados por las raíces de la planta. Por lo tanto el aporte nutritivo de los abonos orgánicos durante el período de crecimiento del cultivo fue reducido, lo que limitó la multiplicación celular, la formación de tejidos y órganos nuevos, repercutiendo negativamente en la generación de mayores cantidades de biomasa aérea y por ende de materia seca.

5.1.1.4 Longitud de panoja

La prueba de Tukey indica que no se tiene diferencias significativas con respecto a riego, niveles de fertilización orgánica e interacción de riego * niveles. Como en el caso de la altura de planta, si se tiene diferencias significativas entre bloques (Anexo 4) lo cual se debería a la diferencia de textura del suelo que disminuye la disponibilidad de agua y nutrientes para la planta en el caso del suelo.

Al igual que en las anteriores variables, la panoja no se diferenció sustancialmente en su longitud a causa de los tratamientos, corroborando lo que mencionó Ramos (2000) que los componentes de rendimiento altura de planta, longitud de panoja y diámetro de panoja, se comportan de manera similar ya sea que tengan riego o no dispongan de ello, debido a la plasticidad de crecimiento fenotípica de esta especie.

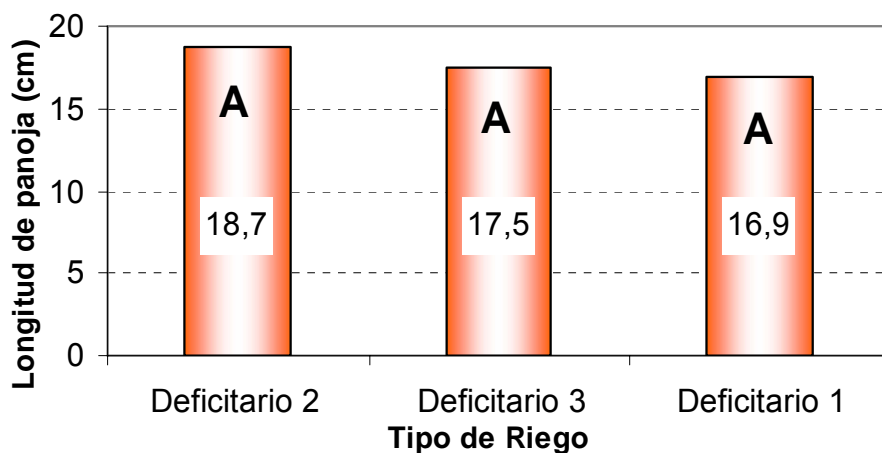


Figura 14. Promedios de longitud de panoja de quinua por tipos de riego

La Figura 14 muestra resultados similares a los obtenidos en la Figura 12, siendo que aunque estadísticamente no es verificable, el tratamiento deficitario 2, aparenta tener un mejor efecto sobre la panoja. Con respecto a la aplicación de abono, para ninguno de los tres niveles se tiene diferencias significativas, mostrando valores muy similares.

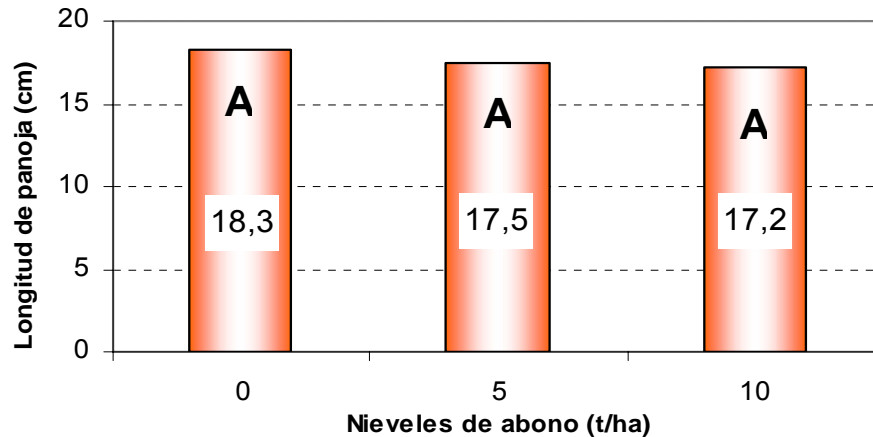


Figura 15. Promedios de longitud de panoja de quinua por niveles de abono

Los promedios de longitud de panoja con respecto a niveles de aplicación de abono se pueden observar en la Figura 15, demostrando los resultados obtenidos estadísticamente.

5.1.1.5 Peso de 1000 granos

El análisis de varianza (Anexo 5), no muestra diferencias significativas entre bloques y niveles de abono pero si se tiene diferencias altamente significativas con respecto a los tratamientos de riego. También se tiene diferencias altamente significativas en la interacción de riego por nivel de abonamiento, influenciado este valor principalmente por el riego.

Se hace notar que los datos son confiables, ya que se obtuvo un coeficiente de variación con un valor de 5,92% valor que es aceptable e indica el buen manejo del cultivo en campo y la confiabilidad de los datos registrados.

Cuando se aplica riego solo en el establecimiento, la respuesta del peso de 1000 granos es poco alentadora (Figura 16), mostrando que riego en posteriores etapas de desarrollo, produce un efecto altamente favorable para el llenado de grano.

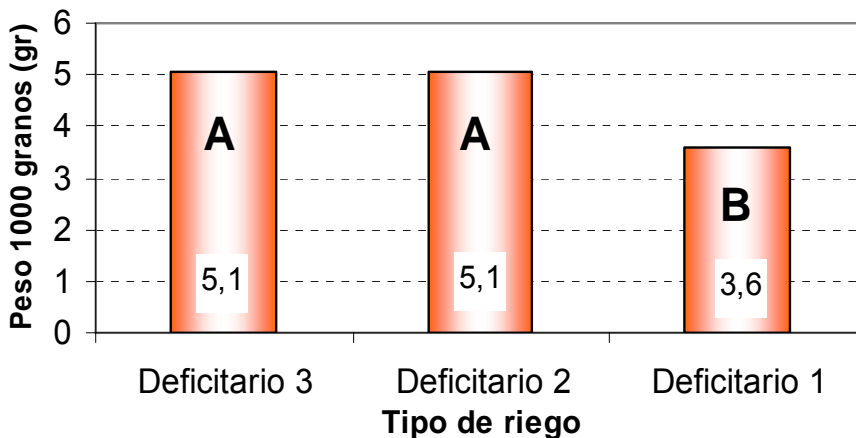


Figura 16. Promedios de peso de 1000 granos de quinua por tipos de riego

La Figura 16, muestra las diferencias significativas mencionadas anteriormente, ya que se tiene valores similares de 5,1 gramos en peso de 1000 granos de quinua para los riegos deficitarios 2 y 3, en cambio con la aplicación de riego deficitario 1 solo se llegó a un peso de 3,6 gramos. Los valores obtenidos podría deberse a que durante el mes de Enero las plantas de quinua se encontraban en la etapa fenológica de grano lechoso. Como se observa en la Figura 6, durante este periodo la precipitación fue muy reducida y la falta de agua afectó fuertemente en el llenado de grano, posiblemente debido a la deficiente formación de fotosintatos durante el periodo.

Al respecto Mamani (2007), al experimentar con estrés hídrico en distintas etapas fenológicas, indica que el período de llenado de grano parece ser muy vulnerable e incide negativamente en la producción de biomasa y por ende en la producción de grano. Por su parte Jacobsen *et al.* (1999), también mencionó que las fases susceptibles a la sequía para el rendimiento de grano son: la vegetativa, antesis y llenado de grano.

Se puede decir entonces que al no disponer de agua para en la etapa de llenado de grano, la planta no cuenta con suficiente cantidad de agua por lo que sufre estrés hídrico, afectando esto en la producción de biomasa y por ende en la calidad de grano, produciendo granos pequeños.

No existe diferencias significativas entre el peso de 1000 granos de quinua y niveles de abono aplicados (Figura 17) lo cual sugiere que el abono no fue aprovechado en forma distinta por los tratamientos, siendo el resultado muy similar.

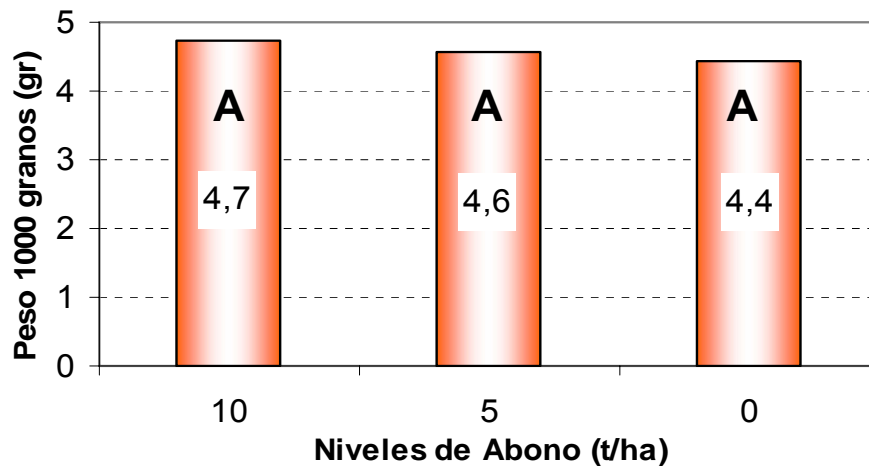


Figura 17. Promedios de peso de 1000 granos de quinua por niveles de abono

La Figura 17, nos muestra un comportamiento similar entre los tres niveles de fertilización orgánica, estadísticamente no se tiene diferencias significativas, entonces se puede decir que los niveles de abono aplicados en el presente trabajo no han influido de manera directa e indirectamente en el peso de grano

A pesar de que no hay diferencias, se identifica un valor de 4,7 g que esta en primer lugar una aplicación de 10 t/ha; segundo lugar con 4,6 g para 5 t/ha de abono aplicado y 4,4 g para 0 t/ha; entonces se puede decir que con ayuda de riego el abono si es aprovechable aunque no de manera significativa, además es recomendable que se haga tratamientos previos al abono.

Guarro (1986), citado por Catari (2002), expresa que el estiércol ovino por su dureza no debe ser usado, sino después de tenerlo en preparación durante un período de 3 a 4 meses, procurando que reciba el purín de los mismos animales.

5.1.1.6 Rendimiento

El análisis estadístico (Anexo 6) muestra que no existen diferencias significativas en el rendimiento para los niveles de fertilización orgánica, ni en la interacción de riego por nivel; pero si se perciben diferencias altamente significativas entre bloques y riego, por lo que tanto los bloques (debido a la condición heterogénea del suelo) y el riego han influido directamente en el rendimiento.

En la Figura 18, se muestra el promedio del rendimiento obtenido para los nueve tratamientos.

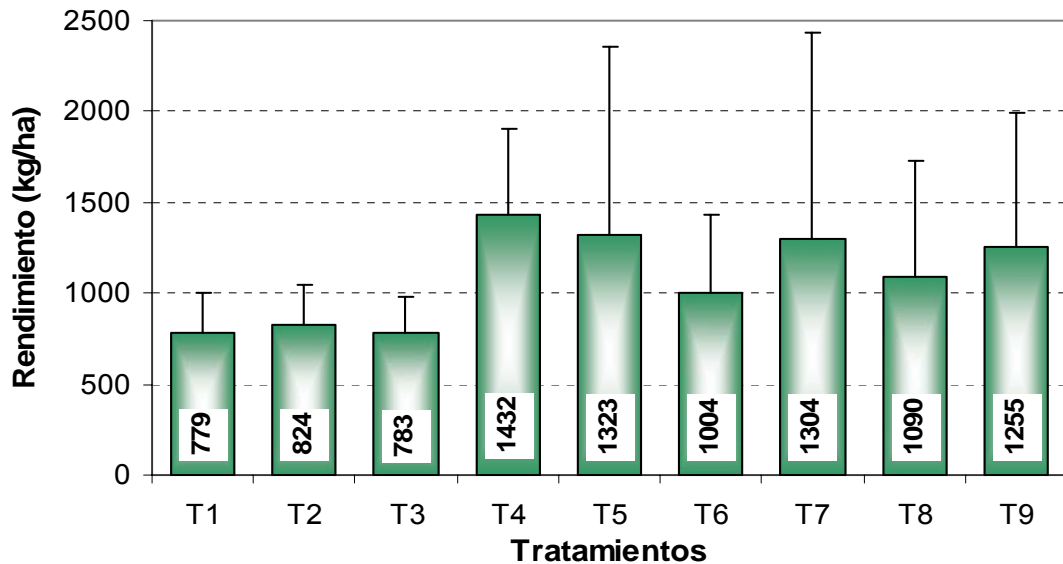


Figura 18. Promedio de rendimientos

Se observa claramente que hay diferencia en cuanto a rendimientos obtenidos en los diferentes tratamientos; los tratamientos con menores rendimientos corresponden a T1, T2, y T3 a los cuales se aplicó riego deficitario 1 (solo en el establecimiento), mientras que los restantes seis tratamientos todos sobrepasaron los 1000 kg/ha .

Los rendimientos obtenidos en campo dependen de muchos factores, Tapia (1997), indica que están muy relacionados con el nivel de fertilidad del suelo, uso de abonos químicos, época de siembra, variedad empleada, control de enfermedades, plagas y la presencia de heladas. El mismo autor menciona que se obtienen rendimientos de 600 a 800 kg/ha de grano en cultivos tradicionales; la variedad Sajama con tecnología moderna, empleo de fertilizantes desinfección de semilla, control de malezas puede producir comercialmente 1500 kg/ha .

Para las variedades de quinua real utilizadas en el altiplano sur de Bolivia, de acuerdo al PROINPA (2003), los rendimientos obtenidos a nivel agricultor están alrededor de 600 a 800 kg/ha y a nivel experimental muchas de esas variedades superan los 1000 kg/ha como Real blanca, Pandela rosada, Pisankalla, etc.

El rendimiento obtenido por IBTA (1996), cuando esta variedad fue lanzada era de 2640 kg/ha a nivel experimental y 1200 kg/ha en forma extensiva. Por su parte, Mamani (2007), recomienda que los mejores rendimientos en grano se dan cuando hay un estrés hídrico al inicio del cultivo; se debe evitar estrés hídrico en la etapa de llenado de grano que podría reflejarse obteniendo menores rendimientos.

5.1.1.7 Índice de cosecha

En el análisis estadístico (Anexo 7) no se observa diferencias estadísticas significativas. En la Figura 19 se presenta el índice de cosecha para cada tratamiento, el tratamiento 3 fue el que menor índice de cosecha obtuvo, los tratamientos T2, T5 y T9 obtuvieron valores similares por debajo de 0,5; los tratamientos T1, T6, T7, y T8 con valores entre 0,51 a 0,52 de índice de cosecha; el tratamiento que mayor índice de cosecha se registro es T4 con 0,56 que corresponde a riego deficitario 2 y sin aplicación de abono.

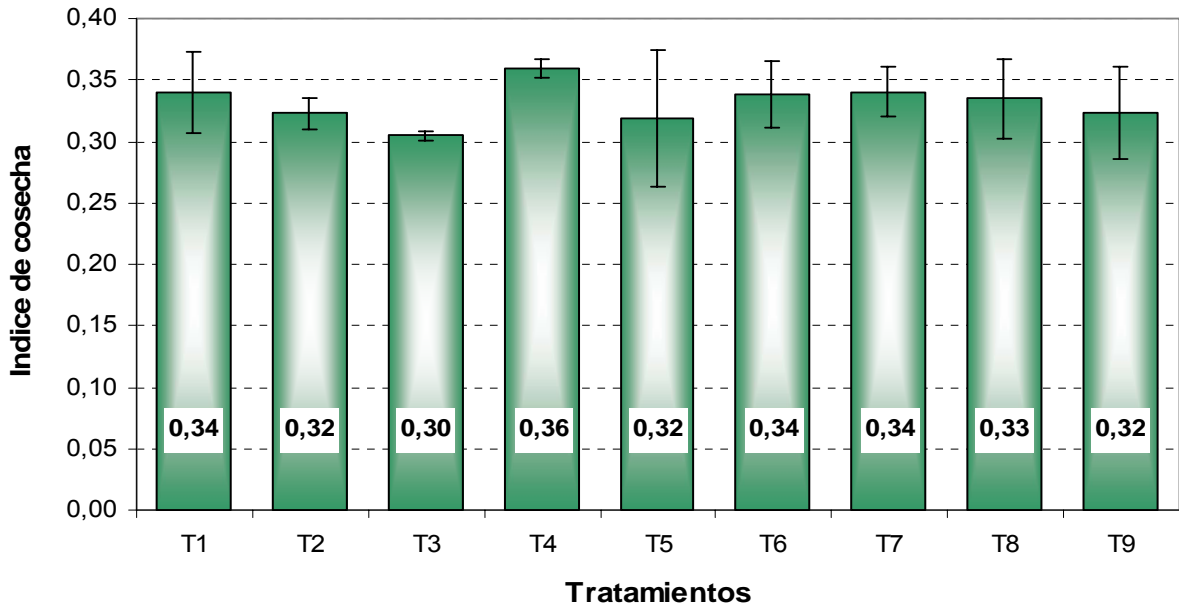


Figura 19. Índice de cosecha para los nueve tratamientos

Para los tratamientos T2 y T3 con 5 y 10 t/ha de abono respectivamente solo recibieron riego en el establecimiento por lo que obtuvieron un índice de cosecha menor a los demás tratamientos que recibieron riego y como consecuencia mayor producción de biomasa y grano.

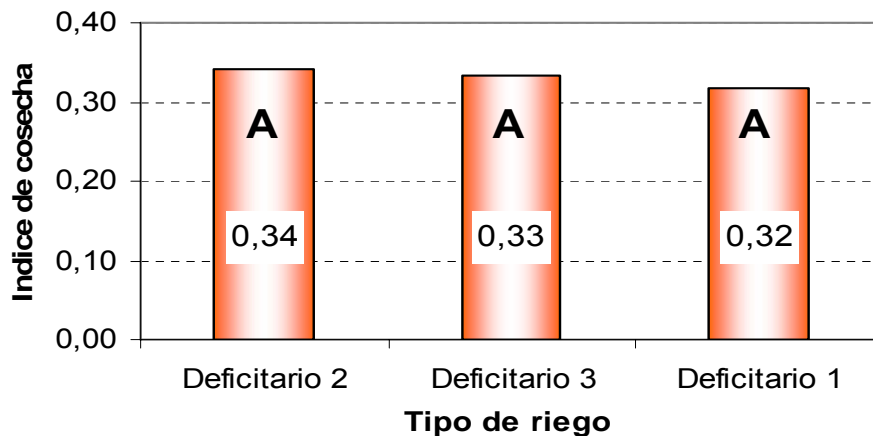


Figura 20. Índice de cosecha por tipos de riego

El índice de cosecha mostrado en la Figura 20, los tratamientos con riego deficitario 2 son los que obtuvieron un mayor valor seguido del riego deficitario 3 y riego deficitario

1 en último lugar. El riego deficitario, influye en cierta forma en el índice de cosecha ayudando a que la planta aproveche de manera óptima el agua y lo distribuya en su organismo para obtener mayores beneficios en producción comercial y no comercial.

Al respecto Mamani (2007), concluyó que si se tiene estrés hídrico en la etapa de grano lechoso se producen índices de cosecha bajos, la reacción de las plantas contra el estrés hídrico en esta etapa del cultivo es la defoliación, afectó considerablemente al tamaño, peso y cantidad de granos.

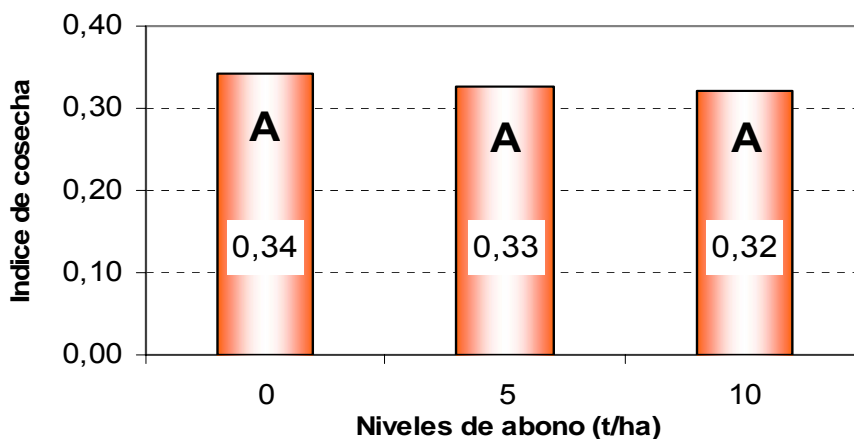


Figura 21. Índice de cosecha por niveles de abono

La Figura 21, muestra el índice de cosecha por niveles de abono orgánico, estadísticamente no presentan diferencias significativas lo que indica que ninguno de los tres niveles de abono orgánico tuvo efecto directo en el índice de cosecha, esto posiblemente se haya debido al estado del estiércol aplicado y al realizar riego haya habido un lavado y transporte parcial del estiércol, por lo que también no fue aprovechado.

5.1.2 Variables fenológicas

Para el análisis de las variables fenológicas se presenta solo algunas fases fenológicas críticas que según Jacobsen *et al.* (1999), son antesis y llenado de grano.

5.1.2.1 Días a la Floración

De acuerdo al análisis estadístico (Anexo 8) se tiene un efecto de bloques en el experimento altamente significativos, asimismo el efecto de riego es significativo por lo que aplicando riego es posible acelerar un poco el desarrollo de las plantas. En la Figura 22 se presenta el promedio de días a la floración, donde se observa que existen diferencias significativas de los tratamientos con riego deficitario 1 con un promedio de 95 días hasta llegar a la etapa de floración frente a los tratamientos con riego deficitario 2 y 3 que necesitaron solo 92 días; tomando en cuenta que el promedio de días a la etapa de floración es de 90 a 100 días (Mujica *et al.*, 2004) se tiene valores aceptables.

Asimismo no se tiene diferencias significativas entre los tratamientos con riego deficitario 2 y 3, probablemente por la influencia de algunos días con precipitación que se presentaron hasta esta etapa como se observa en la Figura 6 y la aplicación de riego a los tratamientos respectivos.

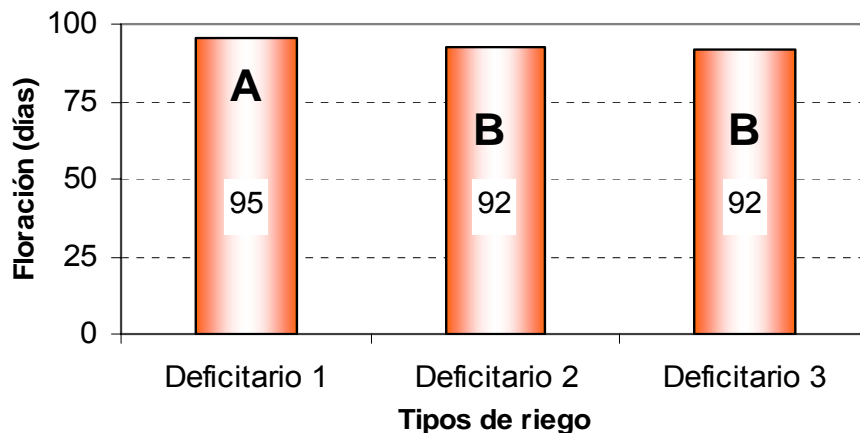


Figura 22. Días a la floración por tipos de riego

Entonces la aplicación de riego ha influido de manera directa para que los tratamientos con riego deficitario 2 y 3 lleguen a la etapa de floración antes que los con riego deficitario 1.

Con respecto a los niveles de abono, no se tiene diferencias significativas por la aplicación de este entre ninguno de los tres niveles, como en las anteriores variables (Figura 23).

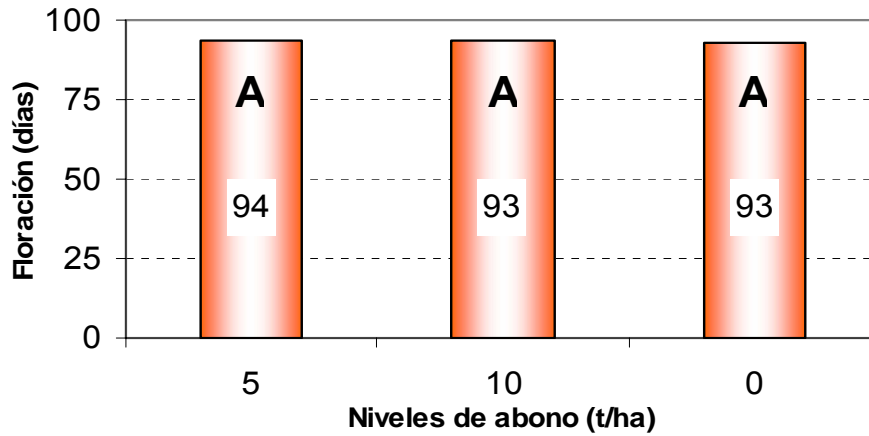


Figura 23. Días a la floración por niveles de abono orgánico

5.1.2.2 Días a la etapa de grano lechoso

En el Anexo 9 se puede observar que existe un efecto significativo para la aplicación de riego. Para esta variable se presenta los promedios de días obtenidos en campo y de acuerdo a los análisis se tiene diferencias altamente significativas de los tratamientos con riego deficitario 1 frente a los tratamientos con riego deficitario 2 y 3, lo que indica que la aplicación de riego en etapas aparte del establecimiento ha influido de manera directa para que los tratamientos con riego lleguen a esta etapa antes que el que solo recibió riego al inicio.

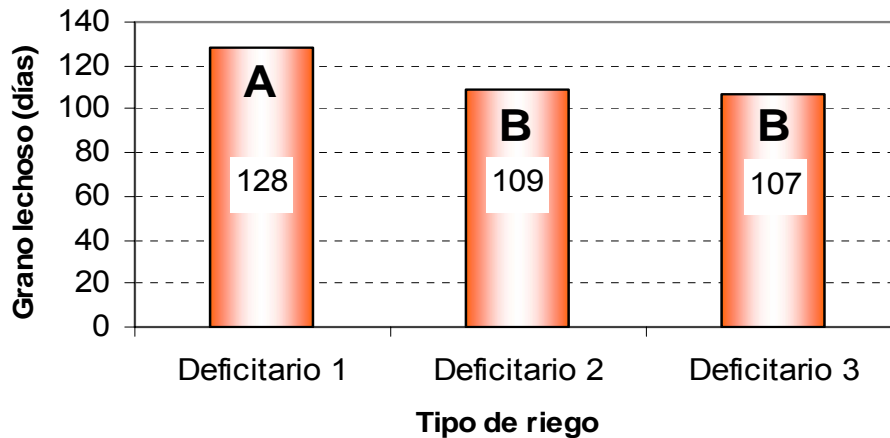


Figura 24. Días a la etapa de grano lechoso por tipo de riego

Se nota que sin riego durante floración y grano lechoso, las plantas no pasaron fácilmente de la etapa de floración a grano lechoso (deficitario 1 en la Figura 24); el riego durante prefloración (deficitario 3) no tenía un efecto adicional en comparación con los tratamientos con riego deficitario 2.

Por otra parte de acuerdo a la Figura 24, entre riego deficitario 2 y 3 no hay diferencias significativas, demostrando así que estos dos al recibir riego aparte del establecimiento tienen un comportamiento similar. También se comprueba lo mencionado por Mujica *et al.* (2004) ya que indica que la quinua llega a esta etapa entre los 100 a 130 días.

Para niveles de abono orgánico aplicado, en la Figura 25 se tiene diferencias significativas entre niveles de abono de 5 t/ha frente a 0 t/ha, para el nivel de 10 t/ha no hay diferencias significativas frente a 5 y 0 t/ha, comportándose similar.

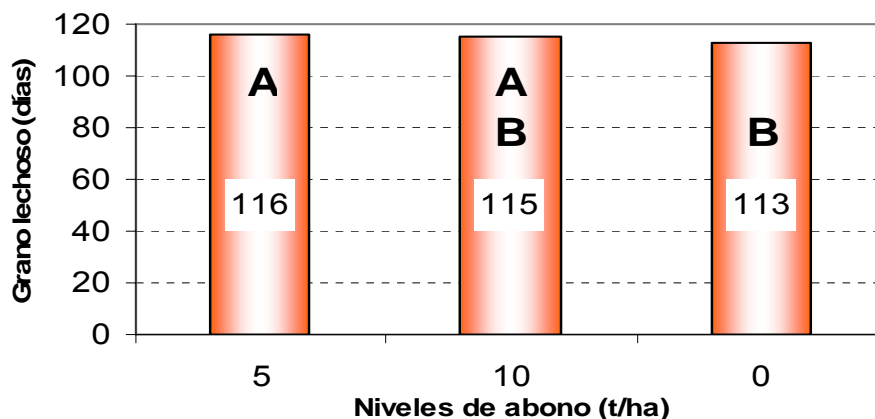


Figura 25. Días a la etapa de grano lechoso por niveles de abono

Este comportamiento entonces nos indica que la materia orgánica al existir una variabilidad en el suelo, en algunos lugares se ha reducido o descompuesto y asimilado por las plantas, mientras que en otros solo ha incrementado lo cual en cierta forma es beneficiosa para el suelo pero el propósito de aplicar niveles de abono era el de ser asimilado por las plantas, adicionalmente a esto posiblemente haya influido el abono colocado en una gestión agrícola anterior y que al estar por mas tiempo en el suelo hay podido descomponerse y ser asimilable para las plantas.

5.1.2.3 Días a la etapa de masa de grano

El análisis de varianza presentado en el Anexo 10, muestra en los bloques un efecto significativo y en riego altamente significativo, esto se debe a la aplicación de riego antes de esta etapa que ha beneficiado en el desarrollo un poco adelantado o precoz.

Nuevamente se observa diferencias significativas (Figura 26) para el tipo de riego deficitario 1 frente a los con riego deficitario 2 y 3; entonces al sufrir de estrés hídrico las plantas alargan sus etapas vegetativas y reproductivas demostrando su plasticidad, pues es una respuesta en espera a mejores condiciones. Sin embargo esto posteriormente se refleja en el rendimiento y la calidad del grano.

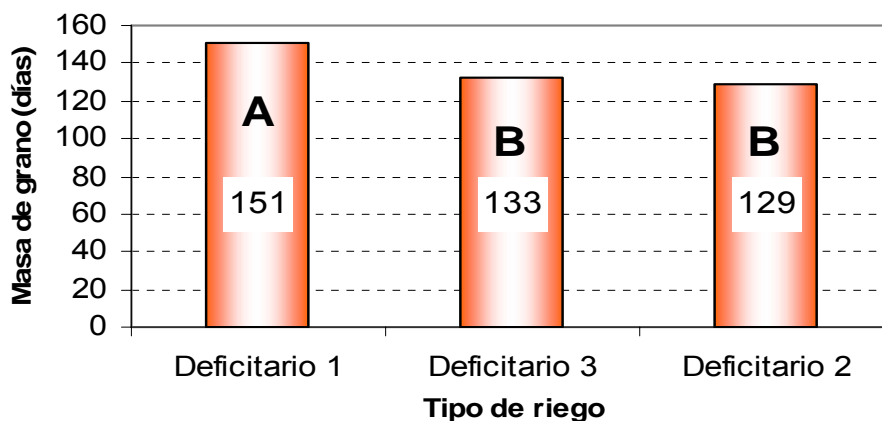


Figura 26. Días a la etapa de masa de grano por tipos de riego

Se presenta el promedio de días que necesitaron los tratamientos con diferentes tipos de riego para llegar a la etapa de masa de grano. Este promedio de días puede variar de 130 a 160 días según Mujica *et al.* (2004) aunque esto depende también de la época de siembra, características climáticas, variedad, suelo, etc.

La influencia en las plantas por la aplicación de abono por otra parte difiere de acuerdo a los niveles aplicados, pero su importancia radica principalmente en favorecer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Mujica *et al.*, 2004), aunque en muchos casos su aplicación instantánea no tiene efecto inmediato como se puede observar en el Figura 27.

Se observa que no existen diferencias significativas por la aplicación de niveles de abono, por lo tanto ya sea que se aplique o no abono no hubo ningún efecto directo en el crecimiento y desarrollo de las plantas de quinua para la etapa de masa de grano.

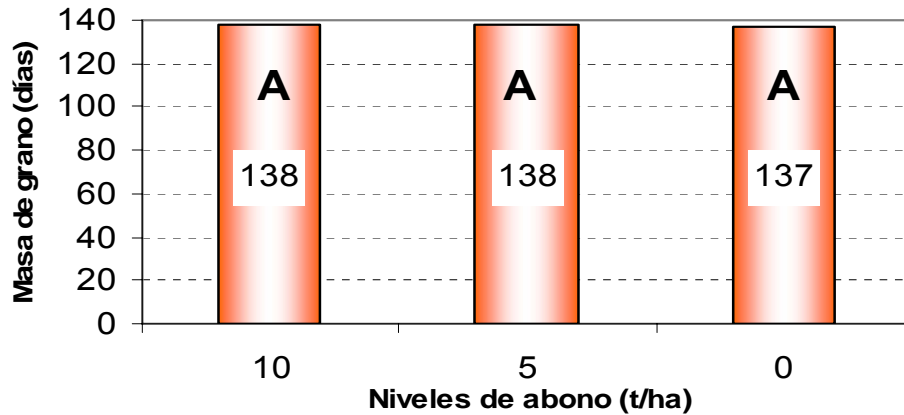


Figura 27. Días a la etapa de masa de grano por niveles de abono

5.1.2.4 Días a la etapa de grano pastoso duro

De acuerdo al análisis de varianza (Anexo 11) para esta variable, se tiene un efecto significativo, lo que demuestra que la aplicación del riego influye en forma directa durante el desarrollo de la planta.

Para la variable días a la etapa de grano pastoso duro o madurez fisiológica, se presenta el promedio de días por tipos de riego, donde se observa que existen diferencias significativas entre riego deficitario 1 y riego deficitario 2. Como en los anteriores casos, los tratamientos que solo recibieron riego en el establecimiento (deficitario 1) demoraron mas días en llegar a esta etapa y no así los tratamientos que recibieron riego en el establecimiento, floración y grano lechoso (deficitario 2); el riego en estas etapas críticas entonces influye de manera positiva para que las plantas completen su ciclo vegetativo en menor tiempo, pero fundamentalmente para que mejore la productividad y el rendimiento.

También en esta Figura 28 se observa que los tratamientos con riego en el establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso (deficitario 3) no tienen diferencias significativas frente a los otros dos tipos de riego. El promedio de días a esta etapa por lo general es de 160 a 180 días (Mujica *et al.*, 2004) por lo que los datos obtenidos se enmarcan dentro de este rango registrado anteriormente.

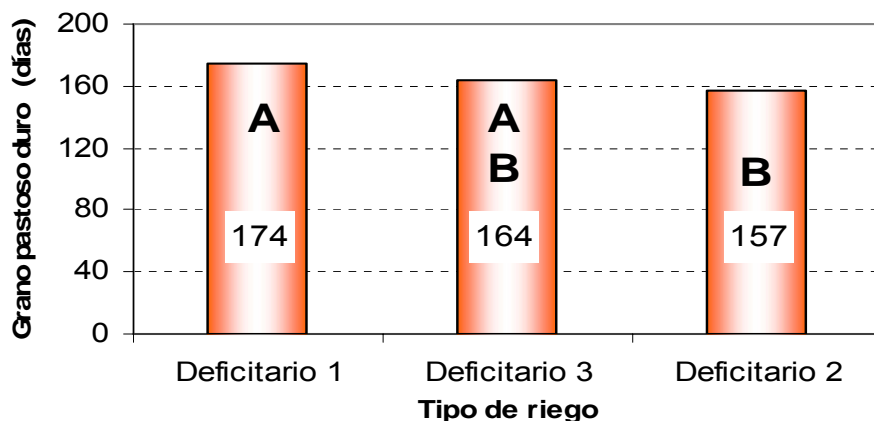


Figura 28. Días a la etapa de grano pastoso duro por tipos de riego

En el caso de la Figura 29 se presenta el promedio de días para la etapa de grano pastoso duro o madurez fisiológica, y como se observa no se tiene diferencias significativas entre los tres niveles de abono aplicado. Nuevamente aquí se puede hipotetizar que el efecto de los abonos orgánicos (estiércol) animales no es inmediato sino que necesitan tiempo para descomponerse.

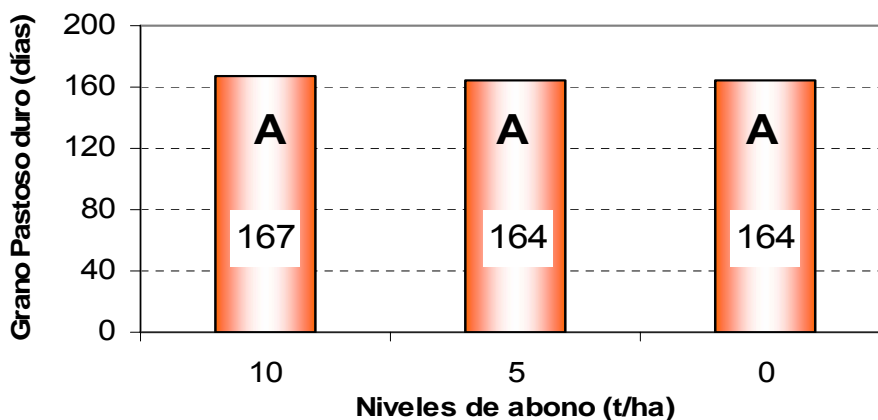


Figura 29. Días a la etapa de grano pastoso duro por niveles de abono

Muestra claramente que para los tres niveles de abono orgánico el promedio de días en llegar a esta etapa es similar, por lo que la aplicación de abono durante el año de aplicación no es de mucho beneficio y solo tendría un efecto en los costos del mismo año de producción. Sin embargo se puede argumentar también el impacto en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

5.1.2.5 Determinación en grados días

La determinación en grados días se hizo para todas las fases fenológicas de los nueve tratamientos, en el Cuadro 11 se observa los resultados obtenidos.

Cuadro 11. Determinación en grados día (°C d) con relación a cada etapa fenológica para los nueve tratamientos

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
EE	40,1	49,7	40,1	43,7	43,7	37,2	49,7	34,1	37,2
EC	60,3	60,3	53,4	56,7	56,7	49,7	69,6	46,8	49,7
E2B	189,0	194,1	211,0	201,3	198,6	204,1	191,1	168,9	191,9
E5A	334,0	316,1	327,2	300,4	304,2	300,6	307,9	273,0	296,4
E13A	627,1	638,5	627,6	634,3	620,2	606,2	603,0	599,2	630,9
EDP	722,2	717,7	726,7	714,5	718,4	709,8	689,8	698,5	718,4
EFL	1028,5	1035,7	1053,4	1010,6	1010,7	999,8	996,7	1014,3	996,6
ELG	1380,0	1439,9	1415,4	1166,9	1174,8	1170,5	1167,2	1197,5	1189,7
EMG	1642,2	1662,5	1632,1	1406,2	1412,7	1435,7	1454,4	1443,6	1473,0
EPG	1862,3	1863,0	1885,6	1698,4	1682,2	1728,9	1754,9	1771,5	1777,8

De acuerdo a lo presentado en el Cuadro 11, se puede ver que los tratamientos T1, T2 y T3 al sufrir estrés hídrico alargaron sus fases incrementando entonces su valor de Grado Día. De esta manera se comprueba que el concepto de Grados Día y Constante Térmica es afectado fuertemente por el impacto del estrés hídrico.

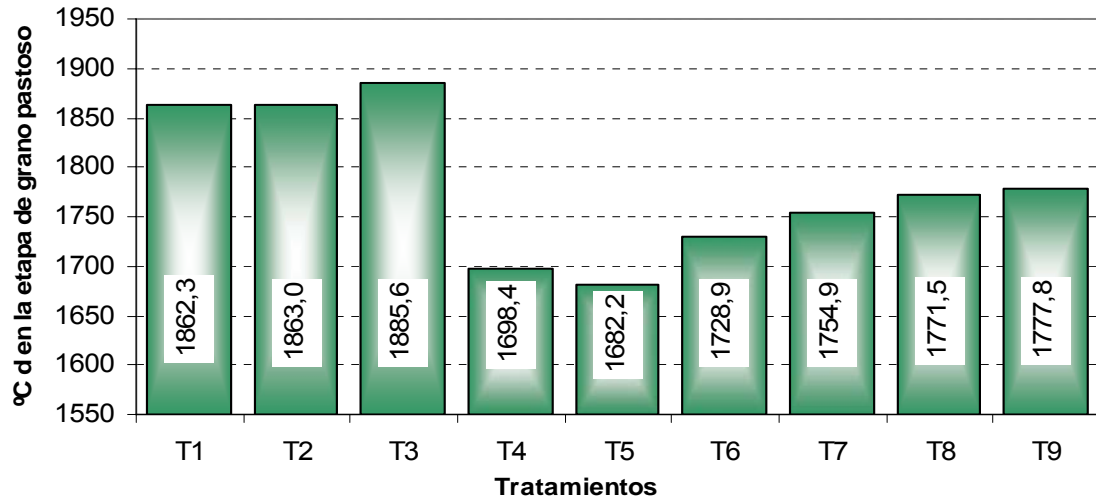


Figura 30. Grados días hasta la etapa de grano pastoso de los nueve tratamientos

Según la Figura 30, en etapas anteriores a llenado de grano todos los tratamientos tienen valores casi similares, lo cual demuestra que el impacto diferenciado de la falta de agua ocurre a partir de la floración y en las fases reproductivas, hasta llegar a la etapa de grano pastoso donde se hace más notorio en esta figura.

En el Anexo 12, el efecto del riego es significativo para esta variable, en general los tratamientos con riego deficitario 2 y 3 lograron acumular menos grados día que los tratamientos con riego deficitario 1, o sea que llegaron a su madurez por un período de tiempo menor, demostrando el efecto benéfico del riego en un cultivo.

La Figura 31, muestra los promedios de grados días del cultivo de quinua hasta la etapa de grano pastoso, donde estadísticamente se tiene diferencias significativas de los tratamientos con riego deficitario 1 frente a los tratamientos con riego deficitario 2 y 3; esto demuestra la influencia del riego en otras etapas aparte del establecimiento, sobre todo en épocas de sequía que ayudan a las plantas a no sufrir estrés hídrico y completar su ciclo normalmente.

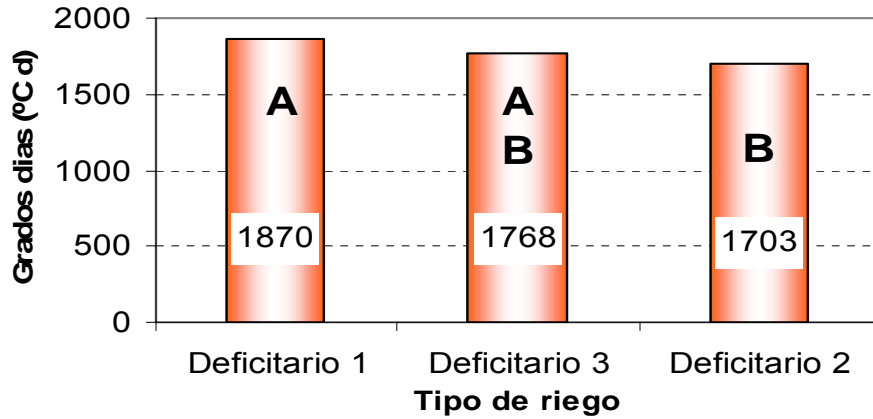


Figura 31. Grados días por tipos de riego hasta la etapa de grano pastoso

En la Figura 32, se presenta los promedios de grados días por niveles de abono, donde estadísticamente no se tiene diferencias significativas, por lo que el abono una vez más no muestra un efecto o influencia directa en el cultivo.

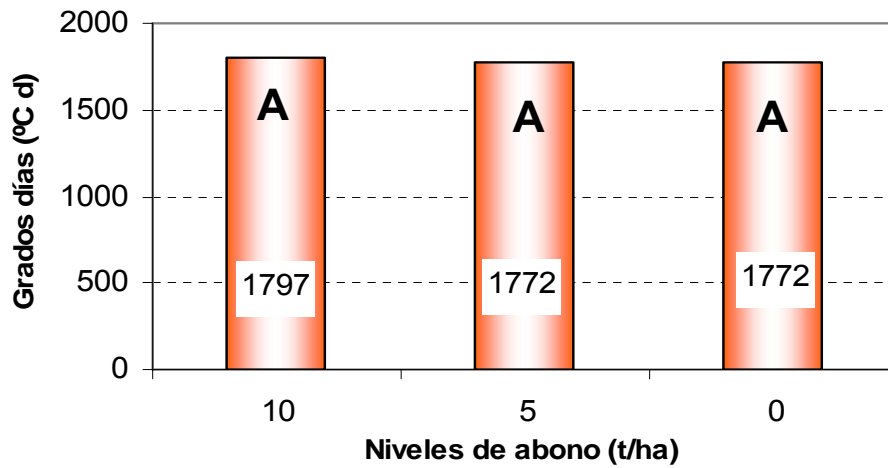


Figura 32. Grados días por niveles de abono hasta la etapa de grano pastoso

5.2 Evaluación del estrés hídrico

5.2.1 Variables de riego

5.2.1.1 Velocidad de infiltración

En la Figura 33, se presenta la curva de velocidad de infiltración de una repetición de tres pares de anillos. La velocidad de infiltración para el área del experimento es de 66 mm/h o 6,6 cm/h, valor que es aceptable, lo cual indica que el método de riego por surcos es aplicable para este tipo de suelos.

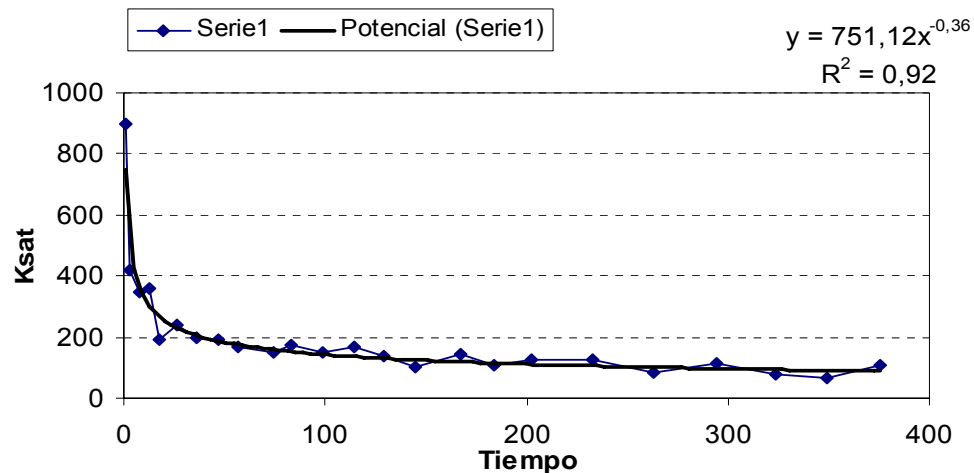


Figura 33. Velocidad de Infiltración

5.2.1.2 Evolución del agua en el suelo

En la Figura 34, se muestra la curva de retención de agua para los suelos muestreados. De acuerdo al gráfico se puede observar que el agua aprovechable en el suelo para las plantas esta comprendida entre los rangos de 5 a 22,5% en volumen para valores de pF de 4,2 (punto de marchitez permanente) a 2,2 (capacidad de campo).

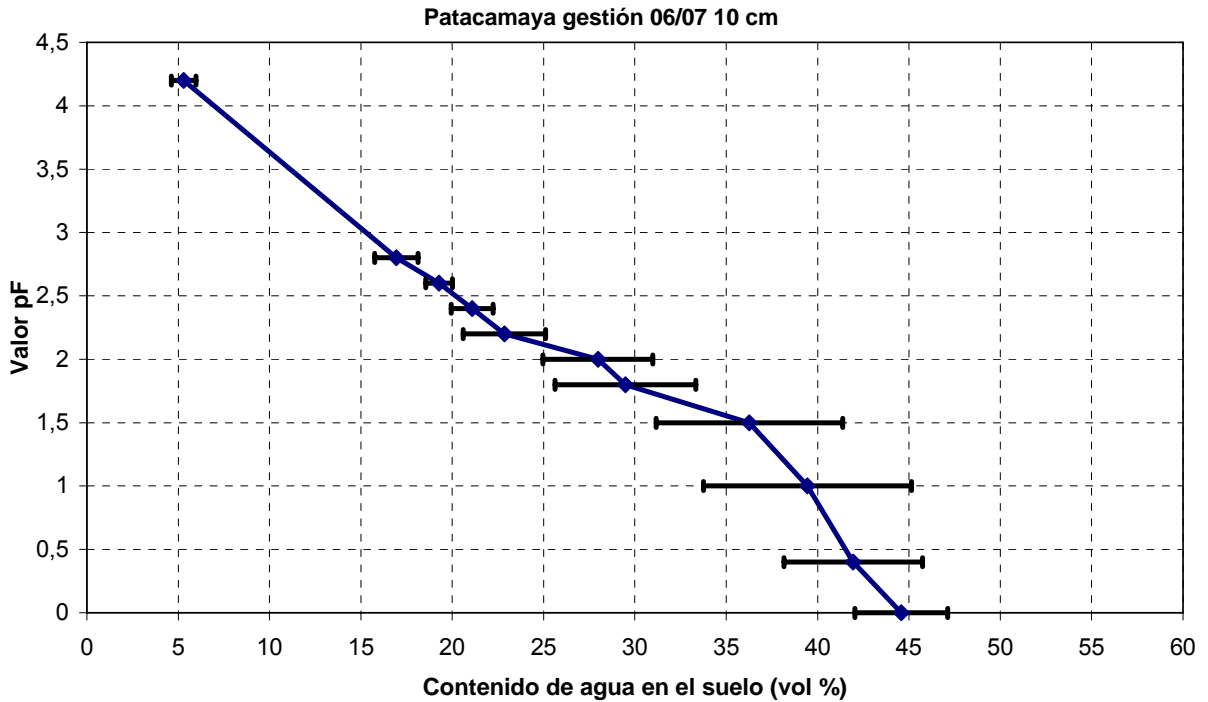


Figura 34. Curva de retención de Agua

5.2.1.3 Contenido de agua en el suelo

En la Figura 35, se puede observar el contenido de humedad en porcentaje (%) para riego deficitario 1. En el mes de enero se realizó una medición de dos semanas seguidas al presentarse una sequía en el lugar del experimento y comunidades aledañas. Es por estas fechas aproximadamente que la planta entra a la etapa de llenado de grano, observándose claramente que se tiene poco contenido de humedad en el suelo lo cual afecta posteriormente a la calidad de grano.

Para el riego deficitario 1 se realizó la aplicación de riego durante el establecimiento como se observa en la figura para asegurar la emergencia y crecimiento inicial de las plantas de quinua.

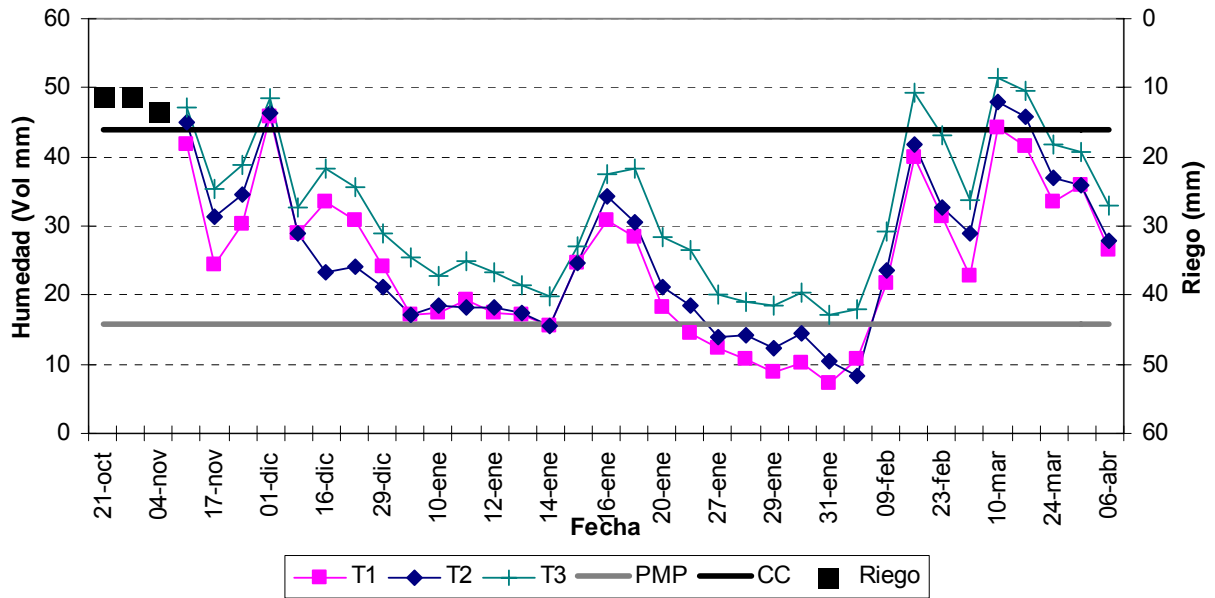


Figura 35. Contenido de humedad del suelo para riego deficitario 1 gestión agrícola 06/07

Se observa que el contenido de agua en el suelo, responde directamente a los periodos de lluvia mostrados en la Figura 6.

Se puede observar el comportamiento de la humedad dentro del suelo que va descendiendo desde mediados del mes de diciembre hasta mediados del mes de enero que se eleva la humedad debido a precipitación que se dio; después hubo un periodo de sequía, donde el contenido de humedad de los tratamientos T1 y T2 esta por debajo del punto de marchitez permanente (PMP) y el T3 se acerca a esos valores, subiendo de nuevo debido a la precipitación.

En la Figura 36, se presenta el comportamiento del contenido de humedad del suelo para los tratamientos con riego deficitario 2.

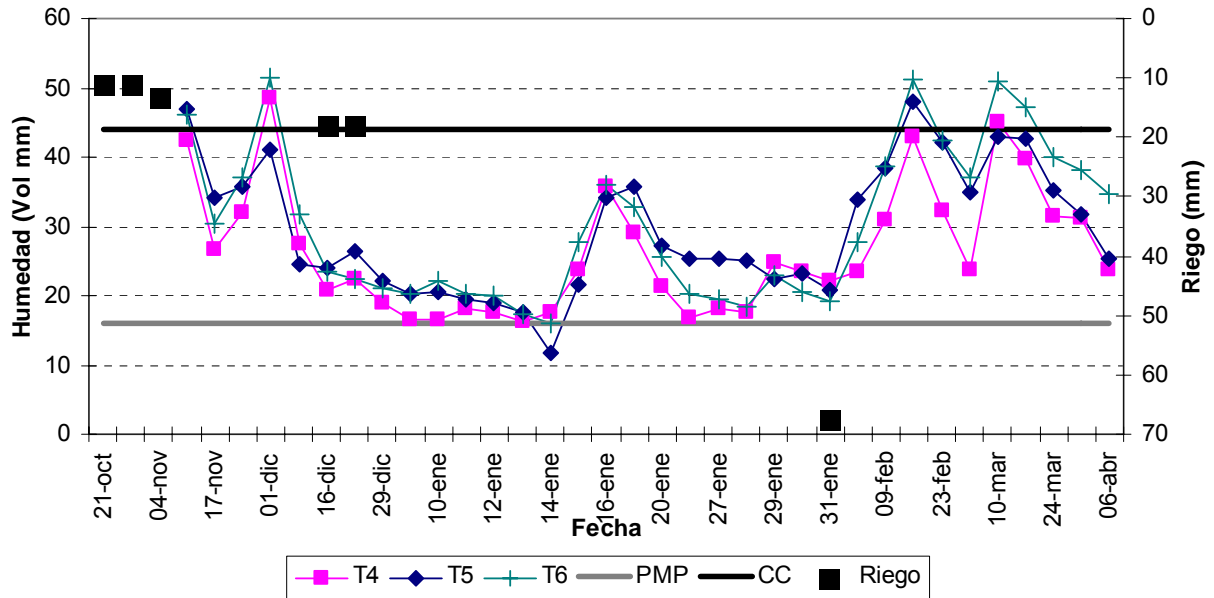


Figura 36. Contenido de humedad del suelo para riego deficitario 2 gestión agrícola 06/07

Se puede observar el número de riegos aplicados durante el establecimiento, floración y grano lechoso; al igual que para riego deficitario 1 mostrado en la figura 3, el contenido de humedad del suelo va reduciéndose desde mediados de diciembre, durante el periodo de sequía no presenta valores por debajo del PMP pero si cercanos, esto debido probablemente a la aplicación de riego que hizo que se mantuviera casi estable hasta antes de la precipitación; este riego mas la precipitación recibida hicieron que las plantas no sufran tanto estrés como los tratamientos con riego deficitario 1.

En la Figura 37, se puede observar también al comportamiento del contenido de humedad para los tratamientos con riego deficitario 3.

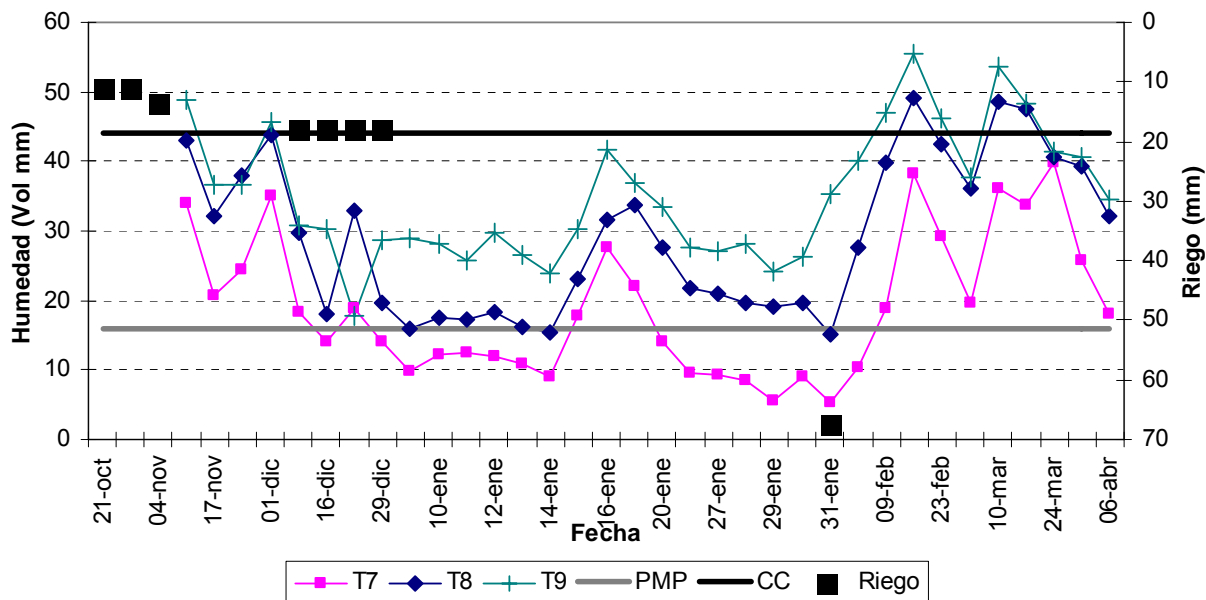


Figura 37. Contenido de humedad del suelo para riego deficitario 2 gestión agrícola 06/07

Para riego deficitario 3 se tiene aplicación de riego durante el establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso. Aunque no se cubrió del todo con el requerimiento de agua para estos tratamientos debido a la falta de agua, se observa que el tratamiento T9 es el que casi no tuvo problemas de estrés hídrico, el tratamiento T8 se acerca a valores de PMP durante las primeras semanas de enero, pero luego va aumentando.

Lo resaltante en esta figura es el tratamiento T7 con valores por debajo del PMP durante casi todo el mes de enero aún con aplicación de riego, para los tres tipos de riego los tratamientos con valores cercanos o por debajo del PMP son los que no tienen nada de abono aplicado, entonces a pesar de que el abono no ha influido en las variables agronómicas y fenológicas medidas, en los tratamientos que si tenían abono probablemente ayudo a que se retenga humedad.

5.2.1.4 Eficiencia de uso de agua en grano

En la Figura 38 se presenta en detalle la eficiencia de uso de agua en relación al grano obtenido para los nueve tratamientos:

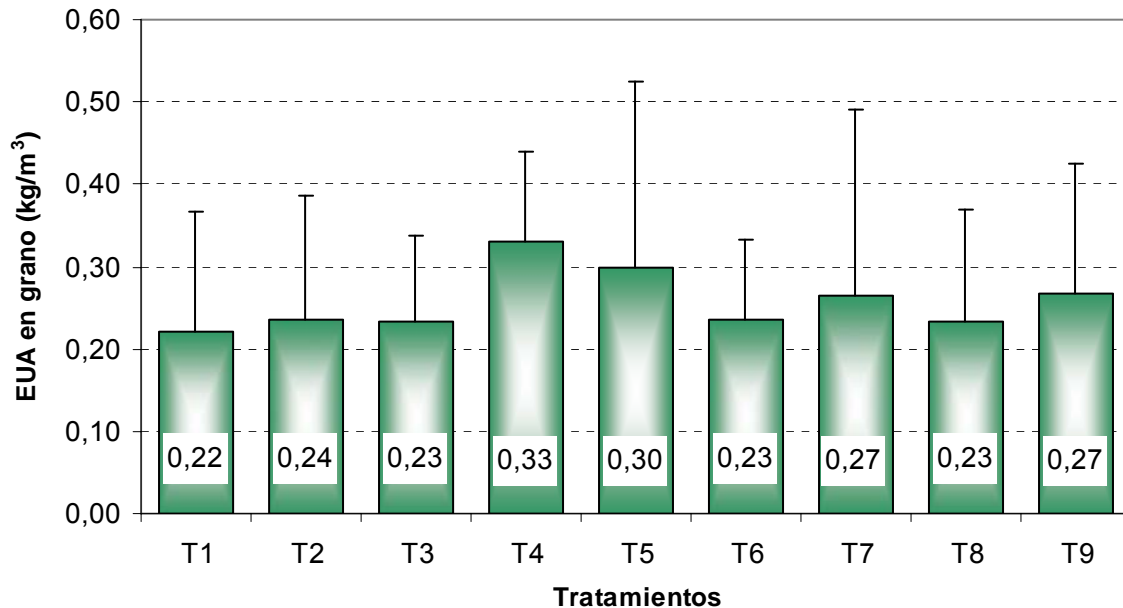


Figura 38. Eficiencia de uso de agua en la producción de grano (kg/m^3) para los 9 tratamientos

De acuerdo a la Figura 38, los tratamientos T1, T2 y T3 que fueron regados solo en el establecimiento del cultivo (deficitario 1) presentan valores menores a los tratamientos T4, T5 (riego deficitario 2) y T7, T9 (riego deficitario 3); los tratamientos T6 y T8 tienen un comportamiento casi similar a los tres primeros, esto puede deberse al tipo de suelo en los tres bloques.

Estadísticamente no existen diferencias significativas en cuanto a eficiencia de uso de agua en grano con relación a tipos de riego, teniendo promedios de $0,30 \text{ kg/m}^3$ para riego deficitario 1; $0,29 \text{ kg/m}^3$ para riego deficitario 2 y $0,26 \text{ kg/m}^3$ para riego deficitario 3, de acuerdo a lo presentado en la Figura 39.

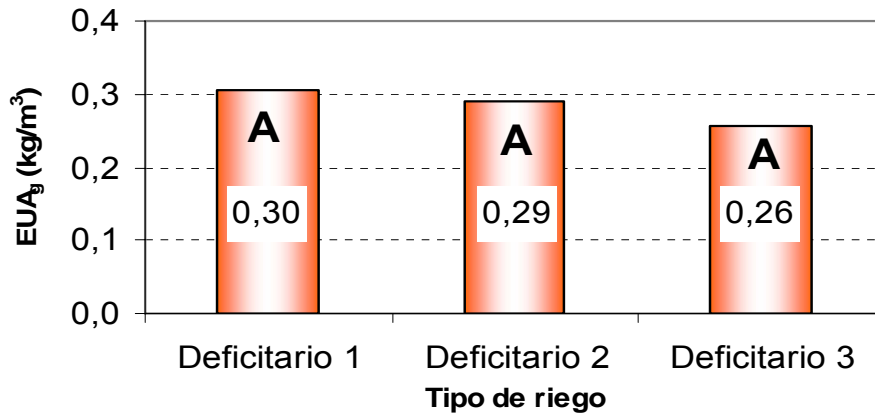


Figura 39. Promedios de eficiencia de uso de agua por grano en relación a tipos de riego

La Figura 40, de acuerdo a los análisis estadísticos realizados, se puede observar que no se tiene diferencias significativas con relación a niveles de abono aplicados.

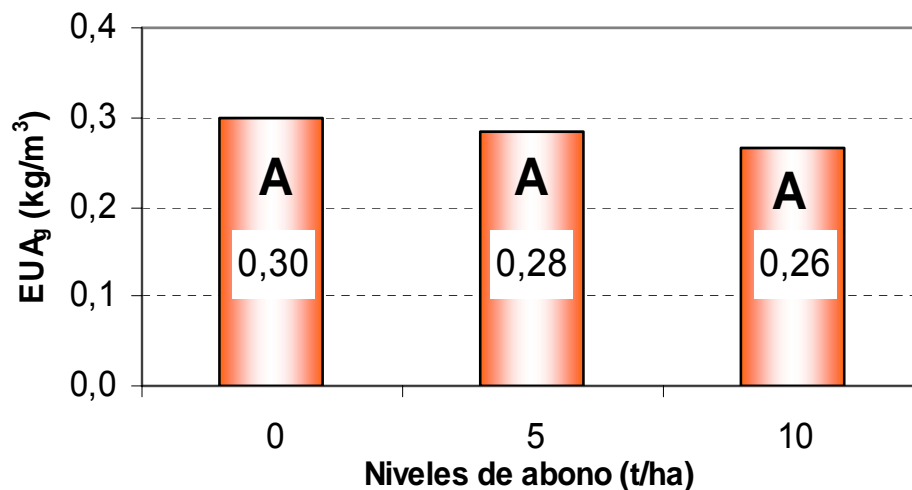


Figura 40. Promedio de eficiencia de uso de agua en grano con relación a niveles de abono

Se tiene un valor de 0,30 kg/m³ para 0 t/ha de abono; seguido de 0,28 kg/m³ para 5 t/ha y 0,26 kg/m³ para un nivel de 10 t/ha, de acuerdo a esto la aplicación de abono orgánico de 5 y 10 t/ha ha influido en cierta medida a tener una menor eficiencia de uso de agua. Sin embargo es necesario repetir el experimento para años de mayor sequía y en otro tipo de suelo pues los efectos del abono podrían haberse enmascarado por la frecuente precipitación y el tipo de riego.

5.2.1.5 Eficiencia de uso de agua en biomasa

La eficiencia de uso de agua en biomasa para los nueve tratamientos se presenta en la Figura 41:

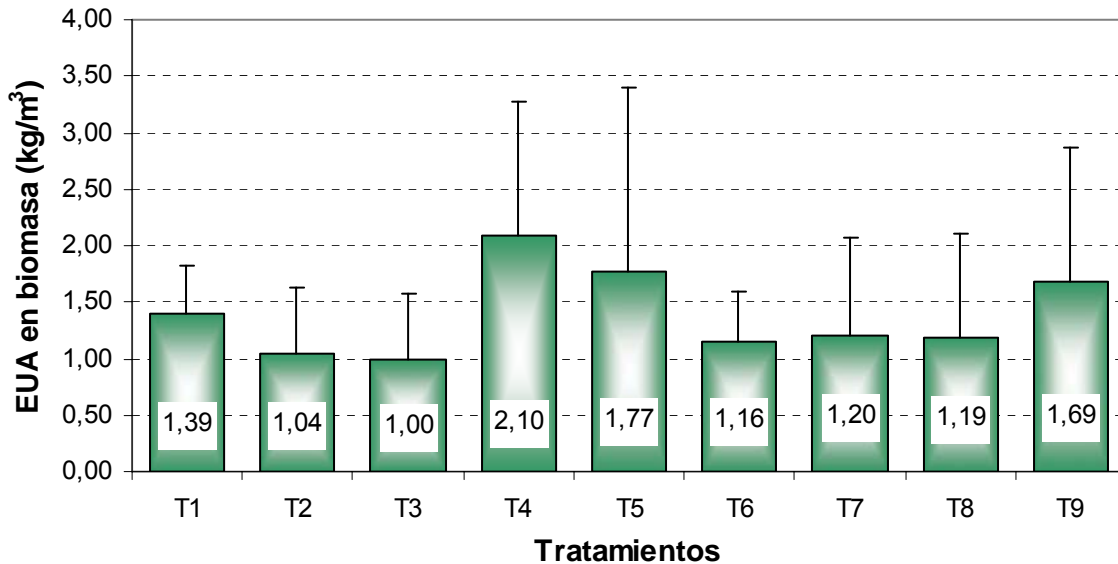


Figura 41. Eficiencia de uso de agua en la producción de biomasa total cosechada (kg/m³) para los 9 tratamientos

Los tratamientos T4, T5 (riego deficitario 2) y T9 (riego deficitario 3) son los que obtuvieron valores mayores a 1,5 kg/m³ para eficiencia de uso de agua en biomasa (biomasa aérea cosechada y grano limpio), los tratamientos T1, T2, T3 (riego deficitario 1), T8, T7 y T6 (riego deficitario 3) son los que obtuvieron valores por debajo de 1,5 kg/m³, finalmente el tratamiento T3 (riego deficitario 1 y 10 t/ha de abono) es el obtuvo una menor eficiencia de uso de agua.

De acuerdo a los análisis estadísticos, no se tiene diferencias significativas para eficiencia de uso de agua en biomasa (Figura 42), pero se observa que para el riego deficitario 2 se obtuvo un valor de 1,67 kg/m³, teniendo un comportamiento menor los tratamientos con riego deficitario 3 y 1 con 1,36 kg/m³ para ambos.

Se observa los promedios de eficiencia de uso de agua en biomasa, en la que con riego deficitario 2 (establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso) se puede llegar a tener mas eficiencia de uso de agua que los tratamientos con riego deficitario 3 y 1, aunque estadísticamente sean no significativas.

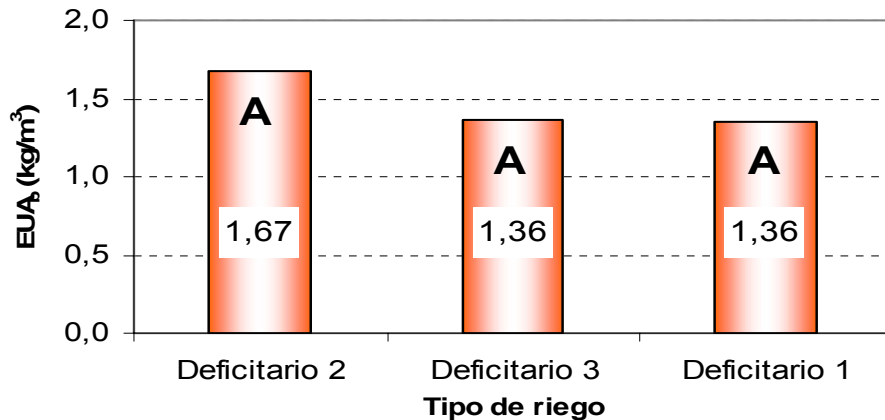


Figura 42. Eficiencia de uso de agua en biomasa por tipos de riego

Para eficiencia de uso de agua en biomasa (Figura 43) de la misma manera que para tipos de riego, no se tiene diferencias significativas, teniendo en los tres casos valores casi similares, no se tiene un efecto sinérgico del abono con respecto al riego.

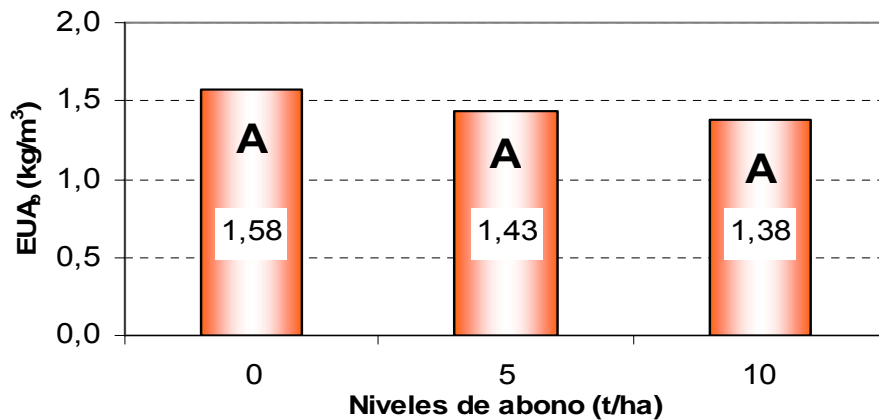


Figura 43. Eficiencia de uso de agua en biomasa por niveles de abono

La Figura 43 de eficiencia de uso de agua en biomasa nos muestra claramente el comportamiento similar para los tres niveles de fertilización orgánica, que ya fueron explicados anteriormente. Sin embargo se debe mencionar que la menor aplicación de

abono tuvo la mayor eficiencia de uso de agua, lo cual debe ser explorado con más detalle, pues sugeriría que la reducción de un factor de producción, incrementa la eficiencia del uso del otro.

5.2.1.6 Evolución de la biomasa

La evolución de la biomasa húmeda se presenta en la Figura 44, con valores obtenidos a los 90 días, 120 días y a la cosecha por metro cuadrado de cada unidad experimental.

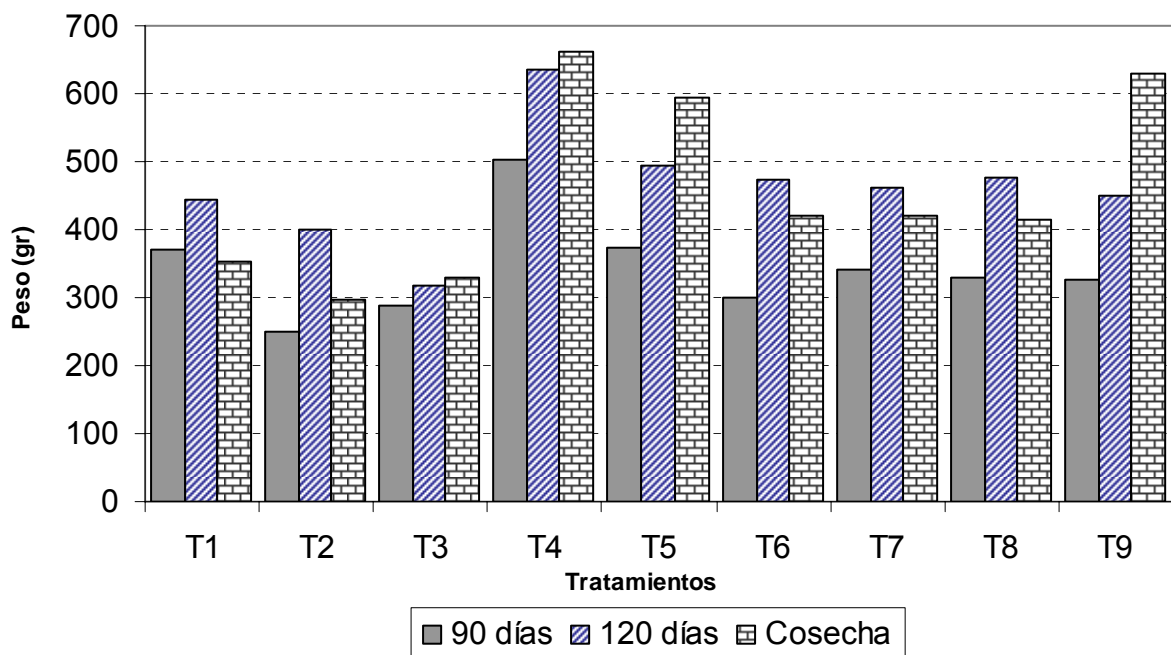


Figura 44. Evolución de la biomasa (húmeda)

Como se puede ver los tratamientos T1, T2, y T3 con riego deficitario solo en el establecimiento del cultivo, a los 90 días tienen un comportamiento similar en peso de biomasa a los tratamientos T4, T5, T6, T7, T8 y T9, a pesar de que solo se haya regado en el establecimiento. La explicación a este hecho se encuentra en que estos tres primeros tratamientos junto a los otros seis recibieron la precipitación por lo que no sufrieron estrés hídrico hasta la primera quincena del mes de enero de 2007.

A los 120 días como se muestra en la Figura 44, comienza a marcarse una diferencia entre los tratamientos T1, T2 y T3 con respecto a los demás tratamientos, pero al igual que para los 90 días también recibieron agua de lluvia aunque en pequeñas cantidades.

El peso de biomasa a la cosecha para los tratamientos T1, T2 y T3 (riego deficitario 1: solo en el establecimiento) es menor con relación a los tratamientos T4, T5, T6 (riego deficitario 2: establecimiento, floración y grano lechoso), T7, T8 y T9 (riego deficitario 3: establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso), entonces se puede decir que los tratamientos con riego deficitario 2 y 3 obtuvieron mayores peso con relación a biomasa húmeda debido a la influencia del riego, ya que al contar con disponibilidad de agua la planta no sufre estrés hídrico y puede llegar a producir una mayor cantidad de biomasa.

Por otra parte se puede ver que los tratamientos T1, T2, T6, T7 y T8 tienen un peso de biomasa húmeda menor en la cosecha comparado con 120 días, esta diferencia se debe a que en el momento de la cosechas las plantas ya habían pasado a la etapa de madurez fisiológica y perdido gran parte de sus hojas, quedando solo tallos secos y panojas con grano, cosa contraria a los 120 días.

En la Figura 45 se presenta los valores obtenidos de biomasa seca para 90 días, 120 días y a la cosecha para los nueve tratamientos, donde claramente se observa que los tratamientos T2 y T3 obtuvieron un peso por debajo de 300 g de biomasa seca, los tratamientos T1, T7 y T8 con peso entre 300 a 400 g , y los tratamientos T4, T5 y T9 lograron un peso mayor a 500 g.

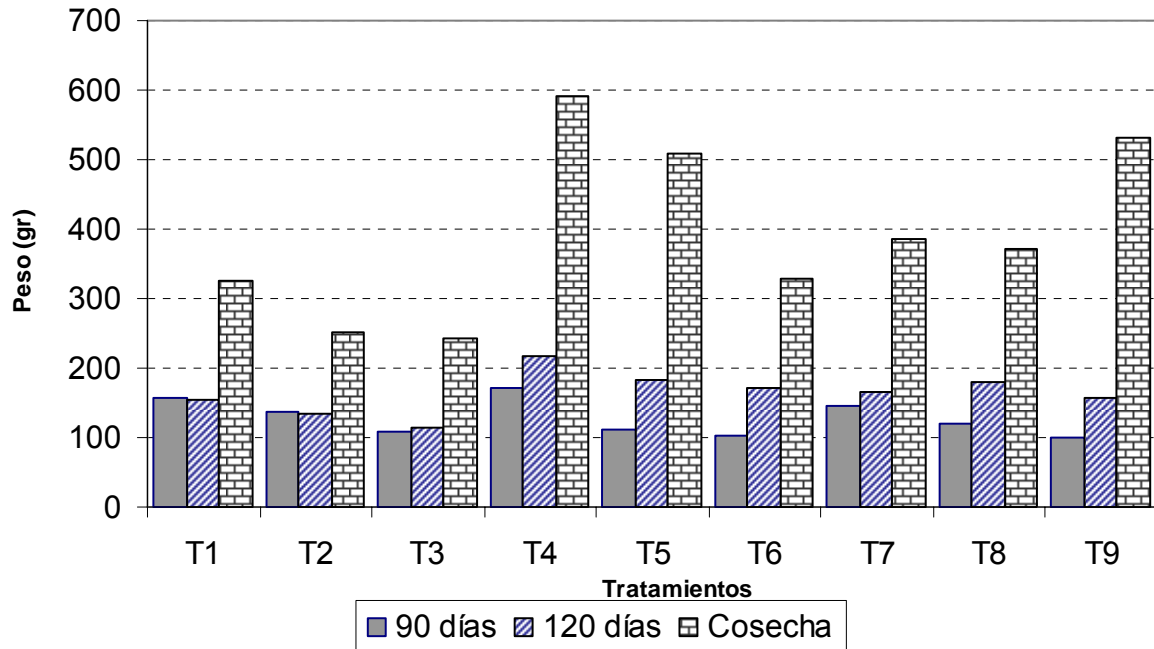


Figura 45. Evolución de la biomasa (seca)

En general los tratamientos T1, T2 y T3 que solo recibieron riego en el inicio para el establecimiento del cultivo obtuvieron valores menores frente a los tratamientos T4, T5, T6, T7, T8 y T9 que recibieron riego deficitario en otras etapas mas; los valores de cosecha son elevados en los nueve tratamientos debido al estado de madurez fisiológica de la planta, ya que casi en su totalidad esta constituida por más materia seca que agua, a diferencia de lo que se observa para los 90 y 120 días que estaban constituidas en su mayor parte por agua. De acuerdo a Mattos (2000), un 75 a 96% de los órganos vegetativos de las plantas están compuestos de agua y solo el 4 a 5% por sustancia seca.

Se nota claramente que los tratamientos con riego deficitario 1: T1, T2 y T3, no se tuvo un crecimiento significativo de biomasa entre 90 y 120 días después de la siembra. Eso fue debido al estrés hídrico que conocieron estos tratamientos en comparación con los tratamientos con riego deficitario 2 y 3: T4, T5, T6, T7, T8 y T9.

5.2.1.7 Determinación del potencial hídrico foliar

En la Figura 46 se presenta los datos obtenidos en campo para el potencial hídrico foliar en MPa para los tratamientos T1 (deficitario 1: establecimiento), T4 (deficitario 2: establecimiento, floración y grano lechoso) y T7 (Establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso) que fueron seleccionados para las mediciones.

Los datos presentados corresponden a la medición en campo cerca de las 6:30 de la mañana, donde se tiene un rango de mediciones de -1 a -2 MPa para los tres tratamientos. Asimismo también se puede observar que cuando la humedad del suelo es baja (entre 5 a 10%) el potencial registrado es de -1,5 MPa y menores a este valor sugiriendo que el cultivo retiene agua en sus tejidos con mayor fuerza que cuando existe mayor humedad en el suelo. Mayores valores de humedad producen menores valores de potencial pues el cultivo no requiere retener con demasiada fuerza el agua en sus tejidos (Figura 46).

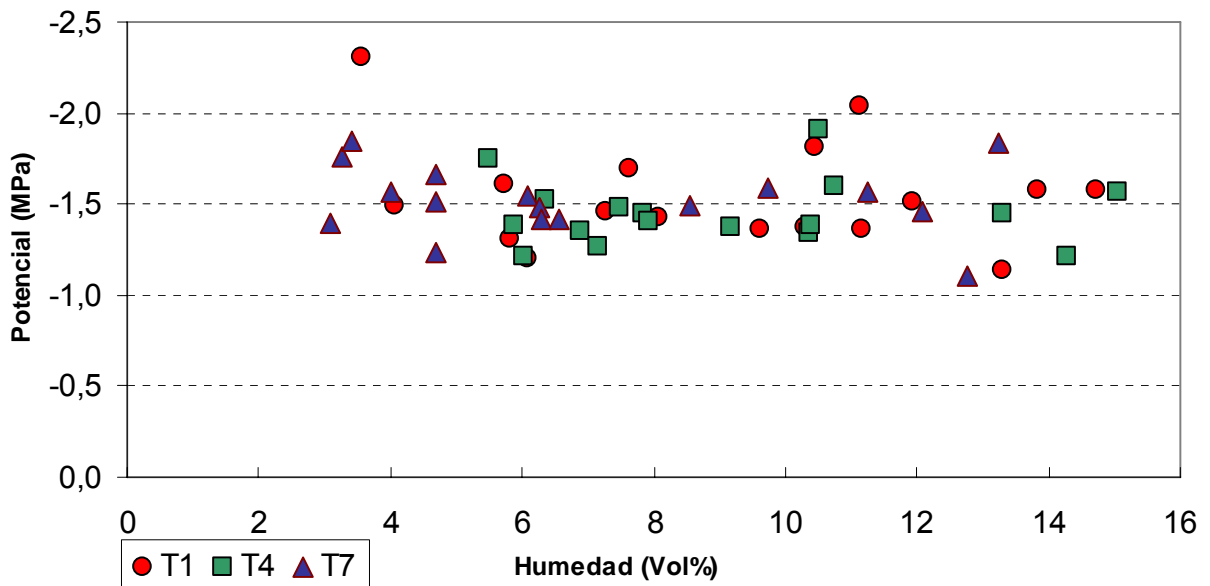


Figura 46. Medición del potencial durante todo el ciclo a las 6:30 de la mañana

Otra de las mediciones que se hizo con la cámara Scholander fue alrededor de las 11:30 de la mañana, nótese en la Figura 47 que a esta hora el rango de valores para

potencial es de 2 a 3 MPa entonces cerca de medio día cuando la temperatura sube las plantas comienzan a perder turgencia celular necesitando entonces más fuerza para que pueda distribuir el agua en todo su organismo. Las diferencias de temperatura afectan el movimiento de agua y el traslado a través de las membranas solo cuando la conducción del calor es muy débil en la membrana y el poro muy pequeño (Kramer, 1974). Este efecto es similar para todos los tratamientos pues a diferencia del potencial medido al amanecer, el potencial de medio día ya muestra la influencia de las condiciones externas que afectan por igual a todas las plantas. Esto indica que a pesar de que en algunos casos existía agua en el suelo, la velocidad de absorción de las raíces no era lo suficientemente rápida como para compensar la pérdida y el estrés producido por las condiciones atmosféricas momentáneas

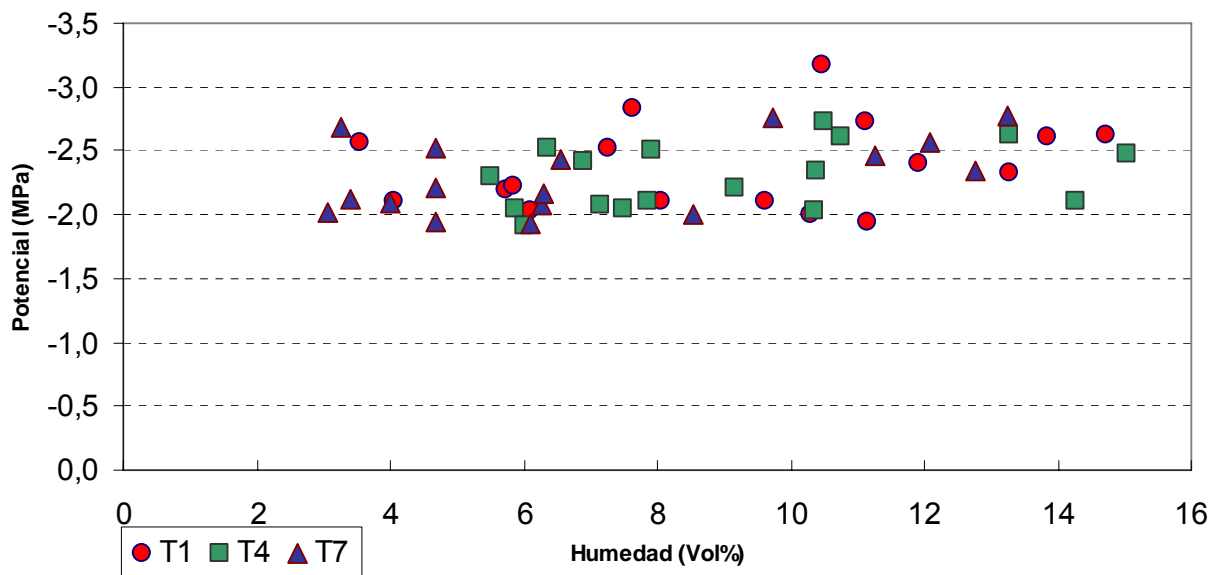


Figura 47. Medición del potencial durante todo el ciclo a las 11:30 de la mañana

Adicionalmente se realizó una medición del potencial hídrico durante las dos últimas semanas de enero y primeros días de febrero como se observa en la Figura 48, con el fin de evaluar el impacto de la sequía temporal que ocurrió en la zona. Los valores de potencial registrados en este caso son similares a los obtenidos en la Figura 46. Es decir que el menor contenido de humedad en el suelo provoca que la planta retenga agua en sus tejidos con mayor fuerza que cuando existe humedad.

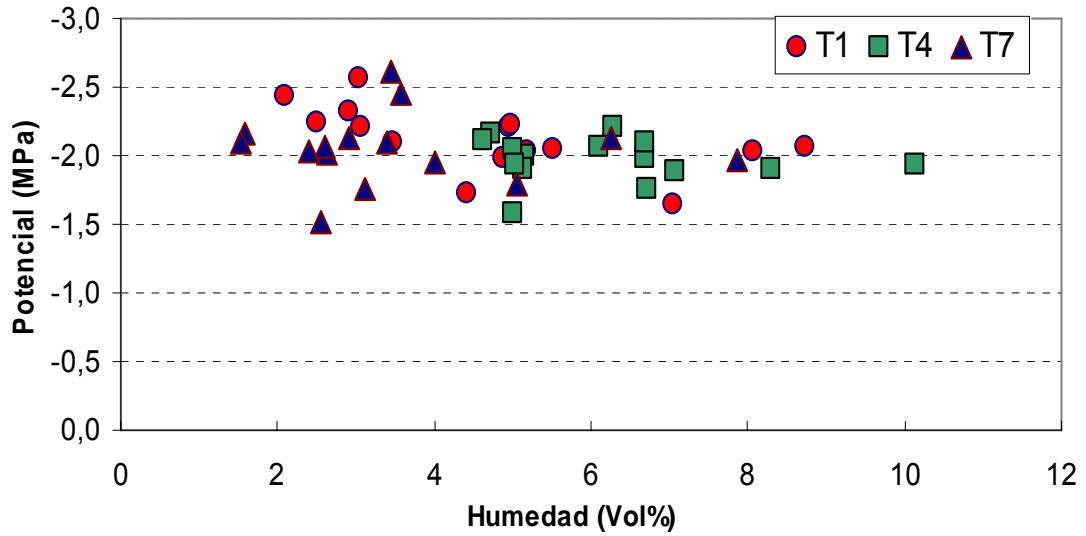


Figura 48. Medición del potencial durante tres semanas a las 6:30 de la mañana

La Figura 49 corresponde al registro de potencial de las mismas tres semanas de evaluación cerca de medio día. Los valores registrados de potencial para los tres tratamientos es similar a los de la Figura 47 es decir que el impacto de las condiciones atmosféricas momentáneas producen igual impacto en todos los tratamientos. Sin embargo, en este caso la falta de agua en el suelo adiciona su impacto y el T1 presenta mayores impactos y produce que la planta baje todavía mas su potencial foliar.

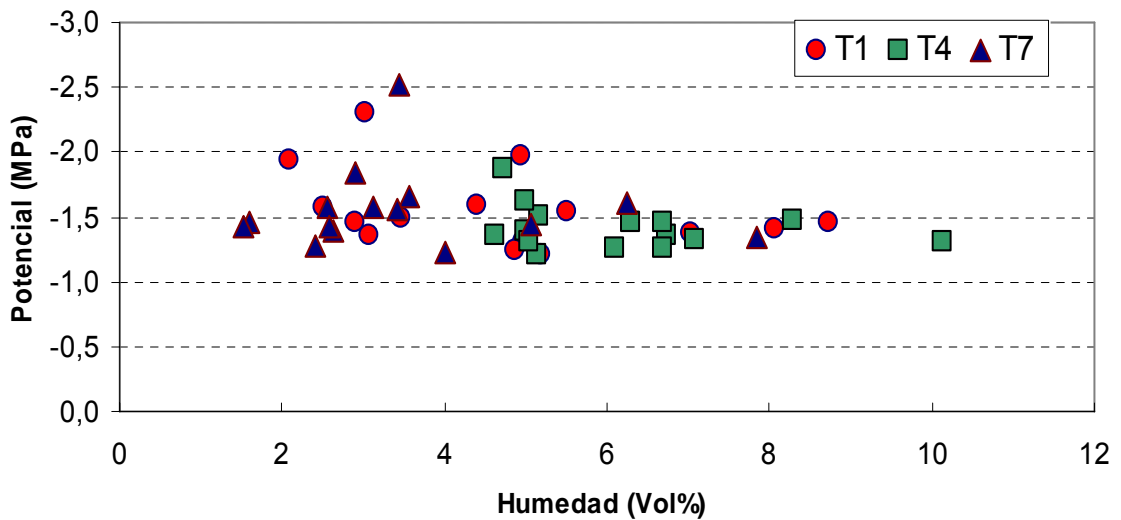


Figura 49. Medición del potencial durante tres semanas a las 11:30 de la mañana

Con el fin de explorar la evolución del potencial hídrico foliar durante un día en los tratamientos T1, T4 y T7 se observó la evolución del potencial. Como se en la Figura 50 los tres tratamientos obtuvieron comportamientos muy similares en sus valores de potencial. En todos los casos el potencial del amanecer fue más alto (1,5 MPa) por la mañana y a medida que va aumentando la temperatura gradualmente el potencial también va incrementando, llegando a un punto de máximo estrés hídrico alrededor de las 14:30 para los mismos, posteriormente a medida que va reduciéndose la temperatura, el potencial va disminuyendo nuevamente.

La medición de potenciales de agua y adicionalmente una medición simultánea del contenido relativo de agua (CRA) se utilizan para establecer grados de sequía; por lo general se utiliza directamente los valores de potenciales de agua y se trabaja con esos valores correlacionándolos con otras variables (Jacobsen y Mujica, 1999).

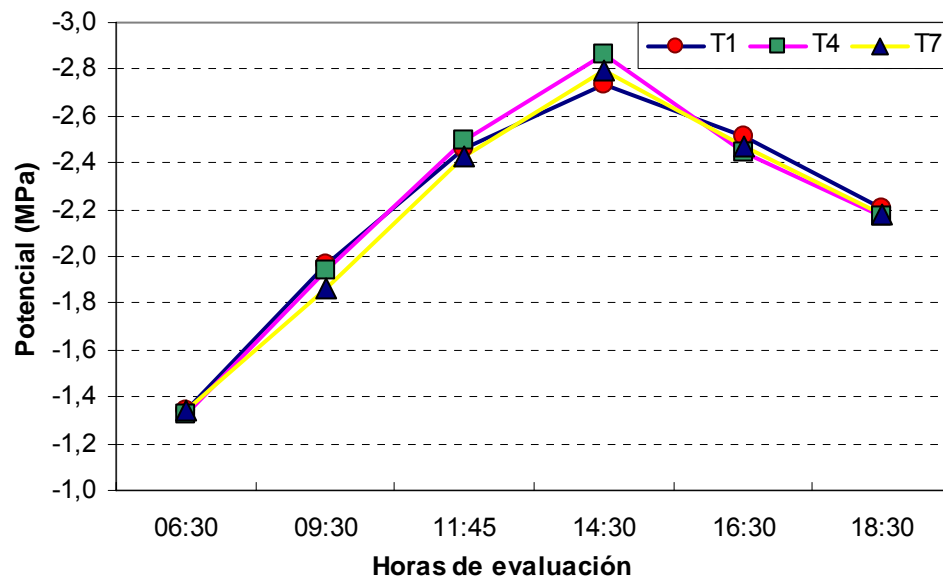


Figura 50. Medición del potencial en distintas horas de un mismo día

De esta manera se establece la tendencia del movimiento de agua, características de capacitancia de los tejidos y el balance entre el movimiento del agua dentro y fuera de la planta. Los factores como temperatura, presencia de solutos, etc. determinan el potencial hídrico, por lo que estos parámetros están interrelacionados y por lo general

varían simultáneamente. Esto significa que si el contenido de agua de una hoja disminuye debido a una alta tasa de transpiración el potencial hídrico disminuye también, lo cual provoca un incremento en la tendencia del flujo de agua a la hoja si es que existe agua en el suelo, caso contrario la planta inicia su estado de estrés (Larquee, 1990).

El potencial hídrico foliar de la quinua llega a valores muy elevados, cosa que demuestra que continúa extrayendo agua del suelo, hasta agotar las reservas más profundas, lo cual es realizado por su gran fuerza radicular. El contenido relativo de agua no disminuye ni siquiera bajo fuerte estrés hídrico, cosa que demuestra que la quinua no utiliza el agua de sus tejidos, cuando requiere humedad (García, 1991).

5.2.1.8 Determinación de la conductancia estomática

Otro factor posible para determinar el estrés hídrico fisiológicamente en el campo es la conductancia estomática.

La medición de la conductancia para todo el ciclo del cultivo se presenta en la Figura 51 donde los tratamientos T1, T4 y T7 presentan un rango de valores entre 100 y 200 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para una humedad entre 5 a 15%, la conductancia fue medida por la mañana a las 11:45 aproximadamente por lo que también el efecto de la temperatura podría haber influido para que se registre estos valores.

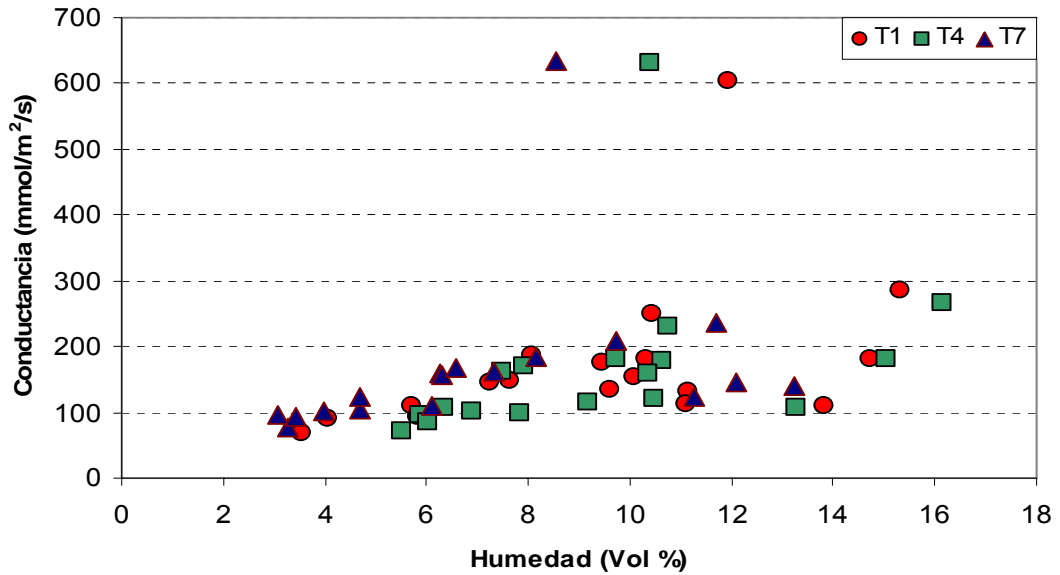


Figura 51. Medición de la conductancia durante todo el ciclo

Al igual que el potencial hídrico, la conductancia también fue medida durante las últimas dos semanas de enero y primeros días de febrero, debido a la sequía que se presentó. Cuando se tiene menor contenido de humedad en el suelo los valores de conductancia son también menores y si el contenido de humedad es mayor la conductancia también va incrementándose como se muestra en la Figura 52. Sin embargo es remarcable que la planta no dejó de transpirar bajo estrés hídrico elevado.

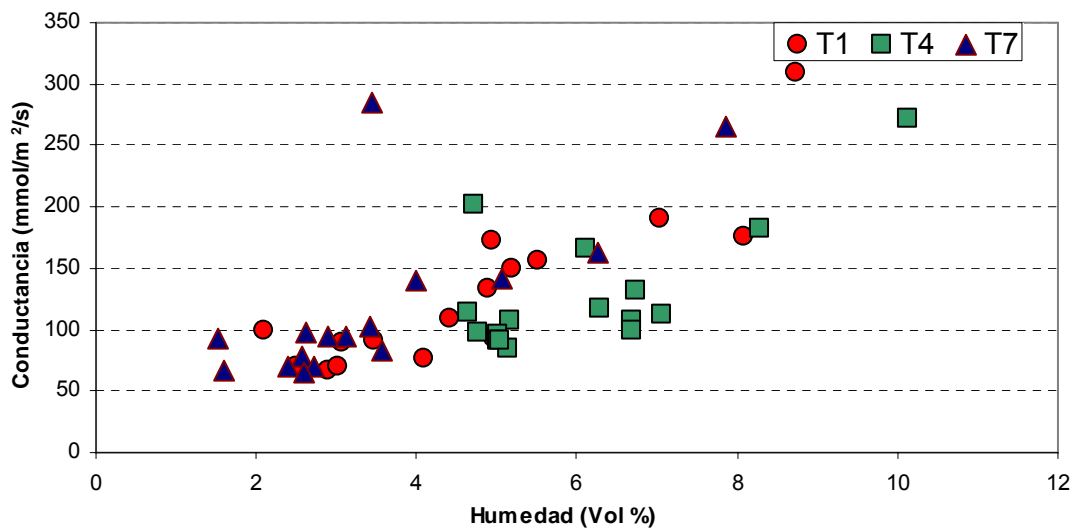


Figura 52. Medición de la conductancia durante tres semanas

Adicionalmente se hizo una medición de la conductancia para los tres tratamientos en distintas horas de un mismo día, de acuerdo a la Figura 53 desde la mañana la conductancia tiene valores entre 200 y 400 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y a medida que pasa el día casi al anochecer se registra una conductancia por debajo de 100 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para los tres mismos tratamientos, entonces se explica que la conductancia es mayor por la mañana debido a que se tiene mayor humedad en las primeras horas del día y a medida que van pasando el día, las mayores temperaturas producen mayor estrés reduciendo la conductancia de las hojas. Sin embargo a partir del medio día, la conductancia adquiere un comportamiento casi constante hasta el final del día cuando reduce al máximo por la menor cantidad de radiación solar.

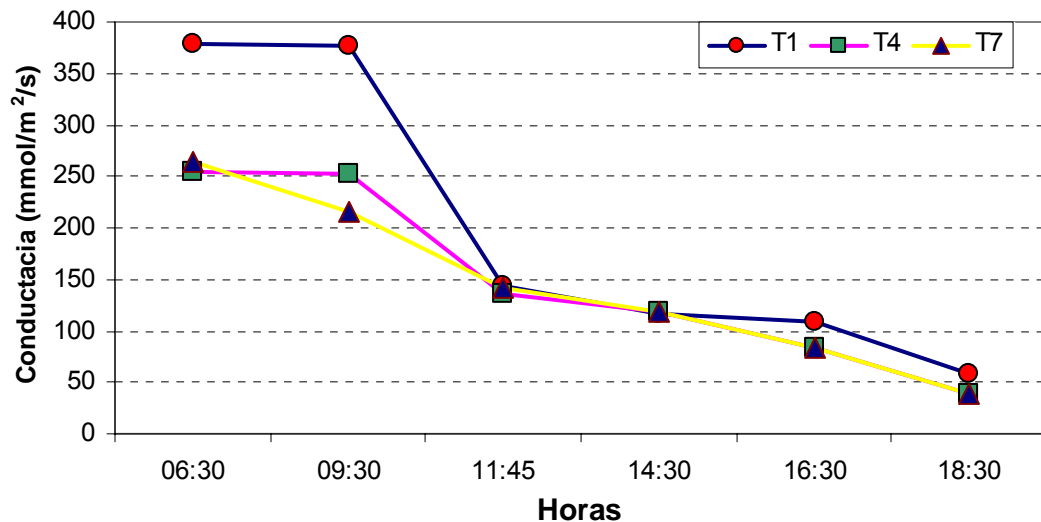


Figura 53. Medición de la conductancia estomática en distintas horas de un mismo día

De acuerdo a Jacobsen y Mujica (1999) La epidermis no solo reduce las tasas de intercambio de CO_2 y vapor de agua, sino también proporciona un medio para controlar la asimilación y la transpiración a través de los poros estomáticos. De esta forma los estomas desempeñan un papel crucial en el control del equilibrio entre la pérdida de agua y la producción de biomasa.

En un experimento anterior García (1991), al respecto concluyó que la quinua se muestra como un cultivo de desierto, cuya estrategia de resistencia a la sequía es la constante transpiración, con apertura permanente de estomas, incluso en el máximo déficit hídrico, tal situación favorece lógicamente la fotosíntesis y la producción mayor de grano, materia verde y seca.

5.3 Análisis Integral

5.3.1 Análisis Integral riego con variables agronómicas

Para este análisis integral se utilizó los valores de medias obtenidas estadísticamente para cada variable y se las juntó en una sola figura con el fin de poder comparar con mayor facilidad el impacto de los tres tipos de riego.

La Figura 54, muestra los valores de peso de 1000 granos e índice de cosecha para los tres tipos de riego.

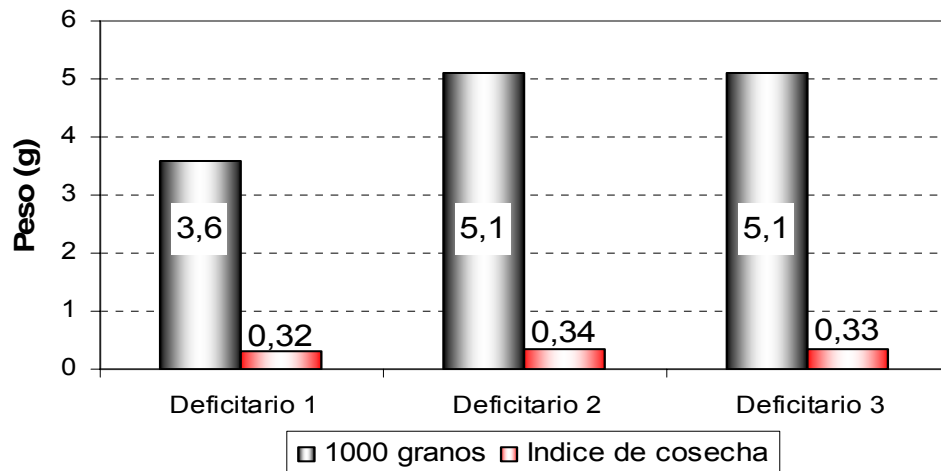


Figura 54. Comparación de riego deficitario con variables agronómicas

Para el índice de cosecha en los tres tipos de riego deficitario 1, 2 y 3 estadísticamente no se tienen diferencias significativas "A", esto indica que el crecimiento de biomasa tuvo un comportamiento similar.

A diferencia del índice de cosecha para el peso de 1000 granos los tratamientos con riego deficitario 1 (establecimiento) frente a los con riego deficitario 2 (establecimiento, prefloración y grano lechoso) y 3 (establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso) estadísticamente se tiene diferencias significativas.

Esta diferencia se refleja en que los tratamientos al estar bajo estrés hídrico como el riego deficitario 1 no pueden realizar un llenado de granos adecuadamente, por lo que al pesar solo 3,6 gramos frente a 5,1 gramos se refleja en la calidad y tamaño de grano obtenido. Esto resultaría en desventaja para el productor debido a las exigencias en el mercado local y extranjero por sus preferencias de grano grande.

5.3.2 Análisis integral riego con variables fenológicas

La Figura 55, muestra de igual manera el comportamiento de los tipos de riego con relación a las variables fenológicas.

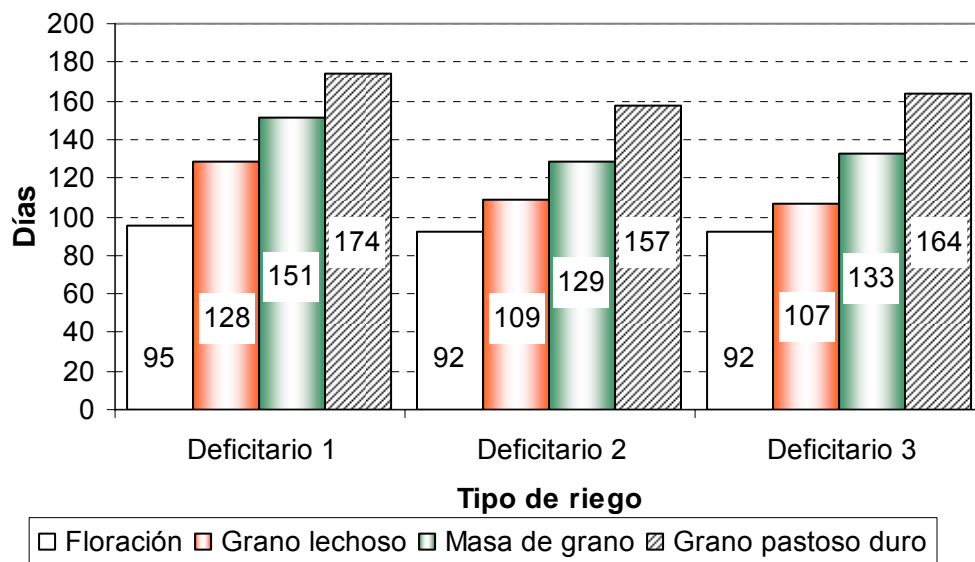


Figura 55. Comparación de riego deficitario con variables fenológicas

Para el periodo de floración, estadísticamente los tres tipos de riego no son significativos “A” según las pruebas de medias, ya que a todas se les aplicó riego solo en el establecimiento.

A partir de las fases de grano lechoso, masa de grano, y grano pastoso duro (madurez fisiológica) los tratamientos con riego deficitario 1 estadísticamente tienen diferencias significativas frente a los tratamientos con riego deficitario 2 y 3. El riego deficitario aplicado en otras etapas más, ayuda a que las plantas completen su desarrollo en un menor periodo de tiempo, ya que al no sufrir estrés se dedica plenamente a su desarrollo. Asimismo entre riego 2 y 3 no hay diferencias significativas, por lo que aplicar riego deficitario 2 ayudaría en un ahorro del recurso hídrico para la utilización en otros cultivos y no estar malgastando el mismo.

5.4 Análisis de costos de producción

Generalmente los trabajos de investigación están dirigidos a dar alternativas al campesino agricultor en la producción de determinados cultivos, donde pueda obtener mayores rendimientos y por ende mayores ingresos económicos.

Es por esta razón que el análisis económico daría las pautas para poder clasificar los tratamientos adecuados tanto en rendimiento como en la obtención de beneficios para poder ser utilizada luego por los agricultores.

5.4.1 Variables económicas

5.4.1.1 Ajuste de los rendimientos

De acuerdo con Perrin (1988), es reducir los rendimientos de un 5% a un 30%, para que se aproximen a lo que un agricultor podría lograr con la tecnología en una parcela grande. Para el presente trabajo se tomo el 10% de pérdidas, ya que el experimento se llevó a cabo en las mismas condiciones que el agricultor podría cultivarlo. En el Cuadro 12 se presenta los rendimientos ajustados.

5.4.1.2 Precio de campo

Perrin (1988), indica que el precio de campo del producto se define como el valor que se tiene para el agricultor una unidad adicional de producción en el campo antes de la cosecha.

5.4.1.3 Costos que varían

Los costos que varían son aquellos que varían en la producción agrícola, se incluye los insumos y la mano de obra requerida (Anexo 19). El Cuadro 12 muestra los costos variables efectuados en el ensayo expresado en Bs/ha . Se puede observar en el Cuadro 12 además que los costos son diferentes, esta diferencia se debe al precio de la materia orgánica aplicada, la mano de obra empleada para incorporar al suelo, las veces de riegos aplicados, etc.

5.4.1.4 Beneficio bruto

El Cuadro 12 muestra el análisis realizado para todos los tratamientos en función a los rendimientos obtenidos y su precio en el mercado para cada uno; se tiene mayores beneficios brutos en los tratamientos T4, T5, T7 y T9 que superan los 3000 bs/ha esto se debe a los rendimientos obtenidos por los mismos.

Para los tratamientos T3, T6 y T8 el beneficio bruto que se obtuvo esta entre 2700 a 3000 Bs/ha; los menores ingresos brutos obtenidos son para los tratamientos T1 y T2 esto ha sido influenciado directamente por los rendimientos obtenidos.

5.4.1.5 Beneficio neto

La estimación de los beneficios netos se ven en el Cuadro 12, en el cual se observa que los tratamientos T4 y T7 obtuvieron un mayor beneficio neto, ambos tratamientos son los que recibieron riego deficitario 2 y 3 respectivamente, pero también a ambos

tratamientos no se les aplicó ningún nivel de abono, por lo que para los demás tratamientos el abono significó un incremento en los costos de producción, entonces este hecho hace plantear que la aplicación de abono no es necesariamente beneficiosa para el agricultor en términos inmediatos.

5.4.1.6 Relación Beneficio-Costo

En cuanto a la relación B/C, en el Cuadro 12, se observa que el tratamiento T4, es más rentable económicamente con un valor de 4,01 Bs o sea por cada boliviano invertido, se recupera ese boliviano y se tiene una ganancia de 3,01 Bs; pero también podemos observar que los tratamientos mas rentables en este caso son los tratamientos T7 con 3,54 Bs gracias al rendimiento obtenido seguido del T1 que no obtuvo un rendimiento comparable a T4 y T7 por no aplicar riego, pero la diferencia está en que al no haber aplicado abono entonces no se hizo mas gastos de inversión. Del mismo modo los demás tratamientos son también rentables ya que el beneficio-costo de todos es mayor a uno aunque los retornos no son muy significativos.

Cuadro 12. Análisis de costos de producción

Indicadores económicos	Deficitario 1			Deficitario 2			Deficitario 3		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Rendimiento kg/ha	779,00	884,00	1025,00	1432,00	1323,00	1004,00	1304,00	1090,00	1255,00
Rendimiento Ajustado kg/ha	701,10	795,60	922,50	1288,80	1190,70	903,60	1173,60	981,00	1129,50
Rendimiento @/ha	60,97	69,18	80,22	112,07	103,54	78,57	102,05	85,30	98,22
Precio por @	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Costos que varían	888,00	1648,00	2378,00	978,00	1738,00	2468,00	1008,00	1768,00	2498,00
Beneficios Brutos (Bs/ha)	2133,78	2421,39	2807,61	3922,43	3623,87	2750,09	3571,83	2985,65	3437,61
Beneficios netos (Bs/ha)	1245,78	773,39	429,61	2944,43	1885,87	282,09	2563,83	1217,65	939,61
Beneficio/Costo	2,40	1,47	1,18	4,01	2,09	1,11	3,54	1,69	1,38

Fuente: Elaboración propia

6 CONCLUSIONES

Una vez analizadas las evaluaciones de campo y de acuerdo a los resultados obtenidos se llegan a las siguientes conclusiones generales que se detallan a continuación:

Los niveles de fertilización orgánica y tipo de riego son dos factores importantes relacionados con el manejo del cultivo, que intervienen sobre el mejoramiento del rendimiento, tamaño y la calidad del grano de Quinoa aunque en forma y efecto diferentes.

De acuerdo a los análisis estadísticos mostrados anteriormente, se puede afirmar que no se tiene un efecto instantáneo del abono orgánico, tanto en las variables agronómicas como fenológicas.

En el caso del factor B (niveles de fertilización), también se tiene promedios similares, por lo que no se encontraron diferencias significativas entre los tres niveles 0, 5 y 10 t/ha . Se supone que el efecto fue bajo a causa del nivel bajo de N en el abono y que el efecto positivo de la materia orgánica recién se observaría durante los años después de la aplicación.

En general las características de la panoja no fueron ampliamente influenciadas por los tratamientos con pocas diferencias estadísticas. Sin embargo esto no determino el rendimiento final que si fue afectado por los tratamientos.

En el análisis de varianza para la variable diámetro de panoja, tampoco se encontró diferencias significativas en ningún factor, se atribuye este hecho al tipo de suelo presente (Anexo 14, 15 y 16), ya que como se mencionó anteriormente posiblemente este haya influido y bloqueado el efecto del riego y abono en el experimento. Por otro lado se identificó que el tratamiento con riego deficitario 2 (establecimiento, floración y grano lechoso) logró un mayor diámetro de panoja con un valor de 4,19 cm , seguido

del tratamiento con riego deficitario 3 (establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso) con 3,72 cm y finalmente el tratamiento con riego deficitario 1 (riego solo para el establecimiento del cultivo) con 3,17 cm.

Para la variable peso de 1000 granos; el nivel que mayor peso obtuvo fue el riego deficitario 2 (establecimiento, floración y grano lechoso), seguido del deficitario 3 (establecimiento, prefloración, floración y grano lechoso) y finalmente deficitario 1 (establecimiento); el fenómeno podría ser similar a la variable anterior debido a un mejor llenado de grano.

En la variable rendimiento, se hace notar que los rendimientos eran similares dentro de bloques, pero diferentes el bloque I frente a II y III. Se identificó diferencias significativas entre bloques y riego, cada bloque no tenía un suelo similar y esto afectó en el normal crecimiento y desarrollo de la planta influyendo de manera directa en el rendimiento.

En el caso de riego los tratamientos con riego deficitario 2 y 3 fueron influenciados positivamente a diferencia del tratamiento con riego solo en el establecimiento deficitario 1. El mejor rendimiento se dio en general debido a los granos más grandes.

De acuerdo a los resultados obtenidos de rendimiento, lo que influye más en el mercado es el tamaño de grano, existiendo mayor demanda por el grano grande y dulce, características que benefician a la variedad Santa María, por lo que con un riego deficitario bien planificado se puede obtener comparativamente un buen peso de granos y un buen tamaño.

Con relación a las fases fenológicas evaluadas: floración, grano lechoso, masa de grano y grano pastoso duro (madurez fisiológica), la aplicación de riego para los tratamientos T4, T5, T6, T7, T8, y T9 ha sido beneficiosa ya que al reducir el estrés hídrico durante las etapas de floración y lechoso, estas no han querido adaptarse y modificar la duración de sus fases fenológicas. En cambio los tratamientos T1, T2 y T3

demonstraron la plasticidad de la quinua pero esto afectó el rendimiento final. Entonces con las estrategias de riego deficitario 2 y 3, se tiene mucho más control sobre la duración del ciclo de cultivo lo que mejora la planificación de los trabajos agrícolas.

Se pudo percibir que con la aplicación de un riego deficitario solamente durante el establecimiento para asegurar la germinación de las semillas, no es suficiente para garantizar altos rendimientos con granos de tamaño grande. La estrategia de riego deficitario 2 con aplicaciones de riego durante el establecimiento, floración y grano lechoso garantiza buenos rendimientos con granos grandes. Más aún el hecho de aumentar un riego deficitario durante prefloración para riego deficitario 3 no ha demostrado rendimientos mayores ni granos más grandes. Incluso esta tercera estrategia de riego deficitario, ha causado una eficiencia de uso de agua mas baja y solo significa mayor mano de obra y trabajo para el agricultor.

Las mediciones de potencial realizadas con la cámara Scholander ayudan a conocer el estado hídrico de la planta. Los resultados demostraron que la quinua se encuentra influenciada por la falta de agua al igual que otras especies cultivadas y que el estrés hídrico produce una mayor retención de agua en sus tejidos. Esto combinado con la reducción de la conductancia estomática produce finalmente un menor rendimiento. También ha mostrado que las condiciones de extrema sequedad del ambiente en el Altiplano producen estrés a los cultivos incluso cuando estos cuentan con el agua en el suelo. Esto de cualquier forma reduce la conductancia y afecta en el rendimiento.

Con relación a los costos de producción, los tratamientos con mayor beneficio/costo fueron T4 y T7 a los que se les aplicó riego deficitario y por ende un incremento en el rendimiento pero lo notable es que a estos no se les aplicó abono, el tratamiento T1 también obtuvo una buena relación beneficio/costo pero este tratamiento no logro buenos rendimientos comparados a T4 y T7 porque no recibió riego, pero le favorece el hecho de no haber aplicado abono por lo que no se hizo mas inversión.

Finalmente se demostró que la aplicación de riego deficitario en ciertas etapas fenológicas en cantidades que cubran la demanda de evapotranspiración para que las plantas no sufran estrés hídrico ha influido directamente en el incremento de rendimiento, un incremento de tamaño de grano, incremento de biomasa seca y beneficiar en el desarrollo de las plantas en cuanto a sus fases fenológicas.

7 RECOMENDACIONES

Sobre la base de las conclusiones se llega a las siguientes recomendaciones.

Se recomienda continuar con trabajos específicos sobre la aplicación de riego deficitario, para corroborar o mejorar los resultados obtenidos, sobre todo en zonas áridas como en el altiplano sur y con variedades adaptadas para cada zona.

Realizar otros estudios sobre el comportamiento del cultivo utilizando mayores niveles de fertilización orgánica, como también otros tipos de estiércol disponibles y preparaciones del mismo para que sean más asimilables para las plantas. Se recomienda también investigar efectos positivos y negativos de fertilizantes químicos en el cultivo de quinua en los suelos con baja fertilidad del altiplano.

Se observó que los productores circundantes al área de estudio, utilizaban semilla mezclada de distintas variedades, incluso que no eran de grano grande, por lo que se recomienda realizar más estudios de riego deficitario pero con otras variedades que sean aptas para el altiplano central y con buenas características agronómicas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en campo con respecto a peso de grano, se recomienda utilizar la variedad Santa María por ser una especie de grano dulce y haber alcanzado un tamaño de grano requerido en el mercado.

A pesar de que la aplicación de abono en algunos tratamientos no haya influido de manera muy positiva, se recomienda aplicar abono con el fin de no desgastar el suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas ayudando de esta manera a preservar nuestros suelos de una desertificación, como se concluye en este trabajo el efecto del abono orgánico si existe pero a largo plazo.

Finalmente, se pudo determinar que el riego deficitario influye de gran manera en el tamaño de grano y rendimiento, pero aplicado en ciertos momentos críticos en los que

la planta más los necesite, por lo que se recomienda realizar un riego en el establecimiento del cultivo para asegurar la germinación de semillas y crecimiento de plantas durante las primeras etapas críticas de sequía, cuando las plantas estén en floración y otro principal cuando este entrando en la etapa de grano lechoso, ya que por lo general es en esta etapa donde se presenta sequías y poca disponibilidad de agua, que influye directamente en el tamaño de grano.

8 BIBLIOGRAFÍA

- ALANOCA, I. 2002. Evaluación Agroeconómica del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con niveles de fertilización de Urea y riego por aspersión en el altiplano norte. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 95 p.
- ALCÓN, C. 2005. El desfase fenológico y la heterogeneidad de crecimiento: dos mecanismos posibles de tolerancia a las bajas temperaturas en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 145 p.
- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo: Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 299 p.
- ARTEAGA, G. 2001. Métodos de Investigación agropecuaria y utilización del software estadístico MSTATC. La Paz, Bolivia.
- ARMAS, R.; ORTEGA, E.; REDÉS, R. 1990. Fisiología vegetal. Habana, Cuba. Editorial pueblo y educación. 325 p.
- AUZA, J. 2003. Curvas de crecimiento de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y avena (*Avena sativa*) en condiciones diferenciadas de alimentación hídrica y nutrición nitrogenada en la estación experimental de Choquenaira. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 81 p.
- BIDWELL, R. 1993. Fisiología vegetal. 2 ed. México D.F. A.G.T. Editor. 780 p.

- BOIS, J.; WINKEL, T.; LHOMME, J.; RAFFAILLAC, J.; ROCHETEAU, A. 2006. Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal Agronomy*. 25: 299 - 308.
- CAHUAYA, J. 2001. Efecto de la fertilización química y orgánica en el rendimiento del pasto brasilero (*Phalaris sp*) en Choquenaira Altiplano Central. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 102 p.
- CALZADA, J. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Quinta Edición. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 97 p.
- CATARI, B. 2002. Evaluación del rendimiento de cinco variedades de avena forrajera (*Avena sativa L.*) con abonamiento de estiércol de ovino en el altiplano central. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía.
- CHILÓN, E. 1997. Manual de Fertilidad de suelos y nutrición de plantas. La Paz, Bolivia. CIDAT (Centro de Investigación y difusión de alternativas para el desarrollo). 185 p.
- CHIPANA, R. 1996. Principios de Riego y Drenaje. IRTEC. La Paz, Bolivia. 202 p.
- DONAHUE, R.; MILLER, R.; SHICKLUNA, J. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Bogotá, Colombia. Prentice Hall Internacional. 624 p.
- ENCARTA. 2007. Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta. Microsoft Corporation. Redmond, EE UU.
- ENGLISH, M. 1990. Deficit irrigation. I. Analytical framework. *J. Irrig. Drain E.* ASCE 116, 399–412.

- ESPÍNDOLA, G. 1994. Mejoramiento del cultivo de la Quinoa. In Memoria del Seminario sobre investigación, producción y comercialización de la quinoa. La Paz, Bolivia. Editorial Y Peric. Estación Experimental Patacamaya.
- FERNÁNDEZ, M. 2006. Calibración del TDR (Reflectometría en el dominio del tiempo) para la determinación de humedad volumétrica y conductividad eléctrica de suelos de la localidad de Choquenaira. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 85 p.
- FUENTES, J. 2002. Manual Práctico sobre Utilización de Suelo y Fertilizante. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa.
- GARCÍA, M. 1991. Análisis del comportamiento hídrico de dos variedades de quinoa frente a la sequía. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 126 p.
- GARCÍA, M. 2003. Agroclimatic study and drought resistance analysis of quinoa for an irrigation strategy in the Bolivian Altiplano. Disertaciones de agricultura. Faculty of Applied Biological Sciences. K.U.Leuven, Belgium. 556 p.
- GEERTS, S.; RAES, D.; GARCIA, M.; DEL CASTILLO, C.; BUYTAERT, W. 2006. Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: A case study for quinoa. *Agricultural and Forest Meteorology* 139[3-4], 399-412.
- GROS, A. 1981. Abonos: Guía práctica de fertilizantes. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa.
- GOBIERNO MUNICIPAL DE PATACAMAYA. 2001-2006. Plan de Desarrollo Municipal. La Paz, Bolivia.

- GOBIERNO MUNICIPAL DE PATACAMAYA. 2006-2007. Plan de Desarrollo Municipal. La Paz, Bolivia. 223 p.
- GUROVICH, L. 1999. Riego Superficial Tecnificado. 2 ed. Colombia. Alfa Omega Grupo Editor. 610 p.
- IBTA (Instituto Boliviano de Tecnología Apropriada). 1996. Catalogo de variedades de quinua y recomendaciones para producción y uso de semilla certificada. Sucre, Bolivia. Industrias Gráficas Qori Llama. 76 p.
- IGM (Instituto Geográfico Militar). 2003. Atlas digital de Bolivia. Software Multimedia. La Paz, Bolivia.
- INFOAGRO, BO. 2002. (en línea). Consultado 27 Oct. 2007. Disponible en: <http://www.infoagro.gov.bo/quinua/panorama.htm>
- JACOBSEN, S.; MUJICA, A. 1999. I Curso internacional sobre la fisiología de la resistencia a la sequía en quinua. Lima, Perú. Centro Internacional de la papa (CIP). 90 p.
- KIRDA, C.; MOUTONET, P.; SMITH, M.; HENGGELER, J.; NAUTIYAL, P. 2000. Deficit Irrigation Practices. Water reports 22. FAO. Rome, Italy. 101 p.
- KRAMER, P. 1974. Relaciones Hídricas de Suelo y Planta. McGraw-Hill, Inc. México. 538 p.
- LARQUÉ, A. 1990. El Agua en las Plantas: Manual de prácticas de fisiología Vegetal. Editorial Trillas S. A. de C. V. 88p.
- MAMANI, R. 2007. Partición de biomasa y evapotranspiración del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), sometidas a estrés hídrico en diferentes etapas de

- crecimiento. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 104 p.
- MATTOS, G. 2000. Fisiología Vegetal. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 97 p.
- MENDOZA, G. 2004. Evaluación de dos métodos de riego: Aspersión e inundación en el cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa*) en la Provincia Los Andes, La Paz. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía.
- MUJICA, A.; JACOBSEN, SE.; IZQUIERDO, J.; MARATHEE, JP. 2004. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Puno, Perú. Unidad de Publicaciones U.N.A. Puno.
- NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. 2001. Manual de Fertilizantes. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. 17ma Reimpresión. 292 p.
- OWEIS, T.; HACHUM, A. 2005. Agricultural water management 80, 57-73.
- PAZ YUSTE, P. 1997. Suelos: Biblioteca de la agricultura. Idea Books 3v. Editorial Emege Industria gráfica. España.
- PROINPA (Promoción e Investigación de Productos Andinos). 2002. Una Herencia de Bolivia para el mundo. Cochabamba, Bolivia. 9 p.
- PROINPA (Promoción e Investigación de Productos Andinos). 2003. Catálogo Quinoa Real. La Paz, Bolivia. Impresiones Poligraf. 51 p.

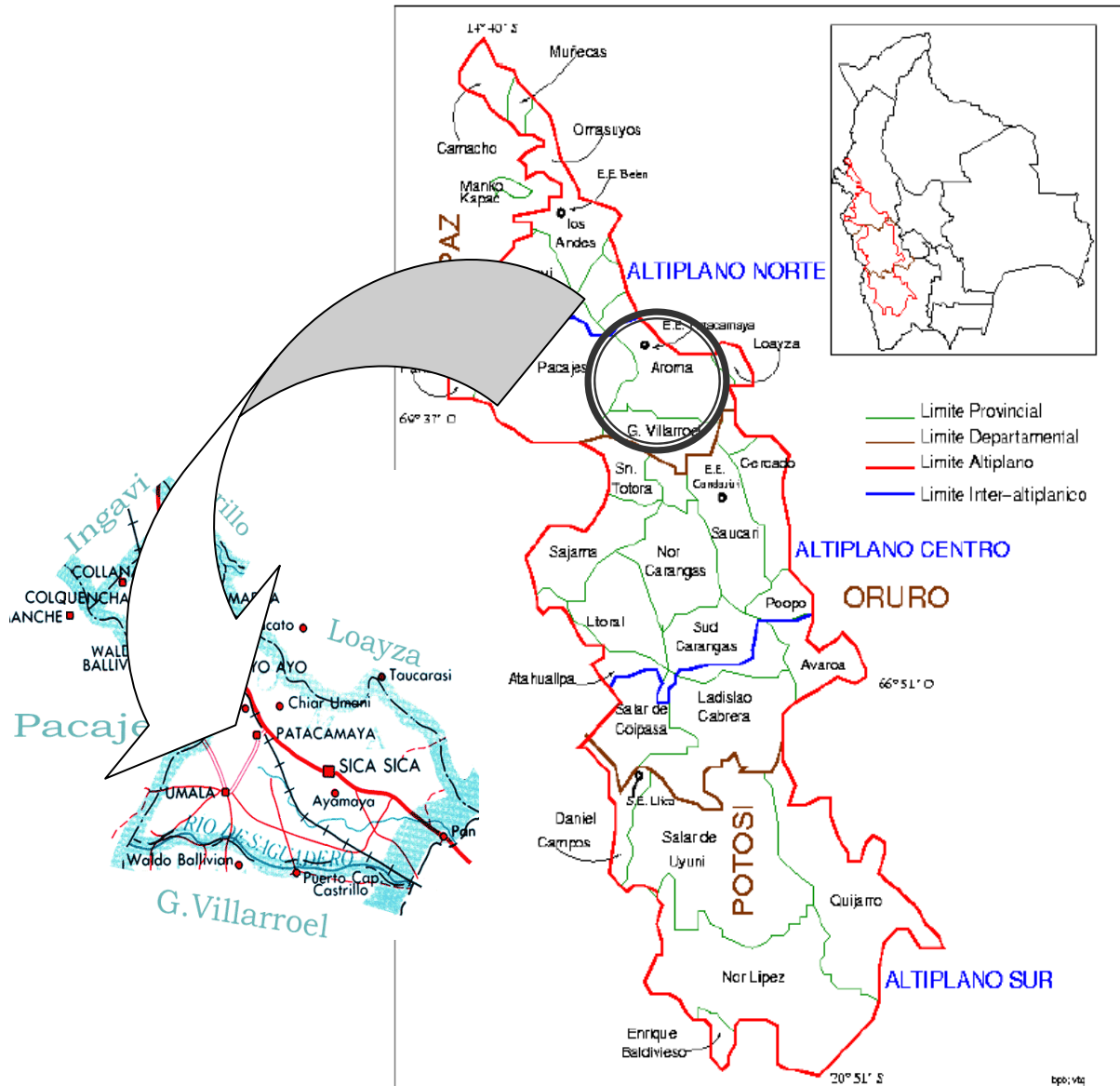
- PRONAR (Programa Nacional de Riego). 1998. Agricultura y Gestión Campesina de Riego. Seminario Taller Nacional "Género en Proyectos de Riego". Cochabamba, Bolivia.
- PERRÍN, R. 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Manual de metodología de evaluación agronómica. Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo. CIMMYT. 3 ed. México D.F. 90 p.
- ROBLES, S. R. 1986. Genética general y fitomejoramiento práctico. Limusa S:A: México. pp. 266-272.
- RAMOS, M. 2000. Comportamiento de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo riego diferenciado por fases fenológicas en el altiplano central. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 112 p.
- RODRÍGUEZ, J. 2005. 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 Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 110 p.
- RODRÍGUEZ, M. 1991. Fisiología Vegetal. Cochabamba, Bolivia. Los amigos del libro. 445 p.
- ROJAS, F. 2004. Evaluación del riego tradicional parcelario en Alfalfares (*Medicago sativa*) de la central de riego unificada de EL Choro. Tesis Lic. Ing. Agr. La Paz-Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía.
- SEMTA (Servicios Múltiples de Tecnología Apropriada). 1987. Horticultura. Segunda Edición. Bolivia.

- SICA (Servicio de Información Agropecuaria). 2001. Producción orgánica de quinua. Ministerio de agricultura, ganadería acuacultura y pesca del Ecuador.
- TAPIA, M. 1997. Cultivos Andinos Subexplotados y su Aporte a la Alimentación. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 2 ed. Santiago Chile.
- THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society 141, 399-436.
- TISDALE, S.; NELSON, W. 1988. Fertilidad de suelos y fertilizantes. México D. F. UTEHA. 760 p.
- WINTER, E. 1981. El agua, el suelo y la planta. México. Editorial Diana. 123 p.

ANEXOS



Anexo 1. Ubicación geográfica del lugar del experimento



Anexo 2. Análisis de varianza para altura de planta del cultivo de quinua

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	889,223	444,611	13,10	0,0175 *
Riego	2	50,321	25,160	0,74	0,5322 ns
Error "A"	4	135,737	33,934		
Nivel Fer. Orgánica	2	15,032	7,515	0,34	0,7205 ns
Interacción Riego * Nivel	4	273,861	68,465	3,07	0,0588 ns
Error "B"	12	273,633	22,303		
Total	26	1631,807			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 8.94 %

Anexo 3. Análisis de varianza para diámetro de panoja del cultivo de quinua

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	4,410	2,205	5,65	0,0683 ns
Riego	2	3,077	1,538	3,94	0,1133 ns
Error "A"	4	1,561	0,390		
Nivel Fer. Orgánica	2	1,671	0,336	1,32	0,3041 ns
Interacción Riego * Nivel	4	0,709	0,177	0,70	0,6195 ns
Error "B"	12	3,058	0,255		
Total	26	13,487			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 13.74 %

Anexo 4. Análisis de varianza para longitud de panoja del cultivo de quinua

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	99,623	49,811	8,32	0,0375 *
Riego	2	12,979	6,489	1,08	0,4205 ns
Error "A"	4	23,939	5,985		
Nivel Fer. Orgánica	2	6,534	3,267	2,03	0,1745 ns
Interacción Riego * Nivel	4	2,828	0,707	0,44	0,7785 ns
Error "B"	12	19,344	1,612		
Total	26	165,247			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 7.19 %

Anexo 5. Análisis de varianza para peso de 1000 granos del cultivo de quinua

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	0,260	0,130	1,10	0,4152 ns
Riego	2	7,709	3,854	32,73	0,0033 **
Error "A"	4	0,471	0,118		
Nivel Fer. Orgánica	2	0,228	0,114	1,71	0,2218 ns
Interacción Riego * Nivel	4	2,048	0,512	7,66	0,0026 **
Error "B"	12	0,802	0,066		
Total	26	11,520			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 5.92%

Anexo 6. Análisis de varianza para rendimiento de grano del cultivo de quinua

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	5789773,134	2894886,567	Infity	< ,0001 **
Riego	2	834948,446	417474,223	Infity	< ,0001 **
Error "A"	3	0,000	0,000		
Nivel Fer. Orgánica	2	119346,412	59673,206	0,34	0,7192 ns
Interacción Riego * Nivel	4	239848,476	59962,119	0,34	0,3484 ns
Error "B"	10	1751676,557	175167,656		
Total	23	8543807,212			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 36.77 %

Anexo 7. Análisis de varianza para índice de cosecha

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	0,004	0,002	1,30	0,3665 ns
Riego	2	0,003	0,001	0,83	0,5007 ns
Error "A"	4	0,006	0,002		
Nivel Fer. Orgánica	2	0,002	0,001	2,21	0,1529 ns
Interacción Riego * Nivel	4	0,002	0,0004	1,08	0,4089 ns
Error "B"	12	0,005	0,0004		
Total	26	0,021			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 6,18 %

Anexo 8. Análisis de varianza para días a la floración

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	123,185	61,593	31,98	0,0035**
Riego	2	63,185	31,593	16,40	0,0118 *
Error "A"	4	7,703	1,923		
Nivel Fer. Orgánica	2	2,741	1,370	0,39	0,6830 ns
Interacción Riego * Nivel	4	13,481	3,370	0,97	0,4601 ns
Error "B"	12	41,777	3,481		
Total	26	252,074			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 2,00 %

Anexo 9. Análisis de varianza para días a la etapa de grano lechoso

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	156,222	78,111	0,86	0,4887 ns
Riego	2	2446,889	1223,444	13,49	0,0167 *
Error "A"	4	362,889	90,722		
Nivel Fer. Orgánica	2	38,222	19,111	3,65	0,0579 ns
Interacción Riego * Nivel	4	16,889	4,222	0,81	0,5448 ns
Error "B"	12	62,889	5,241		
Total	26	3084,000			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 1,99 %

Anexo 10. Análisis de varianza para días a la etapa de masa de grano

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	1234,296	617,148	9,15	0,0322 *
Riego	2	2535,185	1267,593	18,78	0,0093 **
Error "A"	4	269,926	67,481		
Nivel Fer. Orgánica	2	5,629	2,815	0,38	0,6924 ns
Interacción Riego * Nivel	4	28,593	7,148	0,96	0,4628 ns
Error "B"	12	89,111	7,426		
Total	26	4162,741			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;
 ** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo
 C.V. = 1,98 %

Anexo 11. Análisis de varianza para grano pastoso duro

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	224,222	112,111	1,29	0,3706 ns
Riego	2	1410,889	705,444	8,09	0,0393 *
Error "A"	4	348,889	87,222		
Nivel Fer. Orgánica	2	42,667	21,333	1,39	0,2854 ns
Interacción Riego * Nivel	4	15,778	3,944	0,26	0,8993 ns
Error "B"	12	183,556	15,296		
Total	26	2226,000			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo

C.V. = 2,37 %

Anexo 12. Análisis de varianza para etapa de grano pastoso en grados día

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F Cal.	Pr. > F
Bloques	2	19884,410	9942,205	1,22	0,3847 ns
Riego	2	127768,716	63884,358	7,87	0,0411 *
Error "A"	4	32472,942	8118,235		
Nivel Fer. Orgánica	2	3869,947	1934,9737	1,40	0,2835 ns
Interacción Riego * Nivel	4	1399,830	349,957	0,25	0,9019 ns
Error "B"	12	16551,769	1379,314		
Total	26	201947,614			

GL = Grados de libertad; S.C. = Suma de cuadrados; C.M. = Cuadrado medio; F Cal = F calculada; PrF=Probabilidad de F;

** = Altamente significativo; * = Significativo; ns = no significativo

C.V. = 2,09 %

Anexo 13. Análisis físico-químico de abonos



IBTEN

MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
DIVISION DE QUIMICA

ANALISIS FÍSICO QUIMICO DE ABONOS

INTERESADO : Ing. ROBERTO MIRANDA
PROCEDENCIA : Departamento LA PAZ

N° SOLICITUD: 215A/2006
FECHA DE RECEPCION : 20 / diciembre / 2006
FECHA DE ENTREGA : 15 / enero / 2007

PROYECTO QUINAGUA

N° Lab.	CODIGO	Nitrógeno %	Fósforo % P	Potasio %	Carbono orgánico %	Sodio %	Calcio %	Magnesio %	Manganeso mg/kg	Hierro mg/kg	Zinc mg/kg	Cobre mg/kg	Cobalto mg/kg	Molibdeno mg/kg	Humedad %	Materia seca %	pH en agua	CE en agua mS/cm
764 /2006	Muestra de guano Patacamaya	0,95	0,25	0,90	21,91	0,07	0,72	0,18	39,80	232,44	15,02	4,39	< 0,26	0,11	3,45	96,55	7,71	4,53

OBSERVACIONES: Resultados en base seca.



[Handwritten signature]

RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA

Of. Av. 6 de Agosto 2905, Telf.: 2433481 - 2430309 - 2433877 - 2128383 Fax: (0591-2) 2433063 - La Paz - Bolivia
Casilla 4821, Telf.: 2800995 CIN-Viacha, E-mail: ibten@entele.net.bo

Anexo 14. Análisis físico-químico de suelos antes de la siembra

MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO
 INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
 CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
 DIVISION DE QUIMICA

ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS

Nº SOLICITUD: 216B / 2006
 FECHA DE RECEPCION : 20 / diciembre / 2006
 FECHA DE ENTREGA : 5 / enero / 2007

INTERESADO : Ing. ROBERTO MIRANDA
 PROCEDENCIA : Departamento LA PAZ

PROYECTO QUINAGUA

Nº Lab.	CODIGO	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTUR.	GRAVA %	CARBO NATOS LIBRES	pH en agua	pH en KCl 1N	C.E. mS/cm	CATIONES DE CAMBIO (meq / 100 gr suelo)						SAT. BAS. %	M. O. %	N TOTAL %	P Asim. ppm	
											Al+H	Ca	Mg	Na	K	TBI					CIC
765 /2006	Muestra de suelo - Patacamaya	59	21	20	FYA	8,77	A	5,79	5,69	0,110	0,03	3,83	0,91	0,21	0,83	5,78	5,81	99,5	0,96	0,06	17,76


OBSERVACIONES.-
 ** Cationes de Cambio extraídos con acetato de amonio 1N.
 Fosforo Asimilable (P Asimil) analizado con el método de Bray Kurtz
 Conductividad eléctrica en milisiemens por centímetro.
 C.I.C. Capacidad de Intercambio Catiónico.
 T.B.I. Total de Bases de Intercambio.
 M.O. Materia Orgánica.

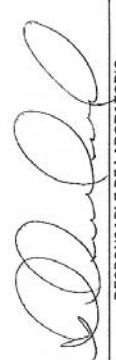
CARBONATOS LIBRES
 A Ausente
 P Presente
 PP Presente en gran cantidad

CLASE TEXTURAL
 Y : Arcilloso
 YA : Arcilloso Arenoso
 FYA : Franco Arcilloso Arenoso

FA : Franco Arenoso
AF : Arenoso Franco
FY : Franco Arcilloso

YL : Arcilloso Limoso
FYL : Franco Arcilloso Limoso
FL : Franco Limoso




 RESPONSABLE DE LABORATORIO
 JORGE CHUNGARA

Cf. Av. 6 de Agosto 2995. Telf.: 2433481 - 2433008 - 2433977 - 21226383 Fax: (0591-2) 2433063. La Paz - Bolivia
 Casilla 4621. Telf.: 2600095 CIN-Viacha. E-mail: labten@enteinelnet.bo

Anexo 15. Análisis físico-químico de suelos después de la cosecha

MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO

CENTRO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
DIVISION DE QUIMICA

ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS

INTERESADO : RUBEN HUANCA
PROCEDENCIA : Dpto LA PAZ, Pvcia. AROMA, Loc. PATACAMAYA
Nº SOLICITUD: 113 / 2007
FECHA DE RECEPCION : 26 / Julio / 2007
FECHA DE ENTREGA : 7 / agosto / 2007

PROYECTO QUINAGUA

Nº Lab.	CODIGO	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL	GRAVA %	CARBO NATOS LIBRES	PH en agua en KCl 1N	C.E. mScm	CATIONES DE CAMBIO (meq / 100 gr suelo)						N TOTAL %	P Asim. ppm			
										Al + H	Ca	Mg	Na	K	TBI			CIC	SAT. BAS. %	
294 /2007	Calicata 1; Ho - Ap; Patacamaya	59	25	16	FYA	14,2	A	5,65	5,47	0,051	0,12	2,92	0,18	0,61	4,50	4,62	97,4	0,72	40,74	
295 /2007	Calicata 1; Ho - Bt; Patacamaya	32	64	4	Y	87,6	P	6,94	6,02	0,038	0,12	10,08	0,50	0,89	14,57	14,89	99,2	0,93	7,87	
296 /2007	Calicata 1; Ho - Ct; Patacamaya	22	76	2	Y	33,6	P	7,29	5,44	0,114	0,10	17,65	4,47	1,28	1,60	25,10	99,6	0,90	6,76	
297 /2007	Calicata 2; Ho - Ap; Patacamaya	55	24	20	FYA	13,7	A	6,04	5,59	0,037	0,08	5,04	1,18	0,23	0,82	7,27	7,35	98,9	1,16	22,91
298 /2007	Calicata 2; Ho - Bt; Patacamaya	24	70	6	Y	31,8	A	6,78	5,6	0,081	0,08	11,06	3,14	0,85	0,82	15,67	15,75	99,5	0,91	14,98

OBSERVACIONES - Cationes de Cambio extraidos con acetato de amonio 1N

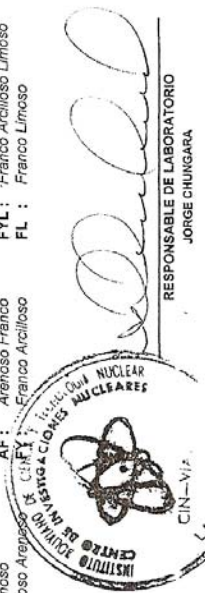
- ** Fostoro Asimilable (P Asimil)
- C.E. Conductividad eléctrica en millisiemens por centimetro.
- C.I.C. Capacidad de intercambio Catiónico.
- T.B.I. Total de Bases de intercambio.
- M.O. Materia Orgánica.

CARBONATOS LIBRES
A Ausente
P Presente
PP Presente en gran cantidad

CLASE TEXTURAL
F : Franco
L : Limoso
A : Arenoso

Y : Arcilloso
YA : Arcilloso Arenoso
FYA : Franco Arcilloso Arenoso

PA : Franco Arenoso
AF : Arenoso Franco
FY : Franco Arcilloso
YL : Arcilloso Limoso
FYL : Franco Arcilloso Limoso
FL : Franco Limoso



Of. Av. 6 de Agosto 2905, Tel.: 2433481 - 2433099 - 2433877 - 2126383 Fax: (0561-2) 2433063, La Paz - Bolivia
Casilla 4821, Tel.: 2800095 CIN-Viacha, E-mail: bben@benboliv.bo

Anexo 16. Descripción de calicatas después de la cosecha dentro del área experimental

DESCRIPCION DE CALICATAS - PATACAMAYA

Fecha: 20/Junio/2007

Calicata	Ho	Prof	Text	Estructura			Consistencia				Raíces	Limite
				Tipo	Clase	Grado	Mojado		Seco			
							Adh.	Plast		Humedo		
1	Ap	0-15 cm	Franco Arenoso	Granular	2-5 mm	Débil	Ligeramente Adhesivo	Ligeramente Plástico	Friable	Ligeramente Duro	< 1 mm (30-50%) 1-2 mm (5-10%)	Plano a Ligeramente ondulado
	Bt	15-48 cm	Arcillosa 70% Grava	Bloques Angulares	10-20 mm	Moderado	Muy Adhesivo	Ligeramente Plástico	Friable	Duro	< 1 mm (30%)	Plano
	Ct	> 48 cm	Arcillosa 40% Grava	Bloques Subangulares	5-10 mm	Fuerte	Muy Adhesivo	Muy Plástico	Duro	Extremadamente Duro	< 1 mm (5%)	
2	Ap	0-22 cm	Franco	Granular	2-5 mm	Moderado	Ligeramente Adhesivo	No Plástico	Friable	Blando	4 mm (50-70%) 1-2 mm (10%) 2-5 mm (2%)	Plano
	Bt	> 22 cm	Arcillosa 20% Grava	Bloques Angulares	10-20 mm	Moderado	Muy Adhesivo	Plástico	Duro	Duro	< 1 mm (20%)	

Observaciones:

En la calicata 2 a 60 cm el suelo se halla con una humedad mayor a la de la calicata 1

La calicata 1 en el horizonte Bt, algunos sectores presentan acumulaciones de grava en un 60 a 70% y también piedras.

Probablemente esto haya sido el factor influyente para que las plantas de los bloques II y III tengan menor tamaño y menor rendimiento.

Se hizo las Calicatas en el tratamiento 8 del Bloque I y tratamiento 5 del Bloque III

Anexo 17. Análisis físico-químico del agua de riego de patacamaya

MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO
 INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
 CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES - VIACHA
 DIVISION DE QUIMICA


IBTEN

ANALISIS FISICO QUIMICO DE AGUAS

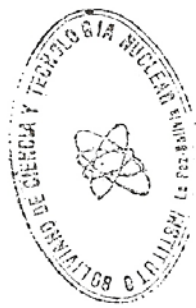
INTERESADO : **PROYECTO QUINAGUA**
 PROCEDENCIA : **Departamento LA PAZ**

NUMERO DE SOLICITUD: **088 / 2007**
 FECHA DE RECEPCION : **26 / junio / 2007**
 FECHA DE ENTREGA: **9 / julio / 2007**

PROYECTO QUINAGUA

N° Lab.	CODIGO	pH	C. E. mS/cm	Sodio mg/L	Potasio mg/L	Calcio mg/L	Magnesio mg/L	Cloruros mg/L	Sulfatos mg/L	Carbonatos/Bicarbonatos mg/L	Sólidos totales mg/L	Sólidos en Suspensión mg/L	Sólidos disueltos mg/L	Boro mg/L	
246 /2007	Muestra de agua - PATACAMAYA	7,11	0,577	53,90	5,90	37,87	6,19	89,81	37,06	0,00	117,12	352,10	11,00	341,10	0,73

OBSERVACIONES.- C.E. : Conductividad Eléctrica (mili Siemens / cm)





RESPONSABLE DE LABORATORIO
 JORGE CHUNGARA C.

Of. Av. 6 de Agosto 2505 . Telf.: 2433481 - 2430309 - 2433877 - 2126363 Fax: (0591-2) 2433063 . La Paz - Bolivia
 Casilla 4621 . Telf.-2500095 CIN-Viacha . E-mail: ibten@entelnet.bo

Anexo 18. Análisis químico de Nitrógeno, Fósforo y Potasio de las hojas de quinua

IBTEN

MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
DIVISION DE QUIMICA

ANALISIS QUIMICO DE VEGETALES

INTERESADO : RUBEN HUANCA
PROCEDENCIA : Depto LA PAZ, PATACAMAYA

Nº SOLICITUD: 026/2007
FECHA DE RECEPCION : 6 / marzo / 2007
FECHA DE ENTREGA : 29 / marzo / 2007

PROYECTO QUINAGUA

Nº Lab	CODIGO	Humedad %	Nitrógeno % N	Fósforo % P	Potasio % K
086 /2007	B Q I - T 1	79,71	1,55	0,15	6,14
087 /2007	B Q I - T 2	79,11	0,54	0,14	6,34
088 /2007	B Q I - T 3	79,24	1,50	0,15	6,63
089 /2007	B Q I - T 4	81,25	1,62	0,37	5,72
090 /2007	B Q I - T 5	83,61	1,60	0,43	6,24
091 /2007	B Q I - T 6	82,32	0,85	0,31	5,82
092 /2007	B Q I - T 8	80,87	1,36	0,18	6,17
093 /2007	B Q I - T 9	81,17	1,17	0,20	5,82
094 /2007	B Q I - T 7	78,74	0,56	0,28	6,34

OBSERVACIONES Resultados en base seca



RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA

Anexo 19. Costos de producción para el cultivo de quinua.

Detalle	Tratamiento								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Semilla (Bs/ha)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Apertura de surcos (Bs/ha)	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Abono (Bs/ha)	0,0	700,0	1400,0	0,0	700,0	1400,0	0,0	700,0	1400,0
Mano de obra para incorporar abono (Bs/ha)	0,0	30,0	30,0	0,0	30,0	30,0	0,0	30,0	30,0
Siembra (Bs/ha)	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Raleo	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Deshierbe (Bs/ha)	30,0	60,0	90,0	30,0	60,0	90,0	30,0	60,0	90,0
Riego (Bs/ha)	90,0	90,0	90,0	180,0	180,0	180,0	210,0	210,0	210,0
Plaguicida	278,0	278,0	278,0	278,0	278,0	278,0	278,0	278,0	278,0
Aplicación plaguicida	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Cosecha (Bs/ha)	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Trillado y venteado	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Total Costos Variables (Bs/ha)	888,0	1648,0	2378,0	978,0	1738,0	2468,0	1008,0	1768,0	2498,0
Costos Variables (\$us/ha)	116,08	215,42	310,85	127,84	227,19	322,61	131,76	231,11	326,54

Tipo de cambio 1\$us = 7,65 Bs.

Anexo 20. Registro fotográfico del trabajo



20-a. Área de experimental y delimitación de tratamientos



20-b. Aplicación de abono de acuerdo a dosis establecida para cada tratamiento



20-c. Cultivo de quinua a 25 días después de la siembra



20-d. Cultivo de quinua a 43 días después de la siembra



20-e. Cultivo de quinua a los 89 días después de la siembra



20-f. Cultivo de quinua a los 114 días después de la siembra



20-g. Riego en el cultivo de quinua de acuerdo a los tratamientos



20-h. Aplicación de riego por surcos en cada tratamiento



20-i. Vista general del área experimental



20-j. Porómetro de difusión tipo AP-4



20-k. Materiales de uso y calibración del Porómetro



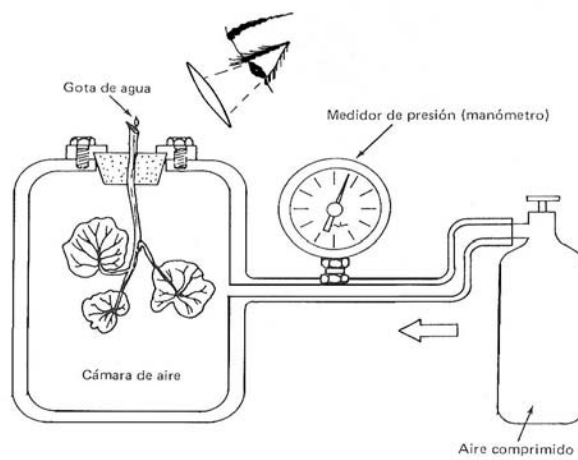
20-l. Medición de la conductancia estomática en hojas de quinua con el Porómetro



20-m. Cámara Scholander y tanque de nitrógeno



20-n. Preparación de la hoja antes de su ingreso a la cámara de presión



Fuente: Larqué, 1990

20-o. Detalle de la cámara de presión



20-p. Equipo T.D.R. (Time Domain Reflectometry)



20-q. Tubos de acceso (para la sonda del T.D.R.)



20-r. Medición de humedad en campo de cada tratamiento



20-s. Cosecha por m² de cada tratamiento



20-t. Muestras por m² para obtención de grano y biomasa seca



20-u. Cosecha por tratamiento