

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



TESIS DE GRADO

**EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO Y DENSIDAD DE
SIEMBRA EN EL CULTIVO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) EN EL
ALTIPLANO NORTE**

NORAH MEJÍA PONCE

LA PAZ – BOLIVIA

2006

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA**

**EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DE NITRÓGENO Y DENSIDAD DE
SIEMBRA EN EL CULTIVO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) EN EL
ALTIPLANO NORTE**

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

NORAH MEJÍA PONCE

Tutor:

Ing. M.Sc. Jorge Guzmán Calla

Comité Revisor:

Ing. Ph.D. Bernardo Solíz Guerrero

Ing. Roberto Miranda Casas

Ing. Paulino Ruíz Huanca

APROBADA

Decano:

Ing. M.Sc. Jorge Pascuali Cabrera

DEDICATORIA

*A mis padres Genaro y Victoria,
por su amor,
apoyo, esfuerzo, sabios
consejos y toda su paciencia.*

*A Eli, Dina, Mary, Saida, Ade, Claudia,
Nilo y sobrinos por su cariño y
apoyo incondicional, que tanto
quiero.*

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

- Un agradecimiento especial a mi familia por el apoyo incondicional tanto espiritual como material en el presente trabajo de investigación.
- Mi más grande agradecimiento al Ing. Jorge Guzmán por su confianza, amistad, sabios consejos y ayuda en la realización del trabajo.
- Al comité revisor: Dr. Bernardo Solíz por sus puntuales correcciones; Ing. Roberto Miranda por sus observaciones y aporte al trabajo; e Ing. Paulino Ruíz por su apoyo en el trabajo.
- A la Facultad de Agronomía y los docentes por las enseñanzas y el conocimiento adquirido durante el tiempo de estudio.
- A la Universidad Mayor de San Andrés por la instrucción gratuita.
- A mis amigos que me brindaron su amistad incondicionalmente, estando conmigo en los malos y buenos momentos: Vicky, Eugenia, Susy, Irene, Alex, Ramiro, Chinito, María y un agradecimiento al Ing. Abrahan Santiago Quelca por su ayuda tan oportuna a este trabajo.

CONTENIDO

INDICE GENERAL.....	i
INDICE DE CUADROS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	viii

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Requerimiento de nutrientes del cultivo de cebada.....	4
2.1.1. Nitrógeno	4
2.1.1.1. Función del nitrógeno en las plantas.....	5
2.1.1.2. Síntomas de adecuada cantidad de nitrógeno en la planta.....	6
2.1.1.3. Síntomas de deficiencia nitrogenada en la planta.....	6
2.1.2. Fósforo.....	7
2.1.3. Potasio.....	7
2.1.4. Necesidad e Importancia de la fertilización química.....	8
2.1.5. Principios de fertilización mineral	8
2.1.5.1. Objetivos básicos de la fertilización mineral	8

2.1.5.2. Dosis adecuada de la fertilización	9
2.1.6. Fertilización nitrogenada en cebada.....	9
2.1.6.1. Urea.....	10
2.1.6.2. Aspectos relevantes de la fertilización nitrogenada.....	10
2.1.7. Fraccionamiento del Nitrógeno.....	11
2.2. Densidades de siembra.....	12
2.3. Características generales del cultivo.....	13
2.3.1. Fases fenológicas del cultivo.....	15
2.3.2. Estados de desarrollo y crecimiento.....	16
2.3.3. Requerimientos Edafoclimáticos	17
2.4. Causas de infertilidad de suelos.....	19
2.5. Macollaje.....	19
2.6. Altura de la planta.....	19
2.7. Índice de área foliar (IAF)	20
2.8. Materia Seca (MS).....	20
2.8.1. Rendimiento de Materia Seca de la Cebada	20
2.9. Calidad del forraje.....	21
3. LOCALIZACIÓN	22
3.1. Ubicación Geográfica	22
3.2. Características Ecológicas	22
3.2.1. Clima.....	22
3.2.2. Suelo.....	22
3.2.3. Vegetación y cultivos	24
3.2.4. Ganadería.....	24
3.2.5. Economía.....	24

4. MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.1. Material vegetal	25
4.2. Material de campo	25
4.3. Material de gabinete y escritorio	26
4.4. Metodología	26
4.4.1. Recolección de muestra de suelo	26
4.4.2. Procedimiento experimental	26
4.4.3. Factores de estudio	29
4.4.4. Diseño Experimental.....	30
4.4.5. Dimensiones del campo experimental.....	31
4.4.6. Variables de Respuesta.....	31
4.4.6.1. Variables agronómicas	32
4.4.6.2. Variables fenológicas.....	33
4.4.7. Análisis de costos parciales de producción	34
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1. Comportamiento agroclimático	36
5.2. Análisis de Suelo	38
5.3. Variables Fenológicas	39
5.4. Variables Agronómicas.....	41
5.4.1. Altura de planta.....	41
5.4.1.1. Fraccionamiento del Nitrógeno.....	42
5.4.2. Número de hojas	44
5.4.2.1. Densidad de siembra.....	45
5.4.2.2. Fraccionamiento del Nitrógeno.....	47
5.4.3. Número de Macollos.....	48
5.4.3.1. Fraccionamiento de Nitrógeno.....	49
5.4.4. Índice de Área foliar (IAF).....	51
5.4.4.1. Densidad de siembra.....	52

5.4.4.2. Fraccionamiento de Nitrógeno.....	53
5.4.5. Rendimiento de Materia Verde	55
5.4.5.1. Fraccionamiento de Nitrógeno.....	56
5.4.6. Rendimiento de Materia Seca	58
5.4.6.1. Fraccionamiento de Nitrógeno.....	59
5.5. Relación entre variables	60
5.6. Análisis de crecimiento	62
5.6.1 Altura de planta.....	62
5.6.2. Número de hojas por planta	65
5.6.3. Número de macollos.....	68
5.6.4. Materia seca (5 plantas)	71
5.7. Análisis de costos parciales para el cultivo de cebada.....	73
6. CONCLUSIONES.....	77
7. RECOMENDACIONES	80
8. BIBLIOGRAFIA.....	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Formulación de Tratamientos	31
Cuadro 2. Análisis físico – químico del suelo para el cultivo de cebada	38
Cuadro 3. Cuadros medios para días a la emergencia, macollamiento y espigamiento... 39	
Cuadro 4. Prueba de Duncan para densidad de siembra en días al espigamiento	40
Cuadro 5. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de N en días al espigamiento	41
Cuadro 6. Análisis de varianza para altura de planta (cm) del cultivo de cebada forrajera... 42	
Cuadro 7. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en altura de planta	43
Cuadro 8. Análisis de varianza para número de hojas por planta en el cultivo de cebada ... 44	
Cuadro 9. Prueba de Duncan para densidad de siembra en Número de hojas por planta 45	
Cuadro 10. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en número de hojas... 47	
Cuadro 11. Análisis de varianza para número de macollos por planta de la cebada..... 48	
Cuadro 12. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de N en número de macollos..... 49	
Cuadro 13. Análisis de varianza para el índice de área foliar (IAF) del Cultivo de cebada.... 51	
Cuadro 14. Prueba de Duncan para densidad de siembra en el índice de área foliar	52
Cuadro 15. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de N en el índice de área foliar..... 53	
Cuadro 16. Análisis de varianza para rendimiento de materia verde de la cebada (ton/ha) .. 55	
Cuadro 17. Prueba de Duncan para fraccionamiento de N en materia verde (ton/ha)	56
Cuadro 18. Análisis de varianza para el rendimiento de materia seca (ton/ha)	58
Cuadro 19. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de N en materia seca (ton/ha)	59
Cuadro 20. Matriz del Análisis de correlación y regresión lineal múltiple de la cebada	61
Cuadro 21. Presupuesto parcial para el cultivo de cebada (MS)	74
Cuadro 22. Análisis de dominancia para el cultivo de cebada forrajera	75
Cuadro 23. Análisis marginal de costos variables para cebada forrajera..... 76	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Municipio de Tiahuanaco.....	23
Figura 2. Croquis del experimental.....	27
Figura 3. Temperaturas máximas, mínimas y medias del Municipio de Tiahuanaco	36
Figura 4. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo de cebada	37
Figura 5. Humedad Relativa durante el crecimiento de cebada.....	38
Figura 6. Altura de planta para fraccionamiento del nitrógeno	43
Figura 7. Número de hojas para densidad de siembra.....	46
Figura 8. Número de hojas para fraccionamiento de nitrógeno.....	48
Figura 9. Número de macollos por planta para fraccionamiento de N	50
Figura 10. Índice de área foliar para densidad de siembra	53
Figura 11. Índice de área foliar para fraccionamiento de nitrógeno	54
Figura 12. Materia verde para fraccionamiento de nitrógeno.....	57
Figura 13. Materia seca para fraccionamiento de nitrógeno	60
Figura 14. Curva de crecimiento en función de la densidad de siembra para altura de planta	63
Figura 15. Curva de crecimiento en función del fraccionamiento de N para altura de planta	64
Figura 16. Curva de crecimiento en función a la densidad de siembra para número de hojas	66
Figura 17. Curva de crecimiento en función del fraccionamiento de nitrógeno..... para número de hojas.....	67
Figura 18. Curva de crecimiento en función a la densidad de siembra para el número de macollos.....	68
Figura 19. Curva de crecimiento en función al fraccionamiento de nitrógeno para número de macollos.....	70
Figura 20. Curva de crecimiento en función a la densidad de siembra para rendimiento de materia seca (5 plantas)	71
Figura 21. Curva de crecimiento en función al fraccionamiento de nitrógeno para el rendimiento de materia seca (5 plantas).....	73
Figura 22. Curva de Beneficios Netos y Costos Totales que varían (Bs/ha), sobre la densidad de siembra y los niveles de nitrógeno en el cultivo de cebada.....	75

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Altura de la planta (cm)	91
ANEXO 2. Número de macollos por planta	92
ANEXO 3. Número de hojas por planta.....	93
ANEXO 5. Materia verde	96
ANEXO 6. Materia seca (ton/ha)	97
ANEXO 7. Datos promedio de ganancias en altura de planta.....	98
ANEXO 8. Datos promedio de ganancias en número de hojas.....	99
ANEXO 9. Datos promedios de ganancias de número de macollos por planta	100
ANEXO 10. Datos promedio de ganancias en materia seca en 5 plantas (gr).....	101
ANEXO 11. Cronograma de actividades	102
ANEXO 12. Resumen de la variación climática de Tiahuanaco (2003-2004)	102
ANEXO 13. Costos de producción	103
ANEXO 14. Análisis Físico-químico del suelo.....	104
ANEXO 15. Mapa de la Provincia Ingavi.....	105
ANEXO 16. Fotografías del trabajo de campo.....	106

RESUMEN

El presente estudio, se llevó a cabo en la zona del Altiplano Norte, en la comunidad de Khasa Achuta, perteneciente al Municipio de Tiahuanaco, Provincia Ingavi del departamento de La Paz, durante la gestión agrícola 2003 – 2004.

El objetivo de este estudio fue: Determinar los efectos del fraccionamiento de nitrógeno y la densidad de siembra en el comportamiento agronómico de cebada (*Hordeum vulgare L.*), para mejorar las condiciones socioeconómicas de las familias del Altiplano Norte.

El material genético de la cebada (*Hordeum vulgare L.*), fue la variedad IBTA-80, procedente del Centro de Investigación Forrajera (CIF), La Violeta Cochabamba. La siembra fue realizada el 30 de diciembre del 2003, 2 y 7 de enero del 2004.

Se evaluaron las variables agronómicas: altura de planta, número de hojas, número de macollos, Índice de área foliar (IAF) y materia verde; las variables fenológicas fueron: días a la emergencia, días al macollamiento y días al espigamiento y la variable de rendimiento en materia seca (MS) ton/ha. Se realizó el análisis de correlación múltiple entre variables; análisis de crecimiento de las variables agronómicas y un análisis económico, para determinar cual nivel de nitrógeno y densidad de siembra es la más recomendable.

Las variables agronómicas reportaron: la mayor altura de planta fue en T₆ (100 kg/ha * 40 siembra y 40 macollamiento kg N), registrando un promedio de 108.78 cm, el mayor número de hojas en T₂ (70 kg/ha * 80 kg N), registrarse 29.50 hojas por planta, el mayor número de macollos por planta fue para el tratamiento T₂ (70 kg/ha * 80 kg N) con 5.25 macollos y el Índice de área foliar fue en T₉ (130 kg/ha * 40 siembra y 40 macollamiento kg N) obteniéndose 6 dm²/m² /planta.

Respecto al rendimiento en materia seca (ton/ha) los mayores rendimientos correspondieron a los tratamientos T₉ (130 kg/ha * 40 siembra y 40 macollamiento kg N) y T₃ (70 kg/ha * 40 siembra y 40 macollamiento kg N), con 10.36 y 9.95 ton/ha respectivamente, indicando que el tratamiento con fertilización fraccionado tuvo efectos en el rendimiento del cultivo de la planta.

En los costos parciales el tratamiento T₃ (70 kg/ha con 40 siembra y 40 macollamiento kg N), registrándose un ingreso económico de 5,926.0 Bs/ha, corresponde al tratamiento con fraccionamiento de nitrógeno provocando efectos favorables en el crecimiento y desarrollo de la planta, con una tasa de retorno marginal del 60 % lo que significa una ganancia de 0.60 Bs por cada boliviano invertido.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, el efecto del nitrógeno en la planta fue fundamental para el rendimiento del cultivo, principalmente cuando se le aplico en forma fraccionada, obteniendo mayor crecimiento e incrementando en el número de hojas, macollos y índice de área foliar (IAF), mientras en la densidad de siembra reportó efecto en dos variables agronómicas (número de hojas e Índice de área foliar), que no influyó significativamente en el rendimiento

Los rendimientos obtenidos son atribuidos también a las condiciones climáticas del lugar y al material genético que se utilizó (IBTA-80).

1. INTRODUCCIÓN

Los pobladores del Altiplano Norte de Bolivia, en el Municipio de Tiahuanaco, practican una agricultura con una economía familiar basada en la producción ganadera y una baja dependencia de insumos externos, donde el trabajo necesario para satisfacer las necesidades domésticas y el destino de la producción están principalmente destinados al autoconsumo, con algunos excedentes para el mercado local.

En este contexto, el cultivo de la cebada (*Hordeum vulgare L.*), tiene un rol importante en los sistemas de producción familiar, por ser un valioso recurso alimenticio que cubre los requerimientos nutricionales del ganado bovino, por su uso como forraje principalmente durante otoño e invierno. Este es un cultivo que responde positivamente a las condiciones ambientales de la región, brindando ventajas como la resistencia a bajas temperaturas, y precipitaciones durante su desarrollo fisiológico, (Infoagro, 2004)

La cebada como materia fresca y/o verde se constituye en un alimento bastante rico en principios nutritivos (proteínas 2.5, materia grasa 0.5, materia no nitrogenada 80.9 todo esto por 100 gr de sustancia) según Infoagro (2004), respecto a otros forrajes de inferior calidad nutritiva y biológica en lo que respecta a los granos. Por lo descrito es un cultivo que posee preferencia para complementar las raciones, dirigido principalmente hacia animales con necesidades nutritivas mínimas, como es el caso del ganado de producción cárnica (Migliorini, 1984).

La escasa posibilidad de producción forrajera permanente en el Altiplano, dadas las características climáticas propias de la zona, muestran la necesidad de orientar los lineamientos de la investigación hacia la producción de forrajes con especies anuales como la cebada, la cual es una alternativa para cubrir el déficit alimenticio animal.

La cebada actualmente constituye una de las especies más cultivadas en el Altiplano boliviano con rendimiento promedio de 9.1 ton/ha en ensayos realizados en la localidad de Turco – Oruro por Cortés (1994). En otras áreas más aptas la variedad IBTA –80 tiene un rendimiento promedio en materia seca de hasta 5.25 ton/ha (Sauma, 1997). Como forraje es básico para la alimentación en las zonas productoras de esta gramínea (Miranda, 1979).

La agricultura en el Municipio de Tiahuanaco, es de subsistencia basada en la producción de ganado lechero y cárnico, siendo estos la única fuente de ingresos económicos para los productores; y donde las técnicas de producción aun son tradicionales vale decir; uso de yunta para la preparación del suelo, siembra manual, al voleo y el abonamiento del suelo con estiércol son característicos de una agricultura tradicional.

Por lo descrito, el presente trabajo fue dirigido a evaluar los factores referidos a la fertilización fraccionada de nitrógeno y densidades de siembra destinadas a mejorar la producción de la cebada, permitiendo establecer una alternativa de uso económico, que pueda responder al alcance del agricultor y permita generar ingresos monetarios para las familias productoras, con los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

- Evaluar los efectos del fraccionamiento de nitrógeno y densidad de siembra en el comportamiento agronómico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) en el Municipio de Tiahuanaco.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar los efectos de tres densidades de siembra a través de variables agronómicas y fenológicas en el cultivo de cebada forrajera (*Hordeum vulgare L.*).
- Evaluar los efectos del fraccionamiento de nitrógeno con variables agronómicas y fenológicas de cebada (*Hordeum vulgare. L.*).
- Analizar la interacción densidad de siembra por fraccionamiento de nitrógeno en las variables agronómicas y fenológicas del cultivo de cebada (*Hordeum vulgare. L.*)
- Realizar una comparación de costos parciales en los tratamientos en la producción de cebada forrajera.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Requerimiento de nutrientes del cultivo de cebada

Rodríguez (1982) menciona que, los nutrientes se clasifican de acuerdo a la cantidad absorbida por las plantas; así se pueden clasificar en macronutrientes y micronutrientes; donde los macronutrientes primarios son el nitrógeno, fósforo y potasio, estos pueden absorberse en grandes cantidades sin efectos nocivos.

Migliorini (1984) indica que, los nutrientes esenciales para los cultivos de cereales son el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).

2.1.1. Nitrógeno

Gross (1986) señala que, el nitrógeno es un factor que determina los rendimientos por lo tanto es la base del abonado. La absorción tardía de nitrógeno retrasa la maduración al estimular el desarrollo vegetativo, la aplicación de nitrógeno en la época adecuada acelera el crecimiento desde el comienzo y aumenta la precocidad. Asimismo se presentan dificultades por la aplicación de dosis más altas a los requerimientos necesarios para el cultivo. En los cereales tienen requerimientos de nitrógeno hasta su madurez y toda deficiencia en la nutrición nitrogenada durante su vegetación se traduce a una reducción de uno de los factores de rendimiento.

Bidwell (1993) y Matos (1998) mencionan que, el nitrógeno es un elemento que se utiliza en la síntesis de proteínas por ello se constituye en elemento esencial para el crecimiento vegetativo de las plantas, siendo un compuesto que ingresa a la planta en forma de nitratos, responde de varias maneras a suministros altos o bajos de nitrógeno.

El nitrógeno según Dinchev (1970), ocupa uno de los primeros lugares entre los elementos nutritivos para las plantas; por esta razón el papel del nitrógeno y de los fertilizantes nitrogenados en el progreso de la agricultura moderna, es grande y decisivo. Al respecto Alonzo (1984), señala que el nitrógeno es absorbido tanto en forma nítrica (Ión Nitrato NO_3) como en forma amoniacal (Ión Amoniacal NH_3) siendo ambos metabolizados por la planta; sin embargo, es la forma nítrica la que es absorbida preferentemente.

Rodríguez (1982), indica que el nitrógeno es un elemento muy soluble en su forma nítrica y amoniacal, por lo tanto es muy móvil en el suelo, teniendo como ventaja una fácil asimilación por parte de las plantas, siendo su inconveniente su fácil lavado por un exceso de agua en el suelo.

Domínguez (1989), señala que el nitrógeno es un constituyente de los más importantes compuestos y complejos minerales orgánicos de la planta como aminoácido, el contenido de la planta en nitrógeno varía de 2 a 4% de la materia seca. De este un 80 a 85% corresponde a las proteínas y un 10% a los ácidos nucleicos. Por su presencia en la clorofila influye en la asimilación de los carbohidratos.

2.1.1.1. Función del nitrógeno en las plantas

Black (1975) indica que, los compuestos nitrogenados constituyen una parte importante del peso total de las plantas así una planta que tiene 1.6 por ciento de nitrógeno, posee el 10 por ciento de su peso en verde proveniente del aporte de componentes nitrogenados.

Por su parte Gross (1986) indica que, una planta adecuadamente provista de nitrógeno brota pronto, adquiere un gran desarrollo de hojas, tallos y toma un color verde oscuro debido a la abundancia de clorofila. Una buena vegetación hace prever

una intensa actividad asimiladora es decir un crecimiento activo y una cosecha grande por ello el nitrógeno es el factor que determina los rendimientos por unidad.

Buckman (1970), Dinchev (1970) y Rodríguez (1989) coinciden en señalar el papel del nitrógeno como esencial en la planta teniendo efectos rápidos y mayores sobre la planta, el color verde intenso en las gramíneas es un rasgo característico de la influencia del nitrógeno no solo para la construcción de la clorofila sino también para sus funciones de ahí que se denomina el motor vital de la planta.

2.1.1.2. Síntomas de adecuada cantidad de nitrógeno en la planta

Rodríguez (1982) indica que, el nitrógeno se encuentra en la planta cumpliendo importantes funciones bioquímicas y biológicas; cuando hay suficiente cantidad de nitrógeno se producen los siguientes efectos:

- Mayor cantidad de clorofila y mayor asimilación de síntesis de productos orgánicos.
- Existe un mayor vigor vegetativo; aumento en el volumen y peso debido a los alargamientos celulares y a la multiplicación celular.
- Color verde intenso de la masa foliar (mayor densidad y clorofila).
- Mayor producción de hojas, frutos y semillas.

2.1.1.3. Síntomas de deficiencia nitrogenada en la planta

La deficiencia de nitrógeno generalmente se manifiesta por el amarillamiento (clorosis) de la planta, desarrollo lento y escaso, secado y quemado de las hojas que comienza en la base de la planta y prosigue hacia arriba; en plantas, tales como el maíz, en cereales menores y en los pastos, el quemado empieza en el centro o a lo largo de la vena central (National Plant. Food Institute, 1992).

La deficiencia nutricional, de cebada en la etapa vegetativa se traduce en la reducción de los factores de rendimiento como ser: Disminución en la densidad de la espiga, reducción del número de granos por espiga y menor tamaño de grano (Terrazas, 1971).

Bear (1969) coincide con los anteriores autores al mencionar que las plantas son raquílicas con colores verde pálidos o amarillos en su follaje, marchitándose o muriéndose las hojas inferiores especialmente en condición de sequía.

2.1.2. Fósforo

Black (1975), señala que el fósforo es un componente importante en el crecimiento y la maduración de las especies vegetales, es un constituyente del núcleo de células, esencial para la división y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos, esencial para el desarrollo radicular participando en la transformación de hidratos de carbono, ayuda a la planta a recoger potasio y tiende a contrarrestar los efectos del exceso de Nitrógeno.

De acuerdo a Gross (1986), cuando el trigo tiene una buena fertilización fosfatada y potásica, su rendimiento depende principalmente de la forma en que se cubran sus necesidades nitrogenadas.

2.1.3. Potasio

En cuanto al rol del potasio, Gross (1986) señala que es variado y juega un papel importante como regulador de las funciones de la planta, a la vez interviene en la formación de los prótidos, lo que justifica la necesidad de una alimentación potásica convenientemente para obtener una eficacia satisfactoria del abono nitrogenado.

En la mayoría de las plantas principalmente gramíneas la deficiencia del potasio hace que el crecimiento sea más lenta y los tallos sean más débiles. Mientras una buena aplicación de este mineral fortalece los tallos contra la invasión de los

organismos invasores y el encamado; espesa la cutícula de los cereales contra el ataque de la cenicilla (mildeu) y otras infecciones (Manual de Fertilización de Suelos, 1989).

2.1.4. Necesidad e Importancia de la fertilización química

Para Parsons (1981), el suelo debe poseer cantidades suficientes de nutrientes principalmente de macronutrientes, considerando que los cereales requieren entre 40 y 200 kg/ha de nitrógeno, la carencia de nutrientes tiene un efecto negativo en la producción.

Los distintos tipos de fertilizantes químicos permiten alcanzar los objetivos propuestos aunque la fertilización varía; por ejemplo, si se busca una máxima producción. A veces con mayores dosis se obtienen mayores calidades y en otros casos al aumentarse la producción cuantitativamente disminuyen las características cualitativas (Rodríguez, 1982).

2.1.5. Principios de fertilización mineral

Rodríguez (1982) señala que, los factores que interviene en una fertilización mineral son:

- Factores genéticos: que pertenece a la especie del cultivo, su variedad, etc.
- Factores del medio ambiente: que son suelo y clima.
- Factores biológicos: plagas y enfermedades y malezas (malas hierbas)
- Factores culturales: las prácticas agronómicas, como densidad de siembra, control de malezas, fertilización, etc.

2.1.5.1. Objetivos básicos de la fertilización mineral

Rodríguez (1982) indica que, los objetivos de la fertilización se determinan desde el punto de vista del cultivo en sí y desde una perspectiva económica. Tomando como

base el crecimiento y desarrollo normal de la planta, la fertilización respecto al cultivo tiende a aumentar la producción general, la calidad del producto y la precocidad del cultivo.

2.1.5.2. Dosis adecuada de la fertilización

Rodríguez (1982) señala que, para la determinación de las dosis de fertilización intervienen una gran cantidad de factores, como el tipo de suelo, del cultivo (variedad, densidad, etc.), tipo de fertilizantes, técnicas del cultivo, costos de producción. La dosificación del nitrógeno dependerá de los nitratos existentes en el suelo. Además se tiene en cuenta el nivel de la actividad microbiana en el proceso de descomposición de la materia orgánica en el suelo. En las variedades de ciclo corto, de gran productividad, la fertilización nitrogenada se concentra más en la primera etapa, llegándose a aplicar un 50% en la pre-siembra, debido a que las fases se suceden rápidamente y el resto del fertilizante se aplica en el macollamiento o en el encañado del cultivo de cebada.

2.1.6. Fertilización nitrogenada en cebada

Gross (1986) indica que, los cereales tienen necesidad de nitrógeno hasta su madurez y toda deficiencia en la nutrición nitrogenada de la cebada durante su vegetación se traduce en una reducción de uno de los factores de rendimiento: 1^{ro} disminución de la densidad de espigas (ahijado pobre); 2^{do} reducción del número de granos por espigas (falta de nitrógeno durante la floración y la fecundación) y 3^{ro} menor peso del grano por efecto de la alimentación al final del ciclo. La aportación de nitrógeno en el ahijado aumenta la masa vegetativa y sus necesidades nitrogenadas durante las fases posteriores.

La respuesta al nitrógeno puede variar con el periodo de crecimiento del cultivo de la cebada, la variedad, el nitrógeno disponible en el suelo, que se relaciona con el nitrógeno residual del cultivo anterior y con las condiciones climáticas. Se debe tener

en cuenta, no hacer aportaciones excesivas de nitrógeno, ya que es muy sensible al encamado. También hay que considerar que en las cebadas cerveceras la mayor proporción de nitrógeno disminuye la calidad, ocurre lo contrario en la cebada destinada a la alimentación de ganado, cuya riqueza en proteínas es mayor cuando han sido mayores las aportaciones de nitrógeno durante el abonado (Infoagro, 2004).

2.1.6.1. Urea

Según Domínguez (1993), es un producto orgánico de síntesis química, básicamente haciendo reaccionar el amoníaco con el bioxido de carbono (CO_2) o anhídrido carbónico. El mismo autor menciona que este producto no saliniza el agua, por lo que resulta apropiado en el caso de aguas o suelos salinos.

La urea es una fuente de fertilizante nitrogenado excelente, pero debe ser utilizada con las siguientes precauciones: se hidroliza rápidamente, es posible que cantidades apreciables de amoníaco se pierdan por volatilización, si ésta se aplica en superficies cálidas, descubiertas o suelos con gran cantidad de vegetación en la superficie. La incorporación en el suelo o aplicaciones en forma de banda de fertilizantes a base de urea pueden ayudar al control de este problema (Manual de Fertilización de Suelos, 1989).

2.1.6.2. Aspectos relevantes de la fertilización nitrogenada

Jacob y Vexkull (1978) señalan que, el sistema radicular débilmente se desarrolla en éste cereal (cebada) y su corto ciclo vegetativo hace que responda favorablemente a los tratamientos de fertilizantes, particularmente nitrogenados. Al respecto Molina (1989), indica que los efectos del nitrógeno en cebada son muy claros, produce un incremento del rendimiento en grano, normalmente a través del aumento del número de espigas por metro cuadrado, este incremento depende de otros factores, principalmente de la fertilidad general del suelo y de la disponibilidad de agua, así como la longitud del ciclo vegetativo y de condicionantes genéticas.

Gross (1986) señala que, el objetivo esencial de la fertilización nitrogenada ha de ser el de asegurar la continuidad de la nutrición nitrogenada de los cultivos, supliendo las deficiencias que se producen en el suministro de nitrógeno a partir de las reservas del suelo.

2.1.7. Fraccionamiento del Nitrógeno

Para Juscafresca (1980), el nitrógeno es el elemento que más influye en el desarrollo de las plantas; la aplicación de nitrógeno en exceso fomentará el desarrollo de la planta pero agotará rápidamente un cierto número de otros elementos de fertilizantes que son partes de las fuentes naturales del suelo.

Vigliola y Calot (1992) mencionan, que el nitrógeno debe proveerse al cultivo de la cebada en varias aplicaciones por su gran movilidad y pérdidas por lixiviación. Normalmente se efectúa una fertilización inicial y otra de fondo en varias aplicaciones suplementarias.

En los suelos ligeros se recomienda fraccionar la aplicación de nitrógeno para que sea utilizado con mayor eficiencia por la planta. Así mismo en las cebadas de invierno el nitrógeno debería aplicarse fraccionado entre otoño y primavera, con dosis más bajas en otoño para disminuir las pérdidas por lixiviación durante el invierno. Se recomiendan aplicaciones tempranas, preferiblemente de nitrato amónico cálcico, desde la fase de tres hojas hasta mediados del ahijamiento. La cantidad debe ser igual a la añadida en fondo, de manera que no se superen las 70-80 UF/ha en seco y las 100-120 en regadío o climas frescos, (Infoagro, 2004)

Gross (1986) menciona que, el nitrógeno actúa en la cebada no sólo sobre el número de tallos formados, sino sobre la altura de la panoja, favoreciendo el alargamiento de los entrenudos; sobre todo, la base y tanto más precoz es la aplicación de nitrógeno. Si se teme el encamado, se aportará el nitrógeno durante o al final del ahijado más bien que al principio, y retrasando la distribución hasta el encañado, el acortamiento

de la paja será aún más claro. La dosis de nitrógeno que se debe aplicar en el ahijado, dependerá del estado de densidad y de lo que se tenga intención de hacer o no en el encañado.

Tisdale (1970) menciona que, el nitrógeno tiene vital importancia para la nutrición de la planta y su suministro puede ser controlado por el hombre, este elemento, para ser absorbido por la mayoría de las plantas, debe ser en forma diferente que la del nitrógeno elemental.

2.2. Densidades de siembra

Según FAO (1961), las densidades de siembra de avena dependerán del nivel de producción y la cantidad de semilla disponible, cuando la semilla tiene 90 % o más de germinación, se utilizará de 80 a 100 kg/ha de semilla.

Para Chacón y Jutzi (1979), la cantidad de semilla a emplearse en la producción de forrajes varía significativamente en un lugar a otro, lo cual se encuentra en función del riego, calidad de la semilla y la fertilidad del suelo.

Carambula (1981), al referirse a la avena indica que la densidad depende de varios factores entre ellos el método de siembra, época de siembra y el hábito del cultivo, generalmente mientras más temprano se efectúa la siembra, y más pobre es el suelo y la densidad será menor. La población óptima por unidad de superficie estará de acuerdo con cada región agrícola con sus condiciones ecológicas y edáficas y también la variedad para producir el máximo de rendimiento (Robles, 1986).

Gutiérrez y Quintana (1987), empleando cuatro densidades de siembra de 40, 70, 100 y 130 kg/ha en Avena, Cebada y Triticale, obtuvieron los mayores rendimientos, con las mayores densidades, pero la prueba de Duncan al 5 % de posibilidad no mostró diferencias significativas en los niveles de 70, 110 y 130 kg/ha

Según Odum (1971), la densidad de población es una magnitud de la relación con alguna unidad de espacio, se suele verificar y expresar como el número de individuos o la biomasa de la población por la unidad de superficie o de volumen. Dentro de estos límites la densidad variará de acuerdo con la acción recíproca con otras especies (competición) y con la acción de los factores físicos limitativos. Sin embargo la baja densidad de población, con plantas de porte bajo y área foliar relativamente escasa puede ocurrir dar una mejor distribución y consiguientemente absorción de energía para transformar en grano (Sánchez y Fukusaki, 1974).

Bengtson (1971), citado por Freire (1975) quien al referirse a la densidad hace mención a los resultados de experimentos y entre las conclusiones que saca de ellos se puede indicar: Al aumentar la densidad de siembra se redujo el macollaje, pero incremento la producción y el número de espigas por unidad experimental de superficie, las densidades óptimas fueron 200 kg/ha trigo y 170 kg/ha en cebada.

2.3. Características generales del cultivo

La clasificación taxonómica de la cebada, según Robles (1990) es la siguiente:

Reino	:	Vegetal
División	:	Tracheophyta
Sub división	:	Pteropsidae
Clase	:	Angiospermae
Sub clase	:	Monocotyledonae
Grupo	:	Glumiflora
Orden	:	Graminales
Familia	:	Graminae
Género	:	Hordeum
Especie	:	vulgare

La morfología del cultivo de cebada de acuerdo a Infoagro (2004) es:

Hojas: la cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro, la planta de cebada suele tener un color verde más claro que en el trigo y en los primeros estadios de su desarrollo la planta de trigo suele ser más erguida.

Raíces: el sistema radicular es fasciculado, fibroso y alcanza poca profundidad en comparación a otros cereales, se estima que un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo y que las raíces apenas alcanzan 1.20 m de profundidad.

Tallo: el tallo es erecto, grueso, formado por unos seis u ocho entrenudos, los cuales son más anchos en la parte central que en los extremos junto a los nudos. La altura de los tallos depende de las variedades y oscila desde 0.50 cm un metro.

Flores: las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. Es autógama. Las flores abren después de haberse realizado la fecundación, lo que tiene importancia para la conservación de los caracteres de una variedad determinada.

Fruto: el fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada.

De acuerdo a Migliorini (1984), la planta de la cebada es de color verde claro, más baja que el trigo (60-90 cm), de tallos erectos y cilíndricos, formando una espesa vegetación; hojas lanceoladas, de 25 cm de longitud y 1-1.5 cm de ancho, con espigas que llevan tres espiguillas en cada diente, cada uno produce una sola flor.

En el caso de la cebada forrajera, Marca (1989), señala que el desarrollo alcanza hasta la fase de grano lechoso, es decir cuando la espiga presenta un 20% a 30% de grano lechoso; el crecimiento vegetativo normal oscila entre 160 y 190 días.

2.3.1. Fases fenológicas del cultivo

Según Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (1989), las fases son:

- **Emergencia:** Aparición de las plantas con 1 a 2 hojas
- **Macollamiento:** Cuando el 50% de las plantas han macollado, es decir tiene brotes o retoños; en la práctica la aparición de la 4ta hoja indica el inicio del macollamiento.
- **Entallecimiento:** Cuando el 50% de las plantas presentan el primer nudo a dos o tres centímetros sobre el suelo.
- **Embuchamiento:** La espiga evidente, envuelto dentro la hoja superior formando la llamada hoja bandera.
- **Espigado:** Cuando el 50% de las plantas tienen espigas completamente libres de la vaina foliar.
- **Floración:** Cuando en el 50% de las espigas las florcillas se abren, el polen se desprende.
- **Grano lechoso:** Cuando el 50% de las espigas presentan granos que al ser presionados con la uña revientan y sale un líquido de color blanco. El ovario fecundado alcanza el tamaño de la semilla madura.
- **Grano pastoso:** Cuando el 50% de las espigas presentan granos que al ser presionados con la uña, presentan resistencia. El contenido del ovario se solidifica.
- **Madurez fisiológica:** Cuando el 50% de las plantas presentan el pedúnculo de color amarillo.

En caso de la cebada forrajera se evalúa hasta la fase fenológica de grano lechoso, es decir cuando la espiga presenta un 20 a 30% de grano lechoso, por presentar un buen porcentaje de proteína en las hojas y tallos (Quispe, 1999).

2.3.2. Estados de desarrollo y crecimiento

Sebillote (1987) expresa que, el conjunto de modificaciones cualitativas de la planta comprende desde la emergencia hasta la aparición de nuevos órganos, se define como “desarrollo “: la edad de una planta se puede determinar desde su germinación hasta las diferentes etapas de desarrollo.

Para Torrez (1987), los cambios morfológicos que existen en ciertos cereales son; la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales se llama “estados o fases de desarrollo”. Estos estados son fácilmente observables visualmente sin realizar una disección de la planta, pero estos estados de desarrollo están ligados en parte a fenómenos externos.

Los cambios morfológicos existentes en cereales descritos por Jenssen y Roal Lundi, citados por Amurrio (1992) son denominados etapas de crecimiento de los granos pequeños y son consideradas las siguientes:

- Plántulas
- Macollamiento
- Anudamiento
- Embuchamiento
- Espigamiento
- Floración
- Llenado del grano
- Estado lechoso
- Masa suave
- Masa fuerte
- Semilla madura
- Semilla completamente madura

Sebillote (1987) expresa que, el conjunto de modificaciones cualitativas de la planta que comprende desde la germinación hasta la aparición de nuevos órganos, se define como desarrollo. La edad de una planta se puede determinar ya sea en días, desde su germinación hasta las diferentes etapas de su crecimiento. Los diferentes órganos de la planta tienen una vida autónoma que implica después de la inducción, la iniciación, el crecimiento activo, el estado funcional, la senescencia y la muerte. Cada órgano tiene también una edad, pero la edad no está sistemáticamente ligada a la edad de la planta entera.

Stransburger (1989), citado por Mamani (1996), señala que el desarrollo de un ser vivo comprende procesos de crecimiento y diferenciación, entendiéndose por crecimiento el aumento irreversible de la masa o del volumen; siendo en cambio la diferenciación, una variación cualitativa de la forma o función. Mientras Fernández y Johnston (1986), complementan a la definición de crecimiento y señalan que las células aumentan en número y/o tamaño, dicho fenómeno no es uniforme en toda la planta ya que se encuentran localizadas en las zonas meristemáticas.

2.3.3. Requerimientos Edafoclimáticos

Los factores edafoclimáticos de mayor significancia son:

Clima

Las exigencias en cuanto al clima son muy pocas, por lo que el cultivo de cebada se encuentra muy extendido, aunque crece mejor en los climas frescos y moderadamente secos. La planta de cebada requiere menos unidades de calor para alcanzar la madurez fisiológica, por ello alcanza altas latitudes y altitudes (Infoagro, 2004).

Según Coulombe y Apaza (1982), plantean que la cebada es tolerante a la sequía, requiere como mínimo 350 a 400 mm de precipitación durante su ciclo vegetativo, siendo necesario, la presencia de lluvias para que las semillas puedan germinar.

Temperatura

Para germinar la planta de cebada necesita una temperatura mínima de 6°C. Florece a los 16°C y madura a los 20°C. Tolera muy bien las bajas temperaturas, ya que puede llegar a soportar hasta -10°C. En climas donde las heladas invernales son muy fuertes, se recomienda sembrar variedades de primavera, pues éstas comienzan a desarrollarse cuando ya han pasado los fríos más intensos (Infoagro, 2004).

Suelo

La cebada prefiere tierras fértiles, pero puede tener buenas producciones en suelos poco profundos y pedregosos, con tal que no se registra deficiencia de agua al comienzo de su desarrollo. No da bien en los terrenos demasiado arcillosos y tolera bien el exceso de salinidad en el suelo. Los suelos arcillosos, húmedos y encharcadizos, son desfavorables para la cebada, aunque en ellos se pueden obtener altos rendimientos si se realizan buenos laboreos y se conserva la humedad del suelo. Los suelos con excesivo nitrógeno inducen el encamado e incrementan el porcentaje de nitrógeno en el grano. En cuanto al calcio, la cebada es muy tolerante, vegetando bien incluso en suelos muy calizos, por lo que muchas veces a este tipo de suelos es corriente llamarlos “cebaderos”, si bien tiene un amplio margen en cuanto a tolerancia de diferentes valores de pH (Infoagro, 2004).

Según Coulombe y Apaza (1982), mencionan que la cebada se adapta mejor en suelos de consistencia media (franco), la buena capacidad de retención de humedad; en cambio su rendimiento es bajo en suelos arenosos, ya que las mejores producciones se han obtenido en suelos franco-arcillosos, franco arenoso, la cebada es adaptable a suelos con 5.8 a 7.7 de pH.

2.4. Causas de infertilidad de suelos

Según FAO (1996), la mayoría de los agricultores no cuentan con un conocimiento conceptual acerca de la dinámica de la fertilidad de los suelos, lo que contribuye al hecho de que la mayor parte de los suelos agrícolas del Altiplano Bolivia tengan un contenido bajo de materia orgánica (menor a 2%).

2.5. Macollaje

En un trabajo realizado con cebada en la Estación Experimental de Patacamaya, por Mendieta (1979) encontró que el mayor rendimiento de forraje está relacionado con el mayor número de macollos producidas por la planta. Sin embargo, un mayor o menor número de macollos está en función a una disponibilidad apropiada del nitrógeno en el suelo. Así mismo concluyó en ensayos comparativos en la producción de forraje en variedades de avena y triticale determinando que el rendimiento está estrechamente ligado al mayor número de macollos, entre las variedades y líneas; SEFO 1.87/97 y Texas, que presentaron 5 macollos por planta, Gaviota 85/65 solo con 4 macollos por planta. En estudio de especies y variedades de Avena, Cebada y Triticale para la producción de forraje en la Estación Experimental de Choquenaira bajo las condiciones de secano, encontró en promedio de 6, 5 y 3 macollos por planta en las especies estudiadas (Quispe, 1999).

2.6. Altura de la planta

La altura de la planta es un indicador de la producción de forrajes y se utiliza en especies forrajeras perennes como anuales, para evaluar su producción (Robles, 1990). Mientras Sauma (1997), indica que en los trabajos realizados en la empresa de semillas forrajeras "SEFO-SAM" de Cochabamba, han obtenido un promedio de altura de planta para la cebada variedad IBTA-80 hasta 140 cm.

2.7. Índice de área foliar (IAF)

Rodríguez (1991), señala que en las especies forrajeras con el transcurso del tiempo, el autosombramiento es muy importante; en efecto, cuando el IAF se encuentra alrededor de 3 a 5 dm^2/m^2 , las plantas son cortadas para la producción de heno, o simplemente se colocan los animales para pastar; en este estado existe inclusive una mayor palatabilidad para el ganado. Existen casos de fertilización nitrogenada que inducen a altos IAF; pero, determinan una baja productividad económica, debido al autosombramiento y él acame. Lo mismo podría ocurrir con el aumento de la densidad de plantación.

Hill (1987), indica que el desarrollo del área foliar, esta en función a la temperatura, que es el factor ambiental más importante, este gobierna al desarrollo de la planta, la misma que tiene sus efectos en los procesos de absorción de nutrientes esenciales, participando juntamente la fotosíntesis y la respiración.

2.8. Materia Seca (MS)

Según Sebillote (1987), el incremento de la planta se debe a un fenómeno complejo, donde a cada instante la materia seca es proporcional a aquel que ya existe.

Robles (1986), indica que la biomasa de las plantas en el campo es determinada, no solamente como masa verde, sino también como la materia seca. Por esta razón las plantas frescas deben ser secadas en un horno de desecación (a 105°C durante 24 horas o 70°C por 48 horas) hasta que el peso de la muestra llegue a ser constante.

2.8.1. Rendimiento de Materia Seca de la Cebada

Según Prieto et al (1992), en la Estación Experimental de Patacamaya obtuvieron rendimientos de materia seca para el cultivo de cebada forrajera (Var. IBTA-80) 2.06 ton/ha aplicando un fertilizante químico a una densidad de siembra de 100 kg/ha en

un sistema de siembra por surcos a chorro continuo. También en la misma Estación Experimental Laura et al. (1992), obtuvieron rendimientos de materia seca para el cultivo de la cebada forrajera (IBTA 80) de 2 – 5 ton/ha con diferentes tipos de abonos (estiércol de ovino, llama y bovino con adición de fósforo).

Tapia (1971), estableció que cuando los forrajes se siegan a intervalos y a periodo frecuentes, es menor el rendimiento, que cuando se deja desarrollar hasta la fase óptima de siega. Los cortes demasiado frecuentes y pastoreos intensivos de las plantas más altas puedan reducir severamente su vigor por el agotamiento de las reservas en sus raíces. Esto no solo reduce el rendimiento, sino que puede llegar incluso a producir la muerte de la planta.

La variedad de cebada IBTA-80 fue liberada en el año 1984, con un rendimiento promedio en materia seca de 5.25 ton/ha, con un ciclo de producción de 76 días como forraje y la madurez fisiológica fueron alcanzados a los 97 días y una altura de 94 cm por planta (SEFO, 1997). Con respecto a la misma variedad del cultivo de cebada Cortés (1994), reporta rendimiento promedio de 9.1 ton/ha. En ensayos realizados en la localidad de Turco – Oruro. En otras áreas más aptas la variedad IBTA –80 tiene un rendimiento promedio en materia seca de hasta 5.25 ton/ha (Sauma, 1997).

2.9. Calidad del forraje

Según Maynard (1975), recomienda para obtener un buen forraje de excelente calidad este debe ser segado y preparado el heno con plantas que estén en una fase relativamente temprana, pues el porcentaje de proteína y digestibilidad se reducen sensiblemente a medida que avanza el desarrollo de las plantas. Según Verastegui (1987), la cebada forrajera como todos los cereales menores son relativamente pobres en proteína, pero que se puede conseguir un nivel apropiado si el corte se realiza en las primarias fases del crecimiento y además su utilización como heno, es la forma en que mejor se acomoda. La cebada se puede utilizar como forraje verde,

pero desafortunadamente su periodo de utilización no pasa de los diez días si se desea mantener su succulencia y calidad como forraje.

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo se llevó a cabo en la comunidad de Khasa Achuta, que pertenece al municipio de Tiahuanaco, tercera sección municipal de la provincia Ingavi del departamento de La Paz, a 86 km de distancia de la ciudad de La Paz. (figura 1).

Ubicada a 16°40' latitud Sur, 68°57' longitud Oeste. Su altitud promedio es de 3840 m.s.n.m. Este municipio tiene una extensión territorial de 640.1 km² y fisiográficamente el 59.8% de su superficie son llanuras, el 17.7% colinas y el 22.45 % corresponde a serranías (Montes de Oca, 1997).

3.2. Características Ecológicas

3.2.1. Clima

En la zona se presentan bajas precipitaciones que oscilan de 150 – 300 mm/año, con una temperatura media de 7.8 ° C y la velocidad de viento fluctúa entre 2 a 5 nudos (SENAMHI, 1993 citado por Mamani, 1994). Clima semiárido templado, con invierno seco fijo, con una temperatura media anual de 7.9°C, temperatura máxima extrema de 17.6°C, temperatura mínima extrema -2°C. La precipitación media anual es de 626 mm/año (PROSUKO, 1997 citado por Callisaya, 1999).

3.2.2. Suelo

UAC (1990) y Atlas Estadístico de Municipios de Bolivia (2000), coinciden que los suelos de Tiahuanaco son suelos aptos para la agricultura y ganadería, aunque parte

de ellos tienen un alto grado de erosión, con pendientes suaves a moderados con una textura fina que va de franco arenosa a arcillo arenosa. Presenta una topografía

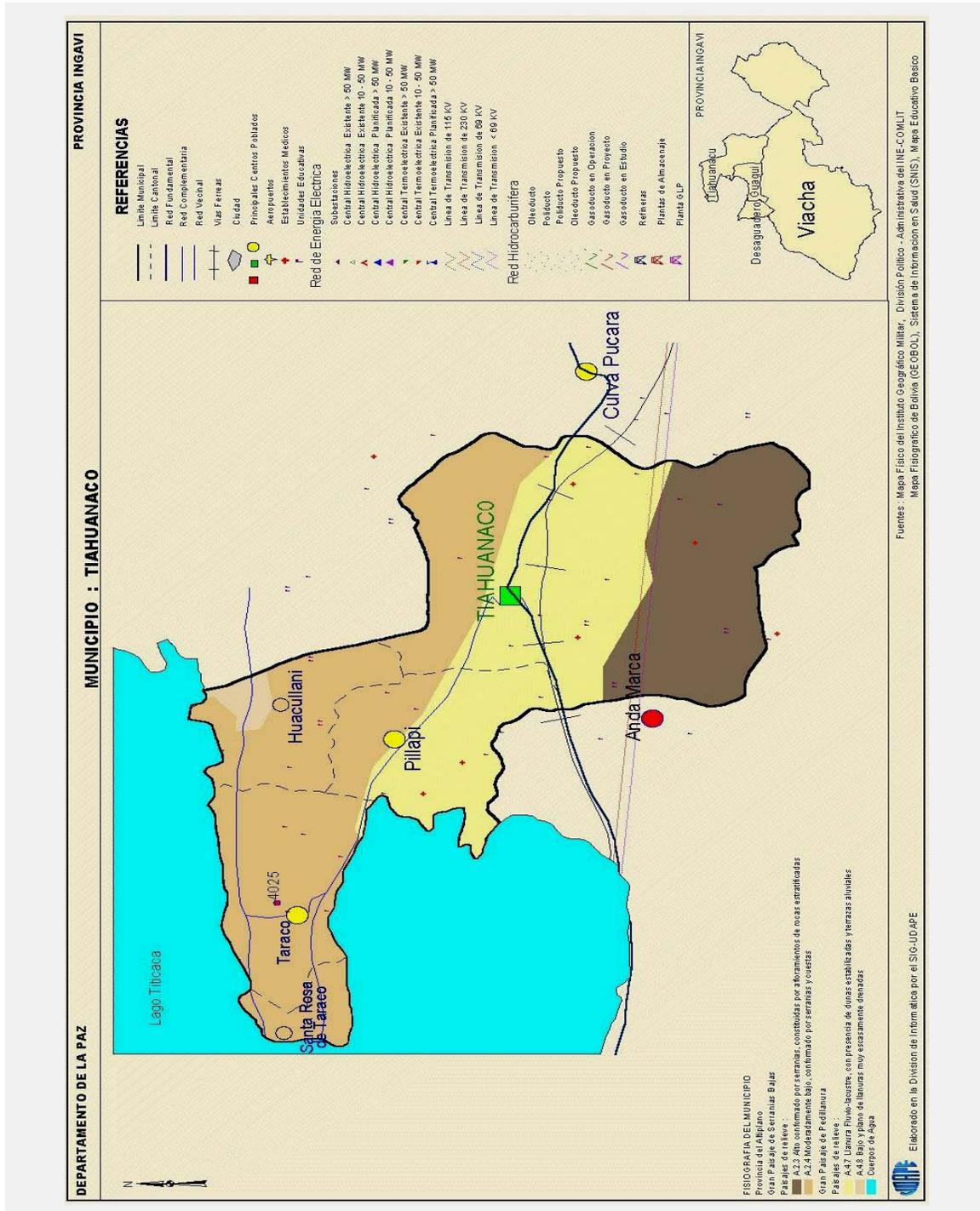


Figura 1. Mapa del Municipio de Tiahuanaco

suavemente ondulada, con permeabilidad que varía de moderado a poco permeable, típica del altiplano. El tipo de suelo que predomina en la zona es franco arcilloso limoso y franco arcilloso, con un pH de 7.19 y materia orgánica de 2.25%. (IBTEN, 2004)

3.2.3. Vegetación y cultivos

La agricultura en la zona es del tipo tradicional, siendo los principales cultivos andinos, como: Papa, oca, cebada, quinua, haba, etc. (Atlas Estadístico de Municipios de Bolivia, 2000). Se puede observar también una vegetación de predominancia nativa, que generalmente crece durante la época lluviosa, representados por: paja brava (*Festuca orthophyla*), totorilla (*Muhlenbergia fastigiata*), ichu (*Stipa ichu*), reloj-reloj (*Erodium cicutarium*), mostaza (*Brassica alba*) y otros. (Mamani, 1994)

3.2.4. Ganadería

Las especies animales presentes en la zona están: *Bos taurus* (bovino) y *Ovis aries* (ovino); por otro lado, la crianza del ganado bovino lechero y el ganado ovino en general lo destinan para la producción de carne y lana, en la zona también introdujeron nuevas especies de ganado bovino para la producción de leche (Atlas Estadísticos de Municipios de Bolivia, 2000).

3.2.5. Economía

La actividad económica de los agricultores de la zona, es generada por la producción ganadera y la comercialización del ganado bovino. La actividad agrícola se considera como secundaria debido a factores climáticos (heladas, sequía y temperatura) adversos y por los bajos precios en el comercio interno de estas regiones de los productos agrícolas que existen.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Material vegetal

Dentro el material vegetal utilizado en el estudio se encuentra:

Variedad IBTA 80

Esta variedad en 1984 fue una de las sobresalientes por sus altos rendimientos promedios en Materia Seca es de 5.2 ton/ha y en semillas es de 3.2 ton/ha (CIF, 1993). Así como por su adaptabilidad a diferentes ecorregiones. Entre las características de esta variedad IBTA 80 se tienen: maduración fisiológica intermedia de 90 días, la altura de la planta alcanza a 0.94 m caracterizándose como moderado, el grado de formación de macollos (5 tallos por planta).

Su coloración es verde intenso. Las espigas y espiguillas están insertos sobre el raquis central, las glumas tienen desarrollo de caudas. Los granos son de tamaño grande de forma fusiforme, textura muy lustrosa de color amarillo claro.

4.2. Material de campo

- Herramientas de campo (picota, chuntilla y pala)
- hoz
- balanza de peso
- cinta métrica
- bolsas negras de polietileno
- lienzos
- estacas
- yute
- marbetes

Maquinaria:

- tractor agrícola con sus respectivos implementos.

4.3. Material de gabinete y escritorio

Computadora, impresora, disquettes, pintura al aceite, libretas, acetatos, películas para fotografías, cámara fotográfica y películas o rollos para diapositivas.

Insumos:

* Urea: Es un órgano de síntesis, que tiene un 46 % de nitrógeno. Además de fácil asimilación por la planta

4.4. Metodología

La metodología empleada en el presente trabajo comprende:

4.4.1. Recolección de muestra de suelo

Se recolectó sub muestras a 20 cm de profundidad por el método del zigzag (Chilon, 1994). Los cuales fueron nivelados para tener una muestra representativa (1 kg) y sometida a un análisis químico y físico.

4.4.2. Procedimiento experimental

En el procedimiento experimental se realizó las siguientes actividades:

Preparación del terreno: En la tercera semana de diciembre del 2003 se procedió a la habilitación de 1849.89 m² del terreno, las unidades experimentales fueron delimitados con un flexómetro, lienzo de plástico y estacas (Figura 1). La preparación del terreno se realizó usando un tractor para el roturado, rastreado y mullido, se niveló en forma manual, con una pendiente aproximada de Este-Oeste del 2%.

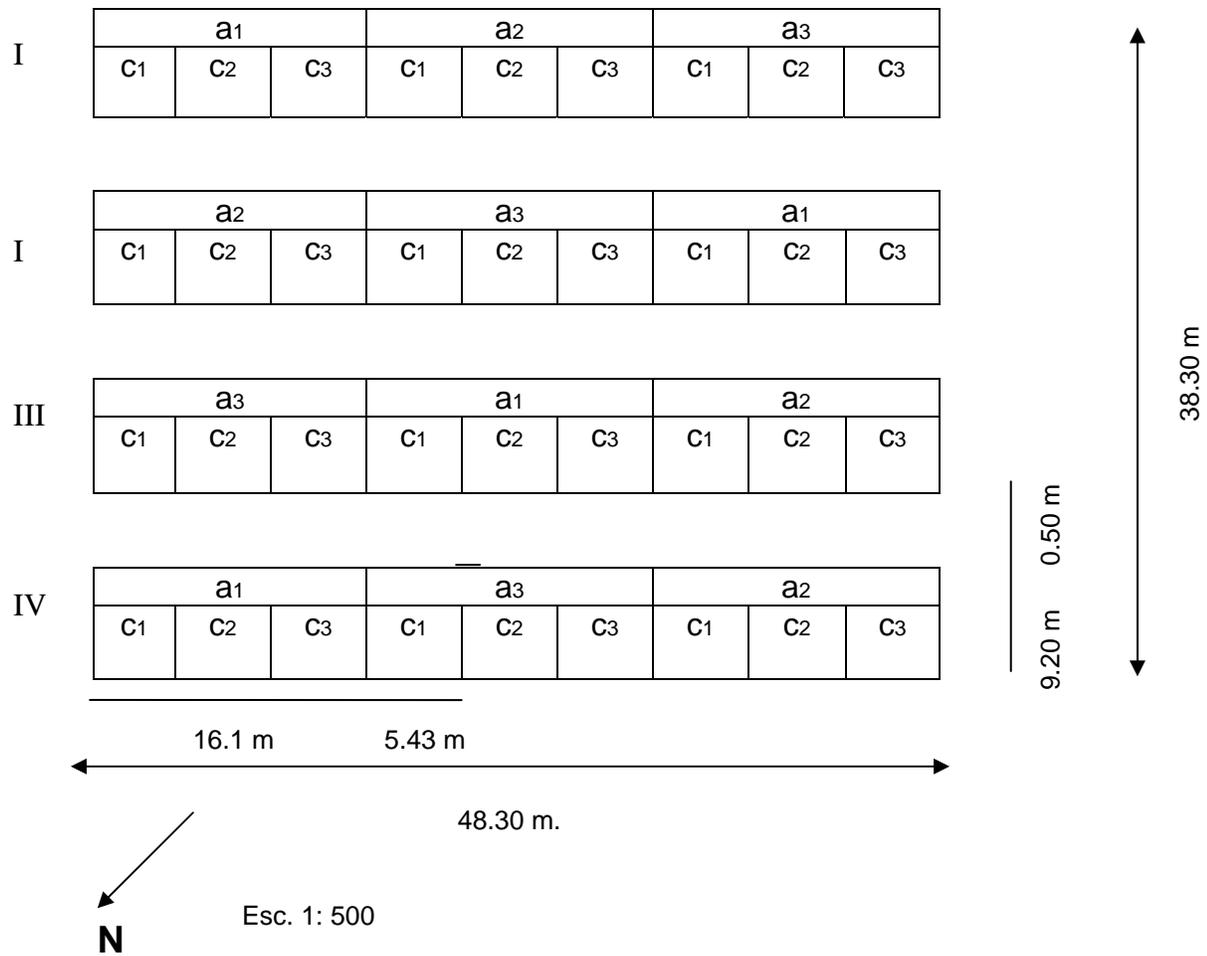
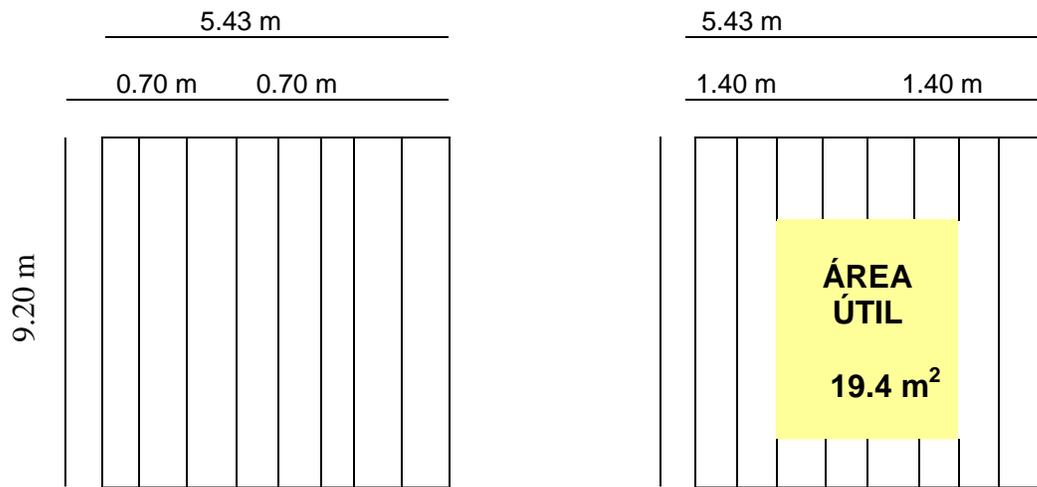


Figura 2. Croquis del experimental

Croquis de la Unidad experimental y el área útil



Esc. 1: 20

Fertilización Nitrogenada

La aplicación se llevó a cabo en dos fases: *La primera*, se realizó antes de la siembra, colocando a chorro continuo, de acuerdo a los niveles de fertilización calculados (0 – 80 – 40 kg N). *La segunda*, se realizó cuando la planta tenía el 50% de macollamiento, colocando en forma directa a los surcos (0 – 0 – 40 kg N)

Siembra

La siembra se realizó en tres fechas el 30 de diciembre del periodo 2003; el 2 y 7 de enero del 2004, se realizó el surcado con yunta .y la distribución de la semilla se realizó a chorro continuo sobre el surco, donde las densidades empleadas fueron las siguientes:

a_1 : 70 kg/ha

a_2 : 100 kg/ha

a_3 : 130 kg/ha

Posteriormente las semillas fueron cubiertas con una capa fina de tierra. Las densidades utilizadas en este trabajo de investigación están de acuerdo a otros trabajos de investigación realizados en los departamentos de Potosí y Cochabamba y por recomendaciones técnicas.

Prácticas culturales

Dentro de las actividades realizadas se mencionan: Deshierbes y aporques de especies consideradas malezas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, no se observó presencia de plagas, ni de enfermedades, no fue necesario suplementar el riego debido a la buena distribución de lluvias.

Marbeteado de las plantas

Se identificó plantas al azar por sub unidad, marcándolas con marbete de color rosado, con el objetivo de una mejor visibilidad, para evitar confusiones en la toma de datos agronómicos durante el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Cosecha

La cosecha (corte), se realizó en forma manual con la ayuda de hoces, se realizó cuando el cultivo se encontraba con el 50% de grano lechoso, lo cual indica que estaba apto para la cosecha. En los tratamientos se efectuaron cortes en los cuatro surcos centrales de cada sub parcela, dejando 1 m en ambas cabeceras del surco, para eliminar el efecto de bordura.

Concluido la cosecha se procedió el pesaje de la materia verde en la parcela útil con una balanza para cada unidad experimental, inmediatamente se procedió al secado natural. Pasado un mes bajo condiciones de sombra se procedió al pesaje en materia seca.

4.4.3. Factores de estudio

Los factores de estudio empleados fueron:

Factor A: Densidad de siembra

a1: 70 kg/ha de semilla

a2: 100 kg/ha de semilla

a3: 130 kg/ha de semilla

Factor C: Aplicación fraccionada de Nitrógeno

c1: 0 kg de nitrógeno Testigo

c2: 80 kg de N una sola aplicación en la siembra

c3: 40 kg de N en la siembra

40 kg de N macollamiento

4.4.4. Diseño Experimental

El diseño experimental utilizado fue: Diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas (Guzmán, 2003), este diseño se lo aplicó con el objetivo de controlar mejor los dos factores en estudio (densidad de siembra y fraccionamiento de nitrógeno). Por tanto tiene mayor importancia el tratamiento en subparcelas en donde se encuentra el Factor "C" (fraccionada de nitrógeno) y con menor importancia al estudio el Factor "A" (densidades) por lo que se colocó en parcelas grandes o principal. Se formaron cuatro bloques para obtener cuatro repeticiones por tratamiento. En cada bloque se sortearon al azar los nueve tratamientos (Cuadro 1) en total se contaron 36 unidades experimentales (Calzada, 1970).

Modelo aditivo lineal:

El presente modelo corresponde aun diseño de Bloques al Azar con Parcelas Divididas, con dos factores, cuatro bloques, muestran la interacción de dichos factores (Guzmán, 2003).

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

Donde:

- μ = Media total
- β_j = Efecto de la j-ésima bloque
- α_i = Efecto del i-ésimo densidad de siembra
- ε_{ij} = error de la parcela principal
- γ_k = Efecto de la k-esima tratamiento de fraccionamiento de nitrógeno
- $(\alpha\gamma)_{ik}$ = Interacción entre fraccionamiento de nitrógeno por densidad de siembra
- ε_{ik} = error de la sub parcela

Cuadro 1. Formulación de Tratamientos

Código	Descripción
T1 $a_1 * c_1$	Densidad 1 (70 kg/ha) * Nivel 1 sin fertilización (0 kg N)
T2 $a_1 * c_2$	Densidad 1 (70 kg/ha) * Nivel 2, una sola aplicación de nitrógeno en la siembra (80 kg N)
T3 $a_1 * c_3$	Densidad 1 (70 kg/ha) * Nivel 3, dos aplicaciones de nitrógeno en forma fraccionada; la primera aplicación fue en la siembra (40 kg N) y la segunda aplicación fue en el macollamiento (40 kg N)
T4 $a_2 * c_1$	Densidad 2 (100 kg/ha) * Nivel 1 sin fertilización (0 kg N)
T5 $a_2 * c_2$	Densidad 2 (100 kg/ha) * Nivel 2, una sola aplicación de nitrógeno en la siembra (80 kg N)
T6 $a_2 * c_3$	Densidad 2 (100 kg/ha) * Nivel 3, dos aplicaciones de nitrógeno en forma fraccionada; la primera aplicación fue en la siembra (40 kg N) y la segunda aplicación fue en el macollamiento (40 kg N)
T7 $a_3 * c_1$	Densidad 3 (130 kg/ha) * Nivel 1 sin fertilización (0 kg N)
T8 $a_3 * c_2$	Densidad 3 (130 kg/ha) * Nivel 2, una sola aplicación de nitrógeno en la siembra (80 kg N)
T9 $a_3 * c_3$	Densidad 3 (130 kg/ha) * Nivel 3, dos aplicaciones de nitrógeno en forma fraccionada; la primera aplicación fue en la siembra (40 kg N) y la segunda aplicación fue en el macollamiento (40 kg N)

4.4.5. Dimensiones del campo experimental

Nº de surcos por subparcela8
Nº de surcos por parcela grande 24
Distancia entre surcos 0.70 m
Distancia entre parcelas 0.70 m
Distancia entre bloques 0.50 m
Área de la parcela 148.12 m ²
Área del ensayo 1,849.89 m ²
Número de bloques 4

4.4.6. Variables de Respuesta

Las variables empleadas se clasificaron en dos grupos:

4.4.6.1. Variables agronómicas

Se seleccionó 5 plantas al azar por sub-unidad experimental a lo largo de los surcos centrales. Las plantas se marcaron con marbetes de color rosado; de manera que se realizaron en las mismas plantas durante todo el desarrollo del estudio, según la metodología de Doneen (1972) y Gutiérrez (2000).

Altura de la planta: La altura de planta se midió en el tallo principal de cada planta, desde la base del tallo hasta la punta de la espiguilla, incluyendo la barba, efectuándose muestreos de cada unidad experimental para luego obtener un promedio.

Número de hojas por planta: Se realizó el recuento de hojas de las plantas, desde el momento de aparición de las primeras hojas hasta la aparición de la hoja bandera.

Número de macollos por planta: El recuento de los macollos se realizó en el estadio del crecimiento de la planta, desde la aparición del 50% de macollos en la parcela hasta la cosecha.

Índice de área foliar: Las plantas se dispusieron por tamaño: pequeño, mediano y grandes en cada grupo identificado donde se extrajo cinco plantas, para medir el ancho (en la parte central) y largo en centímetros de las hojas muestradas; estos valores se multiplicaron con el factor 0.75 y se relacionó con el número de hojas / tallo, el número de tallos / planta y el número de plantas/m².

A continuación se muestra la relación:

$$\text{Área foliar (AF)} = \text{Ancho de hoja} \times \text{largo de hoja} \times 0.75$$

El Índice de área foliar se define como la relación entre el área foliar de la planta y la superficie del suelo ocupado por la planta y se expresa en dm²/ m².

Donde:

$$\text{Superficie del suelo} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{n}^{\circ} \text{ de hojas}$$

Matos (2002).

$$\text{IAF} = \frac{\text{AF por planta}}{\text{Área suelo por planta}}$$

Rendimiento de materia verde por tratamiento: Después del corte de la cebada en cada unidad experimental, se procedió al pesaje de la materia verde, para el mismo se utilizó una balanza de reloj, los pesos obtenidos fueron expresados en términos de ton/ha.

Rendimiento de materia seca por tratamiento: Después del peso de materia verde, la cebada se seco durante 35 días bajo sombra, transcurrido ese tiempo se procede al pesaje, para el cual se utiliza una balanza reloj.

4.4.6.2. Variables fenológicas

Número de días a la emergencia: Se contabilizó cuando el 50 % de las plantas de los distintos tratamientos emergieron coincidiendo con la aparición de las tres primeras hojas. Esto sucedió a los 8 días después de la siembra, pero hubo variaciones de acuerdo a los distintos tratamientos.

Número de días al macollamiento: Se tomaron datos en el momento en que el cultivo presentaba un 50 % de macollamiento.

Número de días al encañado: Se midió de acuerdo al enderezamiento de tallos a los 76 días después de la siembra. Pero no todos fueron al mismo tiempo, esto por los distintos tratamientos que se aplicaron en este trabajo de investigación.

Número de días al espigamiento: Se tomaron datos cuando el 50 % de las plantas tenían formación de la espiguilla, a los 94 días aproximadamente.

4.4.7. Análisis de costos parciales de producción

Los costos parciales de producción son los costos utilizados en el trabajo de campo. Este análisis económico se realizó de acuerdo al manual metodológico de evaluación de CYMMYT. (Perrin 1989), que permitió calcular los costos de producción para cada ensayo experimental con el objetivo de identificar los tratamientos con mayor beneficio, todos estos se calcularon por hectárea.

Beneficio bruto

El beneficio bruto es la relación entre el rendimiento ajusta por cada tratamiento multiplicado por el precio de campo (el valor de un kg para el agricultor)

$$\mathbf{BB = R * P}$$

BB = Beneficio bruto
R = Rendimiento ajustado
P = Precio de campo

Beneficio neto

Para él calculo se consideró la relación del benéfico bruto restando el total de costos variables.

$$\mathbf{BN = BB - TC}$$

BN = Beneficio neto
TC = Total de costos variables de producción

Análisis de Dominancia

Para el análisis de dominancia, se ordenaron los tratamientos de menor a mayor, para el cálculo de la variación en los costos totales. Se dice que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.

Tasa de Retorno Marginal

Es la relación beneficio neto en el primer nivel del tratamiento no dominado, restando el beneficio neto del segundo tratamiento no dominado; dividido entre los costos variables del primer nivel del tratamiento no dominado y en el segundo nivel, esto expresado en porcentaje, indicando lo que el agricultor puede esperar ganar en el presente trabajo de investigación.

$$\text{TRM} = (\text{BN1} - \text{BN2} / \text{CV1} - \text{CV2}) * 100$$

TRM = Tasa de retorno marginal

BN1 = Beneficio neto en el primer nivel de tratamiento, no dominado

BN2 = Beneficio neto en el segundo nivel del tratamiento no dominado

CV1 = Total de costos variables en el primer nivel del tratamiento no dominado

CV2 = Total de costos variables en el segundo nivel del tratamiento no dominado

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento agroclimático

El comportamiento agroclimático que consiste en la temperatura, precipitación y humedad, de la campaña agrícola 2003-2004, en el cual se realizó la presente investigación

En la figura 2, se observa la variación de temperatura, en el lugar donde se realizó el trabajo de investigación registrándose una temperatura mínima durante el ciclo de crecimiento del cultivo de -3.1°C en el mes de mayo, donde el cultivo se encontraba en la fase de espigamiento y una temperatura máxima de 19.5°C .

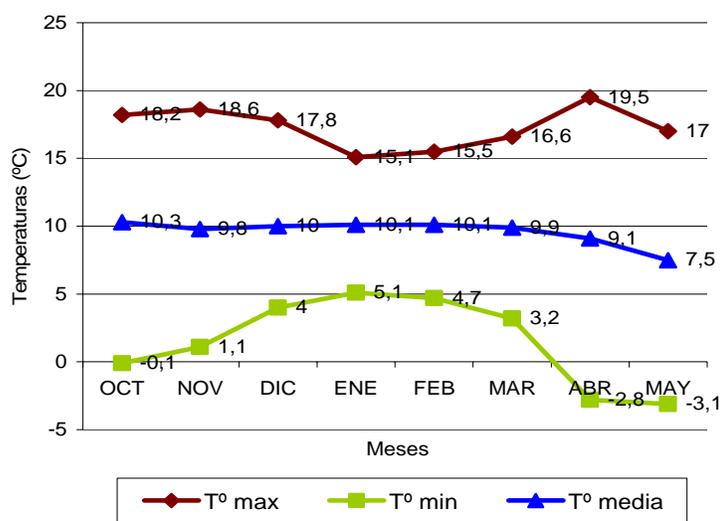


Figura 3. Temperaturas máximas, mínimas y medias del Municipio de Tiahuanaco

Infoagro (2004), señala que los granos de cebada para germinar necesitan una temperatura mínima de 6°C , florece a los 16°C y madura a los 20°C , puede tolerar bajas temperaturas mínimas de hasta -10°C . En lugares donde las heladas invernales son muy fuertes.

En la figura 3, se observa que las precipitaciones durante el ciclo del cultivo (diciembre-mayo), fueron variadas donde la máxima precipitación se dio en el mes de enero con 142.9 mm y la mínima en el mes de mayo con 9.4 mm.

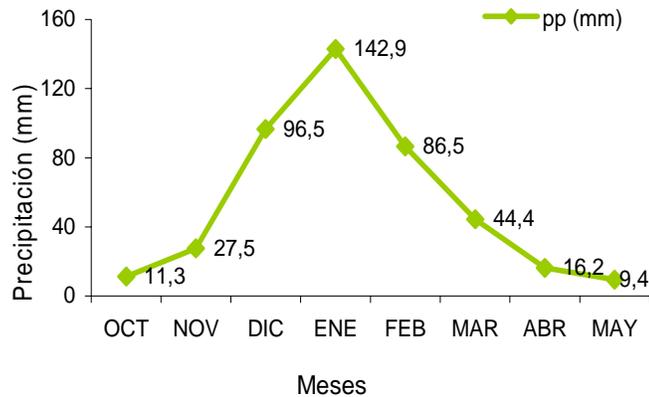


Figura 4. Precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo de cebada

Las precipitaciones en el periodo de crecimiento fueron adecuadas, porque el cultivo en el inicio del crecimiento necesita abundante agua; sin embargo, se tuvo un déficit de agua en el mes de marzo. Lo que confirman Coulombe y Apaza (1982), indicando que la cebada es tolerante a la sequía, requiere un mínimo de 350 a 400 mm de precipitación durante su ciclo vegetativo, siendo necesarias, la presencia de lluvias para que sus semillas puedan germinar.

La figura 4, muestra la humedad relativa en el trabajo de investigación durante el ciclo de crecimiento del cultivo fue de 79 –56 %, este rango nos muestra que contribuyó a los días de déficit de agua y evitó que la planta muriera en algunos casos.

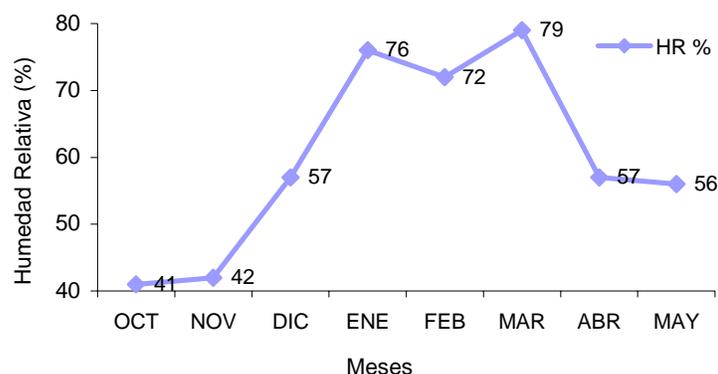


Figura 5. Humedad Relativa durante el crecimiento de cebada

5.2. Análisis de Suelo

El cuadro 2, resume las características físico – químicas del suelo donde en las muestras efectuadas se encontró: textura franco arcillosa, tiene un 2.25 % de materia orgánica, que es un contenido relativamente bajo en comparación a otros suelos de Bolivia, tiene un C.I.C. de 23.36 meq/100gr, donde el tipo de arcillas y la materia orgánica generan una alta capacidad de intercambio catiónico (Chilón, 1997).

Cuadro 2. Análisis físico – químico del suelo para el cultivo de cebada

N° Lab.	CODIGO	AREN A %	ARCILL A %	LIMO %	CLASE TEXTURA L	GRAV A %	CARBO NATOS LIBRES	pH en agua 1.5	pH en KCL 1N 1.5	C.E. mS/cm
270/2004	Muestra de suelo	22	31	47	FY	0.2	PP	7.19	7.10	2.501

CATIONES DE CAMBIO(meq/100 gr suelo)							SAT. BAS. %	M.O. %	N TOTAL %	P Asim ppm
Al + H	Ca	Mg	Na	K	TBI	CIC				
0.18	21.02	1.42	0.30	0.62	23.36	23.54	99.24	2.25	0.12	11.78

FUENTE: IBTEN 2004

Según Chilón (1997), el nivel medio de nitrógeno en el suelo es de 0.14 % en el Altiplano, entonces se evidencia un déficit en nitrógeno con (0.12%) el mismo que fue cubierto con la aplicación fertilizada de nitrógeno.

El pH encontrado es de 7.19, de acuerdo a la escala del Manual de fertilización de suelos (1989), este valor representa una característica de ligeramente básico, lo cual es ventajoso por los requerimientos de la cebada, la cual es adaptable a suelos con 5.8 a 7.7 de pH según Coulombe y Apaza (1982).

5.3. Variables Fenológicas

En el Cuadro 3, en referencia a los cuadrados medios de las variables fenológicas, se encontró en días a la emergencia que no existe diferencias significativas en densidad de siembra, fraccionamiento de nitrógeno, entre la interacción de los dos factores y bloques, esto guarda relación con lo expresado por Odum (1971) quien señala que la densidad de población es una magnitud de relación población versus superficie, lo que demuestra que en esta fase el cultivo no necesita de mayor superficie ni tampoco requiere de gran cantidad de nutrientes.

Cuadro 3. Cuadrados medios para días a la emergencia, macollamiento y espigamiento

FV	GL	CM		
		Emergencia	Macollamiento	Espigamiento
Bloque	3	0.40 ns	4.37 ns	93.22 *
Densidad	2	1.58 ns	2.25 ns	36.58 *
Error a	6	0.95	2.29	4.58
Fracc.Nitrógeno	2	1.58 ns	0.33 ns	731.08 *
Densidad*Nitrógeno	4	0.54 ns	2.71 ns	9.42 ns
Error b	18	0.85	1.51	8.38
Total	35	30.75		

ns: no significativo *: significativo
 C.V. (Emerg.)= 11.42 % C.V. (macollamiento)= 3.92 % C.V. (Espigamiento.)= 3.16 %

Para días al macollamiento (Cuadro 3) se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos densidad de siembra, fraccionamiento de nitrógeno, interacción entre los dos factores (densidad de siembra por fraccionamiento de nitrógeno) y bloques, demostrando que no fueron factores determinantes para esta variable. En esta etapa de crecimiento la planta empieza a requerir mayor cantidad de nutrientes como una mayor superficie.

Con respecto a los días al espigamiento (Cuadro 3), nos muestra que existen diferencias significativas en densidad de siembra, fraccionamiento de nitrógeno y bloques, lo que indica que el diseño fue aplicado correctamente, donde se controló mejor al cultivo, pero no hubo interacción entre los dos factores demostrando que no existió dependencia entre los dos factores. Se realizó la Prueba de Duncan para densidad de siembra y fraccionamiento de nitrógeno en los Cuadros 4 y 5.

Los coeficientes de variación de los días a la emergencia, macollamiento y espigamiento fueron; 11.42, 3.92 y 3.16 % respectivamente, los cuales nos indican que los datos analizados son confiables, debido a que no sobrepase el límite del 30% (Calzada, 1970)

En el Cuadro 4, se observa diferencias significativas al 5 %, entre las densidades menores a_2 (100 kg/ha) y a_1 (70 kg/ha) con la densidad mayor a_3 (130 kg/ha) registrando un promedio de 89.58 días y para las densidades menores a_2 y a_1 , un promedio de 93.0 y 91.92 días respectivamente (Cuadro 4). Los tratamientos con menores densidades tuvieron suficiente mayor superficie para poder desarrollar mejor la planta, retrasando el espigamiento en comparación a las otras densidades

Cuadro 4. Prueba de Duncan para densidad de siembra en días al espigamiento de cebada

Tratamientos	Media	Duncan($\alpha=0.05$)
70 kg/ha(a_1)	93.00	a
100 kg/ha(a_2)	91.92	a
130 kg/ha(a_3)	89.58	b

Se observa en el Cuadro 5, para días al espigamiento diferencias significativas entre los tratamientos que recibieron fertilización (c_3 y c_2) y el tratamiento no fertilizado (c_1), registrándose en este tratamiento (testigo) un promedio de 89.58 días de espigar y para los tratamientos c_3 y c_2 un promedio de 91.92 y 93.0 días

respectivamente. Esto por que la planta demasiada fertilizada tiene la propiedad (c_3) continua desarrollándose por más tiempo, el mismo que coincide con Gross (1986), con el factor fraccionamiento de nitrógeno, el cual se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en días al espigamiento

Tratamientos	Media	Duncan($\alpha=0.05$)
80 kg N siembra (c_2)	93.00	a
40 kg N siembra y 40 kg N macollo (c_3)	91.92	a
0 kg N Testigo (c_1)	89.58	b

El tratamiento c_1 (0 kg N) registró una maduración acelerada, demostrando que la misma fue en menor tiempo en comparación con los otros dos tratamientos c_2 (80 kg N siembra) con una sola aplicación y c_3 (40 kg N siembra y 40 kg N macollo), lo que manifiesta que el cultivo presentó deficiencia de nitrógeno en las parcelas “sin nitrógeno”.

5.4. Variables Agronómicas

Utilizando el método y procedimientos experimentales anteriormente descritos, con diferentes densidades de siembra y diferentes niveles de fertilización a base de nitrógeno. Se analizaron las siguientes variables: altura de planta, número de hojas, número de macollos, materia verde y rendimiento de materia seca. El análisis estadístico de estas variables se efectuaron por separado, debido a que todas las variables dependen fundamentalmente del cultivo por consiguiente hacer un análisis conjunto no era pertinente.

5.4.1. Altura de planta

En el siguiente Cuadro (6) se presenta el Análisis de varianza para altura de planta, donde se analiza el efecto del fraccionamiento de nitrógeno y densidad de siembra en el cultivo de cebada.

Cuadro 7. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en altura de planta (cm)

Tratamientos	Media	Duncan($\alpha=0.05$)
40 kg N siembra, 40 kg N macollo(c_3)	104.88	a
0 kg N testigo (c_1)	94.92	b
80 kg N siembra (c_2)	92.05	b

Las diferencias significativas al 5% entre el tratamiento que recibió fertilización fraccionada de nitrógeno c_3 con los tratamientos con una sola aplicación de nitrógeno (c_2) y el testigo (c_1), fueron de promedios de 94.92 y 92.05 cm respectivamente y para el tratamiento fraccionado un promedio de 104.88 cm.

Se observa claramente en la figura 4, el efecto del nitrógeno principalmente en el tratamiento fraccionado c_3 (40 kg N siembra, 40 kg N macollo), permitiendo una mejor elongación del tallo, que los otros dos tratamientos c_2 (80 kg N siembra) con una sola aplicación y c_1 el cual es el tratamiento testigo. Lo que confirman Vigliola y Calot (1992), que el nitrógeno debe proveerse al cultivo en varias aplicaciones por su gran movilidad y pérdidas por lixiviación. Normalmente se efectúa una fertilización inicial y otra de fondo en varias aplicaciones suplementarias.

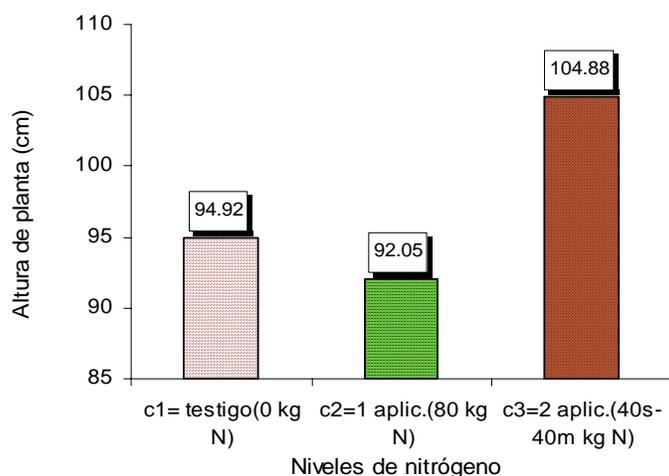


Figura 6. Altura de planta para fraccionamiento del nitrógeno

Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Ramos (2002), donde la aplicación de nitrógeno influyó en el crecimiento de la planta, llegando a una altura promedio de 110.5 cm, con un nivel de 60 kg N; este trabajo se realizó en el departamento de Potosí.

El nitrógeno es un elemento móvil en el suelo y de fácil pérdida por lavado antes de que sea absorbido por las plantas, lo cual podría evitar que el cultivo tenga una mayor altura, con el tratamiento de una sola aplicación de nitrógeno c₂, de la mayor absorción probablemente se dirigió a las hojas, son las que más requieren este elemento (Rodríguez, 1982).

Según Chilón (1997), el nivel medio de nitrógeno en el suelo es de 0.14% en el Altiplano. Mientras que los suelos del área experimental, son pobres en humus (0.12% N). Por esta razón puede ser inconveniente las precipitaciones pluviales después de la aplicación de este mineral (Gross, 1986), lo que significaría una pérdida de nitrógeno en c₂ donde en el momento de la aplicación hubo precipitación, dando como resultado una menor altura (92.0 cm).

5.4.2. Número de hojas

En el Cuadro 8, se presenta el análisis de varianza para la variable número de hojas y observar los efectos de el fraccionamiento de nitrógeno y densidad de siembra en el cultivo de cebada.

Cuadro 8. Análisis de varianza para número de hojas por planta en el cultivo de cebada

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr >F
Bloque	3	0.83	0.27	0.36	0.7864 ns
Densidad	2	9.64	4.82	6.26	0.0341 *
Error a	6	4.62	0.77	1.46	
Fracc.Nitrógeno	2	10.02	5.01	9.48	0.0015 *
Densd.*Nitrógeno	4	1.99	0.49	0.94	0.4627 ns
Error b	18	9.51	0.53		
Total	35	36.61			

C.V.(a)=5.25 %

C.V.(b)=17.79 %

ns: no significativo

* : significativo

En el análisis de varianza se observa que no existen diferencias significativas en la interacción densidad por fraccionamiento de nitrógeno, demostrando que no existe dependencia entre los dos factores para el número de hojas por planta y entre bloques no existe significancia, debido a la pendiente que presenta el área experimental, el cual es del 2%, probablemente no influyó en el número de hojas. La eficiencia del diseño relativa (BCA a CA) fue del 93% indicando que se perdió 7% de eficiencia al usar este diseño.

Los coeficientes de variación de la parcela grande “a” y parcela pequeña “b”; son 5.25 y 17.79 % respectivamente que indica confiabilidad de los datos, debido a que no sobrepasa el límite del 30 % (Calzada, 1970).

En el cálculo de homocedasticidad (A3.) nos muestra que χ^2 (Chi cuadrado) calculado es mayor que χ^2 tabulado, lo que indica que las varianzas no son homogéneas, debiéndose por ello realizar una transformación de los datos experimentales $\sqrt{x + 1}$, para hacer válido el análisis de varianza.

5.4.2.1. Densidad de siembra

Se realizó la Prueba de Duncan para el factor densidad de siembra observándose diferencias significativas. En el Cuadro 9 se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos con densidades mayores y el de menor densidad (a_1), obteniéndose un promedio de 22.08 hojas por planta y para las densidades mayores a_2 y a_3 registraron promedios de 15.41 y 11.50 hojas respectivamente.

Cuadro 9. Prueba de Duncan para densidad de siembra en Número de hojas por planta

Tratamientos	Media	Duncan($\alpha=0.05$)
70 kg/ha (a_1)	22.08	a
100 kg/ha (a_2)	15.41	b
130 kg/ha (a_3)	11.5	b

En la Figura 5 se observa que el mayor número de hojas se registró en la densidad menor (a_1), al contrario de la densidad mayor (a_3), estas no sufrieron competitividad alguna, desarrollando y obteniendo mayor número de hojas por planta, probablemente se deba también al menor espacio entre las plantas. A baja densidad la distribución y absorción de los nutrientes es mucho mejor por las plantas (Sánchez y Fukusaki, 1974).

En las mayores densidades a_2 (100 kg/ha) y a_3 (130 kg/ha), las plantas están más estrechas y ocupan un menor área por planta, existiendo así competencia entre plantas para capturar la radiación solar para su proceso fotosintético; al contrario la densidad menor donde se observa que las plantas tienen más espacio y puedan desarrollar mayor número de hojas por planta.

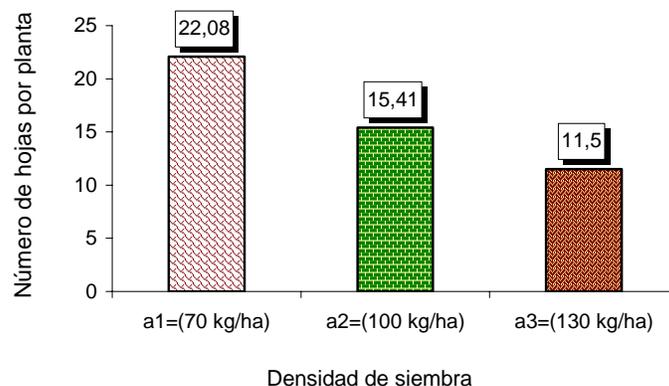


Figura 7. Número de hojas para densidad de siembra

Según Freire (1975) al referirse, a la densidad hace mención a experimentos y entre las conclusiones que alcanzó de ellos se puede destacar que al aumentar la densidad de siembra se redujo el macollaje, número de hojas y número de espigas por unidad de superficie. Lo que coincide con los resultados obtenidos en este trabajo.

5.2.2.2. Fraccionamiento del Nitrógeno

Para analizar el efecto del fraccionamiento de nitrógeno en número de hojas por planta del cultivo de cebada se realizó la Prueba de Duncan, lo que se observa en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en número de hojas

Tratamientos	Media	Duncan($\alpha=0.05$)
40 kg N siembra, 40 kg N macollo(c_3)	19.17	a
80 kg N siembra(c_2)	18.67	a
0 kg N testigo (c_1)	11.17	b

Se comprueba que los tratamientos con fertilización nitrogenada (c_3 y c_2) y el testigo (c_1) son estadísticamente diferentes, reportando mayores promedios de hojas por planta los tratamientos c_3 y c_2 con valores de 19.17 y 18.67 hojas y con menor número de hojas el tratamiento sin fertilización c_1 con un promedio de 11.17 hojas por planta.

Según Bidwell (1993), la fertilización nitrogenada incrementa el número de hojas por planta, y en consecuencia también incrementa la materia seca en las plantas. Esto confirma con los promedios que se obtuvo en el trabajo de investigación.

En la figura 6 se observa claramente el efecto del fertilizante (nitrógeno) con respecto al número de hojas Bear (1969), coincide con los anteriores autores al mencionar que las plantas son raquílicas con colores verde pálidos o amarillentos en su follaje, marchitándose las hojas inferiores especialmente en condición de sequía. Lo que justifica que el tratamiento c_1 registró menor número de hojas.

Rodríguez (1982), los síntomas generales de deficiencia de nitrógeno son: menor en crecimiento, debilitamiento de la planta, amarillamiento, necrosis de los tejidos y caída de las hojas. Es por esta razón, que el tratamiento c_1 , sin aplicación de nitrógeno y por la deficiencia de este elemento registrando menor número de hojas y

Se establece claramente que no existen diferencias en densidad de siembra, interacción densidad por fraccionamiento de nitrógeno indicando que entre los dos factores no hubo dependencia y entre bloques tampoco registró diferencias significativas debido a que el área experimental presentó una pendiente del 2%.

Los coeficientes de variación de la parcela grande “a” y parcela pequeña “b”; son 10.31 y 14.49 % respectivamente que indica confiabilidad de los datos, encontrándose en el rango permitido para experimentos en campo, demostrándose que existe confiabilidad en los datos. (Calzada, 1970)

Se obtuvo una homocedasticidad de datos de acuerdo a la prueba de Bartlett, donde no existieron diferencias entre las varianzas en estudio como se puede observar en el A2.

5.4.3.1. Fraccionamiento de Nitrógeno

Se presenta en el Cuadro 12 el efecto que causa el fraccionamiento de nitrógeno en el cultivo de cebada, mediante la Prueba de Duncan.

Cuadro 12. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en número de macollos

Tratamientos	Medias	Duncan($\alpha=0.05$)
80 kg N siembra (c_2)	4.5	a
40 kg N siembra, 40 kg N macollo(c_3)	3.7	a
0 kg N testigo (c_1)	2.3	b

Se registra diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados (c_2 y c_3) y el tratamiento sin fertilización nitrogenada (c_1), obteniéndose en c_2 y c_3 promedios de 4.5 y 3.7 macollos por planta respectivamente; mientras que el tratamiento c_1 se registró un promedio de 2.3 macollos por planta. Los promedios de macollos

obtenidos en este trabajo son bajos en comparación con otros trabajos de investigación, donde obtuvieron de 2 a 10 macollos por planta (Amurrio, 1992).

Según Pacari (1974), el nitrógeno es el constituyente fundamental de toda célula viva, interviniendo en la multiplicación celular y desarrollo de los órganos. Lo que demuestra que este mineral llega a influir en el número de macollos.

Se observa en la figura 7, claramente el efecto de la fertilización nitrogenada en el número de macollos por planta, registrando diferencias entre los tratamientos fertilizados y no fertilizado, donde el tratamiento c_2 (una aplicación de nitrógeno), fue el de mayor número de macollos seguido por el tratamiento c_3 (dos aplicaciones de nitrógeno), resultados casi similares entre estos dos tratamientos.

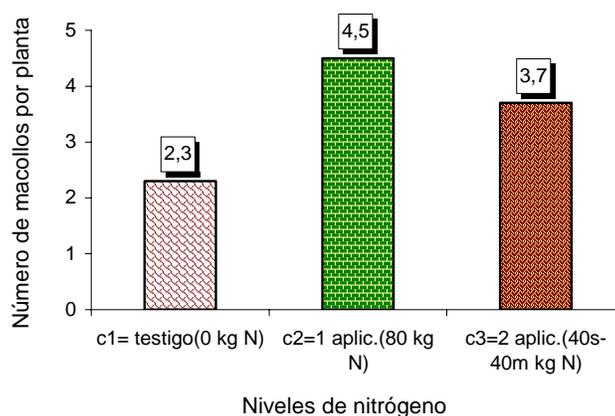


Figura 9. Número de macollos por planta para fraccionamiento de N

La tendencia de los cereales a encamarse es por que los tallos son menos rígidas, el mejor desarrollo foliar impide que la luz ilumine y fortalezca el pie de las plantas, por lo que los tallos tienden a tumbarse (Gross, 1986). Lo que demuestra que el tratamiento fraccionado c_3 por su abundante vegetación, hizo que alguno de sus tallos se acamen, obteniéndose un menor número de macollos que el tratamiento c_2 , pero no fue significativo entre estos dos tratamientos.

5.4.4. Índice de Área foliar (IAF)

El análisis de varianza de la variable índice de área foliar (Cuadro 13) se obtuvieron diferencias significativas en los factores densidad de siembra y fraccionamiento de nitrógeno.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el índice de área foliar (IAF) del Cultivo de cebada

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Bloque	3	2.94	0.98	1.33	0.3493 ns
Densidad	2	16.03	8.01	10.86	0.0101 *
Error a	6	4.27	0.74	0.42	
Fracc.Nitrógeno	2	14.94	7.47	4.21	0.0316 *
Densidad*Nitrógeno	4	1.72	0.43	0.24	0.9106 ns
Error b	18	31.95	1.77		
Total	35	72.01			

C.V.(a)= 18.74 %
C.V.(b)= 28.96%

ns: no significativo
*** : significativo**

El análisis estadístico muestra que no existen diferencias entre bloques, debido a que el terreno presentó una pendiente de 2% en el área experimental, lo que no influyó en el cultivo. La interacción densidad de siembra por fraccionamiento de nitrógeno tampoco presenta diferencias significativas por ende no existe dependencia entre los dos factores.

Los coeficientes de variación de la parcela grande “a” y parcela pequeña “b”; son 18.74 y 28.96 % respectivamente, que indica la confiabilidad de los datos, encontrándose en el rango permitido que es del 30 % (Calzada, 1970)

En la prueba de homocedasticidad de los datos de acuerdo a la prueba de Bartlett, tampoco existieron diferencias entre las varianzas en estudio como se puede observar en el A4.

5.4.4.1. Densidad de siembra

Se presenta en el Cuadro 14, el efecto de la densidad de siembra en el Índice de área foliar para el cultivo de cebada, mediante la Prueba de Duncan, observándose diferencias significativas entre el tratamiento con mayor densidad a_3 con los tratamientos de menor densidad a_2 y a_1 .

Cuadro 14. Prueba de Duncan para densidad de siembra en el índice de área foliar

Tratamientos	Media	Duncan($\alpha=0.05$)
130 kg/ha(a_3)	5.44	a
100 kg/ha(a_2)	4.46	b
70 kg/ha(a_1)	3.56	b

El tratamiento con densidad mayor a_3 registró mayor promedio de índice de área foliar con $5.44 \text{ dm}^2/\text{m}^2$. Lo que afirma Rodríguez (1999), indicando que a un aumento de la densidad de población, induce a altos IAF.

Se observa claramente en la figura 8, que no existe una diferencia marcada entre los tratamientos con densidades menores a_2 y a_1 con un promedio de 4.46 y $3.56 \text{ dm}^2/\text{m}^2$ respectivamente.

Sin embargo, a baja densidad de población, con plantas de porte bajo y área foliar relativamente bajo, puede ocurrir una mejor distribución de plantas, nutrientes y consiguientemente absorción de energía para transformar en grano (Sánchez y Fukusaki, 1974). En este caso la cebada forrajera necesariamente tiene que llegar a grano lechoso, viendo de esta manera que la planta utilizó energía para la transformación a esta fase fenológica.

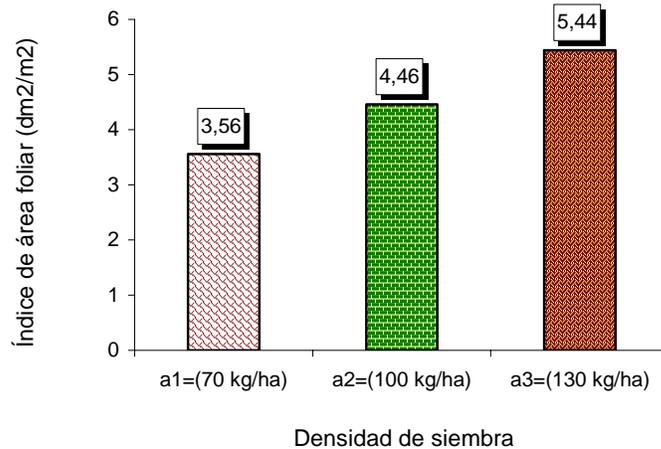


Figura 10. Índice de área foliar para densidad de siembra

5.4.4.2. Fraccionamiento de Nitrógeno

Se realizó la Prueba de Duncan para analizar el efecto del fraccionamiento de nitrógeno en el cultivo de cebada en los tres tratamientos en estudio; en el Cuadro 15, se observó diferencias significativas al 5%, encontrando que los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada obtuvieron mayores promedios, en relación al tratamiento testigo c_1 con un promedio de $3.55 \text{ dm}^2/\text{m}^2$; en tanto, los otros dos tratamientos con mayores promedios fueron el tratamiento fraccionado c_3 y el tratamiento que tuvo una sola aplicación de nitrógeno c_2 con 5.45 y $4.46 \text{ dm}^2/\text{m}^2$ respectivamente.

Rodríguez (1999), señala que existen casos de fertilización nitrogenada que inducen a altos IAF, lo que queda demostrado en este trabajo de investigación.

Cuadro 15. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en el índice de área foliar (dm^2/m^2) de la cebada

Tratamientos	Media	Duncan ($\alpha=0.05$)
40 kg N siembra, 40 kg N macollo(c_3)	5.45	a
80 kg N siembra (c_2)	4.46	a
0 kg N testigo (c_1)	3.55	b

Se observa en la figura 9, que existe una diferencia marcada entre los tratamientos que recibieron este elemento esencial como es el nitrógeno en c_3 y c_2 con relación al tratamiento testigo que no recibió fertilización nitrogenada, incidiendo en el IAF del cultivo

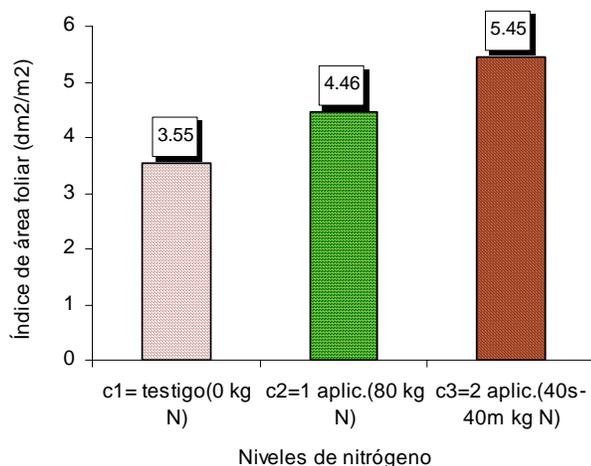


Figura 11. Índice de área foliar para fraccionamiento de nitrógeno

Un aumento en el IAF proporciona un aumento de la producción de la biomasa (Rodríguez, 1991). Es por esta razón, que el rendimiento de los tratamientos fertilizados tuvo un buen rendimiento que veremos en el análisis de la variable de rendimiento de materia seca. También señala el mismo autor que el nitrógeno producen los siguientes efectos:

- Existe un mayor vigor vegetativo; aumento en el volumen y peso debido a los alargamientos celulares y a la multiplicación celular.
- Color verde intenso de la masa foliar (mayor densidad, clorofila).
- Mayor producción de hojas

5.4.5. Rendimiento de Materia Verde

El Cuadro 16, se muestra el Análisis de varianza de la variable materia verde para analizar el efecto del fraccionamiento de nitrógeno y densidad de siembra en el cultivo de cebada.

Cuadro 16. Análisis de varianza para rendimiento de materia verde de la cebada (ton/ha)

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Bloque	3	0.95	0.32	0.26	0.8563 ns
Densidad	2	3.58	1.79	1.43	0.3100 ns
Error a	6	7.49	1.25	1.29	0.3112
Fracc.Nitrógeno	2	7.16	3.58	3.7	0.0452 *
Densidad*Nitrógeno	4	2.78	0.69	0.72	0.5900 ns
Error b	18	17.42	0.97		
Total	35	39.38			

C.V.(a)= 5.39%
C.V.(b)= 15.63%

ns: no significativo
*: significativo

En el ANVA se puede apreciar que no existen diferencias significativas en densidad de siembra, en la interacción densidad por fraccionamiento de nitrógeno, lo que quiere decir que los factores son independientes y tampoco registró diferencias entre bloques, donde el área experimental presentó una pendiente de 2%.

Los coeficientes de variación son 5.39 y 15.63% demostrando que los datos de la parcela experimental de la cebada son confiables, encontrándose por debajo del 30% (Padrón, 1996)

Se obtuvo una homocedasticidad de los datos de acuerdo a la prueba de Bartlett, no existieron diferencias entre las varianzas en estudio (A5), requisito que el diseño debe cumplir, este estudio nos da a conocer si los datos en el experimento se alejan demasiado de la media y de acuerdo a ello tratar de ver las posibles causas de ese alejamiento.

5.4.5.1. Fraccionamiento de Nitrógeno

Se realizó en el Cuadro 17, la Prueba de Duncan para observar las diferencias significativas en el rendimiento de materia verde con la aplicación fraccionada de nitrógeno c_3 y la no fraccionada c_2 ; además el tratamiento testigo que no recibió fertilización (c_1), obteniéndose el máximo rendimiento con fraccionamiento de nitrógeno (c_3) un promedio de 25.08 ton/ha de materia verde, en tanto los otros dos tratamientos c_2 y c_1 , resultaron ser significativamente inferiores con promedios de rendimiento de 19.23 y 18.86 ton/ha de materia verde.

Cuadro 17. Prueba de Duncan para fraccionamiento de nitrógeno en el rendimiento de materia verde (ton/ha) del cultivo de cebada

Tratamientos	Media	Duncan ($\alpha= 0.05$)
40 kg N siembra, 40 kg N macollo(c_3)	25.08	a
80 kg N siembra (c_2)	19.23	b
0 kg N testigo (c_1)	18.86	b

En caso del tratamiento c_2 , el nitrógeno pudo no ser absorbido en su totalidad y probablemente se lixivió provocado por las precipitaciones fluviales que presentaron en el lugar en el momento de la aplicación del mineral, evitando el funcionamiento de este macroelemento dentro la planta. (SENAMHI, 2004).

En la figura 10, el rendimiento del tratamiento c_1 fue casi similar que el tratamiento c_2 , esto debido que los requerimientos de nitrógeno para el cultivo de cebada son acentuados en diferentes fases fenológicas (Gross, 1986), lo que significó que los rendimientos fueron casi similares entre los dos tratamientos. Vigliola y Calot (1992) mencionan que el nitrógeno debe proveerse al cultivo en varias aplicaciones por su gran movilidad y pérdidas por lixiviación. Normalmente se efectúa una fertilización inicial y otra de fondo; lo que no sucedió en los tratamientos c_2 y c_1 .

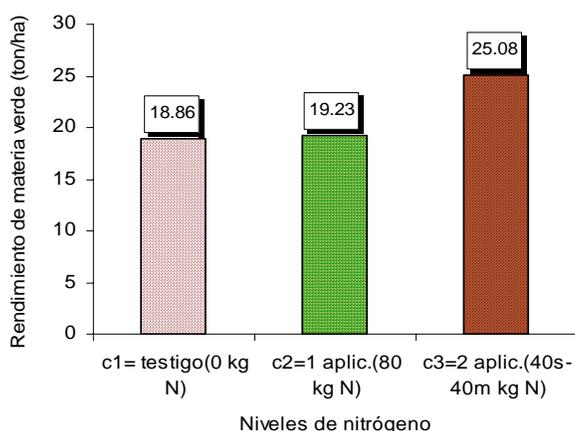


Figura 12. Materia verde para fraccionamiento de nitrógeno

En el caso del tratamiento c_1 su rendimiento promedio fue favorecido por las condiciones climáticas que presentó el lugar. Estos resultados no son nada malos puesto que resultaron mucho mejores que algunos otros estudios realizados en otros lugares del país. Como de 17.49 ton/ha de materia verde promedio con un nivel de 0 kg N realizada por Thenier (2002) en el departamento de Potosí.

En uno de los estudios realizados con fertilización nitrogenada por Ramos (2002) en el departamento de Potosí, nos indica que los mejores rendimientos en materia verde se obtuvieron con niveles de 60 y 80 kg N

El rendimiento de un cultivo según Azcon y Bieto (1993), depende de la disponibilidad de nitrógeno en las etapas críticas del desarrollo de la planta. También dicen que las plantas fertilizadas con nitrato tiene mayor superficie foliar y contenido de clorofila en las hojas y mayor peso. Los nitratos están regulados directa e indirectamente por diversos factores en lo que se destaca la luz. Por lo cual, se observó en el cultivo que los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada, tenían el área foliar de un color verde oscuro, mientras el tratamiento testigo por la deficiencia de nitrógeno principalmente presentó un color verde claro, además que

sus hojas en algunos casos empezaron a amarillarse, registrando menor rendimiento de materia verde.

Por los resultados obtenidos en los tratamientos c_2 (80 kg N siembra) y c_1 (0 kg N testigo) los rendimientos de materia verde fueron inferiores que el tratamiento c_3 (40 kg N siembra, 40 kg N macollo). Una insuficiencia nutritiva de la planta en nitrógeno se manifiesta en primer lugar por una vegetación raquílica. La planta se desarrolla poco, posee un sistema vegetativo pequeño y el follaje se toma un color verde amarillento característico de la carencia de nitrógeno (Gross, 1982).

5.4.6. Rendimiento de Materia Seca

En el Cuadro 18, se presenta el Análisis de varianza para la variable materia seca, donde se observa el efecto del fraccionamiento de nitrógeno en el cultivo de cebada.

Cuadro 18. Análisis de varianza para el rendimiento de materia seca (ton/ha)

FV	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Bloque	3	9.16	3.05	0.32	0.8142 ns
Densidad	2	10.19	5.09	0.53	0.6160 ns
Error a	6	58.12	9.69	3.15	
Fracc.Nitrógeno	2	50.87	25.44	8.27	0.0028 *
Densidad*Nitrógeno	4	10.28	2.57	0.83	0.5206 ns
Error b	18	55.4	3.08		
Total	35	194.02			

C.V. = 20.38%

ns:no significativo

* :significativo

En el análisis de varianza se observa que no existen diferencias significativas en el factor densidad de siembra, en la interacción densidad por fraccionamiento de nitrógeno y entre bloques.

El coeficiente de variación para el rendimiento en materia seca del cultivo de cebada es de 20.38%, lo que nos indica que los datos analizados son confiables por encontrarse inferior al 30% siendo el límite de confiabilidad (Padrón, 1996).

Se realizó la prueba de Bartlett, realizando la homocedasticidad, demostrando que no existieron diferencias entre las varianzas en estudio como se puede observar en el A6.

5.4.6.1. Fraccionamiento de Nitrógeno

Para analizar el efecto del fraccionamiento de nitrógeno en el rendimiento del cultivo se realizó la Prueba de Duncan, lo cual se observa en el Cuadro 20, registrando diferencias significativas en el rendimiento de materia seca con la aplicación fraccionada de nitrógeno c_3 y la no fraccionada c_2 , además el tratamiento testigo c_1 , donde este no recibió fertilización, obteniéndose el máximo rendimiento con fraccionamiento de nitrógeno (c_3) un promedio de 10.05 ton/ha, en tanto los otros dos tratamientos c_2 y c_1 resultaron ser significativamente inferiores con promedios de rendimiento de 8.63 y 7.14 ton/ha respectivamente

Cuadro 19. Prueba de Duncan para el fraccionamiento de nitrógeno en materia seca (ton/ha)

Tratamientos	Media	Duncan ($\alpha = 0.05$)
40 kg siembra, 40 kg macollo (c_3)	10.05	a
80 kg N siembra (c_2)	8.63	b
0 kg N testigo (c_1)	7.14	b

Se observa en la figura 11, claramente los efectos del fraccionamiento de nitrógeno son muy claros, produciendo un incremento en el rendimiento. Este incremento según Molina (1989), también depende de otros factores, principalmente de la fertilidad general del suelo y la disponibilidad de agua, así como la longitud del ciclo vegetativo y de condicionantes genéticos. Las aportaciones nitrogenadas deben fraccionarse al 50% entre la siembra y la cobertura temprana (fase 3 hojas),

incrementar la producción. Es por esta razón que los tratamientos no fraccionados (c_2) y el testigo (c_1) no incrementando su producción afectando en el rendimiento de materia seca.

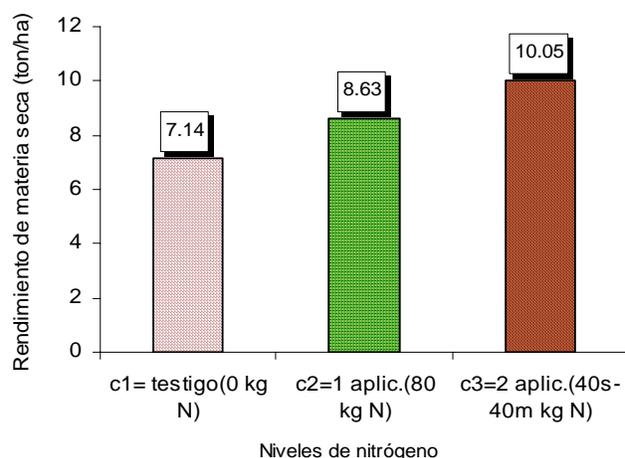


Figura 13. Materia seca para fraccionamiento de nitrógeno

El tratamiento c_1 registró un rendimiento rentable, esto por las condiciones climáticas favorables del lugar en el que se realizó el trabajo de investigación fundamentalmente en el periodo de crecimiento de la planta, demostrándose con este trabajo que el efecto del nitrógeno da altos rendimientos de materia seca en el cultivo de cebada.

En los tratamientos c_2 y c_3 los rendimientos registrados fueron de 8.63 y 10.05 ton/ha respectivamente de materia seca. Los resultados coinciden con el trabajo de Laura (1992), el mismo indica que normalmente con la aplicación de fertilizantes, el rendimiento de materia seca tendría a incrementar la producción.

5.5. Relación entre variables

A partir de promedios de las variables materia verde, altura de planta, número de macollos, número de hojas e índice de área foliar y su respectivo peso seco total de la cosecha, se midió la estrechez de la relación entre estas variables de todas y cada uno de los tratamientos.

Se observa en el Cuadro 20, la Matriz de correlación y regresión, pares de asociaciones de las variables en estudio. De estas asociaciones se seleccionaron las variables que tienen alta influencia en la variable materia seca.

Cuadro 20. Matriz del Análisis de correlación y regresión lineal múltiple del cultivo de cebada

	MS	ALT	NH	NM	MV	IAF
MS	1.00000	0.74027	0.50161	0.49803	0.87050	0.50000
ALT	0.74027	1.00000	0.21718	0.09700	0.85700	0.35332
NH	0.50161	0.21718	1.00000	0.83763	0.39700	-0.22256
NM	0.49803	0.09700	0.83763	1.00000	0.20911	-0.15864
MV	0.87050	0.85700	0.39700	0.20911	1.00000	0.44140
IAF	0.50000	0.35332	-0.22256	-0.15864	0.44140	1.00000

MS : Materia Seca
 ALT: Altura de planta
 NH : N° de hojas
 NM : N° de macollos
 MV : Materia Verde
 IAF: Índice de área foliar

Relación altura y peso seco $r = 0.740$
 Relación número de hojas y peso seco $r = 0.502$
 Relación número de macollos y peso seco $r = 0.498$
 Relación rendimiento de materia verde y peso seco $r = 0.870$
 Relación índice de área foliar y peso seco $r = 0.500$
 $r^2 = 0.9252$ o 92.52 % que representa el coeficiente de determinación
 $a = -0.1553$ intercepto
 $b_1 = 0.0152$ (coeficiente de regresión)
 $b_2 = -0.0339$ (coeficiente de regresión)
 $b_3 = 0.6052$ (coeficiente de regresión)
 $b_4 = 0.2103$ (coeficiente de regresión)
 $b_5 = 0.3225$ (coeficiente de regresión)

$$Y = -0.1553 + 0.0152X_1 - 0.0339X_2 + 0.6052X_3 + 0.2103X_4 + 0.335X_5$$

Se registra alta relación ($r = 0.870$) entre las variables materia seca y materia verde, siendo la materia verde; que explica el peso de materia seca en el cultivo de cebada; donde el coeficiente de regresión $b = 0.2103$ ton, indicando que por cada tonelada de incremento de materia verde del cultivo de cebada, se incremento un promedio de 0.203 ton en el peso de materia seca de la planta. También existe alta relación ($r = 0.740$) entre las variables materia seca y altura de planta, siendo la altura de planta una de las variables que mejor explica el incremento peso del cultivo. Al respecto

Calzada (1970) y Caballero (1975) indican que, si bien un valor próximo del coeficiente de correlación “r” cerca 1 o -1 nos pueda indicar la asociación de dos variables, pero no es suficiente para predecir los cambios de una variable con respecto a la otra, para esto se deberá obtener un coeficiente de determinación “r²” para observar en que proporción varían las variables en estudio.

Una de las relaciones aceptables fue materia seca e índice de área foliar ($r=0.500$), debido a que los datos obtenidos de esta variable fueron dos semanas antes de la cosecha, presentándose en ese periodo de tiempo bajas temperaturas y baja precipitación fluvial, afectando en el rendimiento pero no significativamente. Porque la planta presentó un buen porte, es decir presento mayor diámetro de los macollos, hojas largas y sobre todo mayor altura de planta, esto por efecto de la fertilización nitrogenada que se aplicaron y además por las condiciones climáticas presentó el lugar, en el periodo de crecimiento del cultivo. A pesar que no tienen una buena relación con el rendimiento. Lo que justifica Rodríguez (1998), indicando que existen casos de fertilización nitrogenada que inducen a altos IAF más; pero determinan una baja productividad, debido al autosombreamiento y el acame. Lo mismo pudo ocurrir con el aumento de la densidad de plantación.

5.6. Análisis de crecimiento

Para realizar el cálculo del análisis de crecimiento se utilizó las ecuaciones polinomiales (Rodríguez, 1989), en las variables (altura de planta, número de hojas, número de macollos y materia seca).

5.6.1 Altura de planta

Se hizo un seguimiento consecutivo en el crecimiento de altura de planta del cultivo de cebada. En la figura 12, muestra la curva de crecimiento de la altura de planta versus días al crecimiento para el factor densidad de siembra, donde el coeficiente

de determinación $r^2 = 0.99$ en los tres tratamientos, indicando que el 99.4% de la variación en el crecimiento de altura de la planta es por los días de crecimiento.

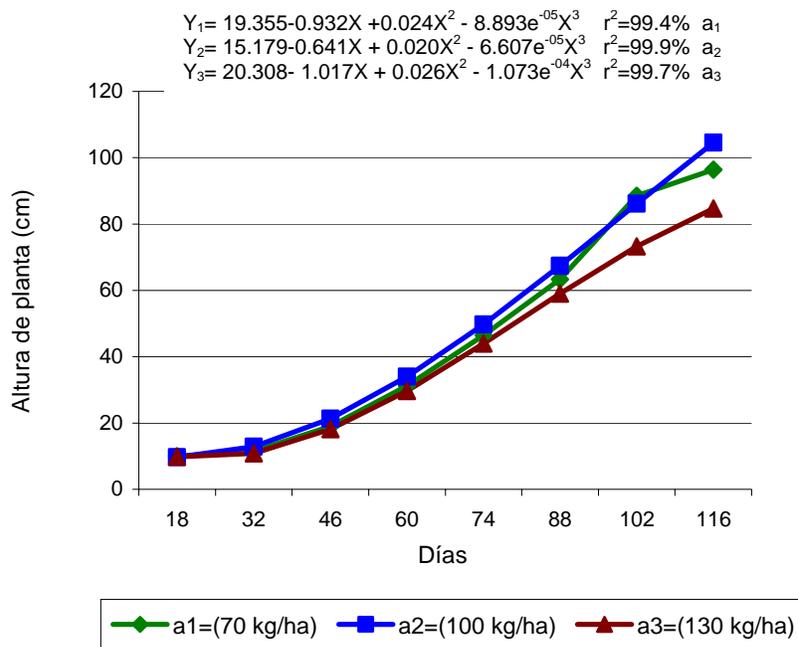


Figura 14. Curva de crecimiento en función de la densidad de siembra para altura de planta

El tratamiento con densidad menor a_1 (70 kg/ha) registró un buen crecimiento hasta los 90 días, luego disminuyó el crecimiento pero que no fue significativa, esto debido al desarrollo de los órganos reproductivos de la planta, pasada esa semana siguió creciendo la planta, registrando una altura promedio de 94.37 cm. Se indica que a baja densidad la distribución y absorción de los nutrientes es mucho mejor por las plantas (Sánchez y Fukusaki, 1974). El caso más simple de competencia tiene lugar entre plantas de la misma especie, al principio las diferencias de altura, la expansión de raíces laterales son pequeñas, como resultado de la competencia que produce una variación en todas sus características (Weaner y Clements, 1971).

El crecimiento en el tratamiento con mayor densidad a_3 (130 kg/ha) tuvo menor crecimiento en altura por planta, observándose un ligero descenso de crecimiento en la penúltima semana; sin embargo siguió su crecimiento, registrando una altura promedio final de 87.85 cm. Demostrando que mayor población de individuos

existiendo mayor competencia entre plantas de la misma especie (Weaner y Clements, 1971). En el tratamiento con la densidad intermedio a_2 (100 kg/ha) su crecimiento de altura de planta fue mejor que los dos anteriores tratamientos obteniendo mayor altura de planta durante el crecimiento de estas, con 104.90 cm, demostrando claramente en la figura 12. Un estudio realizado en el departamento de Cochabamba con el cultivo de cebada, registro mayor altura de planta con la densidad de siembra de 100 kg/ha (Gutiérrez y Quintana, 1987). Lo que confirma que la densidad recomendada para el cultivo de cebada es a_2 .

Se observa en el análisis de crecimiento (figura 13) que los coeficientes de determinación de los tres niveles de nitrógeno son similares con 0.99 o 99.9 %, indicando que la variación del crecimiento de altura de planta fue en el transcurso de los días de crecimiento.

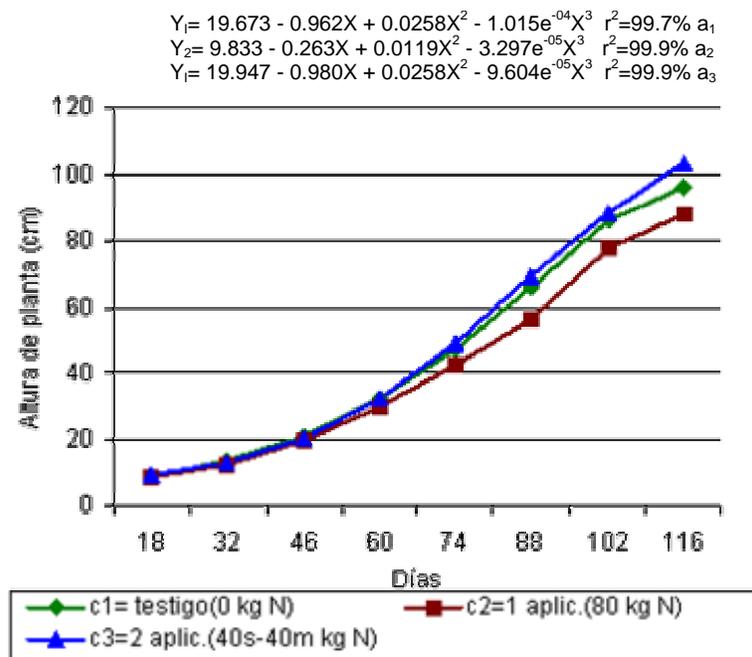


Figura 15. Curva de crecimiento en función del fraccionamiento de N para altura de planta

En los tratamientos c_3 (40s y 40s kg N) y c_1 (0 kg N) se produjeron alturas de plantas casi similares, pero en la penúltima semana el tratamiento testigo tuvo ligero

descenso, terminando con una altura promedio de 95.83 cm. Lo cual demuestra que la aplicación fraccionada de nitrógeno tuvo efecto en la planta, porque presentó un mayor crecimiento en c_3 , registrando una altura de planta de 103.42 cm. Lo que señala Rodríguez (1982), que los síntomas generales de deficiencia de nitrógeno es menor crecimiento, es por esta razón que el tratamiento testigo tuvo un menor crecimiento en altura de planta en comparación del tratamiento fraccionado y no así con el tratamiento no fraccionado c_2 (80 kg N) que obtuvo alturas menores.

En c_2 que recibió una sola aplicación de nitrógeno tuvo un menor crecimiento de altura en el transcurso de su ciclo vegetativo, esto debido a la gran movilidad que tiene este elemento provocando perdidas por lixiviación (Vigliola y Calot, 1992), registrando al final un promedio de 87.86 cm en altura de planta.

5.6.2. Número de hojas por planta

Para la variable número de hojas, en el análisis de crecimiento se calculo para los dos factores en estudio densidad de siembra y fraccionamiento de nitrógeno.

En la figura 14, se observa los coeficientes de determinación de los tratamientos a_1 (70 kg/ha) y a_2 (100 kg/ha) las cuales son similares con $r^2 = 99.2\%$, mientras a_3 (130 kg/ha) registró un coeficiente de $r^2 = 96.1\%$, lo que explica que la variación en número de hojas fue por efecto de días al crecimiento del cultivo.

El crecimiento del tratamiento a_2 fue en forma creciente hasta los 80 días, luego empezó a decrecer debido a la competitividad que existió entre las láminas foliares de diferentes edades, registrando en la ultima semana de 18 hojas por planta.

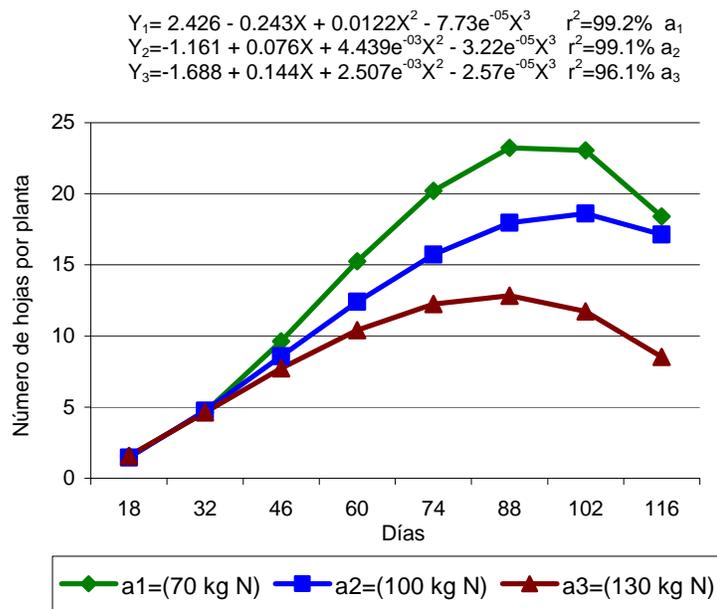


Figura 16. Curva de crecimiento en función a la densidad de siembra para número de hojas

El crecimiento del tratamiento con menor densidad de siembra (a_1) fue el mejor que las otras dos densidades de siembra, pero sucedió lo mismo que la anterior densidad debido a la competitividad de las plantas para poder desarrollar sus órganos, esto a los 80 días empezó a decrecer porque hubo una obstrucción de fotosíntesis de las hojas superiores, reduciendo el número de hojas, pero en la penúltima semana que fue a los 102 días empezó a crecer nuevamente ligeramente, registrando 19 hojas por planta no siendo significativo. El tratamiento con la mayor densidad (a_3), el crecimiento fue inferior que los otros dos tratamientos, registrando al final un promedio de 9 hojas por planta. Carambola (1981), indica que mientras más temprana se efectúa la siembra y más pobre es el suelo, la densidad será menor.

Se observa en la figura 15, que los coeficientes de determinación (r^2) de los tres tratamientos c_1 , c_2 y c_3 fueron 93.6, 97.5 y 99.5 % respectivamente; lo que significa, que el crecimiento de las hojas fue por el efecto de los días de crecimiento del cultivo

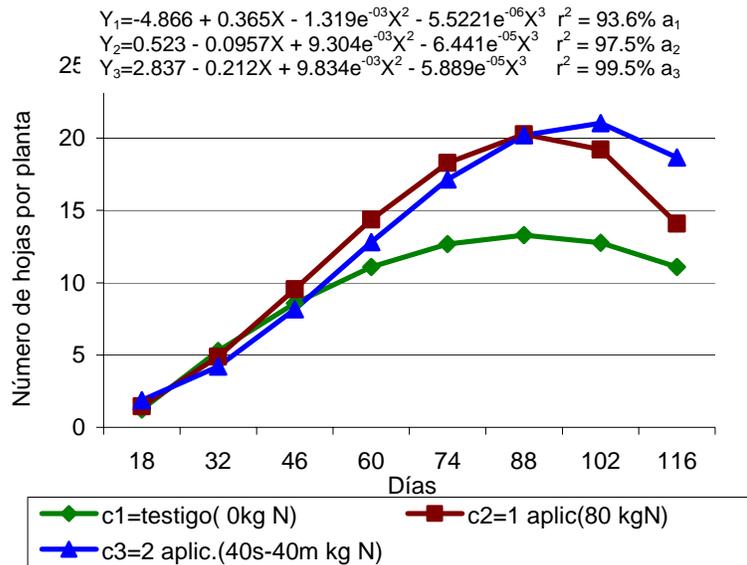


Figura 17. Curva de crecimiento en función del fraccionamiento de nitrógeno para número de hojas

El crecimiento del número de hojas en el tratamiento con fertilización fraccionada c_3 (40s y 40m kg N), en periodo vegetativo fue casi similar que los otros dos tratamientos, esto hasta los 60 días, luego el cultivo recibió el requerimiento necesario de nitrógeno, cuando se le aplicó la segunda dosis de nitrógeno aceleró más su crecimiento, pero cuando se llegó a los 80 días empezó a decrecer, esto debido a que las hojas maduras evita que las hojas nuevas reciba radiación solar, donde las hojas fueron de buen tamaño, reduciendo el número de hojas por planta a 19. Lo que certifica Chilón (1994), indicando que el crecimiento de hojas depende un buen suministro de nitrógeno en la planta.

Mientras el tratamiento con una sola aplicación de nitrógeno c_2 (80 kg N), su crecimiento fue poco inferior que el fraccionado (c_3), donde influyó de manera significativa, registrando en la última semana un promedio de 15 hojas por planta.

El tratamiento testigo c_1 (0 kg N) registró un crecimiento similar que los otros dos tratamientos hasta los 46 días, luego redujo su crecimiento llegando a su máximo

crecimiento a los 74 días, después descendió ligeramente en las últimas semanas, registrando un promedio final de 12 hojas por planta. Demostrando que la deficiencia de nitrógeno se manifestó en este tratamiento.

5.6.3. Número de macollos

Para realizar el análisis de crecimiento, esta variable fue importante en la toma de datos, porque contribuyó al rendimiento de materia seca del cultivo de cebada. Donde se analizó el crecimiento en las diferentes etapas de la planta con los dos factores en estudio densidad de siembra y fraccionamiento de nitrógeno.

En la figura 16, se observa que los coeficientes de determinación de las tres densidades de siembra a_1 , a_2 y a_3 son 82.5, 84.5 y 65.8 % respectivamente, demostrando que el crecimiento de los macollos fue por el efecto de los días al crecimiento del cultivo.

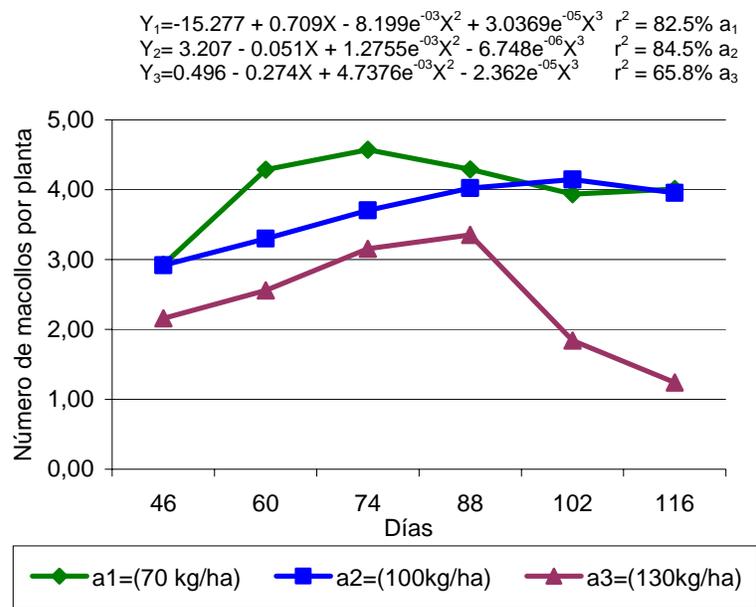


Figura 18. Curva de crecimiento en función a la densidad de siembra para el número de macollos

En el tratamiento con menor densidad a_1 (70 kg/ha) su crecimiento fue el superior con 5 macollos promedio que los otros dos tratamientos, donde a los 74 días empezó a reducir su crecimiento hasta llegar a los 88 días, esto debido a que sus órganos empezaron a desarrollarse deteniendo su crecimiento; sin embargo se obtuvo un promedio de 4 macollos por planta.

El tratamiento con densidad a_2 (100 kg/ha) su crecimiento hasta los 74 días fue de 4 macollos por planta, manteniéndose constante hasta la cosecha. Mientras que el tratamiento con mayor densidad a_3 (130 kg/ha), nos muestra que hasta los 60 días llegó a tener un promedio de 3 macollos por planta, permaneciendo constante hasta los 80 días, luego tuvo un aumento de 4 macollos, esto debido a la genética de la planta, luego pasada los 102 días redujo nuevamente a 3 macollos por planta hasta el final de la cosecha esto por la competitividad nutricional que existen entre las plantas, observándose claramente (figura 16).

Según Freire (1975), cita a Bengtson (1971), quien al referirse a la densidad hace mención de experimentos y entre las conclusiones que saca de ellos se puede indicar: Al aumentar la densidad de siembra se redujo el macollaje lo que se observo claramente en este trabajo de investigación.

En la figura 17, se observa el crecimiento de macollos en el cultivo de cebada que varió en los distintos tratamientos, donde los coeficientes de determinación en los tratamientos c_1 (0 kg N) y c_3 (40s y 40m kg N) fueron similares con $r^2=95.2\%$ y el tratamiento no fraccionado c_2 (80 kg N) tuvo un coeficiente de determinación de $r^2=65.8\%$, concluyendo que el crecimiento de los macollos durante su ciclo vegetativo dependió de los días de crecimiento.

El tratamiento testigo (c_1), registró un crecimiento hasta los 60 días en forma ascendente, luego detuvo su crecimiento hasta el final de la cosecha, registrando 3 macollos por planta, donde el diámetro de los macollos fue menor que los otros dos tratamientos, debido a la falta del elemento esencial como es el nitrógeno.

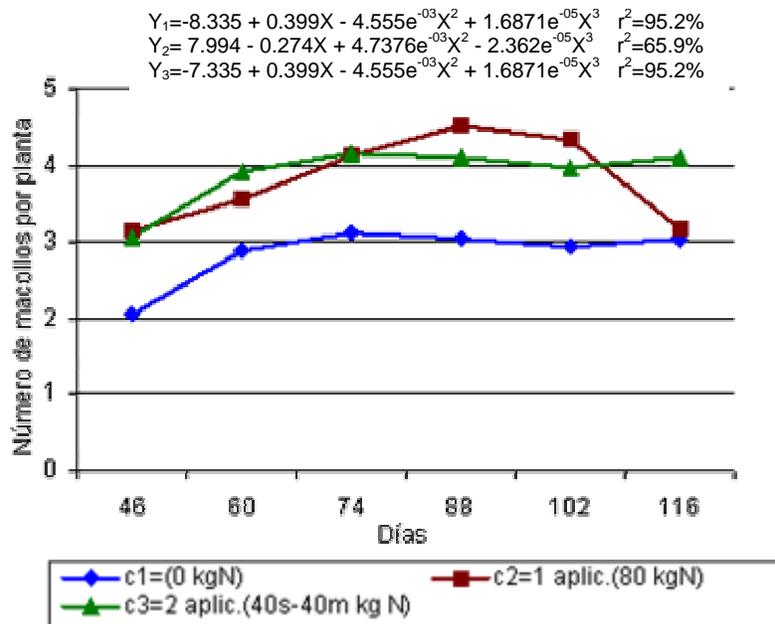


Figura 19. Curva de crecimiento en función al fraccionamiento de nitrógeno para número de macollos

Mientras el tratamiento con una sola aplicación de nitrógeno (c_2), tuvo un crecimiento similar que el tratamiento c_3 , hasta los 60 días de crecimiento con 4 macollos, manteniéndose este número de macollos hasta los 88 días, luego empezó a ascender el crecimiento hasta llegar a los 5 macollos por planta, en los 102 días, pero al llegar a la cosecha redujo a 4 macollos por planta, debido a la falta de nitrógeno en estas fases fenológicas.

El tratamiento con fertilización fraccionada (c_3), tuvo similar número de macollos hasta los 102 días, luego aumento al final de la cosecha el número de macollos por planta con un promedio de 4, pero a diferencia de los otros tratamientos sus tallos fueron de mayor diámetro, indicándonos que el nitrógeno se dirigió a esta parte de la planta. Vigliola y Calot (1992), el nitrógeno debe proveerse al cultivo en varias aplicaciones por su gran movilidad y perdidas por lixiviación. Normalmente se efectúa una fertilización inicial y otra de fondo en varias aplicaciones suplementarias, es por esta razón que al haberse aplicado en forma fraccionada en dos ocasiones pero que no fueron suficientes para aumentar el número de macollos en el cultivo.

5.6.4. Materia seca (5 plantas)

El análisis de crecimiento se realizó en cinco plantas en diferentes fases fenológicas del cultivo para observar el efecto de la densidad de siembra y el fraccionamiento de nitrógeno, en el crecimiento de la materia seca de la cebada.

Se observa en la figura 18, que los coeficientes de determinación de los tres tratamientos fueron casi similares con $r^2 = 99\%$ en los tratamientos con menor densidad de siembra a_1 (70 kg/ha) y a_2 (100 kg/ha), mientras que el tratamiento con mayor densidad a_3 (130 kg/ha) tuvo $r^2 = 98.2\%$, lo que significa que esta variable dependió de los efectos de los días de crecimiento.

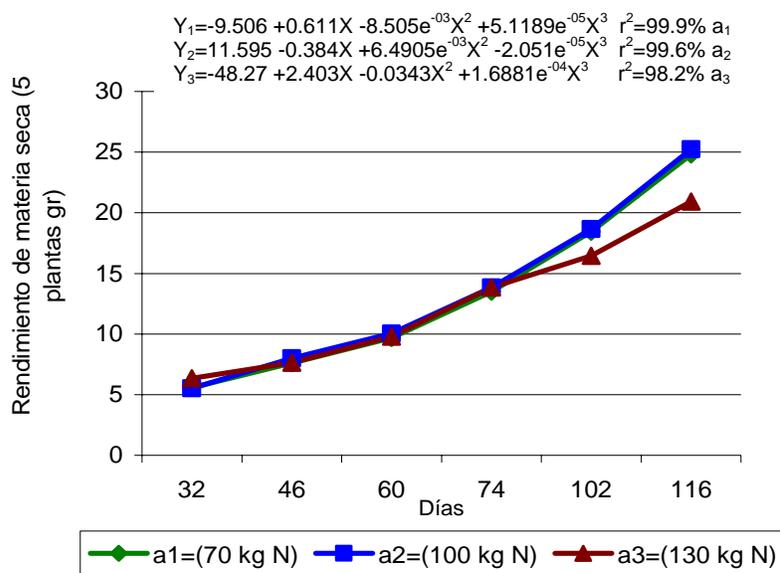


Figura 20. Curva de crecimiento en función a la densidad de siembra para rendimiento de materia seca (5 plantas)

El tratamiento a_1 (70 kg/ha), tuvo un mejor crecimiento que los otros dos tratamientos hasta 102 días, pero llegó a obtener un peso medio de materia seca en la cosecha de 24.82 gr por planta de materia seca, lo que significó que la planta tuvo suficiente espacio para poder crecer y desarrollarse la planta.

Otro de los tratamientos con densidad menor fue a_2 , observándose un crecimiento casi similar que la densidad menor a_1 hasta los 102 días, luego tuvo un ligero ascenso, llegando al final de la cosecha con 25.23 gr por planta de peso de materia seca. Este promedio fue el mejor de los otros dos tratamientos.

El tratamiento con densidad mayor a_3 tuvo un crecimiento similar que las dos densidades menores hasta los 74 días de crecimiento, luego su crecimiento fue más lento que las otras dos densidades, donde la planta ya presentaba mayor tamaño en sus diferentes órganos, necesitando por lo tanto mayor espacio para poder crecer, es por esta razón registró al final de la cosecha un promedio de 20.93 gr por planta de materia seca.

Se observa en la figura 19, que los coeficientes de determinación de los tres niveles fueron casi similares, donde el tratamiento con una sola aplicación de nitrógeno c_2 y el tratamiento fraccionado c_3 obtuvieron un coeficiente de determinación $r^2 = 99.4\%$. Mientras que el tratamiento testigo c_1 fue de $r^2 = 99.6\%$, lo que demuestra que tuvo efecto los días de crecimiento en el rendimiento de materia seca.

Los tratamientos c_1 y c_3 tuvieron un crecimiento similar hasta los 60 días, luego tuvo un ligero ascenso el tratamiento fraccionado c_3 , pero a los 90 días volvieron a tener los mismos rendimientos estos dos tratamientos, a los 102 días el crecimiento del tratamiento, pero su rendimiento final de c_1 fue de 20.86 gr por planta de materia seca. Observando claramente en este tratamiento la deficiencia de nitrógeno, disminuyó su rendimiento (Terrazas, 1971).

Mientras el tratamiento fraccionado (c_3) tuvo un crecimiento mejor llegando hasta el final del crecimiento vegetativo del cultivo con peso de materia seca de 33.6 gr por planta de materia seca. Black (1975), indica que los compuestos nitrogenados constituyen una parte importante del peso total de las plantas, lo que se demostró claramente en este trabajo de investigación.

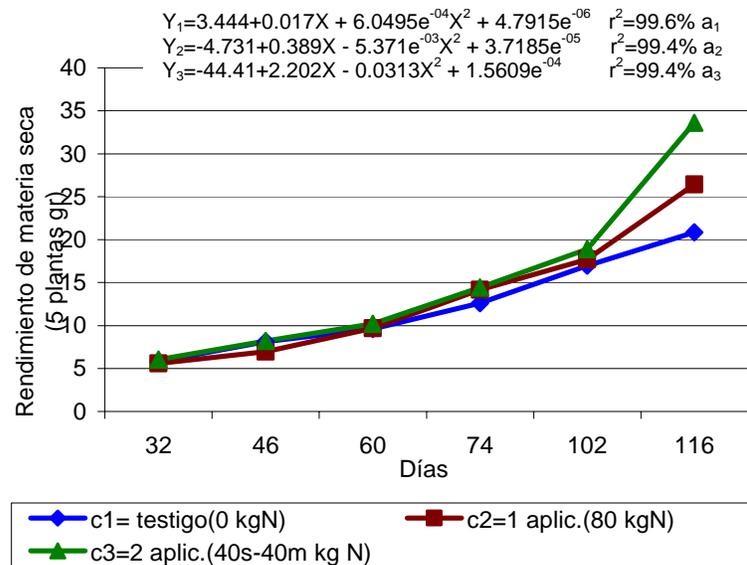


Figura 21. Curva de crecimiento en función al fraccionamiento de nitrógeno para el rendimiento de materia seca (5 plantas)

También se observa (figura 19) que el crecimiento del tratamiento con una sola aplicación de nitrógeno (c_2) fue casi similar que el tratamiento fraccionado hasta los 105 días, registrándose un rendimiento final de 26.45 gr por planta, tuvo un rendimiento medio debido a que la planta requirió de más aplicaciones de este mineral (N), el cual es fundamental para el crecimiento y desarrollo de la planta.

5.7. Análisis de costos parciales para el cultivo de cebada

El análisis de costos parciales se realizó: el presupuesto parcial, análisis de dominancia y el análisis marginal del cultivo de cebada (CIMMYT, 1988).

En el Cuadro 21 se observa en su segunda columna que, existe un mayor rendimiento medio en el tratamiento T_9 con un rendimiento de 10.36 ton/ha, seguida por los rendimientos medios obtenidos de 9.95 ton/ha del tratamiento T_3 , 9.86 ton/ha que correspondió al tratamiento T_6 , 9.56 ton/ha que pertenece al tratamiento T_5 y los rendimientos menores corresponden a T_7 y T_1 con 6.46 y 6.31 ton/ha respectivamente.

En la tercera columna se realizó un ajuste del rendimiento medio para todos los tratamientos según recomendaciones de CIMMYT (1988), para el presente caso se utilizó un ajuste porcentual del 12 %, esto debido a que los rendimientos que obtenga el productor, y con el fin de reflejar se realizó el descuento porcentual. En la cuarta columna se encuentra el beneficio bruto, se obtuvo del producto de los rendimientos ajustados con el precio de venta; una vez descontados los gastos de cosecha, el tratamiento que más rendimiento reportó fue el que registró mayor beneficio bruto, debido a que el precio de venta fueron iguales para todos los tratamientos 0.70 Bs/kg. El costo total simplemente expresa la sumatoria de todos los costos variables.

En la columna de los beneficios netos se puede apreciar que el máximo beneficio neto logró a partir del tratamiento T₉ lográndose un beneficio de 5,966.0 Bs/ha y un beneficio neto menor en el trabajo de investigación de 4024.0 Bs/ha para el tratamiento T₇.

Cuadro 21. Presupuesto parcial para el cultivo de cebada (MS)

Tratamiento	Rendimiento Medio (ton/ha)	Rendimiento ajustado (ton/ha)	Beneficio Bruto (Bs/ha)	Costo variable (Bs/ha)	Beneficio Neto (Bs/ha)
T1(70kg/ha*0kg N)	6.31	5.55	4,440	280	4,160
T2 (70kg/ha*80kgN)	8.48	7.46	5,968	790	5,178
T3(70kg/ha*40-40 kgN)	9.95	8.77	7,016	1,090	5,926
T4(100kg/ha*0kg N)	8.66	7.62	6,096	400	5,696
T5(100kg/ha*80kg N)	9.56	8.41	6,728	910	5,818
T6(100kg/ha*40-40kg N)	9.86	8.68	6,944	1,210	5,734
T7(130kg/ha*0kg N)	6.46	5.68	4,544	520	4,024
T8(130kg/ha*80kg N)	7.84	6.9	5,520	1,030	4,490
T9(130kg/ha*40-40kgN)	10.36	9.12	7,296	1,330	5,966

En el Cuadro 22 se observa que los tratamientos T₈, T₆, T₂ y T₇ son dominados porque los tratamientos T₉, T₃, T₅, T₄ y T₁ presentan mayor beneficio neto y menores costos variables. Según (CIMMYT, 1988), el análisis del presupuesto parcial se la realiza para comparan alternativas de producción con las técnicas tradicionales del agricultor, si el beneficio neto permanece igual o disminuye. En este caso se puede

utilizar fertilización nitrogenada en fraccionamiento y no así en una sola dosis, por otra parte sin fertilización resulta también económicamente viable.

Cuadro 22. Análisis de dominancia para el cultivo de cebada forrajera

Tratamientos	Costo variable	Beneficio neto
T ₁ (70kg/ha*0kg N)	280.0	4,160.0
T ₄ (100kg/ha*0kg N)	400.0	5,696.0
T ₇ (130kg/ha*0kg N)	520.0	4,024.0 D
T ₂ (70kg/ha*80kgN)	790.0	5,178.0 D
T ₅ (100kg/ha*80kg N)	910.0	5,818.0
T ₈ (130kg/ha*80kg N)	1,030.0	4,490.0 D
T ₃ (70kg/ha*40-40 kgN)	1,090.0	5,926.0
T ₆ (100kg/ha*40-40kg N)	1,210.0	5,734.0 D
T ₉ (130kg/ha*40-40kgN)	1,330.0	5,966.0

Se observa en la figura 20 que los tratamientos T₁, T₄, T₅, T₃ y T₉ aumentaron la inversión, lo que se evidencia en los beneficios netos. Es decir que para el agricultor es conveniente utilizar estos tratamientos para la producción de cebada forrajera y no así los tratamientos dominados que en este caso son: T₇, T₂, T₆ y T₈.

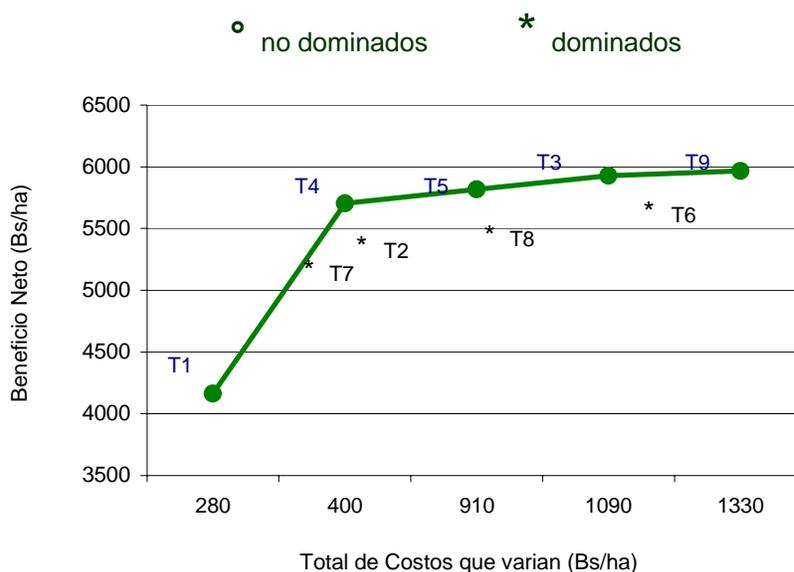


Figura 22. Curva de Beneficios Netos y Costos Totales que varían (Bs/ha), sobre la densidad de siembra y los niveles de nitrógeno en el cultivo de cebada

En el Cuadro 23 se realizó el cálculo de la Tasa de Retorno Marginal (TRM), indicando lo que el agricultor puede esperar a ganar en promedio con su inversión, cuando dice cambiar una práctica (o conjunto de prácticas) por otra.

Se observa que la tasa marginal de retorno de haber cambiado del T₁ a T₇ es de 1,280.0 % esto significa que esta muy por encima del 100% que es la Tasa de Retorno Mínima estimada y aceptable para los agricultores del dominio de recomendación (CIMMYT, 1988). La TRM de cambiar del T₄ a T₅ es solo del 23.92%, lo que significa que por cada boliviano invertido el productor puede esperar recobrar 0.22 bolivianos adicionales.

Los tratamientos T₇, T₂, T₆ y T₈ registraron mayor costo por lo que fueron dominados y no se los toma en cuenta en el proceso productivo.

Cuadro 23. Análisis marginal de costos variables para cebada forrajera

Tratamiento	Costos variables (Bs/ha)	Costos marginales (Bs/ha)	Beneficio neto (Bs/ha)	Beneficio marginal (Bs/ha)	Tasa de retorno marginal
T ₁ (70kg/ha*0kg N)	280.0		4,160.0		
		120.0		1,536.0	1,280.0 %
T ₄ (100kg/ha*0kg N)	400.0		5,696.0		
		510.0		122.0	23.92 %
T ₅ (100kg/ha*80kgN)	910.0		5,818.0		
		180.0		108.0	60.0 %
T ₃ (70kg/ha*40,40 kgN)	1,090.0		5,926.0		
		240.0		40.0	16.67 %
T ₉ (130kg/ha*40,40kgN)	1,330.0		5,966.0		

Los tratamientos T₅ a T₃ la tasa de retorno marginal es de 60.0 % lo que significa para el agricultor recobrar el boliviano invertido y obtener 0.60 Bs adicionales. Y por ultimo la TRM de haber cambiado del T₃ al T₉ es de 16.7% este parámetro esta por muy debajo del 100%, por consiguiente los tratamientos recomendados al agricultor serán T₃, T₅ y T₄.

6. CONCLUSIONES

A través de las observaciones de campo y una vez efectuado los análisis e interpretaciones estadísticas y el análisis económico, se tienen las siguientes conclusiones:

- El comportamiento agroclimático durante el periodo vegetativo del cultivo de cebada fue: temperatura mínima de $-3.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de 19.5°C , presentando una precipitación de 142.9 mm lo que favoreció a la planta.
- El suelo es de textura franco arcilloso, pH 7.19, tiene poca cantidad de nitrógeno (0.12%) lo cual fue un indicador para la fertilización del cultivo.
- Las densidades de siembra no afectaron de manera significativa en las variables fenológicas, pero si tuvo efecto en algunas variables agronómicas como: número de hojas e índice de área foliar, registrando mayor número de hojas en el tratamiento con la densidad menor a_1 (70 kg/ha) de 22.08 hojas por planta. Mientras el IAF registró mayor rendimiento en el tratamiento con mayor densidad a_3 (130 kg/ha) con $5.44\text{ dm}^2/\text{m}^2$.
- El efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la planta elevaron la calidad y rendimiento del cultivo de cebada, reportándose diferencias significativas en todas las variables agronómicas, fundamentalmente con el tratamiento fraccionado c_3 (40 siembra y 40 macollamiento kg N). En la variables fenológicas, se registró diferencias significantivas en días al espigamiento, espigando más rápidamente el tratamiento testigo c_1 (0 kg N) en 89 días, mientras los tratamientos que recibieron fertilización nitrogenada c_2 (80 kg N) y c_3 (40 siembra y 40 macollamiento kg N).

- No se presentó interacción entre los factores en estudio, densidad de siembra y fraccionamiento de nitrógeno dando como resultado la inexistencia de dependencia entre ellos.
- En el rendimiento de materia seca el tratamiento con fertilización fraccionada c_3 (40 siembra y 40 macollamiento kg N) registró un promedio de 10.05 ton/ha, y el menor rendimiento fue el tratamiento testigo c_1 (0 kg N) con 7.14 ton/ha, pero estas son aceptables en comparación a otros trabajos de investigación, debido a las condiciones climáticas y al material genético que se utilizó.
- La mayor altura de planta promedio fue en el tratamiento con fertilización fraccionada c_3 (40 siembra y 40 macollamiento kg N) con 104.88 cm y el de menor altura registró el tratamiento testigo c_1 (0 kg N) con 92.05 cm. El mayor número de macollos registraron los tratamientos c_2 (80 kg N) y c_3 (40 siembra y 40 macollamiento kg N) con 4.5 y 3.7 macollos respectivamente, con menor número de macollos fue el tratamiento testigo (0 kg N) registrándose 1 a 2 macollos por planta. El mayor número de hojas se registró en el tratamiento c_3 (40 siembra y 40 macollamiento kg N) con 19.40 hojas por planta, con el factor densidad de siembra el tratamiento con densidad menor a_1 (70 kg N), registró un promedio de 22.08 hojas por planta. El mayor Índice de área foliar reportó el tratamiento a_3 (130 kg/ha) con $5.44 \text{ dm}^2 / \text{m}^2$. Mientras con el factor fraccionamiento de nitrógeno el tratamiento c_3 (40 siembra y 40 macollamiento kg N), registró un promedio de $5.45 \text{ dm}^2 / \text{m}^2$.
- En el análisis de crecimiento los tratamientos con fertilización nitrogenada reportaron buenos crecimientos en el transcurso de su ciclo vegetativo, mientras que el testigo c_1 (0 kg N), registró un crecimiento inferior, pero aceptable por las condiciones climáticas y el material genético (IBTA-80). En el factor densidad de siembra el tratamiento con menor densidad de siembra a_1 (70kg/ha) registró mejor crecimiento, seguido de a_2 (100 kg/ha).

- En el análisis de correlación múltiple existe alta relación ($r = 0.870$) entre las variables materia seca y materia verde, como también con altura de planta. La relación materia seca e Índice de área foliar no tiene una alta correlación ($r = 0.500$), debido a que los datos obtenidos para esta variable, fueron tomadas dos semanas antes de la cosecha, en el transcurso del tiempo las condiciones climáticas fueron adversas, pero que no influyó en el rendimiento del cultivo de la cebada.
- En los costos variables los tratamientos con mayores beneficios netos los fraccionados (40 siembra y 40 macollamiento kg N) en T9 y T3 con 5,966.0 y 5,926.0 Bs. respectivamente y de menor beneficio T7 (0 kg N) con 4,024.0 Bs
- El resultado obtenido del análisis de presupuestos parciales muestran que las mayores tasas de retorno marginal fueron T1 (70 kg/ha * 0 kg N), la tasa de retorno marginal nos indica que por cada boliviano invertido recobra el boliviano y se gana 12.8 Bs. más y para T3 (70 kg/ha* 40 siembra y 40 macollamiento kg N) se recobra el boliviano invertido y se gana 0.60 Bs. Más. Se recomienda el tratamiento T3, si bien la ganancia no es muy notable se eleva la calidad del forraje.

7. RECOMENDACIONES

Viendo las limitaciones que se tienen en diferentes regiones del país para la producción de cebada forrajera es necesario tomar en cuenta algunas medidas técnicas para el manejo y mejoramiento del cultivo, incrementando el rendimiento y calidad del forraje.

- Ampliar el estudio con aplicación de nitrógeno fraccionado en distintas variedades de cebada.
- Realizar estudios de fraccionamiento de nitrógeno pero en más fases fenológicas del cultivo de cebada.
- Se recomienda sembrar a mediados del mes de diciembre por su coincidencia con época de lluvias que favorecen a su desarrollo.
- Finalmente realizar estudios de la aplicación fraccionada de nitrógeno con mayores niveles, buscando alcanzar mayores rendimientos que puedan beneficiar y propiciar un mayor retorno económico al esfuerzo y trabajo invertido por las familias.

8. BIBLIOGRAFIA

AMURRIO, A.C.F. 1992. Crecimiento y desarrollo de tres gramíneas (avena, triticale y ray grass italiano) entre tres fechas de siembra. Tesis de Grado. UMSS. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Cochabamba Bolivia. pp 84.

ATLAS ESTADÍSTICO DE MUNICIPIOS DE BOLIVIA. 2000. Municipios e Infraestructura de Bolivia. Bolivia. pp 114 – 115

AZCON, J. y BIETO, M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Editorial INTERAMERICANA. Madrid España. pp 193 - 218 .

BEAR, F. 1969. Los suelos en relación con el crecimiento de cultivos. Editorial OMEGA. Barcelona España. pp 62 –88.

BLACK, C.A. 1975. Relaciones Suelo – Planta. Editorial HEMISFERIO SUR. Buenos Aires Argentina. pp 90.

BIDWELL. 1993. Fisiología vegetal. Editorial AGT. México DF. pp 86 – 87.

BUCKMAN, H. 1970. Naturaleza y propiedades del suelo. Editorial MONTANER Y SIMON. . Barcelona (ES). pp 426 – 449.

CABALLERO, W. 1975. Introducción a la Estadística. Editorial IICA. San José, C.R. pp 289.

CALLISAYA, O.1999. Influencia de la Introducción de Suka Kollus sobre la organización de la producción ganadera en la comunidad de Achuta Grande, Provincia Ingavi. Tesis de Grado. U.M.S.A. Facultad de Agronomía. La Paz Bolivia. pp 153.

CALZADA, J. 1970. Métodos Estadísticos para la Investigación. Editorial Jurídica. 4. ed. Lima Perú. pp 640

CARAMBULA, M. 1981. Producción de semillas de plantas forrajeras. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo (UR). pp 518 - 519.

CIF (Centro de Investigación en Forrajes). 1997. Empresa de semillas forrajeras. SEFO – UMSS. Cochabamba Bolivia. pp 33 – 115.

CHACON, J. y JUTZI, S. 1979. Cereales menores en siembra de invierno para producción de forraje en época invernal. VIII Reunión Nacional de ABDPA. Sucre Bolivia. pp 150 - 162.

CHILON, E. 1994. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento, la cantidad y la calidad de los cultivos. UMSA. Práctica N° 5. La Paz Bolivia. pp 1 – 14.

CORTES, J. 1994. Producción de cebada forrajera con el uso de aguas salinas y Enmiendas. Estación Experimental Turco. Tesis Ing. Agr. Universidad Tecnológica de Oruro (UTO). Oruro Bolivia. pp 77 - 88.

COULOMBE, J. y APAZA, V. 1982. Tecnología del cultivo de Cebada en Puno, Copia Mincrografiada. Puno Perú. pp 22 - 24.

DINCHEV. 1970. Agroquímica. Nutrición nitrogenada de las plantas. Editorial REVOLUCIONARIA. Habana Cuba. pp 600.

DOMINGUEZ, A. 1984. Tratado de fertilización. Editorial MUNDI PRENSA. Madrid España. pp 585 - 589.

DOMINGUEZ, A.V. 1989. Tratado de fertilización. 2 ed. Editorial MUNDI PRENSA. Madrid España. pp 184.

DOMINGUEZ, A.V. 1993. Tratado de fertilización. MUNDI PRENSA. Madrid España. pp 333 – 343.

DOMINGUEZ, S. 1985. Principios de fisiología vegetal. Escuela Nacional de Agricultura Chapingo. México. pp 135.

DONEEN, D. 1972. La práctica del riego y la ordenación de las aguas F.A.O. Roma Italia. pp 50.

FAO (Organización de Naciones Unidas y la Alimentación). 1990. 1er Seminario Nacional sobre Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes en Bolivia. pp 75 - 82.

FAO (Organización de Naciones Unidas y la Alimentación). 1996. La baja fertilidad de los Suelos en Bolivia. In: Tierra y hombres. Informe FERTISUELOS. Potosí. Bolivia.

FERNANDEZ, G. y JOHNSTON, M. 1986. Fisiología vegetal Experimental. Serie de libros y Materiales educativos. IICA. San José Costa Rica. pp 428 - 500.

FREIRE, E.M. 1975. Estudios de densidad de siembra y su influencia sobre componentes del rendimiento de cebada. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Agronómica y Medicina Veterinaria. Quito Ecuador. pp 3 – 17.

GOMEZ, Q.R. 1992. Adaptación de 12 variedades de trigo (*Triticum aestivum L.*), al área triguera del departamento Cochabamba. Tesis de Grado. UMSS. Cochabamba Bolivia. pp 132.

GROSS, A. 1986. Abonos. guía práctica de fertilización. 7 ed. Editorial Mundi Prensa. Madrid España. pp 173 - 389 y 560.

GUTIÉRREZ, F. 1989. Líneas y cultivares de cebada en la producción de forrajes y semillas. Forrajes y semillas (CIF-UMSS). Vol.VIII. Cochabamba Bolivia. pp 25.

GUTIÉRREZ, F. 2000. Metodología de evaluación en cereales menores Forrajeros. In Uniformización de técnicas y criterios de investigación. C.I.F. Cochabamba Bolivia. pp 15 - 30.

GUTIERREZ, F. y QUINTANA, E. 1987. Evaluación de líneas de triticale en forraje en la época invernal. VIII Reunión Nacional de ABOPA. Sucre (BOL). Pp 169-173

GUZMÁN, C.J. 2003. Apuntes de Diseños Experimentales II. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz – Bolivia.

HILL, R. 1987. Fotosíntesis. Traducido de la 1 ed. Inglesa por Cordón. Revista de Occidente. Madris España. pp 190.

HUNT, R. 1982. Planta de crecimiento. El acercamiento planta crecimiento de análisis funcional. GREAL BRITAIN. pp 135.

INFOAGRO. 2000. Cultivo de Cebada (en línea). Consultado 10 de Marzo del 2005. Disponible en:

(<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/cebada.asp#4.%20REQUERIMIENTOS%20EDAFOCLIMÁTICOS.>)

IBTEN (Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear). 2004. Análisis Físico-Químico de Suelos. La Paz Bolivia.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AGROINDUSTRIAL. 1988. Fenología de Cultivos Andinos y Uso de la información Agrometeorológica. Curso Taller. ANDINOS PISA. Puno Perú. Pp 47-51.

JACOB A. Y VEXKULL H. 1978. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y Subtropicales. Trad. López L. Boon Alemania.

JUSCAFRESCA, B. 1980. Forrajes fertilizantes y valor nutritivo. 2 ed. Editorial AEDOS. Barcelona España. pp 21- 22.

LAURA et al.,1992. Respuesta de estiércol de Ovino, llama y bovinos con adición de fósforo comparado con la fertilización química en el cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare L.*).

LOPEZ, L. 1991. Cultivos herbáceos. Editorial MUNDI. Vol 1. Madrid España. pp 247- 275

MAMANI, F. 1994. Efecto de la densidad de siembra en cuatro variedades de qañawa en el Altiplano Norte. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. La Paz Bolivia. pp 100.

MAMANI, C. 1996. Comportamiento agronómico de la quínoa (*Chenopodium quinoa, wila*) en asociación con cebada para ensilaje, en el Altiplano Central. Tesis Ing. Agr. UMSA Facultad de Agronomía. La Paz Bolivia. pp 15 - 16.

MARCA S. 1990. Programa De Investigación de cultivos andinos. INIAA. Puno Perú. pp 47 - 51.

MATOS, G. 1998. Rol fisiológico de los nutrientes en la vida las plantas. Apuntes de la materia de Fisiología U.M.S.A. La Paz Bolivia.

MAYNARD, L. 1975. Nutricional animal. 3 ed. Editorial UTEHA. México. pp 635.

MEDINA, A. 1989. El Biol: Fuente de fitoestimulantes en el desarrollo agrícola. Cochabamba Bolivia. pp 97.

MENDIETA, H. 1979. Rendimiento de Cebada en suelos previamente cultivados con alfalfa en VI Reunión Nacional de pastos y forrajes y IV Reunión Nacional de ganadería. Trinidad Bolivia. pp 133 – 138.

MIGLIORINI, F. 1984. Forrajes. Editorial DIAGAFIC. Barcelona España. pp 66 -167.

MIRANDA, L. 1979. VI Reunión Nacional de Pastos y Forrajes y IV Reunión Nacional de ganadería. Trinidad Bolivia. pp 163 - 170.

MOLINA, C.J.L. 1989. La Cebadar. Editorial MUNDIPRENSA. Madrid España. pp 54 – 57.

MONTES DE OCA, I. 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. 3 ed. La Paz Bolivia.

NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. 1992. Manual de fertilizantes. Washington D.C. Trad. Centro Regional de Ayuda Técnica. 10 ed. Editorial LIMUSA México.

ODUN, E.P. 1971. Ecología. Editorial INTERAMERICANA. México. pp 179 - 181.

PACORI, A. 1974. Efecto de N, P, Mo y Rhizobium en la fijación simbiótica en N en el cultivo de haba (*Vicia faba*), Tesis de grado, Universidad Nacional Técnica del Altiplano. Puno Perú. pp 48.

PADRÓN, E. 1996. Diseños Experimentales con la aplicación a la Agricultura y Ganadería. Editorial Trillas. México D.F. pp 39, 55-66, 185-196.

PARSONS, D.B. 1981. Trigo, cebada y avena, In: Manuales para educación Agropecuaria, Área Vegetal. Editorial TRILLAS. México.

PERRIN, R; ANDERSON, J. 1988. Manual Metodológico de Evaluación Económica CIMMYT. Presupuesto Parcial. Pp 9, 27-29.

PRIETO et al., 1992. Respuesta Comparativa de dos variedades de Cebada (*Hordeum vulgare L.*) en la Aplicación de fertilizantes químicos. X Reunión Nacional de ABOPA. pp 107 – 109.

QUISPE, N.A. 1999. Estudio comparativo de Avena, Cebada y Triticale en la localidad de Choquenaira. Tesis de grado UMSA. La Paz Bolivia. pp 46 – 53.

RAMOS, T.G.M. 2002. Influencia de la fertilización nitrogenada en dos especies forrajeras avena (*Avena sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare L.*) en la localidad Puna. Tesis de Grado Universidad Tomás Frías. Potosí Bolivia. pp 56

RAYMOND, D. 1985. Horticultura práctica. BLUME. Barcelona España. pp 389

ROBLES R. 1986. Producción de grano en forrajes. 4 ed. Editorial Limusa. México. pp 135 - 168 y 247.

ROBLES, R. 1990. Producción de granos y forrajes. 5 ed. Editorial LIMUSA. México. pp 257 - 315.

RODRIGUEZ, S.F. 1982. Fertilizantes. Editorial PROGRESO 202. México DF. pp 56 - 64, 133 y 134.

RODRIGUEZ, F. 1989. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. Editorial PROGRESO México DF. pp 53 – 64.

RODRIGUEZ, M.R. 1991. Fisiología Vegetal. Editorial LOS AMIGOS DEL LIBRO Cochabamba Bolivia. pp 185 - 188.

SANCHEZ, C. Y FUKUSAKI, G. 1974. Fitotecnia Latinoamericana. Vol. 10. N°1. pp 52-59.

SAUMA, G. 1997. Empresa de semillas forrajeras SEFO –SAM, Cochabamba Bolivia. Seminario Achocalla. La Paz (BOL).

SEBILLOTE, M. 1987. Interés de agrofisiología para el razonamiento de los Itinerarios técnicos en función de los objetivos del rendimiento. Traducido del francés por Barragán, A. y Duchennet, T. INRA. pp 29.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2003-04. Datos Climáticos de la zona de Tiahuanaco.

TAPIA, M. 1971. Pastos naturales del Altiplano Perú y Bolivia, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. MISCELANEA N°5. Bolivia. pp 200.

TERRAZAS, C.T. 1971. Fertilización de trigo jaral con diferentes niveles de Nitrógeno y fósforo. Tesis de grado. UMSS. Cochabamba Bolivia.

THENIER, M.W. 2002. Respuesta a la Fertilización nitrogenada en tres variedades de cebada cervecera (*Hordeum vulgare L.*). Tesis de Grado. Universidad Tomás Frías. Lequezana Potosí.

UAC (Unidad Campesina Agropecuaria). 1990. Datos Agroecológicos de Tiahuanaco Universidad Católica Boliviana. La Paz Bolivia. pp 8 – 9.

VERASTEGUI, S. 1987. Alimentar. Textos con Artículos producto de la investigación y conceptos prácticos de la alimentación de Ganado. Lima Perú. pp 295.

VILLEGAS, Y.V. 2004. Evaluación de la producción forrajera y granan de cinco variedades de Cebada (*Hordeum vulgare L.*) aplicando fertilizante químico en

tres localidades del Altiplano Norte. Tesis de grado. UMSA. La Paz (BOL). pp 61.

VIGLIOLA, M. y CALOT, L. 1992. Manual de horticultura. 2 ed. Editorial HEMISFERIO SUR, Buenos Aires Argentina. pp 12 - 76.

WEAVER, E.J. y CLEMENTS, E.F. 1971. Ecología Vegetal. Editorial HEMISFERIO SUR. Buenos Aires Argentina.

(-----). 1989. Manual de Fertilidad de los Suelos. Editorial AGROFERT. pp 1-33.

ANEXOS

ANEXO 1. Altura de la planta (cm)

FACTOR A DENSIDADES	FACTOR B NITRÓGENO	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
a1 = 70 kg/ha	c1 = 0 kg	102.8	98.5	90.8	96.0
	c2 = 80 kg	100.6	56.0	99.8	93.7
	c3 = 40s-40m Kg	109.5	98.9	100.3	106.7
a2= 100 kg/ha	c1 = 0 kg	93.6	111.9	102.3	95.7
	c2 = 80 kg	94.4	100.7	108.5	91.2
	c3 = 40s-40m kg	122.1	106.6	109.5	96.9
a3= 130 kg/ha	c1 = 0 kg	81.4	86.7	95.3	84.5
	c2 = 80 kg	96.4	79.1	94.4	89.8
	c3 = 40s-40m kg	111.0	72.5	116.3	108.3

Tratamientos	Promedios
T1 a1*c1	97.03
T2 a1*c2	87.53
T3 a1*c3	103.85
T4 a2*c1	100.88
T5 a2*c2	98.70
T6 a2*c3	108.78
T7 a3*c1	86.98
T8 a3*c2	89.93
T9 a3*c3	102.03

A1.1 Tabla de doble entrada de Altura de planta de la cebada

Densidad	Niveles de Nitrógeno			
	c1	c2	c3	
a1	388.1	350.1	415.4	1,153.6
a2	403.5	394.8	435.1	1,233.4
a3	347.9	359.7	408.1	1,115.7
	1,139.5	1,104.6	1,258.6	3,502.7

A1.2 Homocedasticidad para los datos de altura del cultivo de cebada(Método de Barlet)

Trat.	S	(n-1)	SC	log S	(n-1)log S	S m	log S m
1	25.11	3	75.33	1.400	4.20	134.66	2.13
2	451.20	3	1,353.60	2.654	7.96		
3	25.72	3	77.16	1.410	4.23		
4	67.76	3	203.28	1.831	5.49		
5	58.26	3	174.78	1.765	5.30		
6	107.94	3	323.82	2.033	6.10		
7	17.76	3	53.28	1.249	3.75		
8	59.72	3	179.16	1.776	5.33		
9	398.48	3	1,195.44	2.600	7.80		
Total		12		16.72			
			$X_c^2 = 15.11$	<			$x_t^2 = 15.51$

A1.3 Eficiencia Relativa (BCA) de Altura de planta de la cebada

CME = 128.31

ER (BCA a CA) = 118 %

ANEXO 2. Número de macollos por planta

FACTOR A DENSIDADES	FACTOR B NITRÓGENO	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
a1 = 70 kg/ha	c1 = 0 kg	3	3	3	2
	c2 = 80 kg	6	3	8	4
	c3 = 40s-40m kg	3	5	4	7
a2 = 100 kg/ha	c1 = 0 kg	2	4	1	3
	c2 = 80 kg	3	8	3	4
	c3 = 40s-40m kg	3	5	4	3
a3 = 130 kg/ha	c1 = 0 kg	1	2	2	1
	c2 = 80 kg	6	4	3	2
	c3 = 40s-40m kg	3	2	4	2

Tratamientos	Promedios
T1 a1*c1	2.75
T2 a1*c2	5.25
T3 a1*c3	4.75
T4 a2*c1	2.50
T5 a2*c2	4.50
T6 a2*c3	3.75
T7 a3*c1	1.50
T8 a3*c2	3.75
T9 a3*c3	2.75

A2.1 Tabla de doble entrada de número de macollos de la cebada

Densidad	Niveles de Nitrógeno			
	c1	c2	c3	
a1	11	21	19	51
a2	10	18	15	43
a3	6	15	11	32
	27	54	45	126

A2.2 Homocedasticidad para los datos de número macollo del cultivo de Cebada (Método de Barlet)

Trat.	S	(n-1)	SC	log S	(n-1)log S	S m	log S m
1	0.250	3	0.75	-0.002	-1.81	2.28	0.36
2	4.917	3	14.75	0.692	2.08		
3	2.917	3	8.75	0.465	1.40		
4	1.667	3	5.00	0.222	0.67		
5	5.667	3	17.00	0.753	2.26		
6	0.917	3	2.75	-0.038	-0.11		
7	0.333	3	1.00	-0.478	-1.43		
8	2.917	3	8.75	0.465	1.40		
9	0.917	3	2.75	-0.038	-0.11		
Total		27		1.44			

$x_c^2 = 11.09$ < $x_t^2 = 15.51$

A2.3 Eficiencia Relativa (BCA a CA) de número de macollos de la cebada CME = 0.09

ER (BCA a CA) = 10.09 %

ANEXO 3. Número de hojas por planta

FACTOR A DENSIDADES	FACTOR B NITRÓGENO	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
a1 = 70 kg/ha	c1 = 0 kg	18	15	13	11
	c2 = 80 kg	36	16	39	27
	c3 = 40s-40m kg	17	24	19	30
a2 = 100 kg/ha	c1 = 0 kg	9	18	6	9
	c2 = 80 kg	15	15	14	20
	c3 = 40s-40m kg	18	43	18	14
a3 = 130 kg/ha	c1 = 0 kg	6	10	7	5
	c2 = 80 kg	7	16	14	12
	c3 = 40s-40m kg	14	9	27	11

Tratamientos	Promedios
T1 a1*c1	14.25
T2 a1*c2	29.50
T3 a1*c3	22.50
T4 a2*c1	10.50
T5 a2*c2	16.00
T6 a2*c3	23.50
T7 a3*c1	7.00
T8 a3*c2	12.25
T9 a3*c3	15.25

A3.1 Tabla de doble entrada de número de hojas de la cebada

Densidad	Niveles de Nitrógeno			
	c1	c2	c3	
a1	57	118	90	265
a2	42	64	93	199
a3	28	49	61	138
	127	231	244	602

A3.3 Homocedasticidad para los datos de número de hojas del cultivo de Cebada (Método de Barlet)

Trat.	S	(n-1)	SC	log S	(n-1)log S	S m	log S m
1	8.92	3	26.76	0.95	2.85	49.56	1.70
2	107.00	3	321.00	2.03	6.09		
3	33.67	3	101.01	1.53	4.59		
4	27.00	3	81.00	1.43	4.29		
5	7.33	3	21.99	0.87	2.61		
6	176.92	3	530.76	2.25	6.75		
7	4.67	3	14.01	0.67	2.01		
8	14.92	3	44.76	1.17	3.51		
9	65.58	3	196.74	1.82	5.46		
Total		27		12.72			

$x_c^2 = 15.91$ $>$ $x_t^2 = 15.51$

A3.4 Eficiencia Relativa (BCA a CA) de Número de hojas de la cebada

CME = 0.50

ER (BCA a CA) = 93 %

ANEXO 4. Índice de área foliar (dm^2/m^2)

FACTOR A DENSIDADES	FACTOR B NITRÓGENO	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
a1 = 70 kg/ha	c1 = 0 kg	2.53	2.73	2.89	1.18
	c2 = 80 kg	5.42	2.07	1.99	3.81
	c3 = 40s-40m kg	5.06	4.87	5.08	5.16
a2 = 100 kg/ha	c1 = 0 kg	2.83	4.70	3.88	2.60
	c2 = 80 kg	6.03	2.88	4.71	4.64
	c3 = 40s-40m kg	3.97	5.75	6.50	5.04
a3 = 130 kg/ha	c1 = 0 kg	4.41	5.79	4.10	5.02
	c2 = 80 kg	4.87	5.38	5.36	6.39
	c3 = 40s-40m kg	9.33	3.92	4.78	5.97

Tratamientos	Promedios
T1 a1*c1	2.33
T2 a1*c2	3.32
T3 a1*c3	5.05
T4 a2*c1	3.50
T5 a2*c2	4.56
T6 a2*c3	5.32
T7 a3*c1	4.83
T8 a3*c2	5.50
T9 a3*c3	6.00

A4.1 Tabla de doble entrada de rendimiento de Índice de Área foliar de la cebada

Densidad	Niveles de Nitrógeno			
	c1	c2	c3	
a1	12.33	13.29	20.19	45.81
a2	15.01	18.25	21.26	54.52
a3	19.32	22.00	24.00	65.32
	46.66	53.54	65.45	165.65

A4.2 Homocedasticidad para los datos de Índice de área foliar del cultivo de cebada(Método de Barlet)

Trat.	S	(n-1)	SC	log S	(n-1)log S	S m	log S m
1	0.25	3	0.75	-0.60	-1.80	1.42	-0.17
2	2.66	3	7.98	0.42	1.26		
3	0.04	3	0.12	-1.40	-4.20		
4	0.44	3	1.32	-0.36	-1.08		
5	1.67	3	5.01	0.22	0.66		
6	1.16	3	3.48	0.06	0.18		
7	0.55	3	1.65	-0.26	-0.78		
8	0.41	3	1.23	-0.39	-1.17		
9	5.63	3	16.89	0.75	2.25		
Total=12.76		27	-1.56				

$x_c^2 = 0.06 < x_t^2 = 15.51$

A4.3 Eficiencia Relativa (BCA a CA) de Número de hojas de la cebada

CME = 1.7

ER (BCA a CA) = 56.90 %

ANEXO 5. Materia verde

FACTOR A DENSIDADES	FACTOR B NITRÓGENO	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
a1 = 70 kg/ha	c1 = 0 kg	17.32	14.18	12.63	25.52
	c2 = 80 kg	23.45	12.78	23.87	15.41
	c3 = 40s-40m kg	36.13	23.56	13.56	13.66
a2 = 100 kg/ha	c1 = 0 kg	15.10	26.08	21.24	28.76
	c2 = 80 kg	18.76	23.71	21.39	15.31
	c3 = 40s-40m kg	29.74	28.81	23.04	25.67
a3 = 130 kg/ha	c1 = 0 kg	13.45	16.55	14.79	9.17
	c2 = 80 kg	13.71	11.91	21.39	22.47
	c3 = 40s-40m kg	28.97	14.33	39.43	21.03

Tratamientos	Promedios
T1 a1*c1	17.41
T2 a1*c2	18.88
T3 a1*c3	21.73
T4 a2*c1	22.79
T5 a2*c2	19.80
T6 a2*c3	26.82
T7 a3*c1	13.49
T8 a3*c2	17.37
T9 a3*c3	25.94

A5.1 Tabla de doble entrada de rendimiento de materia verde de la cebada

Densidad	Niveles de Nitrógeno			
	a1	a2	a3	
c1	69.65	75.51	86.91	232.07
c2	91.18	79.17	107.26	277.61
c3	53.96	69.48	103.76	227.20
	214.79	224.16	297.93	736.88

A5.2 Homocedasticidad para los datos de rendimiento de materia verde del cultivo de cebada(Método de Barlet)

Trat.	S	(n-1)	SC	log S	(n-1)log S	S m	log S m
1	124.24	3	372.72	2.09	6.27	175.49	2.24
2	63.58	3	190.74	1.80	5.40		
3	447.58	3	1342.74	2.65	7.95		
4	121.25	3	363.75	2.08	6.24		
5	123.68	3	371.04	2.09	6.27		
6	115.40	3	346.20	2.06	6.18		
7	37.21	3	111.63	1.42	4.26		
8	107.21	3	321.63	2.03	6.09		
9	439.25	3	1317.75	2.64	7.92		
Total		27		21.86			

$x_c^2 = -10.48 < x_t^2 = 15.51$

A5.3 Eficiencia Relativa (BCA a CA) rendimiento de materia verde (cebada)

CME = 0.89

ER (BCA a CA) = 100 %

ANEXO 6. Materia seca (ton/ha)

FACTOR A DENSIDADES	FACTOR B NITRÓGENO	BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
a1 = 70 kg/ha	c1 = 0 kg	8.56	6.29	6.19	6.86
	c2 = 80 kg	9.33	5.52	8.71	10.36
	c3 = 40s-40m kg	12.16	9.95	6.34	11.34
a2 = 100 kg/ha	c1 = 0 kg	7.01	10.88	10.57	6.19
	c2 = 80 kg	7.99	10.82	10.00	9.43
	c3 = 40s-40m kg	11.19	11.13	10.88	6.24
a3 = 130 kg/ha	c1 = 0 kg	6.19	7.53	7.22	4.90
	c2 = 80 kg	6.34	5.82	10.05	9.18
	c3 = 40s-40m kg	9.50	7.84	15.21	8.87

Tratamientos	Promedios
T1 a1*c1	6.97
T2 a1*c2	8.48
T3 a1*c3	9.95
T4 a2*c1	8.66
T5 a2*c2	9.56
T6 a2*c3	9.86
T7 a3*c1	6.46
T8 a3*c2	7.85
T9 a3*c3	10.36

A6.1 Tabla de doble entrada de rendimiento de materia seca de la cebada

Densidad	Niveles de Nitrógeno			
	c1	c2	c3	
a1	27.90	33.92	39.79	101.61
a2	34.65	38.24	39.44	112.09
a3	25.84	31.39	41.86	99.09
	88.39	103.55	121.09	

A6.2 Homocedasticidad para los datos de rendimiento de materia seca del cultivo de cebada(Método de Barlet)

Trat.	S	(n-1)	SC	log S	(n-1)log S	S m	log S m
1	1.20	3	3.60	0.08	0.24	4.66	0.67
2	4.36	3	13.08	0.64	1.92		
3	6.62	3	19.86	0.82	2.46		
4	5.80	3	17.40	0.76	2.28		
5	1.42	3	4.26	0.15	0.45		
6	5.84	3	17.52	0.77	2.31		
7	1.41	3	4.23	0.15	0.45		
8	4.34	3	13.02	0.64	1.92		
9	10.95	3	32.85	1.04	3.12		
Total		27		5.05			

$$x_c^2 = 6.04 < x_t^2 = 15.51$$

A6.4 Eficiencia Relativa (BCA a CA) de rendimiento de materia seca de la cebada

$$CME = 3.07$$

$$ER (BCA a CA) = 99 \%$$

ANEXO 7. Datos promedio de ganancias en altura de planta

Fechas	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
17/01/04	9.5	8.7	8.8	9.0	9.1	9.8	8.6	8.5	9.4
31/01/04	13.6	12.4	12.7	14.5	12.9	14.1	13.5	12.5	13.3
14/02/04	20.7	19.3	20.3	22.5	20.2	21.4	19.2	19.7	20.0
28/02/04	31.2	29.5	30.7	35.3	31.7	33.6	29.4	27.8	33.0
13/03/04	46.6	42.6	46.2	51.9	46.3	50.1	43.3	38.0	50.3
27/03/04	64.4	49.9	67.8	71.9	64.7	68.6	59.7	54.0	70.6
10/04/04	86.3	80.8	40.6	90.2	81.9	88.0	80.8	70.3	85.8
24/04/04	100.7	78.3	104.2	102.8	97.5	114.4	84.0	87.7	91.7

A7.1 Ganancias altura de planta factor densidad de siembra

X Días/acumulado	a1	a2	a3
18	9.02	9.28	8.82
32	12.88	13.83	13.09
46	20.07	21.33	19.45
60	30.47	33.55	30.08
74	45.13	49.47	43.86
88	60.80	68.42	61.45
102	85.88	86.71	79.98
116	94.37	104.90	87.85

A7.2 Ganancias altura de planta factor fraccionamiento del nitrógeno

X Días/acumulado	c1	c2	c3
18	9.05	8.73	9.34
32	13.88	12.60	13.36
46	20.79	19.53	20.53
60	31.98	29.68	32.43
74	47.25	42.28	48.93
88	65.45	56.20	69.02
102	85.76	77.65	88.16
116	95.83	87.86	103.42

ANEXO 8. Datos promedio de ganancias en número de hojas

Fechas	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
17/01/04	2	2	2	2	2	2	2	2	2
31/01/04	4	4	4	4	4	4	4	4	4
14/02/04	9	10	9	8	8	9	6	8	7
28/02/04	15	18	16	12	15	11	9	13	13
13/03/04	17	28	17	14	16	21	10	13	14
27/03/04	17	29	22	13	19	23	9	14	17
10/04/04	14	30	23	11	16	23	7	10	15
24/04/04	16	24	18	12	13	30	8	8	10

A8.2 Ganancias número de hojas factor densidad de siembra

X Días/acumulado	a1	a2	a3
18	2	2	2
32	4	4	4
46	9	8	7
60	16	13	12
74	21	17	12
88	23	18	13
102	22	17	11
116	19	18	9

A8.3 Ganancias número de hojas factor fraccionamiento del nitrógeno

X Días/acumulado	c1	c2	c3
18	2	2	2
32	4	4	4
46	8	9	8
60	12	15	13
74	14	19	17
88	13	21	21
102	11	17	20
116	12	15	19

ANEXO 9. Datos promedios de ganancias de número de macollos por planta

Fechas	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
14/02/04	3	3	3	2	3	3	2	2	3
28/02/04	3	6	4	3	3	4	2	3	3
13/03/04	4	6	4	3	3	5	2	3	3
27/03/04	3	6	4	3	4	4	2	3	3
10/04/04	3	5	5	3	3	6	4	6	3
24/04/04	5	5	3	3	3	6	2	2	3

A9.1. Ganancias número de macollos factor densidad de siembra

X Días/acumulado	a1	a2	a3
46	3	3	2
60	4	3	3
74	5	4	3
88	4	4	3
102	4	4	4
116	4	4	2

A9.3. Ganancias número de macollos factor fraccionamiento del nitrógeno

X Días/acumulado	c1	c2	c3
46	2	3	3
60	3	4	4
74	3	4	4
88	3	4	4
102	3	5	4
116	3	3	4

ANEXO 10. Datos promedio de ganancias en materia seca en 5 plantas (gr)

Fechas	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
14/02/04	5.53	5.10	6.08	5.47	5.58	5.47	6.43	6.10	6.53
28/02/04	7.63	6.98	8.23	9.13	6.45	8.45	7.60	7.43	7.88
13/03/04	9.70	9.30	10.08	9.69	10.20	10.23	9.48	9.50	10.35
27/03/04	12.47	14.13	13.88	14.25	13.73	13.55	11.05	14.63	15.80
10/04/04	17.20	18.95	19.20	17.10	20.83	18.03	16.60	16.25	15.90
24/04/04	24.80	17.27	38.30	17.70	22.90	26.00	20.10	39.20	36.50

A10.1 Ganancias de materia seca factor densidad de siembra

X Días/acumulado	a1	a2	a3
46	5.57	5.51	6.35
60	7.61	8.01	7.64
74	9.69	10.04	9.78
88	13.49	13.84	13.83
102	18.45	18.85	16.45
116	26.82	22.23	31.93

A10.2 Ganancias de materia seca factor fraccionamiento del nitrógeno

X Días/acumulado	c1	c2	c3
46	5.81	5.59	6.03
60	8.12	6.95	8.19
74	9.62	9.67	10.22
88	12.59	14.16	14.41
102	16.97	17.71	18.88
116	20.86	26.45	33.60

ANEXO 11. Cronograma de actividades

Las actividades que se realizarán durante los años 2003-2004

ACTIVIDADES	DIC.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.
Preparación del terreno	—					
Siembra	—	—				
Aplicación de fertilización N	—	—	—			
Labores culturales		—	—	—	—	
Cosecha						—
Toma de datos		—	—	—	—	—
Trabajo de gabinete						

ANEXO 12. Resumen de la variación climática del municipio de Tiahuanaco (2003-2004)

Mes	Temperatura(°C)			Humedad Relativa %	Precipitación (mm)
	Max	Min	Media		
MAR	15.9	4.0	10.0	77	66.6
ABR	17.2	-0.2	8.6	65	6.4
MAY	16.3	-2.8	6.7	57	2.1
JUN	15.6	-7.8	3.9	48	0.0
JUL	15.2	-6.9	4.2	54	0.0
AGO	15.2	-5.2	5.2	48	0.0
SEP	15.8	-1.6	7.1	47	10.0
OCT	18.2	-0.1	10.3	41	11.3
NOV	18.6	1.1	9.8	42	27.5
DIC	17.8	4.0	10.0	57	96.5
ENE	15.1	5.1	10.1	76	142.9
FEB	15.5	4.7	10.1	72	86.5
MAR	16.6	3.2	9.9	79	44.4
ABR	19.5	-2.8	9.1	57	16.2
MAY	17.0	-3.1	7.5	56	9.4
TOTAL					

FUENTE: SENAMHI, 2004

ANEXO 13. Costos de producción

DETALLES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Costo semilla	280	280	280	400	400	400	520	520	520
Costo del fertilizante		210	210		210	210		210	210
Mano de obra para fertilización nitrogenada		300	300		300	300		300	300
Mano de obra para segunda aplicación de fertilización			300			300			300
Total de costos que varían	280	790	1,090	400	910	1,210	520	1,030	1,330
Beneficio bruto de campo totales	4,442	5,968	7,016	6,140	6,728	6,944	4,544	5,520	7,296
Beneficio neto	4,162	5,178	5,926	5,704	5,818	5,734	4,024	4,490	5,966

ANEXO 14. Análisis Físico-químico del suelo

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 CENTRO DE INVESTIGACIONES DEL SUELO
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS

ANALIZADO: MORAN DE LA PAZ
 PROYECTO: ORO LA PAZ, PROYECTO MIGLEY
 TURISMO

N° SOLICITUD: 262014
 FECHA DE RECEPCIÓN: 11 de febrero 2003
 FECHA DE ENTREGA: 17 de febrero 2003

N° Muestra	Código	Zona	Cultivo	Profundidad (cm)	C.A.S.		C.E.		C.T.		C.F.		C.G.		C.H.		C.I.		pH	Temperatura (°C)	Muestra	Fecha	Muestra	Fecha	
					Ar	Lu	Ar	Lu	Ar	Lu	Ar	Lu	Ar	Lu	Ar	Lu	Ar	Lu							Ar
270	270	LA PAZ	LA PAZ	0-10	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45

Observaciones: Probable suelo yermos de las sabanas, saturado con agua de lluvia. Celda de referencia con agua de lluvia a 10.0 pH. Temperatura ambiente (25°C) medida con el termómetro de la muestra. Conductividad eléctrica del suero por conductividad. C.E.C.: Capacidad de intercambio catiónico. T.M.: Total de iones de intercambio. M.C.: Materia orgánica.

CLASIFICACIÓN: F1: Franco Arenoso; F2: Franco Arenoso; F3: Franco Arenoso; F4: Franco Arenoso; F5: Franco Arenoso; F6: Franco Arenoso; F7: Franco Arenoso; F8: Franco Arenoso; F9: Franco Arenoso; F10: Franco Arenoso; F11: Franco Arenoso; F12: Franco Arenoso; F13: Franco Arenoso; F14: Franco Arenoso; F15: Franco Arenoso; F16: Franco Arenoso; F17: Franco Arenoso; F18: Franco Arenoso; F19: Franco Arenoso; F20: Franco Arenoso; F21: Franco Arenoso; F22: Franco Arenoso; F23: Franco Arenoso; F24: Franco Arenoso; F25: Franco Arenoso; F26: Franco Arenoso; F27: Franco Arenoso; F28: Franco Arenoso; F29: Franco Arenoso; F30: Franco Arenoso; F31: Franco Arenoso; F32: Franco Arenoso; F33: Franco Arenoso; F34: Franco Arenoso; F35: Franco Arenoso; F36: Franco Arenoso; F37: Franco Arenoso; F38: Franco Arenoso; F39: Franco Arenoso; F40: Franco Arenoso; F41: Franco Arenoso; F42: Franco Arenoso; F43: Franco Arenoso; F44: Franco Arenoso; F45: Franco Arenoso; F46: Franco Arenoso; F47: Franco Arenoso; F48: Franco Arenoso; F49: Franco Arenoso; F50: Franco Arenoso; F51: Franco Arenoso; F52: Franco Arenoso; F53: Franco Arenoso; F54: Franco Arenoso; F55: Franco Arenoso; F56: Franco Arenoso; F57: Franco Arenoso; F58: Franco Arenoso; F59: Franco Arenoso; F60: Franco Arenoso; F61: Franco Arenoso; F62: Franco Arenoso; F63: Franco Arenoso; F64: Franco Arenoso; F65: Franco Arenoso; F66: Franco Arenoso; F67: Franco Arenoso; F68: Franco Arenoso; F69: Franco Arenoso; F70: Franco Arenoso; F71: Franco Arenoso; F72: Franco Arenoso; F73: Franco Arenoso; F74: Franco Arenoso; F75: Franco Arenoso; F76: Franco Arenoso; F77: Franco Arenoso; F78: Franco Arenoso; F79: Franco Arenoso; F80: Franco Arenoso; F81: Franco Arenoso; F82: Franco Arenoso; F83: Franco Arenoso; F84: Franco Arenoso; F85: Franco Arenoso; F86: Franco Arenoso; F87: Franco Arenoso; F88: Franco Arenoso; F89: Franco Arenoso; F90: Franco Arenoso; F91: Franco Arenoso; F92: Franco Arenoso; F93: Franco Arenoso; F94: Franco Arenoso; F95: Franco Arenoso; F96: Franco Arenoso; F97: Franco Arenoso; F98: Franco Arenoso; F99: Franco Arenoso; F100: Franco Arenoso.



RESPONSABLE DEL LABORATORIO
 ANEXO 14

ANEXO 16. Fotografías del trabajo de campo



Colocación del fertilizante



Siembra



Macollamiento del cultivo



Tratamiento con fertilización de N



Entallecimiento de la cebada



Área del trabajo de campo



Surcos del cultivo



Cultivo de la cebada



Espigamiento de la cebada



Tratamiento con una aplicación de N



Tratamiento con dos aplicaciones de N



Área útil del cultivo



Cosecha de la cebada



Corte de la cebada forrajera



Secado tradicional de la cebada



Pesado de la materia seca