

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN Y  
COMERCIALIZACIÓN AGROPECUARIA**



**TESIS DE GRADO**

**EFFECTO DE TRES ALTURAS DE BANDEJA Y TRES DENSIDADES  
DE SIEMBRA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare L.*) EN LA  
LOCALIDAD DE VIACHA, DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

Preparado por:

**ROCIO ABADIA CALLISAYA GIRONDA**

La Paz – Bolivia  
2018

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN  
AGROPECUARIA**

**EFFECTO DE TRES ALTURAS DE BANDEJA Y TRES DENSIDADES DE SIEMBRA  
SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA  
(*Hordeum vulgare L.*) EN LA LOCALIDAD DE VIACHA, DEL DEPARTAMENTO  
DE LA PAZ**

*Tesis de Grado Presentado como requisito  
parcial para optar el Título de Licenciado en  
Ingeniería en producción y comercialización  
agropecuaria*

**ROCIO ABADIA CALLISAYA GIRONDA**

**Asesores:**

Ing. M. Sc. Víctor Castañón Rivera .....

Ing. M. Sc. Mario Wilfredo Peñafiel Rodríguez .....

**Tribunal Revisor**

Ing. Brígido Moisés Quiroga Sossa .....

Ing. José Eduardo Oviedo Farfán .....

Ing. Rolando Céspedes Paredes .....

**Aprobada**  
.....

**Presidente Tribunal Examinador:** .....

## DEDICATORIA

*Amigo, compañero siempre dispuesto a extender su mano, en todo momento Dios.*

*A quienes me llenan de alegrías día tras día, mi querida mamá Lucy Gironda Baltazar, mi padre Marcial Callisaya Yariza y hermanos Yenny Roxana y Vladimir Felipe a quienes agradezco su cariño, apoyo y sobre todo paciencia, brindada hacia mi persona.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente en la elaboración de este trabajo.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía y a la Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria (CIPyCA), por haberme dado la oportunidad de formarme personal y profesionalmente en este prestigioso centro de formación académica superior.

A todo el plantel docente de la CIPyCA, Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés (U.M.S.A.), por haberme inculcado valores y compartir sus valiosas experiencias convirtiéndola en instrumento, base para forjar y aportar en el desarrollo de Bolivia.

Al Ing. Mario Wilfredo Peñafiel Rodríguez, Ing. Víctor Castañón Rivera, por toda la ayuda, por las sugerencias, consejos y quienes me supieron guiar con efectividad en toda la elaboración del presente estudio, tanto en campo así también como en la elaboración del documento y todos sus aportes para que este trabajo se haya podido concretar.

Al tribunal revisor: Ing. José Eduardo Oviedo Farfán, al Ing. Moisés Quiroga Sossa, Ing. Rolando Céspedes Paredes, por su tiempo y por las importantes contribuciones a este trabajo de investigación para que con su aporte este trabajo haya podido salir adelante, muchas gracias.

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo General .....	5
1.2. Objetivos Específicos.....	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Hidroponía .....	6
2.1.1. Cultivo Hidropónico .....	6
2.2. Tipos de forrajes, especies y uso.....	7
2.3. Cebada .....	8
2.4. Forraje Verde Hidropónico (FVH).....	8
2.4.1. Ventajas y desventajas de forraje verde hidropónico (FVH).....	12
2.4.1.1. Ventajas.....	12
2.4.1.2. Desventajas.....	13
2.4.1.3. Hidratación .....	13
2.4.2. Requerimiento para la producción de Forraje Verde Hidropónico... ..	14
2.4.2.1. Dosis de Siembra... ..	14
2.4.2.2. Calidad de Semilla .....	14
2.4.2.3. Semilla Seleccionada .....	15
2.5. Fisiología de la planta .....	15
2.5.1. Elementos esenciales de la planta.....	15
2.5.1.1 Nutrición Vegetal .....	16
2.5.2. Absorción y transporte de nutrientes. ....	16
2.5.2.1. Transporte Pasivo. ....	16
2.5.2.2. Equilibrio de Donnan .....	17
2.5.2.3. Transporte Activo .....	17
2.5.2.4. Bomba de citocromos.....	18
2.5.2.5. Mecanismo de transporte con la intervención de ATP. ....	19
2.5.2.6. La teoría de los transportadores.....	19
2.5.3. Factores que influyen sobre la absorción de nutrientes.....	19
2.5.3.1. Temperatura.....	19

2.5.3.2. pH.....	20
2.5.3.3. Humedad en el ambiente .....	21
2.5.3.4. Iluminacion .....	22
2.5.3.5. Riego .....	23
2.5.3.6. Calidad de Agua de Riego .....	25
2.5.3.7. Germinación.....	26
2.5.3.8. Tratamiento de pre-siembra del FVH.....	27
2.5.3.9. Respiración Celular .....	28
2.5.3.10. Sustancia de Reserva .....	28
2.6. Densidad de siembra en cultivos hidropónicos .....	28
2.6.1. Tipo de Bandeja .....	29
3. LOCALIZACIÓN.....	30
3.1. Ubicación Geográfica.....	30
3.2. Caracterización agroecológicas .....	30
3.2.1. Clima.....	30
Figura 1. Ubicación geográfica del trabajo.....	31
3.2.2. Flora.....	32
3.2.3. Fauna.....	32
3.2.4. Altitud.....	32
3.3.5. Relieve topográfico .....	33
4. MATERIALES Y MÉTODOS. ....	34
4.1. Materiales .....	34
4.1.1. Materiales de Escritorio.....	34
4.1.2. Materiales de campo.....	34
4.2. Método.....	35
4.2.1. Procedimiento de investigación .....	35
4.2.1.2 Proceso de la Producción de Forraje Verde Hidropónico: .....	35
6.2.2. Diseño experimental. ....	37
4.2.2.1. Factores del estudio .....	37
4.2.2.1. Croquis del experimento.....	38

4.2.3. Variables de respuesta .....	38
4.2.4. Análisis Beneficio - Costo.....	40
4.2.5. Analisis Estadistico.....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
5.1. Porcentaje de germinación. ....	41
5.2. Pureza de la semilla de cebada .....	42
5.3. Altura de la planta .....	42
5.4. Rendimiento en materia verde .....	50
5.5. Rendimiento en materia seca.....	54
5.6. Análisis Beneficio - Costo .....	57
6. CONCLUSIONES .....	59
7. RECOMENDACIONES .....	61
8. BIBLIOGRAFÍA. ....	62

## 1. INTRODUCCIÓN

La forma de enfocar los problemas de la producción agrícola, en el campo, ha dado lugar de ciertos fracasos y por lo tanto a la adopción de nuevas formas de investigación y desarrollo agropecuario. Es en este sentido que nace el enfoque sistémico de la investigación, con carácter multidisciplinario y con un uso racional de los recursos disponibles y como es natural dentro de ciertas limitaciones (Salazar, 1992).

La unidad fisiográfica del altiplano presenta características climáticas limitantes resaltando el efecto de las heladas, periodos de sequía, con una pobre distribución de las lluvias en el transcurso del año, teniendo una influencia negativa sobre la producción.

Gallardo (1997), menciona que la producción de forrajes es de gran importancia en las zonas rurales, sin embargo, en el altiplano y los valles, su abastecimiento es escaso y estacional, lo que obliga al campesino a utilizar, buena parte del año, forrajes con poca humedad y de poca calidad en alimentación del ganado vacuno y ovino.

Palacios (1995), indica que el Forraje Verde Hidropónico es un sistema de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional producido muy rápidamente (9 - 15 días), en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se establezcan las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología Forraje Verde Hidropónico es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje a partir de especies aptas (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc., para cultivo forrajero convencional).

La utilización de forraje verde constituye un factor muy importante en la alimentación animal como fuente de vitaminas, minerales y principalmente fibra, siendo este requerimiento constante durante todo el año. Su producción demanda la utilización de grandes áreas de cultivo, la cual se ve dificultada a la variación climática, que no

permite una variación uniforme. La insuficiente producción forrajera permanente en el altiplano dada las características climáticas propias de la zona, muestra la necesidad de orientar nuestros lineamientos de investigación hacia producción de forraje hidropónico, como alternativa para cubrir el déficit alimenticio animal todo el año, identificando eco tipos de alto rendimiento, como también la ingeniería de producción (Ralde, 2000).

En la actualidad los cultivos hidropónicos representan un gran avance técnico en medianas y pequeñas explotaciones y con ciertas ventajas sobre los cultivos extensivos naturalmente, siempre que se tomen todas las precauciones necesarias. De tal manera que el forraje verde hidropónico (FVH), surge como una gran alternativa y una forma de solución al problema de la alimentación ganadera. Estudios y prácticas recientes han demostrado que es un medio práctico para una excelente producción de biomasa forrajera, así como por la rapidez de su desarrollo. (Segundo Curso Taller de Hidroponía, 1995)

El presente trabajo se realizó, en un ambiente acondicionado, en dos estantes para 36 bandejas. Se utilizó el diseño experimental de Bloques al azar.

Con el presente trabajo se obtuvo información de forraje de cebada (*Hordeum Vulgare L.*) en la época de estiaje, denominado Forraje Verde Hidropónico (FVH), que suministrado en pocas cantidades sirve para complementar y mejorar la alimentación actual de los animales en la región del Altiplano y así disminuir pérdidas económicas para el productor o el campesino, que tuvo una gran aceptabilidad por los cuyes.

Las mejoras que se obtienen con el uso de forraje verde hidropónico en la alimentación animal se dan en ganancia de peso, mejor conversión alimenticia, producción de leche y sólidos totales en la leche. De la misma manera, en vacunos lecheros aumenta la producción de leche, contenido de grasa, mejora en la condición corporal, mejora en el pelaje.

En los cuyes se presenta una mayor producción de leche (mayor número de crías logradas), excelente fuente de vitamina C, cubre los requerimientos de agua (Tarrillo, 2005)

El cultivo de las plantas sin suelo se desarrolló a partir de investigaciones llevadas a cabo para determinar que sustancias hacían crecer a las plantas y la composición de ellas (Gallardo, 1997).

Según Gallardo (1997) el FVH, es un sistema utilizado en otros países para la producción de forraje fresco en condiciones controladas, que se adapta a regiones de limitadas precipitaciones y de clima adverso. Por otro lado, desde el punto de vista biológico, el forraje hidropónico contiene el máximo de proteínas, y un número de factores de crecimiento que estimulan la producción, tal como lo han demostrado varios investigadores.

Ralde (2000), en un estudio de rentabilidad, rendimiento, y de relación beneficio/costo, recomienda la densidad de siembra de 2 kg m<sup>2</sup> bandeja de avena (*Avena sativa*) por lo que la experiencia del estudio nos deduce a realizar otras investigaciones bajo el cultivo hidropónico, por ser una alternativa nueva en la producción agrícola.

Vargas (2010), indica que el Forraje Verde Hidropónico se produce en bandejas plásticas colocadas en sistemas modulares, en cada bandeja de 50 x 36 x 4 cm (largo x ancho x alto en centímetros, medidas referenciales) se coloca de 1 a 1.25 kilos de semilla de cebada (también se puede trabajar con avena, trigo y maíz) que al cabo de 2 semanas se convertirá en una biomasa forrajera de 6 a 8 kilos, la misma que es consumible en su totalidad (raíces, tallos, hojas y restos de semillas) constituyendo un alimento de primera calidad para un óptimo desarrollo de los animales.

En regiones del Altiplano y de los Valles, existe la necesidad de provisión continua de forraje para la alimentación del ganado vacuno y ovino, siendo la pradera sobre

explotada y las condiciones medio ambientales negativas, se muestran adversas para la producción de forrajera durante gran parte del año (Gallardo, 1997).

La producción de forrajes es de gran importancia en las zonas rurales, sin embargo, en el Altiplano su abastecimiento es escaso y estacional, lo que obliga al campesino a utilizar forrajes con poca humedad y de poca calidad en alimentación del ganado vacuno y ovino y por consiguiente bajos ingresos para el productor.

Díaz (1994), en relación al clima, señala que las heladas se presentan con bastante frecuencia en la zona altiplánicas del país, asolando tanto a cultivos extensivos, a cielo abierto como intensivos bajo invernaderos; sin embargo, es posible prevenir su ocurrencia con el objetivo de minimizar sus efectos y consecuencias, siendo mayores las posibilidades de prevención en los invernaderos, ambientes relativamente reducidos, los que permiten conformar microclimas atemperados.

Con esta investigación, se pretende contribuir a incrementar el conocimiento científico técnico sobre la producción de FVH en la región del Altiplano, en ese sentido se probó tres y testigo densidades para identificar y recomendar una densidad apropiada en Cebada para las características propias de región del Altiplano y más propiamente para la localidad de Viacha, ya que actualmente no se cuenta con esta información.

Por otra parte, según Castañón (comunicación personal, 2015) se logró obtener mejores rendimientos de altura de plantas con el uso de bandejas más altas a las utilizadas comúnmente de 5 cm, aspecto que permitiría incrementar el rendimiento de FVH por unidad de superficie.

Finalmente, el proporcionar tecnología que permita incrementar la disponibilidad de forraje verde en la época de estiaje mediante la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH), que requiere un corto tiempo para su producción y suministrado en pocas cantidades sirve para complementar y mejorar la alimentación de los animales especialmente menores en la región del Altiplano y así evitar mucha variación en la producción pecuaria.

### **1.1. Objetivo General**

- Evaluar el efecto de tres alturas de bandeja, tres densidades y testigo de siembra sobre la producción de FVH de cebada (*Hordeum vulgare L.*) en la Ciudad de Viacha del departamento de La Paz.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Evaluar la producción de materia verde y seca de tres alturas de bandeja y testigo, de la diferencia de tres densidades y testigo de siembra.
- Evaluar la producción de la biomasa en materia seca y húmeda de tres y testigo densidades de siembra.
- Evaluar el efecto de la interacción de las tres alturas de bandeja y testigo, tres densidades de siembra y testigo; sobre el comportamiento productivo de FVH de cebada.
- Analizar los costos parciales de producción en los diferentes tratamientos.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Hidroponía**

Delgado (2016), indican que el término "hidropónico" deriva de dos palabras griegas. Hydro = agua y Ponos = trabajo o cultivo, que al conjuncionarse significan trabajo en agua y es una alusión al empleo de agua y fertilizantes químicos u orgánicos para el cultivo de plantas sin tierra.

Delgado (2016), define a la hidroponía como la ciencia del crecimiento de las plantas, sin utilizar el suelo en su lugar utiliza un medio inerte, como grava, arena, turba, piedra pómez o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplean algún tipo de medio de cultivo, se los denomina a menudo "cultivos sin suelo", mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico

La hidroponía en general, es considerada como un sistema de producción agrícola apto para la producción de hortalizas, forrajes, plantas ornamentales y medicinales, almácigos, producción de algas y semillas certificadas, en lugares donde estos productos son caros y escasos, pudiendo ser posible la obtención de varias cosechas al año y de la misma especie (Cultivos Hidropónicos, 1992).

Con la producción hidropónica sin suelo, se puede obtener forrajes de excelente calidad y sanidad, y se asegura un uso más eficiente del agua y fertilizantes. Los rendimientos por unidad de área cultivada son altos, por la mayor densidad y la elevada productividad por planta (La Molina, 2000).

#### **2.1.1 Cultivos Hidropónicos**

Penningsfeld (1983), menciona que los cultivos hidropónicos representan un gran avance en la técnica, pueden ser utilizados tanto en grandes explotaciones como en pequeñas y medianas, representando bastantes ventajas sobre los cultivos clásicos en tierra. Para su desarrollo se han basado en los adelantos, tanto de las modernas

ciencias naturales como de la técnica, constituyendo el complemento de otros avances de la ciencia tales como la regulación de la temperatura en los invernaderos, la iluminación o sombreado y las formas de cultivo sin suelo.

Con la ayuda de este método no solo se mejora la cosecha en cantidad, peso o calidad, sino que de forma importante se ha comprobado también que aumenta la productividad en el trabajo, con la consiguiente reducción de la mano de obra.

Izquierdo (2000), afirma que los cultivos hidropónicos son cultivos sin suelo, éste es reemplazado por un sustrato inerte donde los nutrientes (el alimento) que necesita la planta para vivir y producir son aplicados en el riego. También son cultivos hidropónicos aquellos que se cultivan en agua con nutriente. En un sistema hidropónico se puede cultivar todo tipo de plantas como, por ejemplo, hortalizas, flores, pastos para forraje, plantas ornamentales, condimentos, plantas medicinales y hasta cactus.

## **2.2 Tipos de forrajes, especies y uso.**

Los suelos del Altiplano están erosionados en diferentes grados y las estimaciones existentes del área afectada oscilan entre 30 y 80%, dependiendo de la severidad del proceso. De hecho, en algunas áreas han evolucionado dunas de arena debido al sobre uso o mal uso del suelo (Valdivia, 1998).

Independientemente de la localidad, las pasturas nativas del Altiplano son de bajo valor nutritivo, tienen baja capacidad de carga y solamente los camélidos nativos prosperan y están completamente adaptados. Cuando las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua suplementaria lo permiten, se siembran otras especies para suplementar la dieta de bovinos y ovinos. Este es particularmente el caso del norte del Altiplano, en el área de influencia del lago Titicaca, donde especies introducidas como alfalfa (*Medicago sativa*), festuca (*Festuca arundinacea*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), *Arrhenatherum elatius*, *Agropyron elongatum* y *Phleum pratense* son relativamente comunes (Valdivia, 1998).

### 2.3. Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) es un cereal altamente recomendable, dada sus excelentes propiedades terapéuticas y nutricionales, sobretodo en primavera-verano. Con esta aseveración se quiere decir, que se suele ensalzar los beneficios del arroz, por ser el cereal más equilibrado, del maíz por su gran aporte energético o de la quinoa (aunque no sea un cereal) por su ligereza y digestibilidad, pero se suele a menudo olvidar la cebada.

El contenido proteico y composición de aminoácidos del grano de cebada en porcentaje de la proteína total es la siguiente:

**Cuadro 1. Contenido Proteico y Composición de Aminoácidos de la Cebada en Grano.**

%Proteína	Lisina	Metionina	Treonina	Triptófano	Isoleucina	Leucina	Tirosina	Fenilalanina	Valina
12,3	3,4	1,4	3,4	1,3	4,3	6,9	3,9	5,2	5,0

Fuente: Orry Watt, 1957 y Johnson y Lay, 1974 (Citado por Salisbury y Ross, 1992)

El contenido proteico es de gran importancia, dado que tanto humanos cuanto animal, utilizan estos aminoácidos para formar sus propias proteínas y como fuente de energía. Comparados con casi cualquier proteína animal, la proteína de los granos de cereal tiene bajo contenido de lisina, mientras que las semillas de leguminosas tienen bajo contenido de metionina (Salisbury y Ross, 1992).

### 2.4. Forraje Verde Hidropónico (FVH).

Esta forma de producción de forraje, aunque aparezca un avance totalmente nuevo, es bastante antigua, pues se remonta a la época de los griegos y romanos, que hacían germinar semillas para alimentar ganado (Pichilingue).

En un cultivo clásico, los factores más importantes son la radiación solar, la temperatura, la humedad, la oxigenación, y el gas carbónico. La radiación solar es en sí compleja en cuanto a las plantas se refiere, ya que por un lado está en el espectro visible, posiblemente el responsable de la fotosíntesis y por otro infrarrojo que es la fuente de calor de longitud de onda relativamente grande.

El ultravioleta, otra componente de la radiación solar, también juega un papel importante en la fotosíntesis, aunque el llamado UV B es nocivo tanto para las plantas como para los seres vivos. Obviamente que la duración del día o fotoperiodo influye sobre el desarrollo vegetativo de las plantas.

La luminosidad solar, esto es el componente visible del espectro solar, debe mantenerse en límites apropiados, así como la radiación solar propiamente dicha. Revista Cultivos Hidropónicos N° 9 (Colpaj, Ver). Para fijar ideas, la energía de irradiación solar en Patacamaya, por ejemplo, alcanza a 522 W/m<sup>2</sup>, para una irradiación de 12 horas, como promedio tomado durante algunos años (Vacher *et. al.*, 1994). Como se sabe en el tope de la atmosfera, la constante de irradiación solar es de 1370 W/m<sup>2</sup>, lo que indica el alto valor para el altiplano boliviano (Vacher *et. al.*, 1994).

Como el cultivo de forraje hidropónico es un cultivo de raíz desnuda, es decir, sin sustrato, se deberá realizar en un ambiente con una alta humedad relativa, por encima del 85%. Esta humedad se consigue con la aplicación frecuente de riego y la evapotranspiración de las plantas. Revista Cultivos Hidropónicos N° 9 (Colpaj).

El forraje verde producido por hidroponía es palatable, para los animales y con niveles óptimos en energía, vitaminas y minerales. Su calidad general es muy alta, los vacunos de leche, o de carne en particular responden bien a la digestibilidad y valor nutritivo mayores; el pasto producido hidropónicamente reemplaza parte o todo el alimento, al ensilaje y otros productos suplementos que son utilizados por los ganaderos, pero como guía general, la ingestión mínima de pasto fresco no debe ser menos de 1,5 Kg/100 Kg de peso del animal ni debe exceder 50% de ingestión de materia seca, considerando que complementado con un alimento valioso y de alto contenido de fibra, el aprovechamiento de forraje será mejor. Además, no hay duda el uso adecuado de la cebada hidropónica puede ayudar a controlar los costos de alimentación de hatos lecheros y de carne (Pichilingue).

En general el FVH, es producido en bandejas, que son cajas generalmente con base de plástico, de diferentes tamaños, donde se distribuye la semilla (germinada o no)

directamente sobre esta para el crecimiento. Las bandejas están dispuestas en pisos.

Izquierdo (2001), menciona que el forraje verde hidropónico es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH o “Green fodderhydroponics” es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal.

El mismo autor, también asevera, que en la práctica el FVH consiste, en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utiliza semillas de avena, cebada, maíz, trigo, sorgo, mezclas de trébol y gramíneas, entre otras. La producción del FVH es tan solo una de las derivaciones prácticas que tiene el uso de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía.

El Forraje Verde Hidropónico (FVH), tiene el alto contenido de nutrientes, los análisis bromatológicos realizados por varios investigadores, se detallan a continuación.

En el Cuadro 2, se tiene los análisis logrados por Lees (1983), luego de producir forraje en hidroponía, los análisis corresponden a los 8 días de edad del mismo.

**Cuadro 2. Valor nutritivo de la cebada germinada por hidroponía a 8 días de edad.**

Materia Seca	18%
Energía metabolizable	3014 kcal/kg de M.S.
Digestibilidad	80%
Proteína cruda	15% de M. S.
Fibra cruda	15% de M. S.
Aceites	3,5% de M. S.
Caroteno (Vit. A).	25 mg/kg.

Fuente: (Citado por Ralde).

En el análisis realizado por Lees, puede apreciarse la gran digestibilidad del forraje obtenido por hidroponía y el porcentaje elevado de proteína que contiene, considerando que se trata de la cebada.

En estudios realizados en la Universidad Nacional Agraria La Molina, se ha comparándola cebada y el maíz germinados con otros forrajes tradicionales, el análisis obtenido por análisis proximal en el Laboratorio de evaluación de alimentos de dicha Universidad es la siguiente:

**Cuadro 3. Valor nutritivo obtenido por análisis proximal en porcentaje**

Compuesto	Forraje Verde Hidropónico				Forraje Tradicional.	
	Cebada Germinada	Cebada Germinada	Cebada Germinada	Cebada Germinada	Maíz Chala	King Grass
PROTEÍNA	18,03	13,31	13,31	15,08	12,17	8,14
GRASA	3,5	2,64	2,79	2,6	1,06	1,66
FIBRA	26,82	20,61	12,07	12,76	28,41	32,67
CENIZAS	5,12	4,36	4,1	2,24	6,23	14,59
Nifex	46,88	59,08	67,72	67,32	52,14	42,49

Fuente: Pichilingue y Moreno Orhuela (1993), Moreno Carrasco y Pichilingue (1994). Moreno, Mazuelos y Silvia (1994).

Al comparar el FVH con aquellos pastos producidos en tierra y de la forma tradicional, observamos que el contenido de proteína, grasa y nifex, son, en el caso de los germinados superiores en promedio a los de maíz chala y kinggrass, colocando a los primeros como forraje de mejor calidad.

El mayor contenido de proteína que se observa en el caso de Orihuela (1993), probablemente se debe a que en sus ensayos utilizó solución nutritiva, durante 3 días a partir del cuarto día, en tanto que Carrasco, Pichilingue, Silva y Mazuelos aplicaron solo una vez.

En los pastos, normalmente el nitrato es llevado a las hojas donde puede acumularse en grandes cantidades, y reduce conforme se necesite (Bidwell, 1993).

Para el caso de las diferencias entre contenidos nutritivos en uno de los tratamientos de forraje hidropónico, no se describe la metodología con la que se obtuvieron estos resultados, por lo que también pudo tener influencia la iluminación y la temperatura. Asimismo, no se reporta el contenido de materia seca, en ninguno de los casos.

Por otro lado, la revista Cultivos Hidropónicos No 9 (Colpaj), muestra los siguientes cuadros de análisis nutricional del Forraje Verde hidropónico en cebada:

**Cuadro 4. Cuadro comparativo del forraje verde hidropónico, concentrado, heno y paja**

	F. V. H.	CONCENTRADO	HENO	PAJA
Energía (kcal/kg MS).	3.216	3.000	1.680	1.392
PROTEINA (%)	25	30.0	9.2	3.7
DIGESTIBILIDAD (%)	81.6	80	47.0	39.0
Costo/kg.	13.50	80	13	6
Costo (\$ ol/Mcal.)	27.6	37.1	30.5	12.8
kg Proteína digest./t	46,5	216	35.75	12.41
Costo kg Proteína	290	370	353	

Fuente. COLJAP Industria Agroquímica S.A., S/F.

Mcal = Megacalorías; M.S. = Materia seca; t = Tonelada

#### **2.4.1. Ventajas y desventajas de forraje verde hidropónico (FVH).**

Existen diferentes puntos de vista en lo que se refiere a la producción de Forraje Verde Hidropónico y dentro de los aspectos más relevantes (Izquierdo, 2001)

##### **2.4.1.1. Ventajas**

- **Ahorro de agua:** no se registran pérdidas considerables por evapotranspiración, escurrimiento o infiltración debido al sistema en el que se desarrolla.

- **Uso eficiente del espacio:** dada la disposición de las estanterías o módulos, se ahorra el espacio al estar ubicados de forma vertical (por pisos)
- **Tiempo de producción:** el forraje puede estar disponible a partir de los 10 a 12 días. Pudiéndose anticipar o prolongar 9 a 15 días respectivamente.
- **Calidad de forraje:** el FVH constituye un pienso de alta digestibilidad, excelente palatabilidad y que contiene alto valor nutritivo para las especies pecuarias.
- **Inocuidad:** constituye un alimento limpio libre de enfermedades e insectos.
- **Costos de producción:** los costos fijos en la producción de FVH son bajos ya que no requiere de maquinaria para la preparación de suelos en cada siembra, como el método tradicional.
- **Diversificaciones intensificación de actividades productivas:** este método permite diversificar los cultivos, aunque se puede realizar monocultivos sin los problemas que implica esta práctica para el suelo.

#### 2.4.1.2. Desventajas

- **Desinformación y sobrevaloración de la tecnología:** es de vital importancia tener un conocimiento básico sobre cómo funciona el sistema, comportamiento y requerimiento de la especie forrajera utilizada, plagas y enfermedades, así como cuidados exigentes y permanentes, debido a la fragilidad de las plantas.
- **Costo de instalación elevado:** dado a que se debe implementar una infraestructura y equipos implica un costo inicial considerable.

#### 2.4.1.3. Hidratación

Matos (1996), señala para que las semillas puedan germinar se requiere que los granos contengan cuando menos un 50% de Humedad. El agua penetra más rápidamente a la avena, cebada y más lentamente al maíz, los granos pequeños absorben el agua más rápidamente que los granos, y por lo tanto se recomienda seleccionar para lograr una imbibición adecuada.

La semilla al ser hidratada absorbe los nutrientes disueltos en el agua y la fotosíntesis en la transformación de materia orgánica, entonces para el proceso fotosintético el elemento esencial es el agua (Gallardo, 1997).

La hidratación hace que la planta se alimente y este se transforma en materia seca, el agua circula y los nutrientes se quedan (Ralde, 2000).

## **2.4.2 Requerimientos para la producción de FVH**

### **2.4.2.1 Dosis de Siembra**

Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2 a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 centímetros de altura en la bandeja Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pre - germinadas (Izquierdo, 2001).

Según Ramírez (2001), indica que la dosis exacta es de 3 kilos de semilla por metro cuadrado, distribuidos uniformemente, el ambiente debe tener una humedad del 80%.

FAO (2001), indica que la densidad de siembra adecuada para tener un rendimiento óptimo de forraje hidropónico es de 5 kg de semilla por metro cuadrado, con una temperatura que oscila entre 16 a 20 °C y una humedad relativa de 85 %.

### **2.4.2.2 Calidad de la Semilla**

FAO (2001), indica que el éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH.

Howard (1997), indica que el porcentaje de germinación debe ser mayor al 76 % para no tener pérdidas económicas y no hacer fracasar el nuevo emprendimiento en un módulo de FVH.

#### **2.4.2.3 Semilla seleccionada**

Casas, (2008) dice que ante todo, se debe seleccionar cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (ni rotos, ni maltratados) y, particularmente, a que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos. Casas (2008) indica que la humedad de la semilla debe estar en un 12% y debe haber tenido un reposo para que cumpla con los requisitos de madurez fisiológica.

Las especies más empleadas son el maíz, cebada, sorgo y últimamente se está experimentando con arroz.

### **2.5. Fisiología de la planta**

En este apartado, se analiza la fisiología de la planta. Asimismo, se incluye al finalizar cada subtítulo, comentarios sobre lo que sucede con el FVH.

#### **2.5.1. Elementos esenciales de la planta**

La cebada (*Hordeum vulgare*), es una planta anual monocotiledónea, gramínea perteneciente a la familia de las poáceas, representada por dos especies: *Hordeum distichum* comúnmente llamada cebada cervecera y *Hordeum hexastichon* que se usa como forraje. Siendo un cereal de gran importancia alimenticia tanto para animales como para humanos. (INIFAP, 2016)

De los 92 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas; no obstante, muchos de estos no se consideran esenciales para su crecimiento, y su existencia probablemente se debe a que las raíces de las plantas absorben en su entorno algunos elementos que existen en forma soluble (Resh, 1992).

Los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento normal y el desarrollo de la mayoría de las plantas son las siguientes: C, H, O, N, P, K, Ca, S, Mg, Fe y los

Quelatos: Mn, Zn, B, Cu y Mo. (Devlin, 1982 y Penningsfeld y Kurzman, 1983). Resh (1987) adiciona el Cl entre quelatos. Huterwal (2000) no menciona al Mo ni al Cl.

Con la frecuencia es difícil demostrar el requerimiento de molibdeno, níquel, cobre, cinc y boro para especies con semillas grandes, ya que estas semillas en ocasiones contienen la cantidad suficiente de dichos elementos para mantener un crecimiento normal hasta la madurez (Salisbury y Ross, 2000).

#### **2.5.1.1. Nutrición Vegetal**

Marulanda (1993), indica que los nutrientes para las plantas cultivadas en hidroponía son suministrados en forma de soluciones nutritivas, preparadas a partir de la disolución de sales puras o de soluciones que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos esenciales que las plantas requieren para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, flores y frutos o semilla.

La solución nutritiva para cultivos hidropónicos generalmente está dividida en dos grupos. Los minerales requeridos en grandes cantidades, llamados macro-nutrientes, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y los minerales requeridos en pequeñas cantidades, llamados micro-nutrientes que son el hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y molibdeno. Cada uno de estos minerales está clasificado como un nutriente esencial, esto significa que las plantas no crecerán sin ellos (Rodríguez, Chang, Hoyos y Falcón, 2000).

#### **2.5.2. Absorción y transporte de nutrientes.**

##### **2.5.2.1. Transporte Pasivo.**

Los primeros investigadores admitieron que las sales inorgánicas eran transportadas pasivamente al interior de la planta con la absorción del agua. Además, se supuso que el transporte de las sales absorbidas a las distintas regiones de la planta iba íntimamente ligado a la corriente de transpiración.

### 2.5.2.2. Equilibrio de Donnan

El fenómeno de Donnan describe las interacciones entre pequeños iones móviles y cargas no difusibles. Este fenómeno está, por tanto, en casi la totalidad de las estructuras y subestructuras celulares. Por esta razón, el nombre de Donnan resulta familiar a los biólogos. Desafortunadamente, la forma ideal de la ecuación está basada en hipótesis simplificadoras poco compatibles con la realidad de las condiciones reinantes en los medios celulares. En otras palabras, la ecuación ideal de Donnan conduce a previsiones o interpretaciones cualitativas, sin resultar satisfactorias cuantitativamente. (Argar, 2014).

La ecuación que describe el equilibrio de Donnan establece que la razón de iones positivamente cargados, del interior al exterior, debe igualar la razón de iones negativamente cargados, del exterior al interior (los corchetes indican concentración). (Bidwall, 1993).

$$\frac{(\text{Iones positivos dentro})}{(\text{Iones positivos fuera})} = \frac{(\text{Iones negativos fuera})}{(\text{Iones negativos dentro})}$$

### 2.5.2.3. Transporte Activo

Los sistemas de transporte activo permiten el flujo de los iones o solutos en contra de su gradiente de potencial electroquímico. Se distinguen dos tipos de sistemas en función de la energía que utilizan para impulsar el transporte. Así, en plantas los transportadores primarios o bombas realizan el transporte consumiendo energía metabólica (ATP ó PP). El segundo grupo lo forman los transportadores secundarios o carriers que utilizan la energía asociada al flujo difusivo de un ión, en un proceso de cotransporte, para impulsar el movimiento de sustancias en contra de gradiente. (Rubio, 2004)

El fisiólogo vegetal norteamericano Levitt ha establecido cuatro criterios para caracterizar el transporte activo (Bidwell, 1993):

1. Que la tasa de transporte supere al que se prevé para la permeabilidad y el gradiente electroquímico.
2. Que el estado estable final del potencial electroquímico no esté en equilibrio en la región de transporte.
3. Que exista una relación cuantitativa entre el grado de transporte y el de energía metabólica invertida.
4. Que el mecanismo de transporte dependa de la actividad celular.

#### **2.5.2.4. Bomba de citocromos**

Lundegardh y Burstrom (1999), citados por Devlin (2009), afirmaron que existe una relación cuantitativa entre absorción salina y la respiración. Observaron que la intensidad de respiración aumenta cuando una planta se le sustituye el medio de cultivo por una solución salina. El valor del incremento de la respiración respecto a la respiración normal o base provocada por el traspaso de la planta o de los tejidos vegetales desde el agua a una solución salina se conoce como una respiración salina.

Las observaciones iniciales de Lundegardh y Burstrom (1999), han sido proseguidas y desarrolladas en una teoría de la absorción salina debido. La teoría de se basa en lo siguiente:

1. La absorción amionica es independiente de la absorción catiónica y tiene lugar a un mecanismo distinto.
2. Existe un gradiente de concentración de oxígeno desde la cara externa a la interna de la membrana, gradiente que favorece la oxidación en la cara externa y la reducción en la interna.
3. El transporte real de un anión tiene lugar a través del sistema de los citocromos.

#### **2.5.2.5. Mecanismo de transporte con la intervención de ATP.**

Un sistema biológico requiere energía para su construcción y mantenimiento.

Todos los compuestos contienen energía potencial almacenada en los enlaces de su estructura que puede liberarse cuando aquellos se rompen.

Según Devlin (2009), Bennet-Clark (2001), ha propuesto un mecanismo para explicar la absorción salina activa con la intervención del ATP. Este investigador sugiere que los fosfolípidos pueden ser importantes en el transporte de iones a través de membranas que, de otro modo, serían impermeables. En este transporte se sintetiza y se hidroliza de forma cíclica la lecitina, un fosfolípido, recogiendo así iones de la superficie externa y liberándolos por hidrólisis al interior del espacio interno. La síntesis de por lo menos uno de los componentes del ciclo fosfórico precisa ATP.

#### **2.5.2.6. La teoría de los transportadores.**

La teoría de los transportadores, se ha convertido en la más aceptada para explicar la absorción de nutrientes. La característica más importante de la teoría consiste en la suposición de que su forma un complejo ion transportador intermedio, capaz de circular a través de la membrana impermeable (Devlin, 2009 y Resh, 1992). La dirección del movimiento del complejo va del espacio externo al interno exclusivamente y los iones vertidos al espacio interno no pueden volver a salir, por lo cual se van acumulando (Devlin, 2009).

#### **2.5.3. Factores que influyen sobre la absorción de nutrientes.**

##### **2.5.3.1. Temperatura.**

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH, esto implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma el rango de temperatura está entre los 15 - 28 °C, la temperatura óptima es de 23 °C, aunque esto depende de la especie utilizada y de sus requerimientos. Un exceso de

temperatura puede causar hongos, y una temperatura baja retarda el crecimiento (Morales, 2013)

En general, un aumento en la temperatura repercute en una aceleración de la absorción de sales. Sin embargo, la influencia de la temperatura sobre esta absorción se ve reducida a unos límites relativamente estrechos. Un aumento de la temperatura por encima de un máximo, en lugar de acelerar la absorción salina inhibirá y acabará anulando el proceso. Con mayor probabilidad, los efectos inhibidores de las altas temperaturas son debidos a la deshidratación de las enzimas que repercute, ya sea directamente, sobre la absorción salina, ya sea sobre la síntesis de algún componente indispensable para dicha absorción (Devlin, 2009).

La difusión del agua a través de una membrana esta en razón directa de la temperatura; por ello, se ha considerado que un suelo muy frio es un suelo fisiológicamente seco (Rovalo, 1993).

Para la producción de FVH la temperatura de la solución de nutrición no debe ser ni muy alta, ni muy baja, encontrándose en el rango de 10 – 15°C (Matos, 1996).

El rango de la temperatura ambiental ideal para el cultivo de forraje verde hidropónico es de 21 – 24°C (Sholto, 1990).

Según Resh (1980) y Terry y Chang (1995), la temperatura ambiental a la que se mantiene el FOVHI está en el rango de 22 – 25 °C. Para la revista Cultivos Hidropónicos #9 (Coljap), la temperatura ideal (para FOVHI) es de 20 °C y debe ser lo más constante posible; un exceso de temperatura puede causar hongos y una temperatura baja retarda el crecimiento.

#### **2.5.3.2. pH**

Se presentan efectos marcados del pH cuando se inhibe la disponibilidad de los iones. Sin embargo, si la concentración de un ion es suficiente alta, será difícil que se presente una diferencia de este ion en aquella planta, dentro de los límites fisiológicos de los valores de pH. Naturalmente en valores de pH fuera de los límites

fisiológicos; el daño causado a los tejidos de la planta y los transportadores acabara inhibiendo la absorción salina (Devlin, 2009).

La mayoría de las plantas prefieren un nivel de pH entre 6 a 7, como pH óptimo para absorción de nutrientes (Resh, 1992). La cebada tiene un óptimo entre 6 a 7,2 siendo su límite de tolerancia inferior 5,2. Para Fossati, el rango se encuentra entre 7 a 7,5.

### **2.5.3.3 Humedad en el Ambiente**

Castilla (2005), indica que la humedad ambiental no interviene directamente en la fotosíntesis, en condiciones adecuadas de suministro hídrico y en ausencia de problemas de salinidad, puede ocurrir que, en condiciones de muy alta demanda evaporativa coincidentes con baja humedad o con dificultades de suministro hídrico desde las raíces.

La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior al 90%. Valores de humedad superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos, una excesiva ventilación provoca la desecación de las semillas y disminución de la producción de FVH (FAO, 2001)

Gutiérrez et al., (2000), manifiestan que es de gran importancia que la humedad del ambiente sea superior al 80%, puesto que esta ejerce una influencia directa en el trabajo que desempeñan las estomas, en caso de no existir suficiente humedad en el ambiente, no sería posible la absorción de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto no tendría lugar la asimilación.

La humedad relativa del módulo hidropónico no debe ser inferior al 90%, valores superiores carentes de ventilación causan problemas fitosanitarios fungosas difíciles de combatir y eliminar e incrementar los costos operativos, excesiva ventilación deseca el ambiente y disminución significativamente la producción por deshidratación (Izquierdo, 2001).

El cuidado de la humedad en el interior del recinto de producción es muy importante, la humedad relativa no puede ser inferior a 90%. Valores superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos (FAO 2002, citado por Matilla 2003)

#### **2.5.3.4. Iluminación**

Según Palomino (2008), que al comienzo del ciclo de producción de FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. La radiación solar es importante para el crecimiento vegetal, a la vez que estimula la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal (Howard, 1997).

FAO (2001), señala que si no existiera luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal.

La radiación solar es básica en el crecimiento vegetal, promotora de la síntesis de compuestos (Vitaminas), vitales en la alimentación animal, la presencia de luz en la germinación de las semillas no es recomendable hasta el tercer o cuarto día de siembra en las bandejas, la luz del ambiente debe ser muy oscura para el desarrollo de las raíces. (Izquierdo, 2001).

La exposición de las bandejas con semillas germinadas a la exposición directa de la luz del sol, trae consecuencias negativas (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento de las hojas, quemaduras de las hojas), en los últimos días de

cultivo, se expone las bandejas con forraje a la acción de la luz, para que obtengan su color verde y complete su riqueza nutricional. (Caballero, 1998).

Una intensidad de luz, especialmente regulada puede generar en las plantas cultivadas un acortamiento del ciclo biológico, equilibrado desarrollo vegetativo y una elevada producción. En caso de que sea necesario reducir la iluminación se podrán recubrir los vidrios con esteras, cañizos, sacos o dar calor al invernadero con leche de cal diversamente coloreada.

Terry y Chang, en las memorias del “Curso de Cultivos Hidropónicos” realizado en La Molina en 1995, indican que para producir el FVH en forma óptima, es necesario tener un ambiente disponible, donde exista buena luminosidad solar, para facilitar el proceso de fotosíntesis y por consiguiente, el buen crecimiento de las plantas. También, se podrían producir el FVH dentro de habitaciones, pero para ello se requiere mayor luminosidad y se tendría que recurrir a la luz artificial, lo que nos llevaría a incrementar costos.

Para Pichilingue, se debe procurar que el FVH disponga la luz solar en forma homogénea en las bandejas, para que el crecimiento también lo sea.

#### **2.5.3.5. Riego**

El riego puede realizarse en forma automática o en forma manual. Cuando el riego es automático se requiere una bomba, un tanque de almacenamiento, tubos y mangueras de distribución, ya sea para regar por micro aspersores o con atomizadores por aspersion. Cuando no hay recursos se hará con una manguera o con un balde con hoyos en el fondo. Se hace con una frecuencia de 5 a 8 riegos diarios, PÉREZ, J.(1999).

Para esta labor se realizarán riegos permanentes a lo largo de todo el día por medio de un sistema de riego por goteo, para lo cual la dosis adecuada está alrededor de 0,5 lt por m<sup>2</sup> (4 primeros días) hasta llegar a 1 y 1,5 lts por m<sup>2</sup>, IZQUIERDO, J.(2001).

A partir del momento de la siembra del FVH, se debe suministrar solución nutritiva. El riego se debe aplicar bajo el concepto de que el grano o la parte aérea debe permanecer húmeda, evitando encharcamientos en las bandejas. Se pueden hacer aplicaciones de 8 riegos diarios, es decir uno cada hora a partir de las 8 am y hasta las 4 pm realizando ciclos de riego de un minuto cada vez. (Cultivos Hidroponicos #9, Coljap). También indica que, para la producción de un Kilogramo de forraje verde hidropónico, se necesita dos litros de agua.

Matos (1996), advierten que un factor importante en la incubación hidropónica del forraje verde representa no solamente la solución de nutrición cuya composición sea la más adecuada junto con su limpieza microbiológica. Generalmente, después de algunas circulaciones, la solución empieza a oscurecerse, se contamina con secreciones orgánicas que se desprenden de las semillas germinadas, como también de productos mucilaginosos de diferentes procesos microbiológicos.

Lo anterior sucede cuando se utiliza un sistema cerrado (o sea de reutilización de la solución nutritiva), sin embargo, este problema puede ser evitado si la solución no es reciclada.

Tarrillo (2008), menciona que en un sistema de producción de F.V.H. el agua puede ser re circulada, de tal forma que solo existe pérdida por evapotranspiración de la planta, pero esta es reducida al mínimo, ya que el F.V.H. se produce dentro de invernaderos, que evita la exposición directa del cultivo a los rayos del sol. Por ejemplo en un invernadero de 480 bandejas requiere de 1000 litros de agua al día, (para riego, lavado, desinfección de semilla, etc.) pero este módulo produce 500 kgde forraje / día. Por lo tanto, se requiere un aproximado de 2 litros de agua por cada kilo de forraje producido. Consumos de agua muy inferiores a producciones a campo abierto, donde las pérdidas de agua se dan por percolación, escorrentía, evaporación y evapotranspiración. Se estima que para producir un kilo de alfalfa fresca bajo riego por aspersión se requiere de 300 litros de agua, y de 100 litros de agua para producir 1 kilo de maíz forrajero bajo el mismo sistema de riego.

- 1 kilo de alfalfa (300 litros de agua)

- 1 kilo de Maíz forrajero (100 litros de agua)
- 1 kilo de F.V.H. (2 litros de agua)

Para el riego del forraje verde hidropónico, se recomienda el uso de agua potable o de subsuelo, para evitar una posible contaminación del cultivo, pero en la práctica se ha observado que este cultivo se puede desarrollar sin mayor problema con agua de riego y aun con cierto grado de salinidad.

### **2.5.3.6 Calidad del Agua de Riego**

Ramos (1999), señala que la calidad de agua no puede ser descuidada, un experimento en Uruguay indica que la utilización de agua proveniente de una cañada del lugar, provocó una muy severa aparición de enfermedades fungosas, al igual que una elevada presencia de colibacilos fecales en el cultivo., establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónico respecto a:

- Contenido en sales y elementos Fito tóxicos (sodio, cloro y boro);
- Contenido de microorganismos patógenos;
- Concentración de metales pesados;
- Concentración de nutrientes y compuestos orgánicos.

Howard (1997), indica que en la elaboración de soluciones se puede utilizar: el agua de pozo, agua potable, de lluvia y finalmente las destiladas, pero cuando se emplean aguas de ríos y arroyos se debe tener cuidado de que no contengan elementos perjudiciales (minerales pesados), plomo, boro, sodio y que su contenido de sales minerales no sea superior a los 200 ppm.

Según Palomino (2008), la procedencia del agua puede ser de pozo, lluvia o agua corriente de cañerías. Si el uso de agua no es potable se tendrá problemas fitosanitarios, nutricionales en el forraje hidropónico. Con el sistema hidropónico de producción de forrajes en base a cereales se han reportado ahorros entre 50% a

70% de agua en comparación a cultivos no hidropónicos, también una relación semilla/producción de 1 a 9 kg de forraje fresco (Aráno, 1998).

### **2.5.3.7. Germinación**

Matilla (2003), define la germinación como el conjunto de procesos metabólicos y Morfo - genéticos que tienen como resultado la transformación de un embrión en una plántula capaz de valerse por sí misma y transformarse en una planta fotosintéticamente competente. La germinación de una semilla es pues, uno de los procesos más vulnerables por los que atraviesa el ciclo vital de una planta ya que de ella depende el desarrollo de la nueva generación.

Según Matilla (2001), es una unidad de reproducción sexual por excelencia en las plantas superiores, encargada de propagar la especie y dispersarla, tanto en el tiempo como en el espacio, permaneciendo durante largos periodos de tiempo en un estado en el que las actividades vitales se reducen al mínimo, en espera de unas condiciones ambientales favorables que permitan la germinación.

La absorción de agua por remojo causa el hinchamiento y la ruptura de la cubierta protectora, luego inicia la germinación, cuando la semilla inicia la actividad enzimática y el metabolismo respiratorio, Comenzando a asimilar sus reservas que le ayudarán a emerger el embrión y su crecimiento de un día a otro se observa la emergencia de la raíz y posteriormente el tallo (Delgado,2016).

Para Fernández y Johnston (2006), en un sentido estricto la germinación comienza con la entrada de agua a la semilla, que le permite resumir la actividad metabólica (respiración, síntesis de proteínas y otros) y termina con el crecimiento de la radícula que emerge al exterior. Para esto utiliza parte de sus nutrientes de reserva y desarrolla gradualmente sistemas enzimáticos que le permitirán asumir luego su existencia autotrófica. También afirman que las sustancias nutritivas o reservas están constituidas esencialmente por carbohidratos, proteínas y lípidos en diversas proporciones. Pueden estar almacenados en un tejido especializado, denominado endospermo (Ej. Gramíneas, lilifloras).

Para Devlin (2009), según parece, los factores fisiológico que provocan la germinación ponen en marcha la degradación de las proteínas de reserva, la migración de los productos de esta degradación (aminoácidos) en dirección del embrión, y la síntesis de nuevas proteínas a partir de estos aminoácidos. Indica además que estudios realizados sobre el metabolismo del nitrógeno durante la germinación de guisantes y de cebada muestran que las proteínas de reserva están entre los primeros compuestos que desaparecen.

La velocidad y la importancia de la imbibición están afectadas en primer lugar por la temperatura y por la presión osmótica de la sustancia que va a ser inhibida. La temperatura no afecta a la cantidad de agua absorbida por la sustancia que se inhibe, pero tiene un claro efecto sobre la velocidad de la imbibición. Un aumento de la temperatura se traduce en un aumento de la velocidad de la imbibición (Gallardo, 1997).

#### **2.5.3.8 Tratamiento de pre-siembra del FVH.**

Según Matos (1996), antes de realizar la siembra en bandejas de producción se debe realizar un proceso de pre-siembra, esto se hace para realizar la germinación, lo cual se logra primero induciendo a la imbibición de la semilla que se da con al menos un 50% de humedad, a una temperatura de 20 – 25 °C, el agua fría (0 – 15°C) lentifica este proceso. Cuando no hay suficiente acceso de oxígeno la respiración de las semillas se reduce y por tanto este proceso se intensifica de gran manera, gracias al oxígeno intramolecular, lo que conduce a altas pérdidas de sustancias orgánicas y a una desigual germinación. La práctica ha demostrado que la duración de humedecimiento y germinación de la semilla de cebada es de 2 días. (Gallardo, 1997).

En un experimento que se hizo en el Instituto de Estudios de Problemas Agroquímicos e Hidropónicos de Armenia, se demostró que la utilización de ácido giberélico en una dosis de 10 mg/1 kg de semilla secas sujetas a la imbibición en una solución de nutrición, incrementa su poder germinativo.

### **2.5.3.9 Respiración Celular**

En las semillas re hidratadas son funcionales tres rutas respiratorias: la glicolisis, ciclo de Krebs y vía de las pentosas-fosfato. Estos tres procesos metabólicos generan distintos compuestos intermedios y fundamentalmente gran cantidad de energía química en forma de ATP. Los procesos de obtención de energía metabólica se basan en la degradación oxidativa de moléculas orgánicas, principalmente glucosa o fructosa procedentes de la hidrólisis del o almidón.

### **2.5.3.10. Sustancias de Reserva**

Tras la hidratación de los distintos tejidos que forman la semilla, tienen lugar en ellos una serie de reacciones metabólicas de hidrólisis que transforman las sustancias nutritivas de reserva en moléculas más sencillas y accesibles para el embrión.

## **2.6. Densidad de siembra en cultivos hidropónicos**

Pichilingue (1995) citado por Ralde (2000), señala que dentro de la producción de forraje verde hidropónico el rendimiento en relación a la siembra es de 1 a 4 kg (4 kg de forraje verde por kg de semilla).

Peñafiel (1996) citado por Ralde (2000), en la Granja Demostrativa de Kallutaca obtuvo rendimientos de avena (*Avena sativa*), de 6.0 kg/bandeja de 1 m<sup>2</sup> bajo el sistema de cultivo hidropónico.

Chang *et al.* (1995), citado por Ralde (2000), en el segundo curso taller de Hidroponía, indican que el forraje verde hidropónico (FVH), es el resultado del proceso de germinación de semilla de granos de cereales o leguminosas como avena, cebada, trigo, maíz, alfa, etc. Que han crecido por un periodo de 9 a 15 días, logrando alcanzar de 20 a 25 cm de altura.

Ralde (2000) indica que obtuvo altura de planta en las densidades de siembra de 0.5 kg a 2.0 kg por bandeja de 17.5 cm a 14.5 cm de altura de planta en avena; con un

rendimiento en peso de entre 3.2 kg a 4.7 kg en materia verde. Igualmente encontró un rendimiento en peso entre 19.29% a 26.4% (0.61 kg a 1.22 kg) de materia seca.

Gallardo (1997), en su trabajo de cultivo de forraje verde hidropónico encontró alturas de planta de 15.1 cm a 17.3 cm en cebada, con densidad de 0.5 kg/m<sup>2</sup>. Con un peso de rendimiento entre 6.06 kg a 7.06 kg en materia verde. Asimismo, encontró un peso de rendimiento de materia seca de 2129.3 kg a 2226.3 kg.

### **2.6.1 Tipo de Bandeja**

Se recomienda trabajar con bandejas de plástico o de fibra de vidrio, evitar bandejas de metal ya que estas pueden reaccionar con la solución nutritiva. Las bandejas deberán tener orificios a un lado para permitir el drenaje del agua (Tarrillo, 2008).

El cultivo puede estar instalado en bandejas de plástico provenientes del corte longitudinal de envases descartables; estantes viejos de muebles a los cuales se les forra con plástico; bandejas de fibra de vidrio, de madera pintada o forrada de plástico las cuales a veces son hechas especialmente para este fin (FAO, 2001). Un trabajo realizado en la producción de forraje hidropónico en el Municipio de Umala. Proyecto SUMA UMA, del Departamento de La Paz, para la producción de forraje verde, utilizo bidones desechables de aceite de capacidad de 5 litros, estos son cortados a la mitad (Aquino, 2010).

### 3. LOCALIZACIÓN

#### 3.1. Ubicación Geográfica

El presente estudio se realizó en un ambiente atemperado, ubicado en la zona de Los Ángeles, en la ciudad de Viacha, provincia Ingavi del departamento de La Paz, a 30 km hacia el sud oeste de la ciudad de La Paz.

Geográficamente se encuentra a los 16 39' 30'' de latitud sur y 68 16' 55'' de longitud oeste y a una altitud de 3850 m.s.n.m.

#### 3.2. Caracterización agroecológicas

##### 3.2.1. Clima

Se obtuvieron los siguientes datos meteorológicos del SENAMHI considerando el período de 1960-2014:

**Cuadro 5. Datos de Climáticos de Viacha**

Estación: Viacha										Latitud Sud: 16 39'30"			
Departamento: La Paz										Longitud Oeste: 68 16'55"			
Provincia: Ingavi										Altura: 3850 m.s.n.m			
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precip. Total	133.3	90.4	69.1	28.3	11.8	4.4	6.7	12.6	26.4	36.0	51.2	85.6	567.2
Precip. Media	7.2	6.1	5.7	5.3	4.1	2.1	2.3	3.9	4.5	4.9	5.6	6.0	58.3
Precip. Max 24h	52.2	74.4	51.2	37.5	68.8	18.7	29.0	51.7	33.1	44.0	43.4	75.0	75.0
Humedad Rel. Med.	64.1	66.1	65.6	61.8	54.6	51.3	50.8	49.4	51.1	52.4	54.3	57.1	56.1
Temp. Media	10.5	10.4	10.0	8.8	6.2	4.2	4.4	5.7	7.8	9.4	10.2	10.5	8.3
Temp. Max. Media	17.0	17.1	17.1	17.4	16.9	15.7	16.0	16.8	17.5	18.2	18.4	17.8	17.2
Temp. Mín. Media	4.0	3.8	3.0	0.3	-4.3	-7.4	-7.2	-5.3	-1.7	0.6	2.0	3.3	-0.7
Temp. Max. Extr.	31.0	29.0	27.0	24.0	25.5	21.0	25.0	21.6	25.0	28.0	25.2	25.0	27.2
Temp. Min Extr.	-3.0	-5.0	-5.6	-11.0	-17.0	-17.7	-17.0	-16.0	-13.4	-11.0	-7.7	-5.0	-17.7

Fuente: SENAMI

Viacha se encuentra en el Altiplano boliviano y posee un clima frío y seco la mayor parte del año con una estación lluviosa entre diciembre y febrero.

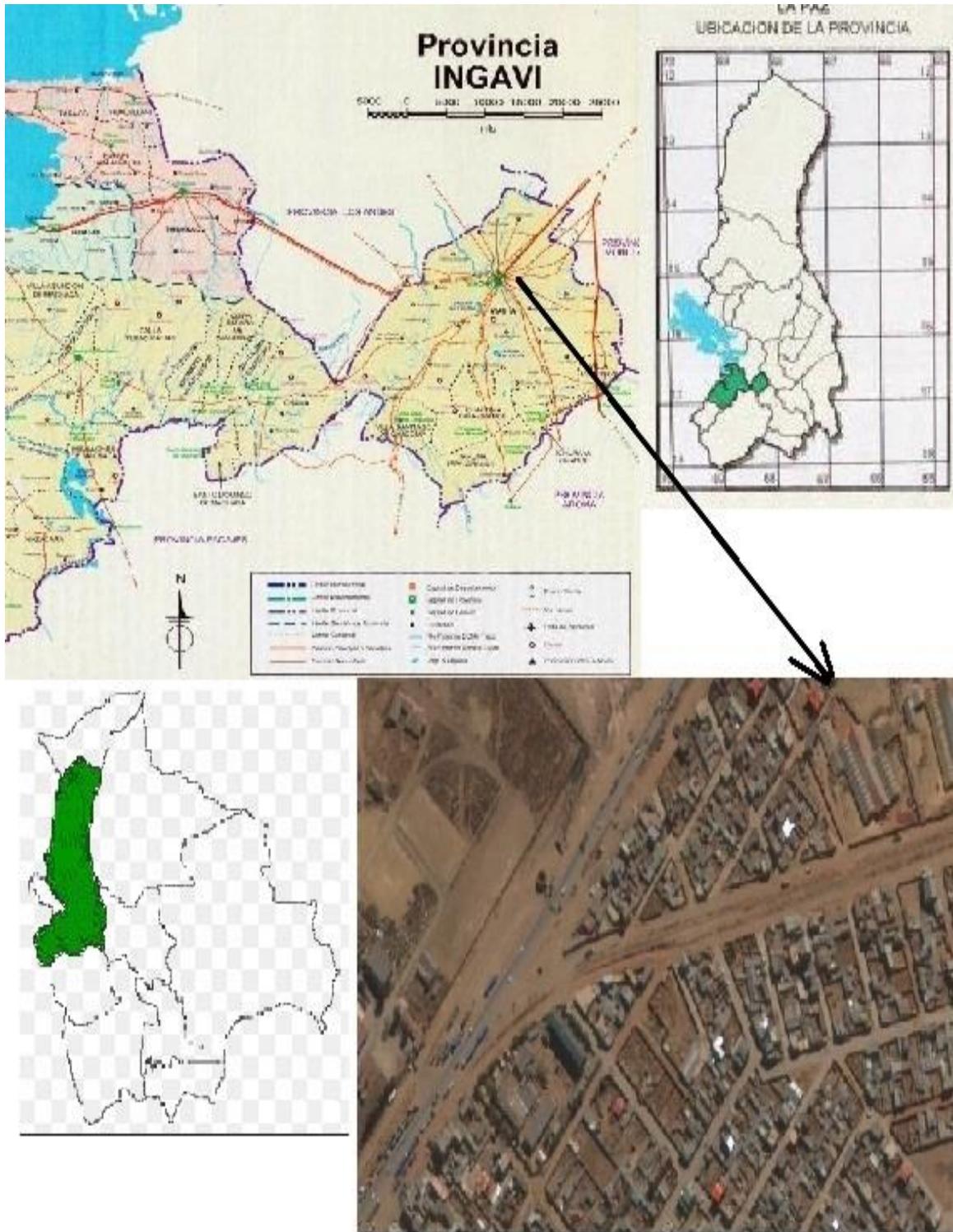


Figura 1. Ubicación geográfica del trabajo

Las características climatológicas de la zona, son propias del Altiplano norte y central que está clasificado como estepa espinosa a estepa de montaña templada –frío según el sistema de clasificaciones de zonas de vida y formaciones vegetales del mundo de Holdridge. Según González (2000), la zona presenta una temperatura promedio anual de 8 °C, las heladas son muy frecuentes a partir del mes de Abril a Agosto,

Las precipitaciones pluviales, en el área de estudio, son del orden de 500 mm a 600 mm al año siendo las más marcadas durante el verano, en las demás estaciones, presenta un clima seco sin precipitaciones (SENAMHI, 2014).

### **3.2.2. Flora**

En la zona se desarrolla cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), quinua (*Chenopodium quinoa*), cañawa (*Chenopodium pallidicaule*), trigo (*Triticum*), cebada (*Hordeum Vulgare*), avena (*Avena sativa*) alfalfa (*Medicago sativa*), como también se observa especies nativas como la thola (*Parastrephia quadrangularis*), paja brava (*Stipa ichu*), pastos (*Cynodon plectostachyus*) y otros entre las especies forestales se desarrollan la kiswara (*Chaptalia nutans*), pino (*Pinus*), eucalipto (*Eucalyptus*) (Canaviri, 2003).

### **3.2.3. Fauna**

La principal actividad que tiene la zona es la ganadería, predomina la crianza de bovinos, ovinos, porcinos, aves, conejos, cuyes y otros.

### **3.2.4. Altitud**

En el municipio de Viacha de los distritos 1, 2, 6 y 7 presenta alturas que varían de 3850 msnm a 3940 msnm.

### **3.3.5. Relieve topográfico**

En el municipio de Viacha se destacan algunas colinas, entre ellas la colina de Chonchocoro en el distrito 6 y 7, la colina de Santa Bárbara adyacente a los distritos 1 y 2 de Viacha y también el sistema de colinas cruzando el río Pallina en la hacia el oeste, en una de las lomas se ubica la principal cantera de explotación de piedra caliza de la industria cementera Viacha.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **4.1. Materiales**

Para el presente trabajo de investigación se utilizó 250 kg de Cebada (*Hordeum vulgare* L.) de la variedad criolla, obtenida de la ciudad de Viacha, también se utilizaron los siguientes materiales.

#### **4.1.1. Materiales de Escritorio.**

- 500 hojas de papel bond tamaño carta.
- 4 lapiceros.
- 1 maquina portátil.
- Impresiones.
- 1 agenda.
- 1 calculadora científica.
- Marcadores.
- Registros.
- Cámara digital.
- 1 tablero
- 12 bolsas plásticas

#### **4.1.2. Materiales de campo**

- Flexo
- 2 Baldes de 20 litros
- Overol
- 15 m de Agrofil negro
- Estante de fierro
- 1 Regadera
- 36 Bandejas de madera de 60 x 40 cm
- Balanza Analítica
- Balanza común

- Termómetro
- Instrumentos de aseo
- 24 unidades de lavandina

## **4.2. Método**

El presente estudio se realizó en un ambiente acondicionado. La parte metodológica implica todas las actividades que se realizó durante el trabajo de investigación, que nos permitió alcanzar y cumplir con los objetivos planteados.

### **4.2.1. Procedimiento de investigación**

Para el ensayo previamente se habilitó un ambiente cerrado en el cual se instaló 2 estantes con 36 bandeja para la producción de FVH con las respectivas repeticiones.

#### **4.2.1.1 Construcción de los estantes**

Se construyeron dos estantes con perfiles de fierro de una pulgada de tres filas para que puedan entrar las 36 bandejas.

#### **4.2.1.2 Proceso de la Producción de Forraje Verde Hidropónico:**

##### **a) Selección de la semilla:**

Inicialmente se seleccionó cuidadosamente la semilla, atendiendo a que los granos estén en buen estado (ni partidos, ni maltratados), y particularmente, que no hayan sido tratados con pesticidas o productos tóxicos.

Asimismo, se percató que la humedad de la semilla esté en un 12% y con un reposo para que cumpla con los requisitos de madurez fisiológica.

##### **b) Limpieza y desinfección del ambiente de producción:**

Con la finalidad de evitar la aparición y proliferación de hongos, se realizó la limpieza del ambiente y desinfección de las bandejas, para lo cual se utilizó hipoclorito de sodio al 10%.

### **c) Construcción de bandejas:**

Se realizó la construcción de las bandejas de 5 cm, 10 cm, 12,5 cm y 15 cm de altura las cuales son distribuidas en 36 espacios de los estantes, posteriormente se pintó las bandejas con aceite usado evitando que la madera se deforme por efecto de la humedad.

### **d) Desinfección de semillas:**

La producción de FVH, se inició con el pesado de las semillas de cebada, posteriormente estas se sumergieron en baldes con agua e hipoclorito de sodio al 10%. Con este proceso se eliminó las esporas de hongos, bacterias, etc. y comenzar a debilitar la cubierta de las semillas.

### **e) pre-germinación de semillas:**

Se realizó el remojo de la semilla por un tiempo de 24 horas, luego las semillas se colocaron en bolsas de plástico para iniciar el proceso de germinación, este periodo duró 3 días. Este procedimiento tiene como objetivo activar y romper el estado de latencia en que se encuentran las semillas.

### **f) Siembra:**

Posteriormente a la pre germinación, se realizó la siembra de las semillas en las bandejas de acuerdo a los diferentes tratamientos, velando siempre que la altura de las semillas no sobre pase de 1 cm esto para evitar su pudrición y una deficiente oxigenación.

### **g) Riego:**

El riego se realizó 2 veces por día, hasta que las bandejas estén saturadas de agua, esto se evidenció cuando el agua excedentaria comenzó a drenar de la bandeja.

## h) Cosecha de forraje:

La cosecha se realizó en 25 días después de la siembra, en esta etapa se retiró todo el FVH de la bandeja para su respectivo pesado y el posterior suministro a cuyes.

### 6.2.2. Diseño experimental.

Para el análisis estadístico del ensayo se empleó un Diseño Completamente al Azar con arreglo bifactorial, donde el Factor A corresponde a la altura de bandejas y el factor B corresponde a la densidad de siembra (Calzada, 1982).

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + \alpha\beta_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- Y<sub>ijk</sub> = observación cualquiera
- μ = media poblacional
- α<sub>j</sub> = Efecto del j – ésima densidad de siembra.
- β<sub>k</sub> = Efecto del k - ésimo altura de bandeja
- αβ<sub>jk</sub> = Interacción entre la altura de bandeja por densidad de siembra.
- ε<sub>ijk</sub> = Error experimental

#### 4.2.2.1. Factores del estudio

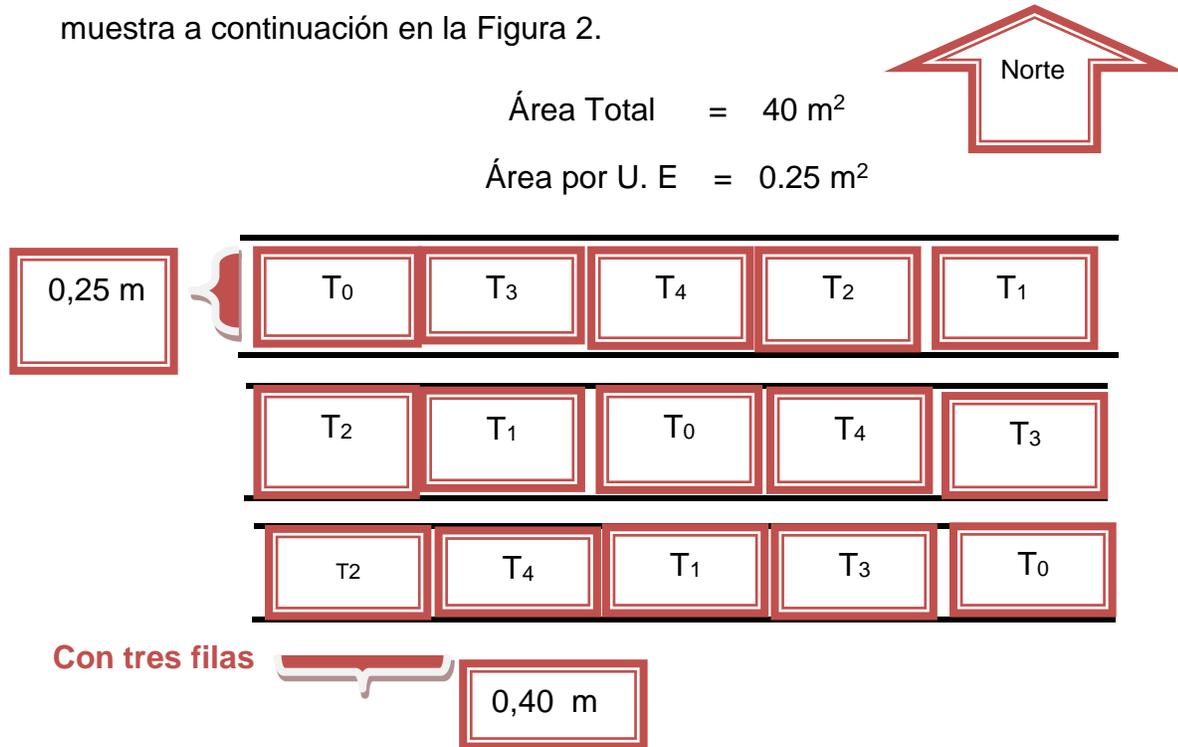
En el Cuadro 6, se observa los Factores y niveles del experimento

**Cuadro 6. Factores y niveles del experimento**

Factores	Niveles
Factor A: densidades de siembra	D <sub>1</sub> = 2 kg/m <sup>2</sup> D <sub>2</sub> = 3 kg/m <sup>2</sup> D <sub>3</sub> = 5 kg/m <sup>2</sup> D <sub>0</sub> = 4 kg/m <sup>2</sup> testigo
Factor B: Altura de bandeja	ALBA <sub>0</sub> = 5,0 cm testigo ALBA <sub>1</sub> = 10,0 cm ALBA <sub>2</sub> = 12,5 cm ALBA <sub>3</sub> = 15,0 cm

### 4.2.2.1. Croquis del experimento

En el siguiente croquis se presentan las medidas de las unidades experimentales que se encuentran dispuestas de manera aleatoria, es decir una a lado de la otra como se muestra a continuación en la Figura 2.



### 4.2.3. Variables de respuesta

#### a) Porcentaje de germinación:

El procedimiento de germinación consiste en retirar un lote de semillas con una muestra de 100 (o un múltiplo de 100) semillas puras y llenas.

El porcentaje de semilla completa se calcula como sigue:

$$\text{Porcentaje de semilla plena} = \frac{\text{Cantidad de semillas plenas y sanas}}{\text{Cantidad total de semillas}} \times 100 =$$

**b) Prueba de pureza:**

Para medir el grado de pureza de la semilla, se separa la semilla pura de la impura, y luego se pesan por separado. La semilla se considera pura si aparece normal en cuanto a su tamaño, forma y aspecto general externo. Inversamente, se considera como impura la semilla que es demasiado pequeña, que ha sido parcialmente comida por los insectos o pone en evidencia manchas producidas por los hongos. Una muestra para un ensayo de pureza puede consistir de 100 a 1.000 semillas.

El porcentaje de pureza se calcula:

$$\text{Porcentaje de pureza} = \frac{\text{Peso de la semilla pura}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100 =$$

**c) Altura de la planta:**

Se tomó en cuenta desde el cuello del ápice de la hoja, antes de su acame, se expresará en centímetros será evaluada en peso de las primeras hojas, hasta llegar a su mayor crecimiento bajo el sistema de producción hidropónico.

**d) Rendimiento en materia verde:**

El rendimiento se ha obtenido pesando el forraje de cada bandeja (0.25 m<sup>2</sup>) en una balanza, antes se pesara la bandeja (tara), el peso se obtuvo entre la hoja y raíz.

**e) Rendimiento en materia seca:**

El rendimiento se obtuvo pesando entre hoja y raíz todos los días, y el porcentaje de materia seca se calculara bajo la siguiente (A.O.A.C., 1984).

$$\% MS = \frac{\text{Peso seco (g)} * 100}{\text{Peso humedo (g)}}$$

#### 4.2.4. Análisis Beneficio - Costo

El análisis se realizó parcialmente sin contar con la infraestructura, por ser un análisis parcial, el cual está relacionado con los ingresos (beneficios) con respecto a la venta de FVH a los cuales se les resta los gastos incurridos para la obtención del producto (costo de producción) (CIMMYT, 1988).

$$\frac{B}{C} = \text{beneficio bruto/costo de produccion}$$

La relación beneficio-costo:

B/C > 1 rentable

B/C 0 1 sin utilidad de rentabilidad

B/C < 1 no rentable

#### 4.2.5. Análisis estadístico

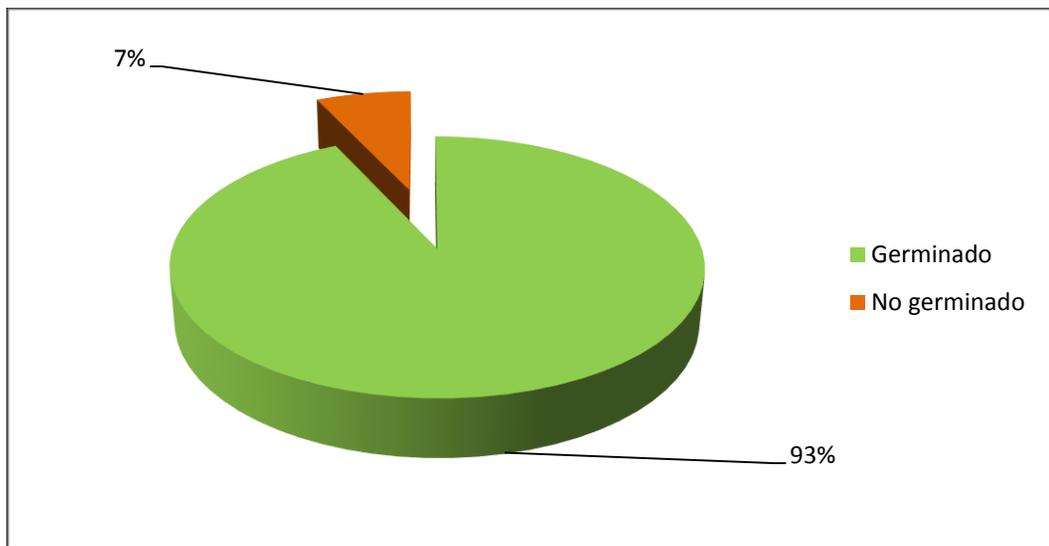
Se realizó el análisis de varianza con sus respectivos análisis de promedios de Duncan al 5% para las variables en estudio. Asimismo se realizó el análisis de regresión entre los días y la altura de planta.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados y la discusión del presente trabajo. Los datos obtenidos en campo del presente trabajo se observan en el Anexo 1. El análisis estadístico se observa en el Anexo 2.

### 5.1. Porcentaje de germinación.

En la Figura 3, a las 24 horas se observan los porcentajes de germinación de la semilla de cebada, del trabajo, donde se obtuvo que el 93% germino y el 7% que no germino.

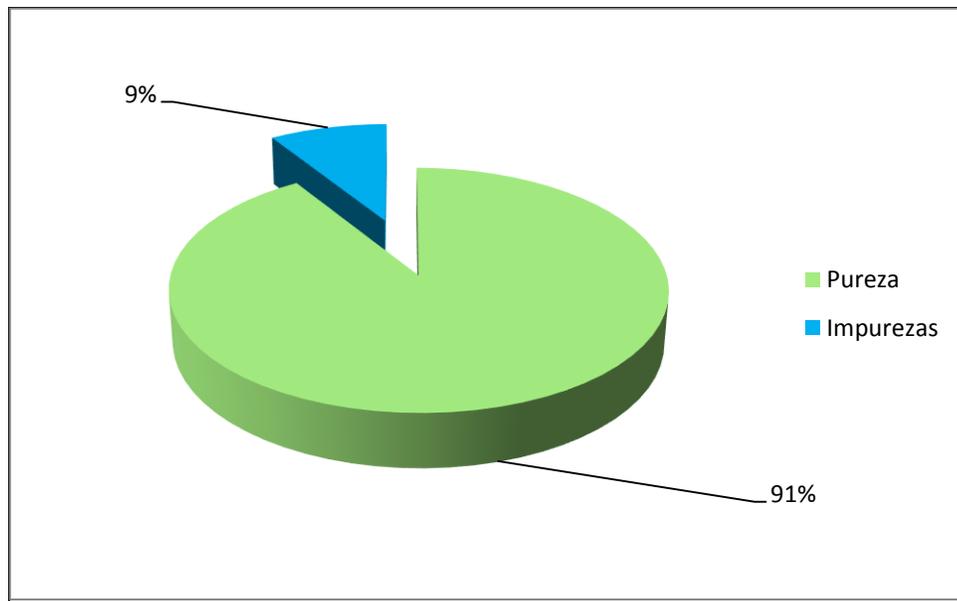


**Figura 3. Porcentaje de germinación de la semilla de cebada**

Roman *et. al.* (s/f) menciona que se aceptan aquellas muestras en las cuales el porcentaje de germinación es superior a 85%. Siendo superiores los encontrados en el presente trabajo.

## 5.2. Pureza de la semilla de cebada

El porcentaje de pureza de la semilla de cebada se observa en la Figura 4, se obtuvo un 91% de pureza. El 9% de impurezas de impurezas (semillas dañadas no deseadas, pequeños tallos y piedras, etc.) lo que hizo que el trabajo tenga más garantía en sus resultados.



**Figura 4. Porcentaje de pureza de la semilla de cebada**

Gallardo (1997) 87.0% de pureza en la semilla, siendo inferior al encontrado en el presente trabajo.

## 5.3. Altura de la planta

El análisis de varianza de altura de planta de cebada se observa en el Cuadro 7, no se observa diferencias estadísticas ( $Pr > 0.05$ ), entre las fuentes de variación densidad de siembra y la interacción densidad de siembra por altura de bandeja. En la fuente de variación altura de bandeja se observa diferencias significativas.

El coeficiente de variación es 7.42% indicando que los datos son homogéneos y altamente confiables, como indica Calzada (1983).

**Cuadro 7. Análisis de Varianza de altura de planta en cebada**

Fuente de variación	G. L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Valor	Pr>F
Campaña (bloque)	3	1138.96657	379.655522	103.96	
Densidad Siembra	3	11.155071	3.718357	1.02	0.3872 ns
Altura Bandeja	3	41.265357	13.755119	3.77	0.0126 *
Dens_Siem*Alt_Ban	9	8.284977	0.920553	0.25	0.9855 ns
Error	121	441.901955	3.652082		
Total Corregido	139	1641.57393			

C.V. = 7.42%, ns= no significativo, \* significativo, \*\* altamente significativo

En el Cuadro 8, se observan los promedios de los tratamientos de densidad de siembra, la densidad D<sub>3</sub> (5 kg/m<sup>2</sup>) obtuvo 26.2 cm, la densidad D<sub>0</sub> (4 kg/m<sup>2</sup> testigo) obtuvo 25.5 cm, la densidad D<sub>1</sub> (2 kg/m<sup>2</sup> testigo) obtuvo 25.7 cm y la densidad D<sub>2</sub> (3 kg/m<sup>2</sup> testigo) obtuvo 25.6 cm. En las densidades de siembra no se encontraron diferencias estadísticas, probablemente se debe a que no exista competencia por la luz entre las densidades, por la luz difusa que tuvo el ambiente. Al respecto Jacinto (1997), en una evaluación de variedades de cebada y avena, concluye que la altura de planta y el rendimiento de forraje están altamente correlacionados. Por su parte Ediciones culturales (1992), señala que en hidroponía las plantas no compiten por el alimento sino por la luz de tal manera que en una densidad de siembra excesiva obliga a la planta a un mayor esfuerzo por obtener luz disponible y tiende a reducir resultados de la cosecha.

**Cuadro 8. Promedios de altura de planta por densidad de siembra**

Densidad de siembra	Media (cm)	Desvió estándar
D <sub>3</sub> =5 kg/m <sup>2</sup>	26.2	3.3
D <sub>0</sub> =4 kg/m <sup>2</sup> testigo	25.5	3.5
D <sub>1</sub> =2 kg/m <sup>2</sup>	25.7	3.8
D <sub>2</sub> =3 kg/m <sup>2</sup>	25.5	3.3

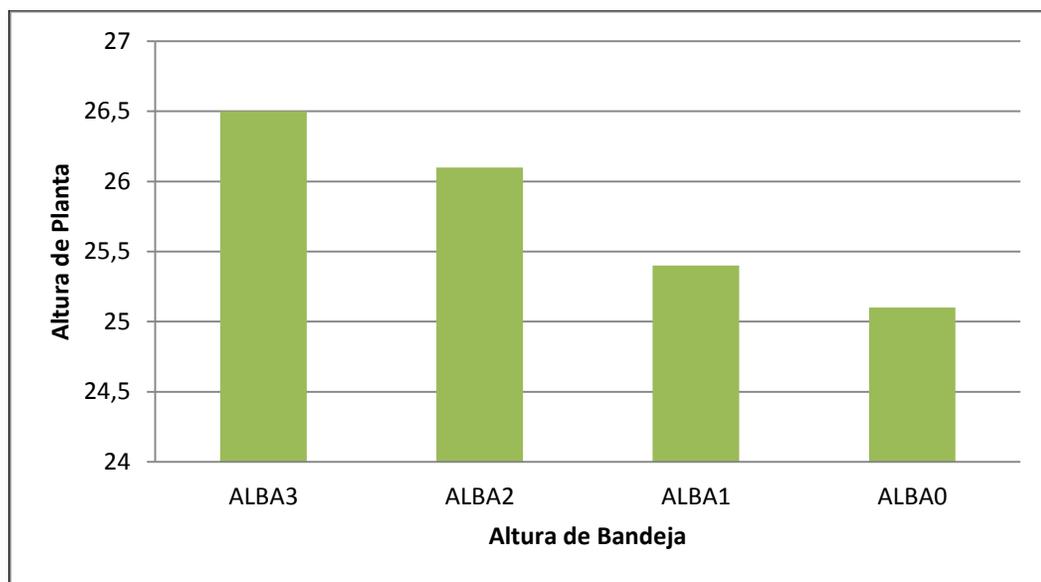
En el Cuadro 9 y Figura 5, se observan los promedios de las alturas de planta y la prueba de Duncan (al 5%), entre la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) y la altura de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm) son estadísticamente similares con 26.5 cm y 26.1 cm de altura de planta respectivamente; la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) con altura de

planta de 26.5 es estadísticamente superior a la altura de bandeja ALBA<sub>1</sub> (10.0 cm) con 25.4 cm y a la altura de bandeja ALBA<sub>0</sub> (5.0 cm) con 25.1 cm de altura de planta.

Esta diferencia probablemente se deba a que las alturas de bandeja más altas conservan mejor la humedad y temperatura, que favorece el desarrollo de la planta hidropónica.

**Cuadro 9. Promedios de altura de planta por altura de bandeja**

Altura de Bandeja	Media (cm)	Duncan
ALBA <sub>3</sub> = 15,0 cm	26.5	A
ALBA <sub>2</sub> = 12,5 cm	26.1	AB
ALBA <sub>1</sub> = 10,0 cm	25.4	BC
ALBA <sub>0</sub> = 5,0 cm testigo	25.1	C

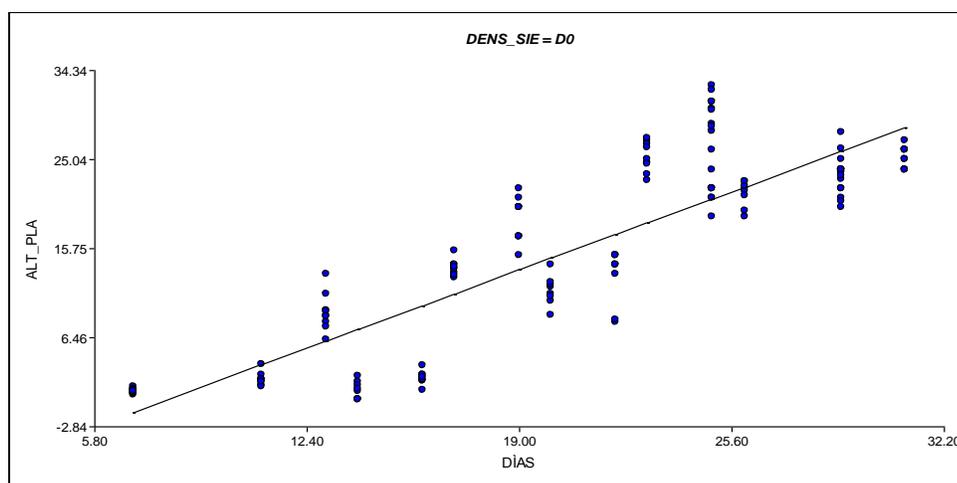


**Figura 5. Promedios de altura de planta por altura de bandeja.**

El análisis de regresión lineal entre la altura de planta en función de los días de desarrollo es altamente significativo ( $Pr < 0.01$ ) en la densidad de siembra de 4 kg/m<sup>2</sup> (D<sub>0</sub>), con un coeficiente de correlación alto de 0.87, como puede observarse en el Cuadro 10 y Figura 6. Se tiene una relación directa entre la altura de planta y los días de desarrollo ( $Y = -10.01 + 1.24 X$ ).

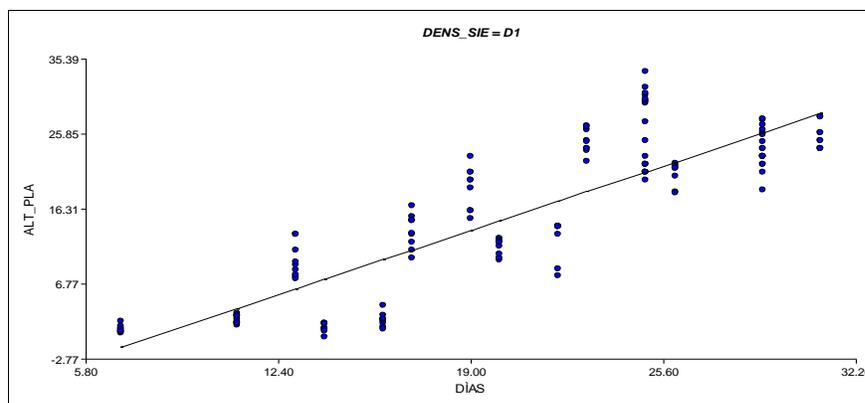
**Cuadro 10. Regresión y correlación lineal de días de desarrollo y altura de planta por densidad de siembra.**

Densidad de siembra	Variable Independiente (X)	Variable Dependiente (Y)	Ecuación de Regresión	Coefficiente de Correlación	Signifi.
D <sub>0</sub> 4 kg/m <sup>2</sup>	Día	Altura de planta	$Y = -10.01 + 1.24 x$	0.87	**
D <sub>1</sub> 2 kg/m <sup>2</sup>	Día	Altura de planta	$Y = -9.95 + 1.24 x$	0.87	**
D <sub>2</sub> 3 kg/m <sup>2</sup>	Día	Altura de planta	$Y = -9.65 + 1.23 x$	0.87	**
D <sub>3</sub> 5 kg/m <sup>2</sup>	Día	Altura de planta	$Y = -10.34 + 1.28 x$	0.88	**



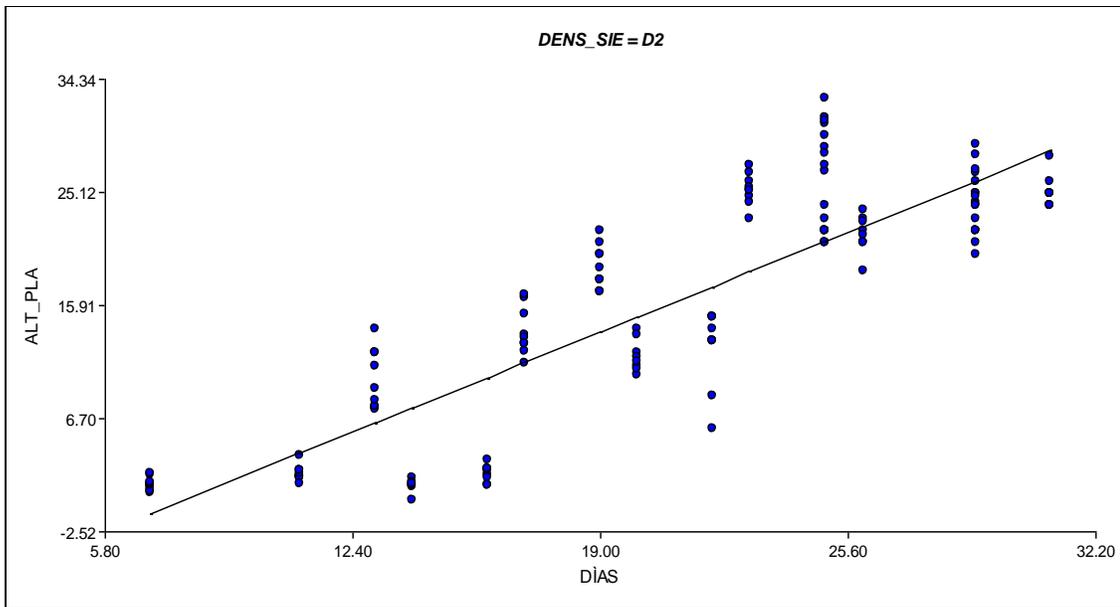
**Figura 6. Pendiente ajustada entre días y altura de planta para densidad de siembra (D<sub>0</sub>) 4 kg.**

El análisis de regresión lineal de la altura de planta en función de los días de desarrollo es altamente significativo ( $P < 0.01$ ) en la densidad de siembra de 2 kg/m<sup>2</sup> (D<sub>1</sub>), con un coeficiente de correlación alto (0.87), como puede observarse en el Cuadro 10 y Figura 7. Esta relación ( $Y = -9.95 + 1.24 X$ ) indica que existe un incremento de 1.24 cm por cada día que pasa, existiendo una relación directa.



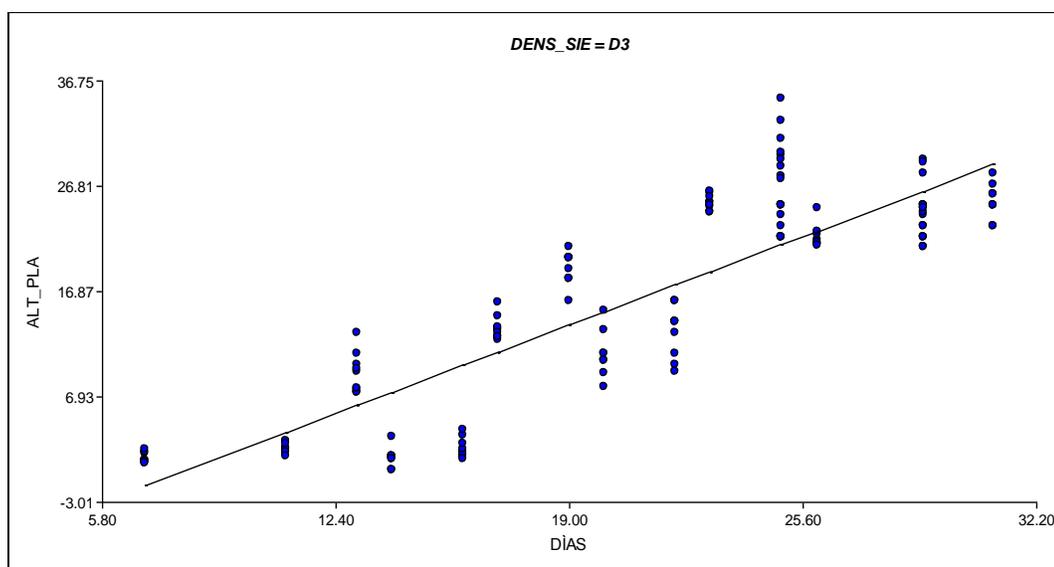
**Figura 7. Pendiente ajustada entre días y altura de planta para densidad de siembra (D<sub>1</sub>) 2 kg.**

El análisis de regresión lineal de la altura de planta en función de los días de desarrollo en la densidad de siembra de 3 kg/m<sup>2</sup> (D<sub>2</sub>) es altamente significativo (P<0.01), con un coeficiente de correlación alto (0.88), como puede observarse en el Cuadro 10 y Figura 8. Esta relación ( $Y = -9.55 + 1.23 X$ ) indica que existe un incremento de 1.23 cm por cada día que pasa, existiendo una relación directa.



**Figura 8. Pendiente ajustada entre días y altura de planta para densidad de siembra (D<sub>2</sub>) 3 kg.**

El análisis de regresión lineal simple de la altura de planta en función de los días de desarrollo en la densidad de siembra de 5 kg/m<sup>2</sup> (D<sub>3</sub>) es altamente significativo (P<0.01), con un coeficiente de correlación alto (0.87), como puede observarse en el Cuadro 10 y Figura 9. Esta relación ( $Y = -10.34 + 1.28 X$ ) indica que existe un incremento de 1.28 cm por cada día de desarrollo, existiendo una relación directa.

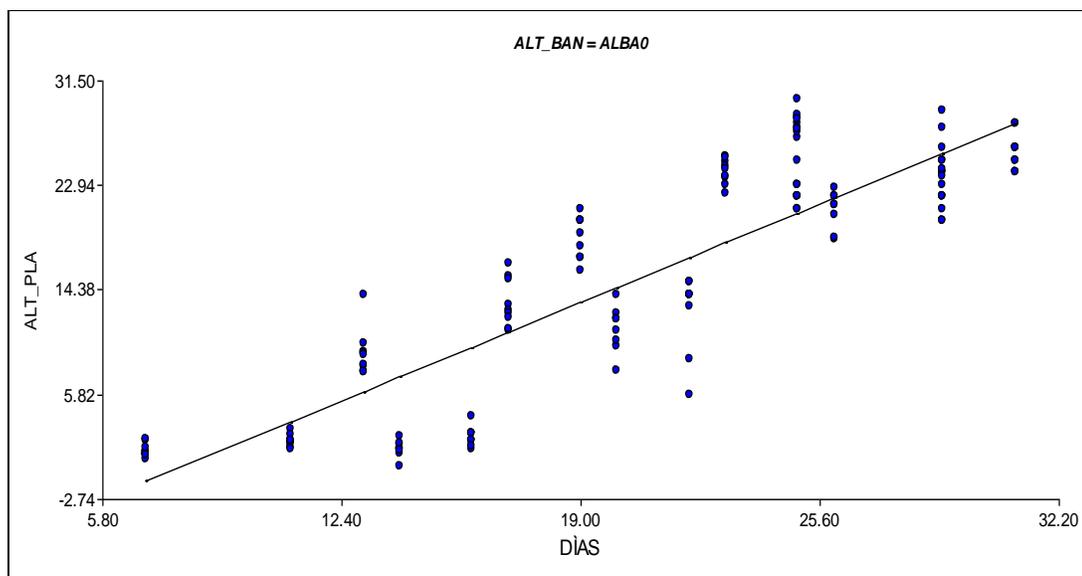


**Figura 9. Pendiente ajustada entre días y altura de planta pa2ra densidad de siembra (D<sub>3</sub>) 5 kg.**

El análisis de regresión lineal de la altura de planta en función de los días de desarrollo es altamente significativo ( $P < 0.01$ ) en la Altura de Bandeja de 5.0 cm (ALBA<sub>0</sub>), con un coeficiente de correlación alto (0.88), como puede observarse en el Cuadro 11 y Figura 10. Esta relación ( $Y = -9.82 + 1.22 X$ ) indica que existe un incremento de 1.22 cm por cada día que pasa utilizando la bandeja de 5 cm, existiendo una relación directa.

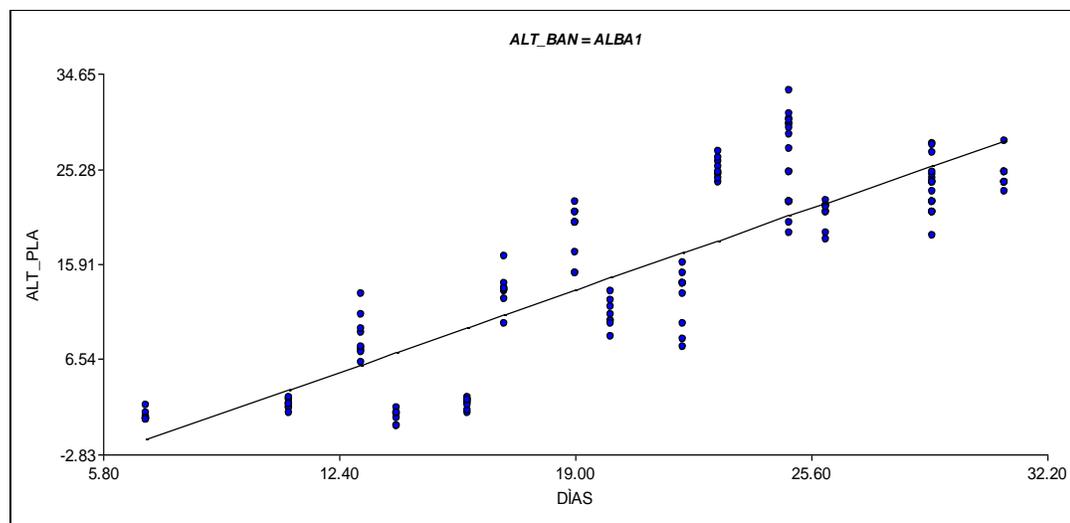
**Cuadro 11. Regresión y correlación lineal de días de desarrollo y altura de planta por Altura de Bandeja.**

Densidad de siembra	Variable Independiente (X)	Variable Dependiente (Y)	Ecuación de Regresión	Coficiente de Correlación	Signifi.
ALBA <sub>0</sub> 5.0 cm	Día	Altura de planta	$Y = -9.82 + 1.22 x$	0.88	**
ALBA <sub>1</sub> 10.0 cm	Día	Altura de planta	$Y = -9.94 + 1.23 x$	0.86	**
ALBA <sub>2</sub> 12.5 cm	Día	Altura de planta	$Y = -9.87 + 1.25 x$	0.86	**
ALBA <sub>3</sub> 15.0 cm	Día	Altura de planta	$Y = -10.32 + 1.27 x$	0.86	**



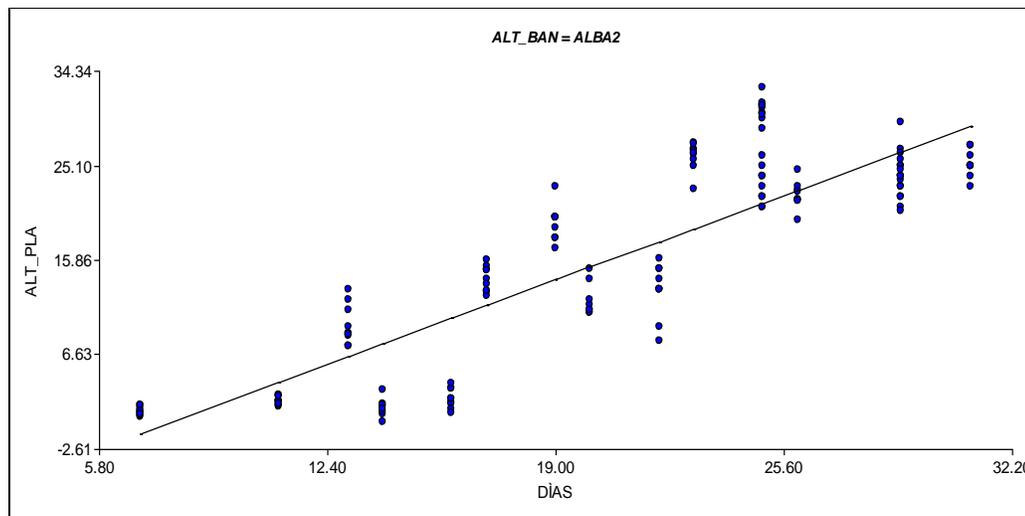
**Figura 10. Pendiente ajustada entre días y altura de planta por altura de bandeja (ALBA<sub>0</sub>) 5 cm.**

El análisis de regresión lineal de la altura de planta en función de los días de desarrollo es altamente significativo ( $P < 0.01$ ) en la Altura de Bandeja de 10.0 cm (ALBA<sub>1</sub>), con un coeficiente de correlación alto (0.86), como puede observarse en el Cuadro 11 y Figura 11. Esta relación ( $Y = -9.94 + 1.23 X$ ) indica que existe un incremento de 1.23 cm por cada día que pasa utilizando la bandeja de 10 cm de altura, existiendo una relación directa.



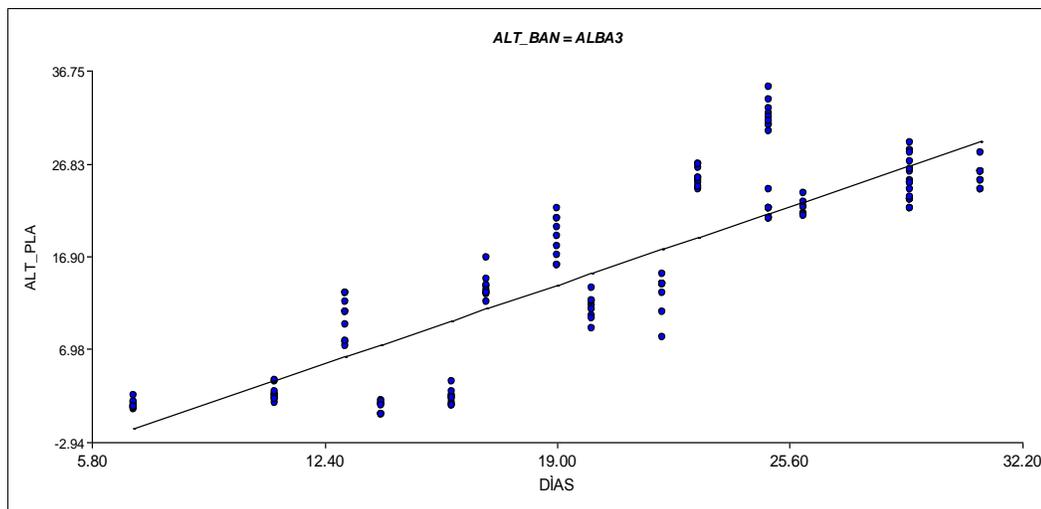
**Figura 11. Pendiente ajustada entre días y altura de planta por altura de bandeja (ALBA<sub>1</sub>) 10.0 cm.**

El análisis de regresión lineal de la altura de planta en función de los días de desarrollo es altamente significativo ( $P < 0.01$ ) en la Altura de Bandeja de 12.5 cm (ALBA<sub>2</sub>), con un coeficiente de correlación alto (0.86), como puede observarse en el Cuadro 11 y Figura 12. Esta relación ( $Y = -9.87 + 1.25 X$ ) indica que existe un incremento de 1.25 cm por cada día que pasa utilizando la bandeja de 12.5 cm de altura, existiendo una relación directa.



**Figura 12. Pendiente ajustada entre días y altura de planta por altura de bandeja (ALBA<sub>2</sub>) 12.5 cm.**

El análisis de regresión lineal de la altura de planta en función de los días de desarrollo es altamente significativo ( $P < 0.01$ ) en la Altura de Bandeja de 15.0 cm (ALBA<sub>3</sub>), con un coeficiente de correlación alto (0.86), como puede observarse en el Cuadro 11 y Figura 13. Esta relación ( $Y = -10.32 + 1.27 X$ ) indica que existe un incremento de 1.27 cm por cada día que pasa utilizando la bandeja de 15.0 cm de altura, existiendo una relación directa.



**Figura 13. Pendiente ajustada entre días y altura de planta por altura de bandeja (ALBA<sub>3</sub>) 15.0 cm.**

A partir del 31 las plantas empezaron a marchitarse, puede deberse a la pérdida de agua en las hojas.

Según, Ralde (2000) encontró la regresión lineal de altura de planta en función de los días de desarrollo altamente significativo, con una tendencia de crecimiento de 1.1 cm por cada día, inferior a los encontrados en el presente trabajo, Según Rodríguez (1992) señala que la humedad atmosférica tienen una influencia sobre la velocidad de pérdida de agua de las hojas y sobre las células foliares y otros órganos que están en competencia por el agua, dichas células pierden bastante agua cuando está en contacto con aire no saturado lo cual determina su marchitamiento.

#### **5.4. Rendimiento en materia verde**

En el Cuadro 12, se observa el análisis de varianza de materia verde en cebada, se observan diferencias altamente significativas ( $Pr < 0.01$ ) entre las fuentes de variación densidad de siembra; entre los factores altura de bandeja y la interacción densidad de siembra por altura de bandeja se observa diferencias significativas ( $Pr < 0.05$ ).

El coeficiente de variación es 28.07% indicando que los datos tienen un porcentaje alto de variación, como indica Calzada (1983).

**Cuadro 12. Análisis de Varianza de materia verde en cebada**

Fuente de variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Valor	Pr>F
Campaña (bloque)	3	44.8463016	14.9487672	18.25	
Densidad Siembra	3	65.28714286	21.7623809	26.57	<.0001 **
Altura Bandeja	3	9.97285714	3.32428571	4.06	0.0087 **
Alt_Ban*Dens_Siem	9	24.3536753	2.7059639	3.30	0.0012 *
Error	121	99.1168802	0.8191478		
Total Corregido	139	243.576857			

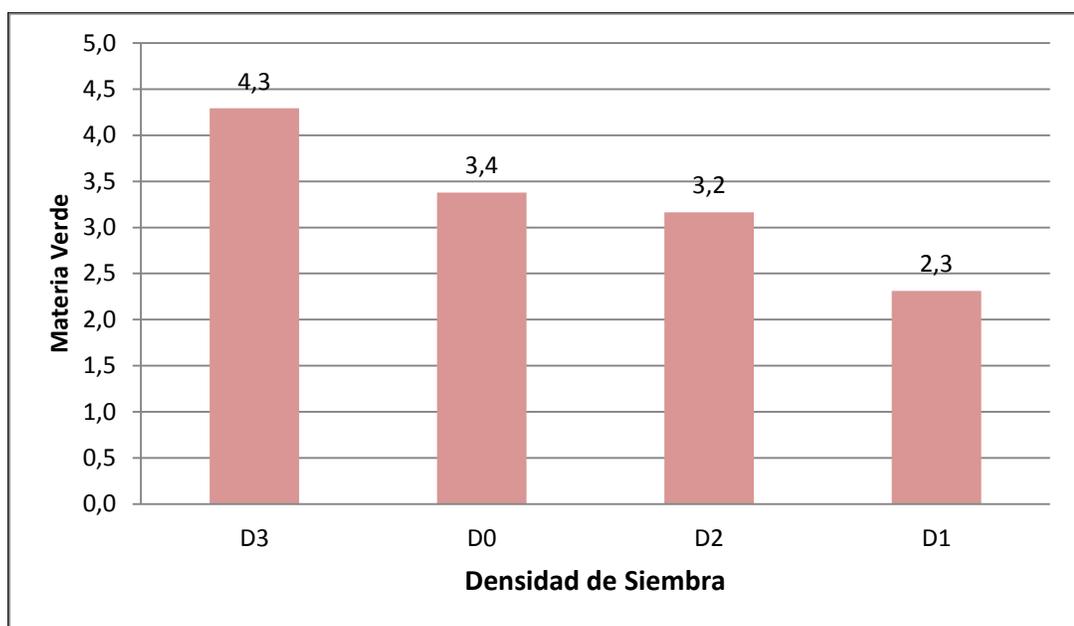
C.V. = 28.07%, ns= no significativo, \* significativo, \*\* altamente significativo

En el Cuadro 13 y Figura 13, se observan los promedios de los tratamientos de densidad de siembra, la densidad D<sub>3</sub> (5 kg/m<sup>2</sup>) con 4.3 kg, estadísticamente es superior a la densidad D<sub>0</sub> (4 kg/m<sup>2</sup> testigo) con 3.4 kg y la densidad D<sub>2</sub> (3 kg/m<sup>2</sup>) con 3.2 kg; estos a su vez son superiores a la densidad D<sub>1</sub> (2 kg/m<sup>2</sup>) que obtuvo 2.3 kg.

**Cuadro 13. Promedios de materia verde por densidad de siembra**

Densidad de siembra	Media (kg/0.25 m <sup>2</sup> )	Duncan
D <sub>3</sub> =5 kg/m <sup>2</sup>	4.3	A
D <sub>0</sub> =4 kg/m <sup>2</sup> testigo	3.4	B
D <sub>2</sub> =3 kg/m <sup>2</sup>	3.2	B
D <sub>1</sub> =2 kg/m <sup>2</sup>	2.3	C

Las diferencias que existen entre la densidad D<sub>3</sub> con las otras densidades se debe principalmente a que existe mayor número de plantines de Cebada por área, donde los rendimientos de las densidades D<sub>3</sub>, D<sub>0</sub> y D<sub>2</sub>, son aceptables. Al respecto Ralde (2000) encontró rendimientos mayores entre 3.2 a 8.9 kg a los encontrados en el presente trabajo, Gallardo (1997), en su trabajo de cultivo de forraje verde hidropónico encontró, con densidad de 0.5 kg/m<sup>2</sup> un peso de rendimiento entre 6.06 kg/m<sup>2</sup> a 7.06 kg/m<sup>2</sup> en materia verde.



**Figura 14. Promedios de materia verde por densidad de siembra**

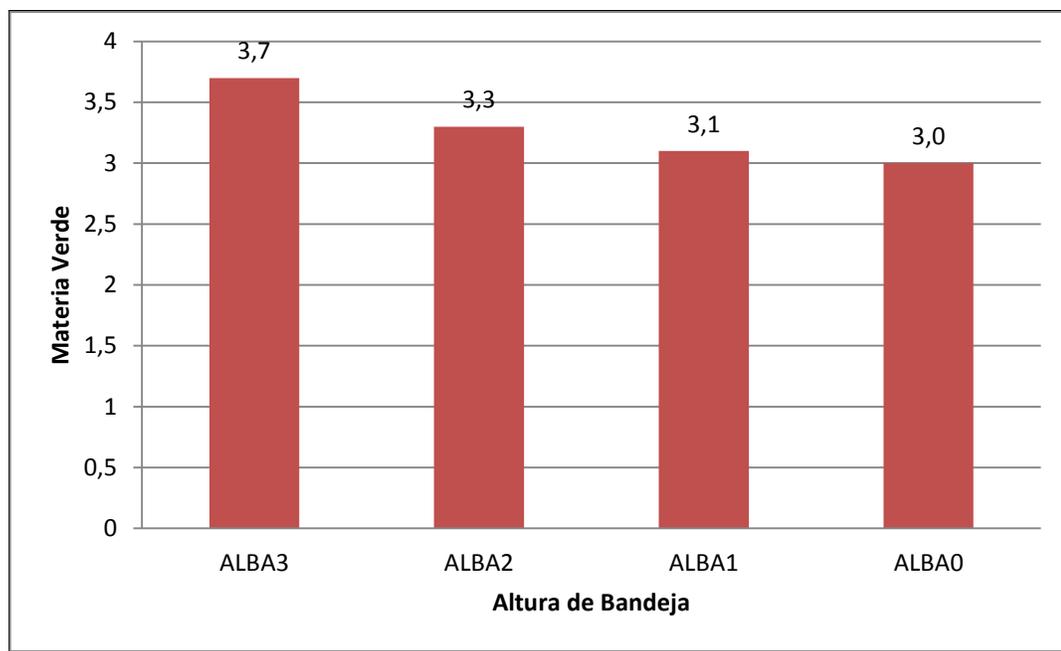
Los promedios de la materia verde y la prueba de Duncan (al 5%) por altura de bandeja se observan en el Cuadro 14 y Figura 15, la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) con 3.7 kg y la altura de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm) con 3.3 kg son estadísticamente similares; la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) con 3.7 kg es estadísticamente superior a las alturas de bandeja ALBA<sub>1</sub> (10.0 cm) con 3.1 kg y la altura de bandeja ALBA<sub>0</sub> (5.0 cm) con 3.0 kg; las alturas de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm), ALBA<sub>1</sub> (10.0 cm) y la altura de bandeja ALBA<sub>0</sub> (5.0 cm) son estadísticamente similares.

**Cuadro 14. Promedios de materia verde por altura de bandeja**

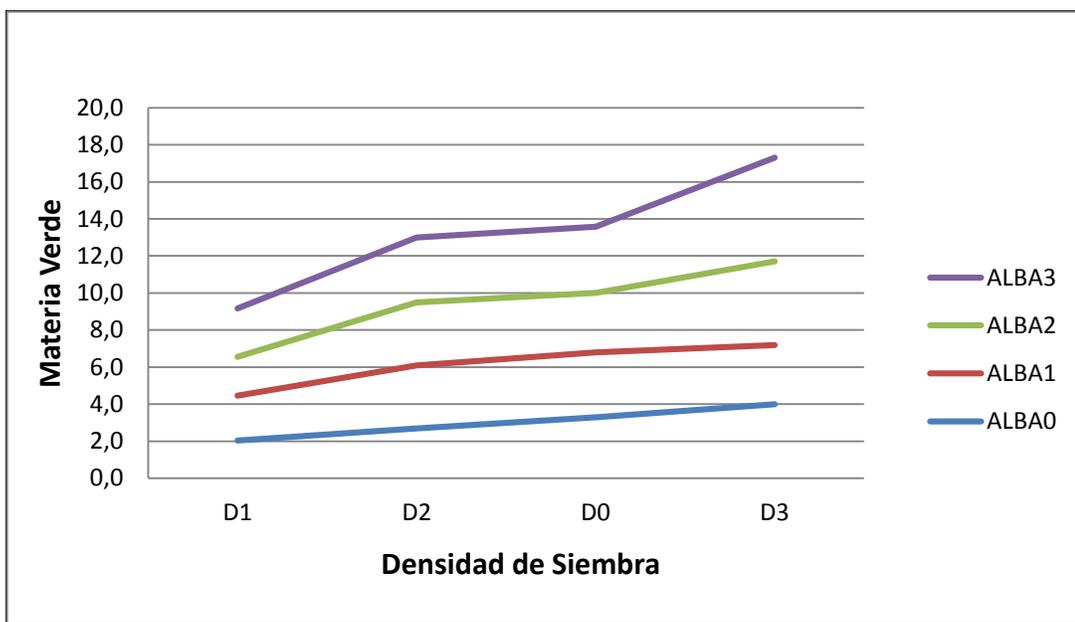
Altura de Bandeja	Media (kg/0.25 m <sup>2</sup> )	Duncan
ALBA <sub>3</sub> = 15,0 cm	3.7	A
ALBA <sub>2</sub> = 12,5 cm	3.3	BA
ALBA <sub>1</sub> = 10,0 cm	3.1	B
ALBA <sub>0</sub> = 5,0 cm testigo	3.0	B

La altura de bandeja de 15.0 cm tuvo el mayor rendimiento, probablemente se deba a que la altura de la bandeja influye en el desarrollo por que mantiene la temperatura constante haciendo que el desarrollo sea mejor.

En la Figura 16, se observa la interacción entre la densidad de siembra por la altura de bandeja en materia verde, la densidad de siembra  $D_3$  (5 kg/m<sup>2</sup>) y la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) se influyen positivamente en el rendimiento de materia verde. Existe una influencia entre ambos tratamientos que hace que exista un aumento en el rendimiento de materia verde.



**Figura 15. Promedios de materia verde por altura de bandeja**



**Figura 16. Interacción entre densidad de siembra por altura de bandeja en materia verde**

### 5.5. Rendimiento en materia seca

El análisis de varianza de materia seca en cebada se observa en el Cuadro 15, existe diferencias estadísticas altamente significativas ( $Pr < 0.01$ ) entre el factor densidad de siembra; entre los factores altura de bandeja, la interacción densidad de siembra por altura de bandeja se observan diferencias significativas ( $Pr < 0.05$ ).

El coeficiente de variación es 33.1% indicando que los datos tienen un porcentaje alto de variación, como indica Calzada (1983).

**Cuadro 15. Análisis de Varianza de materia seca en cebada**

Fuente de variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F-Valor	Pr>F
Campaña (bloque)	3	40.2020189	13.400673	16.40	
Densidad Siembra	3	65.2871428	21.762380	26.63	<.0001
Altura Bandeja	3	9.77914286	3.25971429	3.99	0.0095
Alt_Ban*Dens_Siem	9	24.2560519	2.6951168	3.30	0.0013
Error	121	102.870368	0.8173312		
Total Corregido	139	238.421429			

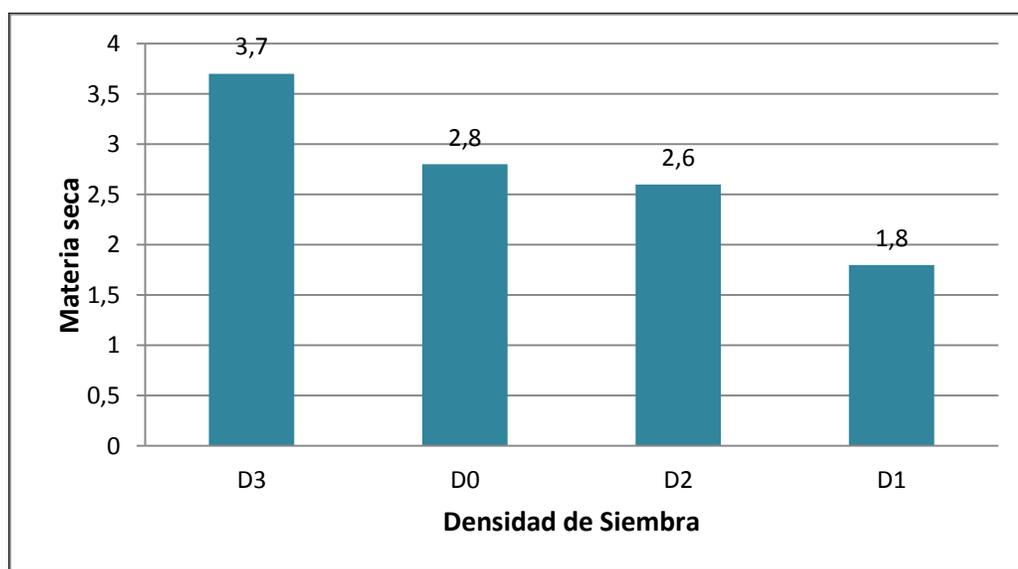
C.V. = 33.1%, ns= no significativo, \* significativo, \*\* altamente significativo

De acuerdo al Cuadro 16 y Figura 17 entre los promedios de materia seca de los tratamientos de densidad de siembra, la densidad  $D_3$  ( $5 \text{ kg/m}^2$ ) con  $3.7 \text{ kg}$ , es superior estadísticamente a la densidad  $D_0$  ( $4 \text{ kg/m}^2$  testigo) con  $2.9 \text{ kg}$  y la densidad  $D_2$  ( $3 \text{ kg/m}^2$ ) con  $2.7 \text{ kg}$ ; y ambas densidades son estadísticamente superiores a la densidad  $D_1$  ( $2 \text{ kg/m}^2$ ) con  $1.8 \text{ kg}$  de materia seca.

Gallardo (1997), en su trabajo de cultivo de forraje verde hidropónico encontró con densidad de  $0.5 \text{ kg/m}^2$ , un peso en rendimiento entre  $2129.3 \text{ kg}$  a  $2226.3 \text{ kg}$  en materia seca; estando entre los márgenes del trabajo.

**Cuadro 16. Promedios de materia seca por densidad de siembra**

Densidad de siembra	Media ( $\text{kg}/0.25 \text{ m}^2$ )	Duncan
$D_3=5 \text{ kg/m}^2$	3.7	A
$D_0=4 \text{ kg/m}^2$ testigo	2.9	B
$D_2=3 \text{ kg/m}^2$	2.7	B
$D_1=2 \text{ kg/m}^2$	1.8	C

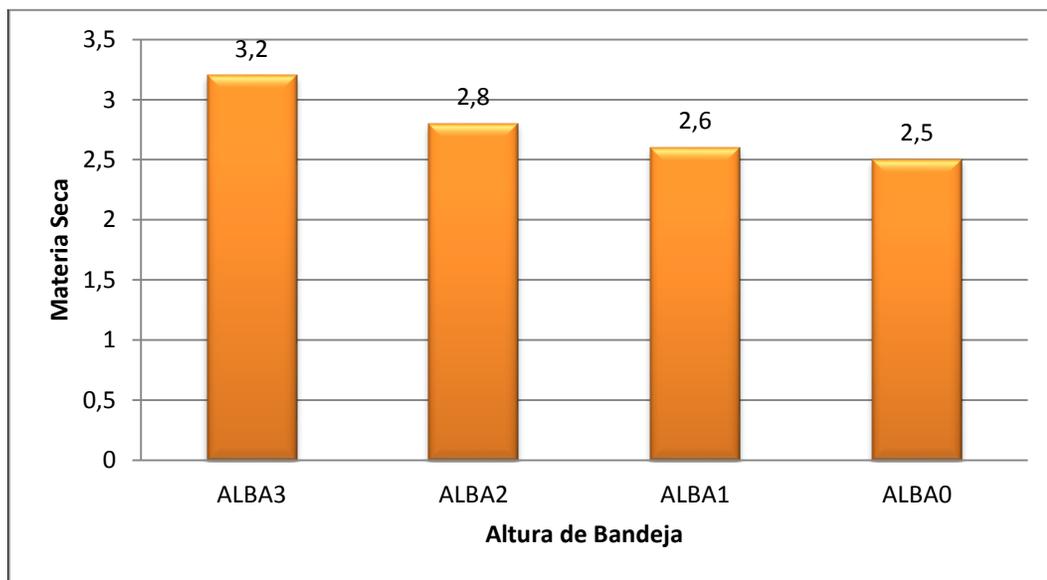


**Figura 17. Promedios de materia seca por densidad de siembra**

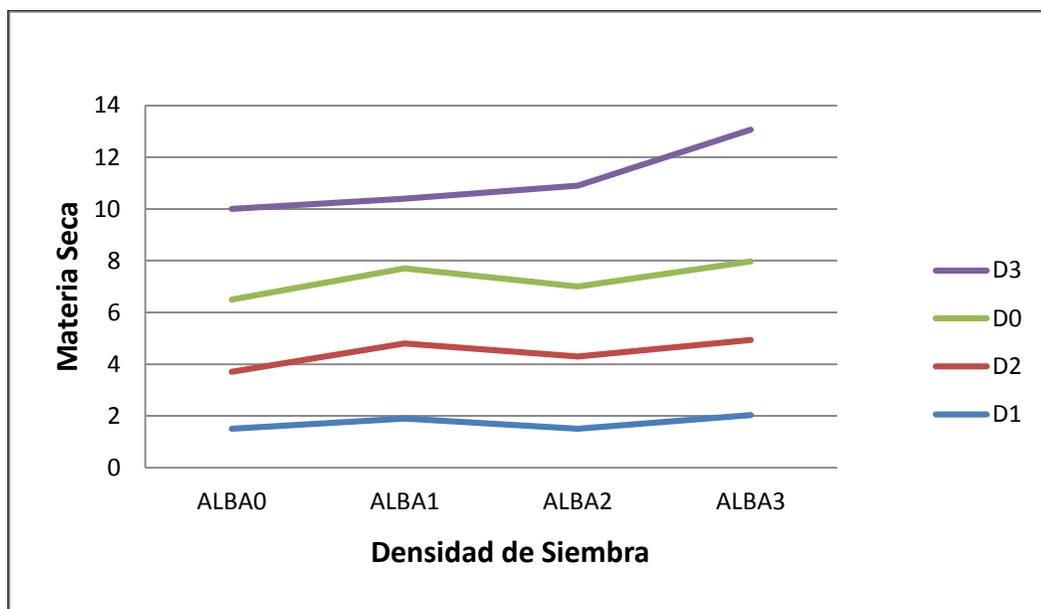
Los promedios de la materia seca y la prueba de Duncan (al 5%) se observan en el Cuadro 17 y Figura 18, la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) con 3.2 kg es estadísticamente similares a la altura de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm) con 2.8 kg; la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) es estadísticamente superior a las alturas de bandeja ALBA<sub>1</sub> (10.0 cm) con 2.6 kg y la altura de bandeja ALBA<sub>0</sub> (5 cm) con 2.5 kg; la alturas de bandeja ALBA<sub>1</sub> (10.0 cm) con 2.6 kg, la altura de bandeja ALBA<sub>0</sub> (5.0 cm) con 2.5 kg y la altura de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm) con 2.8 kg son estadísticamente iguales en el rendimiento de materia seca.

**Cuadro 17. Promedios de materia seca por altura de bandeja**

Altura de Bandeja	Media (kg/0.25 m <sup>2</sup> )	Duncan (5%)
ALBA <sub>3</sub> = 15,0 cm	3.2	A
ALBA <sub>2</sub> = 12,5 cm	2.8	BA
ALBA <sub>1</sub> = 10,0 cm	2.6	B
ALBA <sub>0</sub> = 5,0 cm testigo	2.5	B



**Figura 18. Promedios de materia seca por altura de bandeja**



**Figura 19. Interacción entre densidad de siembra por altura de bandeja en materia seca**

En la interacción entre la densidad de siembra por la altura de bandeja en materia seca de la Figura 19, se observa que la densidad de siembra  $D_3$  ( $5 \text{ kg/m}^2$ ) y la altura de bandeja  $ALBA_3$  ( $15.0 \text{ cm}$ ) se influyen positivamente en el rendimiento de materia seca. Existe una influencia entre ambos tratamientos que hace que se presente un aumento en el rendimiento de materia seca. La densidad de siembra  $D_3$  ( $5 \text{ kg/m}^2$ ) y la altura de bandeja  $ALBA_0$  ( $5.0 \text{ cm}$ ) influye negativamente en el rendimiento de materia seca.

### 5.6. Análisis Beneficio - Costo

Los cálculos de costos de la producción se realizaron tomando en cuenta las proporciones de insumos y material biológico utilizados en las densidades de siembra, para todo el proceso productivo de Forraje Verde Hidropónico. El análisis económico se procedió en un estudio basado en Beneficio/costo (**B/C**).

Solo se realizó el análisis económico de las densidades de siembra utilizados para este trabajo como son las densidades de siembra  $D_3$  ( $5 \text{ kg/m}^2$ ), densidad  $D_0$  ( $4 \text{ kg/m}^2$  testigo) la densidad  $D_2$  ( $3 \text{ kg/m}^2$ ) y la densidad  $D_1$  ( $2 \text{ kg/m}^2$ ).

En el análisis de relación beneficio costo del Cuadro 19, se observa que la densidades de siembra D<sub>0</sub> (4 kg/m<sup>2</sup> testigo) tiene relación beneficio costo de 1.14, indicando que existe una rentabilidad del 14 %, la densidades de siembra D<sub>1</sub> (2 kg/m<sup>2</sup>) tiene relación beneficio costo de 1.80 con una rentabilidad de 80%, la densidades de siembra D<sub>2</sub> (3 kg/m<sup>2</sup>) tiene relación beneficio costo de 1.13 indicando que existe una rentabilidad del 13% y la densidades de siembra D<sub>3</sub> (5 kg/m<sup>2</sup>) tiene relación beneficio costo de 0.49 indicando que no existe rentabilidad; sin embargo como es un análisis referencial, sobre algunas variables la rentabilidad solo viene a ser un indicador.

**Cuadro 19. Análisis económico de la relación beneficio costo entre densidades.**

<b>Ingresos (en Bs.)</b>	<b>Densidades (Tratamientos)</b>			
	D <sub>0</sub> (4 kg/m <sup>2</sup> testigo)	D <sub>1</sub> (2 kg/m <sup>2</sup> )	D <sub>2</sub> (3 kg/m <sup>2</sup> )	D <sub>3</sub> (5 kg/m <sup>2</sup> )
<b>kg semilla</b>	4	2	3	5
<b>costo/m2</b>	10.4	5.2	7.8	13.0
<b>costo/0.25 m2</b>	2.1	1.0	1.6	2.6
<b>Beneficio</b>	2.37	1.87	1.76	1.27
<b>Costo Bandeja Depreciado</b>	0.09	0.09	0.09	0.09
<b>B/C</b>	1.14	1.80	1.13	0.49

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos señalados y los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

Se determinó un 93% de germinación de la semilla de cebada en el presente trabajo y 91% de pureza de la semilla de cebada.

Para bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) y la altura de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm) se obtuvieron las mejores alturas con 26.5 cm y 26.1 cm respectivamente.

El análisis de regresión lineal simple de altura de planta vs la densidad en función de los días de desarrollo, en la densidad de siembra de 5 kg/m<sup>2</sup> (D<sub>3</sub>) fue donde más incrementó con 1.28 cm por día, con un coeficiente de correlación alto (0.87), existe una relación directa entre estas variables.

El análisis de regresión lineal de la altura de planta vs la densidad en función de los días de desarrollo, en la Altura de Bandeja de 15.0 cm (ALBA<sub>3</sub>), fue la que más incrementó con 1.127 cm por día, con un coeficiente de correlación alto (0.86), donde una relación directa entre estas variables.

La densidad de siembra D<sub>3</sub> (5 kg/m<sup>2</sup>) con un promedio de 4.3 kg de materia verde, es estadísticamente superior a las demás densidades de siembra.

Entre los promedios de la materia verde por altura de bandeja, la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) con 3.7 kg y la altura de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm) con 3.3 kg son estadísticamente superiores a las otras altura de bandeja.

En la interacción entre la densidad de siembra por la altura de bandeja en materia verde, la densidad de siembra D<sub>3</sub> (5 kg/m<sup>2</sup>) y la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) se influyen positivamente en el rendimiento de materia verde.

Los promedios de materia seca de los tratamientos de densidad de siembra, la densidad D<sub>3</sub> (5 kg/m<sup>2</sup>) con 3.7 kg, es superior estadísticamente a la densidad D<sub>0</sub> (4 kg/m<sup>2</sup> testigo), la densidad D<sub>2</sub> (3 kg/m<sup>2</sup>) y la densidad D<sub>1</sub> (2 kg/m<sup>2</sup>).

Los promedios de la materia seca, en la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) con 3.2 kg y la altura de bandeja ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm) con 2.8 kg, son estadísticamente superiores; a la altura de bandeja ALBA<sub>1</sub> (10.0 cm) y la altura de bandeja ALBA<sub>0</sub> (5 cm).

En la interacción entre la densidad de siembra por la altura de bandeja en materia seca se observó que la densidad de siembra D<sub>3</sub> (5 kg/m<sup>2</sup>) y la altura de bandeja ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) se influyen positivamente.

La densidades de siembra D<sub>1</sub> (2 kg/m<sup>2</sup>) obtuvo mayor relación beneficio costo con 1.80.

## 7. RECOMENDACIONES

Por el desarrollo, el rendimiento en materia verde y materia seca y la relación beneficio costo, se recomienda la densidad de siembra de 2 kg/m<sup>2</sup>, en cebada hidropónica.

Asimismo, el desarrollo y por el rendimiento en materia verde y materia seca se recomienda las alturas de bandeja de ALBA<sub>3</sub> (15.0 cm) y ALBA<sub>2</sub> (12.5 cm), en cebada hidropónica.

Por el fácil manejo y poca inversión se recomienda realizar investigaciones con otras especies, por ser una alternativa de alimentación al ganado en general.

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

BIDWELL, R. G. S. (1993). Fisiología Vegetal. Editorial AGT. Mexico D.F. Mexico.

CARRASCO I. 1994. Utilización de la cebada (*Hordeum vulgare*) germinada en la alimentación de cuyes machos en crecimiento y engorde. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. 65p.

CASA C. 2008. Efecto de la utilización del forraje verde hidropónico de avena, cebada, maíz y trigo en la alimentación de cuyes. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 90p.

CHÁVEZ C. 1999. Tesis: Uso de forraje hidropónico en la alimentación de vacas lecheras. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 30p.

DEXTRE A. 1997. Evaluación del germinado de cebada (*Hordeum vulgare*) suplementado con mezclas balanceadas simples en empadres, gestación y lactancia en cuyes (*Cavia porcellus*). Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 103p.

DEVLIN, R. (1975), Fisiología Vegetal. Ediciones Omega S. A. Casanova 220. Barcelona pp: 127-128.

GALLARDO A. 1997. Producción de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en ambiente controlado, con tres soluciones nutritivas en dos concentraciones.

HUTERWAL, G. O. (1991). Hidroponía. Editorial Albatros. Buenos Aires – Argentina.

MATOS (1996). Producción ininterrumpida de forraje hidropónico. Facultad de Agronomía UMSA. La Paz Bolivia.

MAZUELOS C. V., 1996. Utilización de los germinados de cebada y de maíz en la alimentación de cuyes hembras de reemplazo durante el empadre, gestación y lactación”. Tesis de grado de Ingeniera Agronómica. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

- PENNINGFELD F. y KURZMANN P. (1983), Cultivos Hidroponicos y en Turba. Tras. Del Ingles por Dr J.S. Caffarena. Editorial Mundi – Prensa. Madrid – España.
- PEÑAFIEL R. W. 1996. Informe Mensual de Agosto de la Granja Demostrativa de Kallutaca. Programa de Fomento Lechero (PROFOLE) S/P.
- RALDE M. 2000. Producción de avena forrajera (Avena sativa) en cultivo hidropónico con cuatro densidades de siembra y tres frecuencias de riego.
- RODRÍGUEZ D. A., 2001. Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- TARRILLO O. H. 1999. “Utilización del Forraje Verde Hidropónico de Cebada, Alfalfa en pellets y en heno, como forrajes en la alimentación de terneros Holstein en Lactación”. Tesis: Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- SALISBURY F. y ROSS C. (1994). Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. Trad- del Ingles Virgilio Gonzales V. México D.F.
- VACHER J. J. Y OTROS (1989). Net radiation and evapotranspiration on the bolivian altiplano. Third International Conferences on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (Buenos Aires Argentina). Published by the American Meteorological Society. Boston Mass.
- RESH, HOWARD M. (1987). Cultivo Hidropónicos. Trad. Del inglés por Dr. J.S. Caffarena. Editorial Mundi – Prensa. Madrid – España.
- DELGADO A. 2016. Producción de avena (Avena sativa) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, en el distrito 8 de la Ciudad de El Alto.

## ANEXO 1. Datos brutos del presente trabajo.

FILA	CAMPAÑA	BLOQUE	ALT_BAN	DENS_SIE	ALT_PLA	MVt	MSt
FA	1	B1	ALBA0	D0	22.0	3.7	3.1
FB	1	B1	ALBA0	D1	21.0	2.2	1.6
FA	1	B1	ALBA0	D2	23.0	2.2	1.6
FC	1	B1	ALBA0	D3	25.0	3.6	3.0
FB	1	B1	ALBA1	D0	19.0	3.6	3.0
FA	1	B1	ALBA1	D1	20.0	3.0	2.4
FC	1	B1	ALBA1	D2	22.0	4.7	4.1
FB	1	B1	ALBA1	D3	25.0	3.9	3.3
FC	1	B1	ALBA2	D0	21.0	4.1	3.5
FB	1	B1	ALBA2	D1	25.0	2.8	2.2
FB	1	B1	ALBA2	D2	24.0	3.9	3.3
FA	1	B1	ALBA2	D3	24.0	6.1	5.5
FA	1	B1	ALBA3	D0	22.0	5.9	5.3
FC	1	B1	ALBA3	D1	21.0	4.3	3.7
FA	1	B1	ALBA3	D2	21.0	2.5	1.9
FA	1	B1	ALBA3	D3	22.0	6.8	6.2
FB	1	B2	ALBA0	D0	22.0	3.2	2.6
FB	1	B2	ALBA0	D1	22.0	2.8	2.2
FC	1	B2	ALBA0	D2	21.0	3.9	3.3
FB	1	B2	ALBA0	D3	23.0	4.6	4.0
FB	1	B2	ALBA1	D0	22.0	4.4	3.8
FC	1	B2	ALBA1	D1	22.0	3.5	2.9
FB	1	B2	ALBA1	D2	22.0	5.1	4.5
FA	1	B2	ALBA1	D3	22.0	2.9	2.3
FC	1	B2	ALBA2	D0	21.0	4.2	3.6
FA	1	B2	ALBA2	D1	23.0	2.0	1.4
FA	1	B2	ALBA2	D2	22.0	3.9	3.3
FB	1	B2	ALBA2	D3	22.0	4.7	4.1
FB	1	B2	ALBA3	D0	24.0	2.5	1.9
FA	1	B2	ALBA3	D1	22.0	2.4	1.8
FA	1	B2	ALBA3	D2	21.0	5.9	5.3
FC	1	B2	ALBA3	D3	22.0	5.7	5.1
FC	1	B3	ALBA0	D2	22.0	2.9	2.3
FC	1	B3	ALBA1	D3	25.0	2.7	2.1
FC	1	B3	ALBA2	D0	26.0	4.0	3.4
FC	1	B3	ALBA3	D1	21.0	3.1	2.5
FA	2	B1	ALBA0	D0	24.0	3.7	3.1
FB	2	B1	ALBA0	D1	26.0	2.2	1.6

FA	2	B1	ALBA0	D2	25.0	2.2	1.6
FC	2	B1	ALBA0	D3	28.0	3.6	3.0
FB	2	B1	ALBA1	D0	24.0	3.6	3.0
FA	2	B1	ALBA1	D1	24.0	3.0	2.4
FC	2	B1	ALBA1	D2	24.0	4.7	4.1
FB	2	B1	ALBA1	D3	23.0	3.9	3.3
FC	2	B1	ALBA2	D0	27.0	4.1	3.5
FB	2	B1	ALBA2	D1	24.0	2.8	2.2
FB	2	B1	ALBA2	D2	25.0	3.9	3.3
FA	2	B1	ALBA2	D3	23.0	6.1	5.5
FA	2	B1	ALBA3	D0	26.0	5.9	5.3
FC	2	B1	ALBA3	D1	26.0	4.3	3.6
FA	2	B1	ALBA3	D2	24.0	2.5	1.9
FA	2	B1	ALBA3	D3	26.0	6.8	6.1
FB	2	B2	ALBA0	D0	24.0	3.2	2.6
FB	2	B2	ALBA0	D1	28.0	2.8	2.2
FC	2	B2	ALBA0	D2	25.0	3.9	3.3
FB	2	B2	ALBA0	D3	26.0	4.6	4.0
FB	2	B2	ALBA1	D0	25.0	4.4	3.7
FC	2	B2	ALBA1	D1	28.0	3.5	2.9
FB	2	B2	ALBA1	D2	24.0	5.1	4.5
FA	2	B2	ALBA1	D3	25.0	3.2	2.5
FC	2	B2	ALBA2	D0	25.0	4.2	3.6
FA	2	B2	ALBA2	D1	25.0	2.0	1.4
FA	2	B2	ALBA2	D2	25.0	3.9	3.3
FB	2	B2	ALBA2	D3	27.0	4.7	4.1
FB	2	B2	ALBA3	D0	26.0	2.5	1.9
FA	2	B2	ALBA3	D1	24.0	2.4	1.8
FA	2	B2	ALBA3	D2	28.0	5.9	5.3
FC	2	B2	ALBA3	D3	25.0	5.7	5.1
FC	2	B3	ALBA0	D2	26.0	2.9	2.3
FC	2	B3	ALBA1	D3	25.0	2.4	1.8
FC	2	B3	ALBA2	D0	26.0	3.4	2.8
FC	2	B3	ALBA3	D1	25.0	3.2	2.6
FA	3	B1	ALBA0	D0	24.0	3.0	2.4
FB	3	B1	ALBA0	D1	27.6	1.2	0.6
FA	3	B1	ALBA0	D2	29.0	2.5	1.9
FC	3	B1	ALBA0	D3	24.3	5.5	4.9
FB	3	B1	ALBA1	D0	27.8	3.6	3.0
FA	3	B1	ALBA1	D1	27.7	1.8	1.2
FC	3	B1	ALBA1	D2	24.3	2.0	1.4
FB	3	B1	ALBA1	D3	24.7	3.5	2.9
FC	3	B1	ALBA2	D0	23.7	1.9	1.3
FB	3	B1	ALBA2	D1	25.7	2.3	1.7

FB	3	B1	ALBA2	D2	26.7	2.2	1.6
FA	3	B1	ALBA2	D3	29.3	3.5	3.0
FA	3	B1	ALBA3	D0	26.2	3.0	2.4
FC	3	B1	ALBA3	D1	27.0	1.3	0.7
FA	3	B1	ALBA3	D2	28.2	2.9	2.3
FB	3	B1	ALBA3	D3	29.0	4.0	3.4
FA	3	B2	ALBA0	D0	23.7	3.0	2.4
FB	3	B2	ALBA0	D1	21.0	1.6	1.0
FC	3	B2	ALBA0	D2	20.0	1.5	0.9
FB	3	B2	ALBA0	D3	22.0	3.0	2.4
FB	3	B2	ALBA1	D0	24.0	3.0	2.4
FC	3	B2	ALBA1	D1	18.7	1.4	0.8
FB	3	B2	ALBA1	D2	26.9	1.8	1.2
FA	3	B2	ALBA1	D3	25.0	2.8	2.2
FC	3	B2	ALBA2	D0	20.7	1.5	0.9
FA	3	B2	ALBA2	D1	26.3	1.5	0.9
FA	3	B2	ALBA2	D2	24.0	3.0	2.4
FB	3	B2	ALBA2	D3	24.7	3.0	2.4
FB	3	B2	ALBA3	D0	23.3	2.2	1.6
FA	3	B2	ALBA3	D1	24.8	1.0	0.4
FA	3	B2	ALBA3	D2	24.7	2.5	1.9
FC	3	B2	ALBA3	D3	28.0	3.0	2.4
FA	4	B1	ALBA0	D0	28.0	3.5	3.1
FB	4	B1	ALBA0	D1	30.0	1.7	1.3
FA	4	B1	ALBA0	D2	26.8	2.4	2.0
FC	4	B1	ALBA0	D3	27.7	3.2	2.8
FB	4	B1	ALBA1	D0	28.7	2.8	2.4
FA	4	B1	ALBA1	D1	29.7	1.5	1.1
FC	4	B1	ALBA1	D2	27.3	1.7	1.3
FB	4	B1	ALBA1	D3	29.7	3.3	2.9
FC	4	B1	ALBA2	D0	31.0	2.9	2.5
FB	4	B1	ALBA2	D1	30.7	1.4	1.0
FB	4	B1	ALBA2	D2	29.7	2.3	1.9
FA	4	B1	ALBA2	D3	28.7	3.5	3.1
FA	4	B1	ALBA3	D0	30.3	2.8	2.4
FC	4	B1	ALBA3	D1	31.0	1.9	1.5
FA	4	B1	ALBA3	D2	32.7	3.3	2.8
FA	4	B1	ALBA3	D3	35.0	9.2	8.8
FB	4	B2	ALBA0	D0	28.5	3.3	2.9
FB	4	B2	ALBA0	D1	27.3	1.9	1.5
FC	4	B2	ALBA0	D2	28.7	2.9	2.5
FB	4	B2	ALBA0	D3	27.5	4.0	3.6
FB	4	B2	ALBA1	D0	30.2	2.8	2.4
FC	4	B2	ALBA1	D1	30.0	1.6	1.2

FB	4 B2	ALBA1	D2	30.7	2.1	1.7
FA	4 B2	ALBA1	D3	33.0	4.4	4.0
FC	4 B2	ALBA2	D0	32.7	3.4	3.0
FA	4 B2	ALBA2	D1	30.2	1.9	1.5
FA	4 B2	ALBA2	D2	31.2	3.9	3.5
FB	4 B2	ALBA2	D3	30.0	4.2	3.8
FB	4 B2	ALBA3	D0	32.2	3.9	3.5
FA	4 B2	ALBA3	D1	31.7	1.5	1.1
FA	4 B2	ALBA3	D2	31.0	2.3	1.9
FC	4 B2	ALBA3	D3	31.3	3.8	3.4
FC	4 B3	ALBA0	D2	28.3	2.7	2.3
FC	4 B3	ALBA1	D3	29.3	2.2	1.8
FC	4 B3	ALBA2	D0	31.0	2.0	1.6
FC	4 B3	ALBA3	D1	33.7	3.1	2.7

---

## ANEXO 2. Salidas de los resultados en el SAS

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 120

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
FILA	3	FA FB FC
CAMPA	4	1 2 3 4
BLOQUE	3	B1 B2 B3
ALT_BAN	4	ALBA0 ALBA1 ALBA2 ALBA3
DENS_SIE	4	D0 D1 D2 D3

Número de observaciones usadas 140

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 121

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: ALT\_PLA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	18	1199.671973	66.648443	18.25	<.0001
Error	121	441.901955	3.652082		
Total corregido	139	1641.573929			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ALT_PLA Media
0.730806	7.424612	1.911042	25.73929

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CAMPA	3	1138.966567	379.655522	103.96	<.0001
DENS_SIE	3	11.155071	3.718357	1.02	0.3872
ALT_BAN	3	41.265357	13.755119	3.77	0.0126
ALT_BAN*DENS_SIE	9	8.284977	0.920553	0.25	0.9855

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 122

Procedimiento ANOVA

Nivel de DENS_SIE	N	Media	Dev tip
D0	35	25.4857143	3.50202822
D1	35	25.7171429	3.75127317
D2	35	25.5485714	3.30866700
D3	35	26.2057143	3.26649145

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango múltiple de Duncan para ALT\_PLA

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 121  
 Error de cuadrado medio 3.652082

Número de medias	2	3	4
Rango crítico	.9044	.9519	.9834

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	DENS_SIE
A	26.2057	35	D3
A	25.7171	35	D1
A	25.5486	35	D2
A	25.4857	35	D0

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango múltiple de Duncan para ALT\_PLA

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 121  
 Error de cuadrado medio 3.652082

Número de medias	2	3	4
Rango crítico	.9044	.9519	.9834

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	ALT_BAN
A	26.4600	35	ALBA3
A	26.0371	35	ALBA2
B	25.3914	35	ALBA1
B	25.0686	35	ALBA0

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	18	144.4599769	8.0255543	9.80	<.0001
Error	121	99.1168802	0.8191478		
Total corregido	139	243.5768571			

R-cuadrado      Coef Var      Raíz MSE      Mvt Media  
0.593078      27.53357      0.905068      3.287143

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CAMPA	3	44.84630159	14.94876720	18.25	<.0001
DENS_SIE	3	65.28714286	21.76238095	26.57	<.0001
ALT_BAN	3	9.97285714	3.32428571	4.06	0.0087
ALT_BAN*DENS_SIE	9	24.35367532	2.70596392	3.30	0.0012

Sistema SAS      00:00 Saturday, March 28, 2009 128

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango múltiple de Duncan para Mvt

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha      0.05  
Error Degrees of Freedom      121  
Error de cuadrado medio      0.819148

Número de medias	2	3	4
Rango crítico	.4283	.4508	.4657

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	DENS_SIE
A	4.2314	35	D3
B	3.4057	35	D0
B	3.2000	35	D2
C	2.3114	35	D1

Sistema SAS      00:00 Saturday, March 28, 2009 129

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango múltiple de Duncan para Mvt

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha      0.05  
Error Degrees of Freedom      121

Error de cuadrado medio 0.819148

Número de medias	2	3	4
Rango crítico	.4283	.4508	.4657

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	ALT_BAN
A	3.7143	35	ALBA3
A			
B A	3.2914	35	ALBA2
B			
B	3.1400	35	ALBA1
B			
B	3.0029	35	ALBA0

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 130

Procedimiento ANOVA

Nivel de ALT_BAN	Nivel de DENS_SIE	N	Media	Dev tip
ALBA0	D0	8	3.32500000	0.28157719
ALBA0	D1	8	2.05000000	0.56568542
ALBA0	D2	11	2.72727273	0.71146456
ALBA0	D3	8	4.01250000	0.83911092
ALBA1	D0	8	3.52500000	0.64086994
ALBA1	D1	8	2.41250000	0.92185760
ALBA1	D2	8	3.40000000	1.61510725
ALBA1	D3	11	3.20000000	0.68264193
ALBA2	D0	11	3.24545455	1.02114018
ALBA2	D1	8	2.08750000	0.52491496
ALBA2	D2	8	3.37500000	0.76110821
ALBA2	D3	8	4.47500000	1.16710876
ALBA3	D0	8	3.58750000	1.51415936
ALBA3	D1	11	2.59090909	1.12557056
ALBA3	D2	8	3.47500000	1.52853805
ALBA3	D3	8	5.62500000	2.01476691

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 132

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: MSt

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	18	139.5243565	7.7513531	9.48	<.0001
Error	121	98.8970721	0.8173312		
Total corregido	139	238.4214286			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	MSt Media
0.585201	33.04671	0.904064	2.735714

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
CAMPA	3	40.20201885	13.40067295	16.40	<.0001
DENS_SIE	3	65.28714286	21.76238095	26.63	<.0001
ALT_BAN	3	9.77914286	3.25971429	3.99	0.0095
ALT_BAN*DENS_SIE	9	24.25605195	2.69511688	3.30	0.0013

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 133

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango múltiple de Duncan para MSt

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 121  
 Error de cuadrado medio 0.817331

Número de medias	2	3	4
Rango crítico	.4279	.4503	.4652

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	DENS_SIE
A	3.6800	35	D3
B	2.8543	35	D0
B	2.6486	35	D2
C	1.7600	35	D1

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 134

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango múltiple de Duncan para MSt

NOTA: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 121  
 Error de cuadrado medio 0.817331

Número de medias	2	3	4
Rango crítico	.4279	.4503	.4652

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	ALT_BAN
A	3.1571	35	ALBA3
A			

B	A	2.7457	35	ALBA2
B				
B		2.5857	35	ALBA1
B				
B		2.4543	35	ALBA0

Sistema SAS 00:00 Saturday, March 28, 2009 135

Procedimiento ANOVA

Nivel de ALT_BAN	Nivel de DENS_SIE	N	-----MSt-----	
			Media	Dev tip
ALBA0	D0	8	2.7750000	0.31052950
ALBA0	D1	8	1.5000000	0.54772256
ALBA0	D2	11	2.18181818	0.71248604
ALBA0	D3	8	3.46250000	0.81580372
ALBA1	D0	8	2.96250000	0.56045262
ALBA1	D1	8	1.86250000	0.87167736
ALBA1	D2	8	2.85000000	1.56387796
ALBA1	D3	11	2.64545455	0.69909032
ALBA2	D0	11	2.70000000	0.99699549
ALBA2	D1	8	1.53750000	0.48384620
ALBA2	D2	8	2.82500000	0.74594140
ALBA2	D3	8	3.93750000	1.12749723
ALBA3	D0	8	3.03750000	1.50801430
ALBA3	D1	11	2.03636364	1.09203730
ALBA3	D2	8	2.91250000	1.50659266
ALBA3	D3	8	5.06250000	2.03395287