

"AÑO DE LA CONSOLIDACIÓN DEL MAR DE GRAU"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(CREADA POR LEY Nº 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

**"EFECTO DE LOS HIDROCULTIVOS Y TIEMPOS DE
COSECHA EN LA COMPOSICION QUIMICA Y
PRODUCCIÓN DE CEBADA (*Hordium vulgare L.*), TRIGO
(*Triticum aestivum L.*) Y AVENA (*Avena sativa L.*)"**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ZOOTECNISTA

PRESENTADO POR:

**Bach. CONDORI HUAMÁN, Miguel
Bach. CABRERA VILCAS, Enrique**

ASESOR:

Ing. José L. CONTRERAS PACO

FECHA DE INICIO: Marzo del 2015

FECHA DE CULMINACIÓN: Junio del 2015

HUANCVELICA - PERÚ

2016

DEDICATORIA

A nuestros padres quienes son dignos ejemplos de trabajo, quienes nos brindaron con su amor todo el apoyo necesario para alcanzar nuestras metas en esta etapa de nuestras vidas, que han estado presentes compartiendo los buenos y los malos momentos desde el día en que nacimos, los queremos mucho.

Los Tesistas.

AGRADECIMIENTOS

Al haber concluido el presente estudio; agradecemos profundamente a todas las personas quienes hicieron posible que concluya dicha investigación, sin ningún percance e inconveniente.

- Expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Huancavelica, en especial a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Zootecnia, quienes impartieron sus conocimientos y experiencias durante la permanencia en las aulas universitarias en beneficio de nuestra formación profesional.
- Al Ing. José L, Contreras Paco, investigador, docente universitario y asesor del presente trabajo, por su orientación e invaluable contribución para la ejecución del presente.
- A los que de alguna manera directa o indirectamente, colaboraron con la realización de nuestra tesis.

ÍNDICE

	Pag
Resumen	
Summary	
Introducción	16
I. PROBLEMA	18
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Formulación del problema	19
1.3 Objetivos	19
1.4 Justificación	20
II. MARCO TEÓRICO	22
2.1 Antecedentes	22
2.2 Bases teóricas	24
2.2.1 Hidroforraje	24
2.2.2 Ventajas del Hidroforraje	25
2.2.3 Valor nutricional del Hidroforraje	25
2.2.4 Determinación de producción de biomasa	26
2.2.5 Proceso de producción de Hidroforraje	26
A. Dosis de Siembra	26
B. Siembra en las bandejas e inicio de los riegos	27
C. Riego de las bandejas	27
D. Cosecha y rendimiento	29
2.2.6 Porcentaje de aprovechamiento del alimento	30
2.2.7 Biofiltro	30
2.2.8 Sistema con biomasa inmovilizada	31
2.2.9 Biofiltros Percoladores	31
2.3 Hipotesis	33
2.4 Identificación de variables	33
2.4.1 Variables	33
III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.1 Ámbito de estudio	35
3.2 Tipo de investigación	35
3.3 Nivel de investigación	35

3.4 Método de investigación	35
3.5 Diseño de investigación	36
3.6 Población, muestra y muestreo	36
3.6.1 Población	36
3.6.2 Muestra	37
3.6.3 Muestreo	37
3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
3.7.1 Biofiltro	37
3.7.2 Acopio de muestra de agua	39
3.8 Procedimiento de recolección de datos	39
3.8.1 Altura de planta	39
3.8.2 Producción de biomasa	39
3.9 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	40
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Contenido de proteína cruda (%) en función a las especies forrajeras y tiempo de cosecha.	43
4.2. Contenido de fibra detergente neutro (%) en función a las especies forrajeras y tiempo de cosecha	45
4.3. Producción de forraje verde (kg/m ²) en función a las especies forrajeras y tiempo de cosecha	47
4.4. Producción de materia seca (kg/m ²) en función a las especies forrajeras y tiempo de cosecha.	50
4.5. Altura de planta (cm/planta) en función a las especies forrajeras y tiempo de cosecha.	53
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	61

ÍNDICE DE CUADROS

CUADROS	Pag.
1. Composición nutricional del Hidroforraje de cebada	25
2. Composición nutricional del Hidroforraje de avena. (<i>Avena sativa</i>)	26
3. Características de los medios de soporte de filtros percoladores	32
4. Criterios de diseño típicos para filtros percoladores	33
5. Resumen del análisis de varianza para la proteína cruda PC (%) y fibra detergente neutro FDN, en función a la especie forrajera (E), tiempo de cosecha (T), y la interacción E x T.	41
6. Valores medios de la Proteína Cruda (PC%) en función a los hidrocultivos y en los tiempos de cosecha.	43
7. Valores medios de la fibra detergente neutro (FDN, %) en función a los hidrocultivos y a los tiempos de cosecha.	45
8. Valores medios de producción de forraje verde (PFV, kg/m ²) en función a los hidrocultivos y a los tiempos de cosecha.	48
9. Valores medios de producción de materia seca (PMS, kg/m ²). En función a los Hidrocultivos y tiempos de cosecha	50
10. Valores medios de la altura de planta (cm/planta) en función a los hidrocultivos y tiempos de cosecha.	53
11. Ecuaciones de regresión ajustadas para el contenido de proteína cruda (% PC), contenido de fibra detergente neutra (%FDN), producción de forraje verde (Kg/m ²), producción de materia seca (Kg/m ²) y altura (mm/planta), en función de los tiempo de cosecha	56
1A: Análisis de variancia para la proteína cruda (%PC) en función a	

los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos.	61
2A: Análisis de variancia para el la fibra detergente neutro (%FDN) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos	61
3A: Análisis de variancia para la producción de forraje verde (Kg/m2) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos.	61
4A: Análisis de variancia para la producción de materia seca (Kg/m2) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos	61
5A: Análisis de variancia para altura de planta (cm/planta) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos.	61
6A. Medias y desviaciones estándares de la proteína cruda (%PC) en función del tiempo de cosecha y las especies forrajeras.	61
7A. Medias y desviaciones estándares de la fibra detergente neutra (%FDN) en función del tiempo de cosecha y las especies forrajeras.	61
8A. Medias y desviaciones estándares de la producción de forraje fresco (Kg/m2) en función del tiempo de cosecha y las especies forrajeras.	61
9A. Medias y desviaciones estándares de la materia seca (Kg/m2) en función del tiempo de cosecha y las especies forrajeras.	62
10A. Medias y desviaciones estándares de la altura de planta (cm/planta) en función del tiempo de cosecha y las especies	

forrajeras.	62
11A. Análisis de regresión de la proteína cruda (%PC) de la avena en los tres tiempos de cosecha.	62
12A. Análisis de regresión de la proteína cruda (%PC) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.	62
13A. Análisis de regresión de la proteína cruda (%PC) del trigo en los tres tiempos de cosecha.	63
14A. Análisis de regresión de la fibra detergente neutro (%FDN) de la avena en los tres tiempos de cosecha.	63
15A. Análisis de regresión de la fibra detergente neutro (%FDN) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.	63
16A. Análisis de regresión de la fibra detergente neutro (%FDN) del trigo en los tres tiempos de cosecha.	63
17A. Análisis de regresión de la producción de forraje verde (Kg/m ²) de la avena en los tres tiempos de cosecha.	63
18A. Análisis de regresión de la producción de forraje verde (Kg/m ²) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.	64
19A. Análisis de regresión de la producción de forraje verde (Kg/m ²) del trigo en los tres tiempos de cosecha.	64
20A. Análisis de regresión de la producción de materia seca (Kg/m ²) de la avena en los tres tiempos de cosecha.	64
21A. Análisis de regresión de la producción de materia seca (Kg/m ²) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.	64
22A. Análisis de regresión de la producción de materia seca (Kg/m ²) del trigo en los tres tiempos de cosecha.	64

- 23A. Análisis de regresión de la altura de planta (cm/planta) de la
avena en los tres tiempos de cosecha. 65
- 24A. Análisis de regresión de la altura de planta (cm/planta) de la
cebada en los tres tiempos de cosecha. 65
- 25A. Análisis de regresión de la altura de planta (cm/planta) del trigo
en los tres tiempos de cosecha. 65
- 26A. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación para
las características en estudio, para los tres tiempos de
cosecha. 66

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	Pag.
1. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la proteína cruda (%PC) de la cebada en función al tiempo de cosecha.	44
2. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la fibra detergente neutro (%FDN) de avena en función al tiempo de cosecha.	46
3. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la fibra detergente neutro (%FDN) de cebada en función al tiempo de cosecha.	46
4. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de forraje verde (Kg/m ²) de la avena en función al tiempo de cosecha	48
5. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de forraje verde (Kg/m ²) de la cebada en función al tiempo de cosecha.	49
6. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de forraje verde (Kg/m ²) del trigo en función al tiempo de cosecha.	50
7. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de materia seca (Kg/m ²) de la avena en función al tiempo de cosecha.	51
8. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de materia seca (Kg/m ²) de la avena en función al	

tiempo de cosecha.	52
9. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de materia seca (Kg/m ²) del trigo en función al tiempo de cosecha.	53
10. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la altura de planta (cm/planta) en la avena en función al tiempo de cosecha.	54
11. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la altura de planta (cm/planta) en la cebada en función al tiempo de cosecha.	54
12. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la altura de planta (cm/planta) del trigo en función al tiempo de cosecha.	55

RESUMEN

“EFECTO DE LOS HIDROCULTIVOS Y TIEMPOS DE COSECHA EN LA COMPOSICION QUIMICA Y PRODUCCIÓN DE CEBADA (*Hordium vulgare L.*), TRIGO (*Triticum aestivum L.*) Y AVENA (*Avena sativa L.*)”

Cabrera, E y Condori, M.

El presente trabajo de investigación se realizó en la piscigranja de truchas e invernadero del asilo de ancianos “Santa Teresa Jornet” que está ubicada, en la Región Huancavelica, Provincia de Huancavelica, Distrito de Ascensión a 3716 msnm, con el propósito de determinar cuál es el efecto de los hidrocultivos y tiempos de cosecha en la composición química y producción de cebada, trigo y avena, en el cual se utilizó 12 bandejas de cebada, 12 bandejas de trigo y 12 bandejas de avena, El diseño experimental utilizado fue un DCA conducido a un arreglo factorial 3x3 para poder comparar la interacción entre los hidrocultivos, los 3 tiempos de cosecha con respecto a la PFV (kg/m²), PMS (kg/m²), altura de planta (mm/planta), porcentaje PC% y porcentaje de FDN% utilizando la prueba de comparación de media de Tuckey (P<0,05) a los 15, 18 y 21 días, los resultados obtenidos para la altura de planta fueron altamente significativos, con un coeficiente de variabilidad de 4.3%, 3,5% y 5.6% respectivamente; respecto a la PFV se observó una alta significancia estadística con un coeficiente de variabilidad de 15.73%, 17.37% y 14.98% respectivamente; con respecto a la PMS hubo alta significancia estadística para los tratamientos 15 y 21 días mas no encontrando significancia a los 18 días; de acuerdo a la interacción hidrocultivo por día se encontró que los días influyen dependiendo a la especie; respecto Al porcentaje de PC se encontró alta significancia estadística con un

coeficiente de variabilidad de 3.6%; referente al FDN también hubo alta significancia estadística para la especie, días y la interacción hidrocultivo por día con un coeficiente de variabilidad. Concluyendo que el mejor tiempo de cosecha es a los 18 días, y como mejor hidrocultivo el trigo ya que se obtuvo mayor porcentaje de PC y mayor altura de planta.

Palabras claves: hidrocultivo, biofiltro, especie forrajera, tiempos de cosecha

SUMMARY

"HYDROPONICS AND EFFECT OF HARVEST TIME IN THE CHEMICAL COMPOSITION AND PRODUCTION OF BARLEY (*Hordium vulgare* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and oats (*Avena sativa* L.)"

Cabrera, E and Condori, M

This research was conducted at the trout farm and greenhouse nursing home "Santa Teresa Jornet" which is located in the Huancavelica Region, Province of Huancavelica, District of Ascension to 3716 meters above sea level, in order to determine what is the effect of hydroponics and harvest times in the chemical composition and production of barley, wheat and oats, in which 12 trays of barley, 12 trays of wheat and 12 trays of oats was used, the experimental design was a DCA conducted a 3x3 factorial arrangement to compare the interaction between hydroponics, 3 harvest times regarding the PFV (kg / m²), PMS (kg / m²), plant height (mm / plant), percentage PC% and FDN% percentage comparison test using the average of Tuckey (P <0.05) at 15, 18 and 21 days, the results split plant height were highly significant, with a coefficient of variation of 4.3%, 3.5% and 5.6% respectively; PFV respect to high statistical significance was observed with a coefficient of variability of 15.73%, 17.37% and 14.98% respectively; with respect to PMS high statistical significance there was treatments for 15 and 21 days but not finding significance at 18 days; according to hydroponics day interaction was found that influence days depending on the species; Regarding the percentage of high statistical significance PC it was found with a coefficient of variation of 3.6%;

concerning the FDN also was statistical high significance for the species, days and hydroponics day interaction with a coefficient of variability. Concluding that the best time to harvest is 18 days, and as best as hydroponics wheat higher percentage of PC and greater plant height was obtained.

Keywords: hydroponics, biofilter, forage species, harvest time

INTRODUCCIÓN

La acuicultura, como actividad productiva de carácter intensivo, requiere de la inyección de una serie de recursos que, tras su uso o metabolización, generan un residuo y un impacto en el medio. La capacidad del medio para absorber esos residuos e impactos y contrarrestarlos marca el límite admisible para el desarrollo de toda actividad (*Santiago y Ambrosio, 2006*).

La producción de peces, como cualquier otra producción de organismos vivos, trae consigo algunos impactos al medio ambiente que incluyen desde la liberación de excretas, restos de alimento y medicamentos, hasta “contaminantes genéticos” como es el caso de trabajar con algunas especies exóticas como la trucha. Comúnmente el suministro de alimento es el principal causante de deterioro de la calidad del agua. El aporte de nutrientes en los estanques no es del todo aprovechado y en el momento de la limpieza de fondos o la cosecha de las pozas. En sistemas de producción piscícola en estanques, solamente el 30% de los nutrientes suministrados son convertidos en producto, el resto es acumulado en los sedimentos o es liberado en el efluente que generalmente conduce hacia fuentes de agua superficial.

El uso de vegetación en combinación con sistemas de producción acuícola, o llamada “acuaponia”, puede ser una alternativa de gran utilidad en la reducción

de emisiones por la acuicultura, principalmente nutrientes y partículas sólidas en suspensión. Adicionalmente, puede representar una cosecha secundaria mediante la implementación de sistemas integrados, sobresaliendo el alto rendimiento de las plantas en respuesta a la presencia de elevadas concentraciones de nutrientes generados por la descomposición microbiana en los efluentes de la acuicultura (*Iturbide, 2008*).

El objetivo general de presente trabajo es Determinar cuál es el efecto de los hidrocultivos y tiempos de cosecha en la composición química y producción de cebada, avena y trigo.

Los objetivos específicos fueron: Determinar la composición química, en términos de proteína cruda (%PC) y fibra detergente neutra (%FDN) de la cebada, trigo y avena

Determinar la producción de forraje verde, altura de planta y producción materia seca del hidrocultivo de cebada, avena y trigo a los días 15, 18 y 21 días cosecha.

I. PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La producción ganadera es altamente dependiente de los forrajes, que son las fuentes más económicas de nutrientes para los animales. Entretanto la disponibilidad y calidad de las especies forrajeras están sujetas a condiciones edáficas y climáticas. En sistemas intensivos de producción, una de las alternativas durante la época crítica seca, es corregir las deficiencias forrajeras, hacer uso de los cultivos hidropónicos de cereales o leguminosas (cebada, avena, sorgo, soya, etc), suplementados con concentrados producidos de preferencia en los propios centros de producción. (Cordero 2004)

La aplicación del cultivo hidropónico y el uso del forraje verde hidropónico (FVH) están atravesando una creciente aceptación por aquellos que se dedican a la crianza de animales que consumen forraje. Así, como menciona (FAO, 2001); el FVH presenta una capacidad de sustitución del concentrado y/o ración balanceada muy importante, la cual puede llegar en algunas especies hasta el 70%.

La situación de la crianza de los animales es sumamente preocupante en las zonas altoandinas y valles interandinos, así mismo la escasa producción forrajera en épocas críticas de mayo a agosto lo que no permite sostener una ganadería, sea de ganado menor o mayor. Los cambios climáticos como veranillos excesivos, bajas temperaturas durante el día y la noche, la escasez de aguas en las épocas de estiaje, ha generado un desabastecimiento de forrajes para la cantidad de animales que disponen los criadores, lo cual provocan abortos y la muerte, además podemos

observar los efectos de una inadecuada alimentación, se tiene animales con bajo peso, baja capacidad reproductiva (baja fertilidad y natalidad) y productiva (calidad de carne) lo cual constituye pérdidas económicas para el productor.

A esto se suma la atomización de la tierras, la poca o nula disponibilidad de tierras aptas para el cultivo de pastos forrajeros anuales y perennes, complicados por la altitud, escasas de agua, donde se desarrolla la actividad, la instalación de pequeñas áreas de pastos cultivados no garantiza la alimentación de los cuyes, vacas, cabras, alpacas y otras especies de interés zootécnico por lo cual hay necesidad de buscar otras alternativas que permitan solucionar el problema de desabastecimiento de forrajes en la época de estiaje.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de los hidrocultivos y tiempos de cosecha en la composición química y producción de cebada, trigo y avena?

1.3. Objetivos

General:

Determinar el efecto que tiene los hidrocultivos y tiempos de cosecha en la composición química y producción de cebada, trigo y avena.

Específico:

- Determinación la composición química, en términos de, proteína cruda (%PC) y fibra detergente neutra (%FDN) de la cebada, trigo y avena.

- Determinar la producción materia seca, producción de forraje verde y altura de planta del hidroforraje de cebada, avena y trigo a los días 15, 18 y 21 días cosecha.

1.4. Justificación

Es claro que el FVH, aun no constituye en un 100% la dieta de los animales. A pesar de que el FVH es un alimento vivo, de alta digestibilidad y calidad nutricional, excepcionalmente apto para la alimentación animal, es necesario mejorar la composición química y la producción de este alimento importante.

La cría comercial de peces, como cualquier otra producción comprendida en la acuicultura, genera residuos con su correspondiente impacto en el medio ambiente. Y mayor es el impacto cuanto más intensiva es la producción. Consecuentemente, la capacidad del medio para absorber esos residuos con la consiguiente disminución del impacto ambiental es el límite admisible para el desarrollo de toda actividad acuícola. Uno de los factores que afectan el ambiente es la liberación de excretas, restos de alimentos y medicamentos. Corrientemente, el abastecimiento de alimento para los peces es la principal causa del deterioro de la calidad del agua. Se ha calculado que en los sistemas de producción piscícola en estanques, no más del 30% de los alimentos suministrados se transforma en producto terminado, siendo el resto acumulado en los sedimentos o liberado en el efluente que, generalmente, conduce hacia fuentes de agua superficial. Una alternativa para solucionar este problema es lo que ahora se conoce como acuaponia, donde se asocia a la producción de peces con la producción de algún tipo de vegetal. Adicionalmente a las ventajas

ambientales, el vegetal puede representar una cosecha secundaria que también genere algún tipo de beneficio al productor. En esta investigación se buscó conocer el efecto de los hidrocultivos y los tiempos de cosecha en la composición química y producción de cebada trigo y avena.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El forraje verde hidropónico (FVH) 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 (FAO, 2001).

Los resultados indicaron que existe diferencia significativa en la composición fisicoquímica de los efluentes entre sistemas de producción, asimismo, demostraron aunque no estadísticamente, que existe diferencia entre puntos de muestreo entre sistemas. A excepción del agua de entrada, el agua residente en el sistema y el agua de descarga (efluente) son diferentes entre sistemas de producción. La alta tasa de recambio y el bajo periodo de residencia del agua dentro del sistema abierto hace que el grado de riesgo de contaminación ambiental por metabolitos en sus efluentes sea mínimo o nulo, mientras que el agua en el sistemas semi abiertos puede llegar a ser altamente contaminante al cultivo y al medio natural receptor de las aguas utilizadas, de no operarse correctamente los recambios de agua y la remoción de sedimentos y aumentando el tiempo de residencia del agua, especialmente por la descarga de material orgánico en suspensión, donde las concentraciones de nitrógeno, fósforo así como por la demanda biológica de oxígeno pueden alterar dramáticamente la dinámica del sistema Curi y Osnayo (2014).

Llegando a la conclusión de que los efluentes de sistemas semi abiertos presentan gran oportunidad para el establecimiento de cultivos acuapónicos como una alternativa de tratamiento de bajo costo y gran

efectividad en la reducción de nutrientes emitidos por la acuicultura Curi y Osnayo (2014).

Mendoza (2009) en Tumbes demostró que la presencia de nutrientes como amonio ionizado, nitrito y nitrato son reducidos a través del proceso de nitrificación por parte de las bacterias nitrificantes, siendo esto ligeramente mayor en los tratamientos con tapetes de geotextil y microorganismos de este tipo.

Cortez et al. (2008). Asocian tres cultivares de lechuga en hidroponía con la cría intensiva de peces *Bryconcephalus* (matrinxã), observaron que los resultados del análisis químico de las aguas residuales indican la presencia de la mayoría de los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas en las concentraciones cercanas a los valores de nutrientes encontrados en las soluciones utilizadas para el cultivo hidropónico de lechuga, salvo el potasio y el magnesio. La baja concentración de magnesio en el agua no impidió el desarrollo de la lechuga, pero las plantas mostraron síntomas visuales de deficiencia de este nutriente. No hubo diferencias entre cultivares en la productividad y el peso fresco de las plantas.

Perez – Sanchez et al. (2010), en trabajos realizados sobre producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena en los cuales se estimó la producción de biomasa y la composición química en función a MS, PC, EE, FDN, FDA, en el cual reportan valores de 24.1% en FVH de trigo.

Herrera – Torres et al, (2010) en un estudio sobre producción de forraje verde hidropónico de cebada, trigo y arroz utilizando microorganismos

eficaces en el agua de riego, obtuvieron 15.83% de PC en cebada y 51.97% de FDN en trigo.

Horrocks y Vallentine (1999), en un estudio realizado sobre producción de biomasa y nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena obtuvieron valores de 68% de FDN en avena.

Castro y Ccencho (2008), obtuvieron de 31.43 Kg/m² y 37.65 Kg/m² de producción de forraje verde en un estudio realizado sobre el efecto de la utilización del forraje verde hidropónico de avena, cebada, maíz y trigo en la alimentación de cuyes.

Fuentes, (2009), en un análisis bromatológico y toxicológico de los hidroforrajes reportan valores de 0.09 Kg/m² de producción de materia seca.

Amaya (1998) obtuvo una altura de 20-25 cm en un periodo de 9 a 12 días, *Tarrillo (2002)* indica un periodo de crecimiento de 10-14 días para obtener forraje de una altura de 20-25 cm, y *Contreras y Tunque (2011)* obtuvieron una altura de 16.78 cm de altura a los 20 días de producción. *Castro y Ccencho (2008)* obtuvieron alturas de 17.19 cm y 15.75 cm el día 16 en el FVH con soluciones nutritivas de la Universidad Nacional de Huancavelica y la Universidad Nacional Agraria La Molina.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Hidroforraje

El Hidroforraje es el “forraje” obtenido del proceso de germinación de granos de cereales (trigo, avena, cebada, maíz.) que después de 12 días (cebada) es cosechado y suministrado a los animales como alimento (*Pautrat, 2008*). Teniendo como principio el crecimiento de

las plántulas a partir de las reservas en las semillas, aunque se puede complementar el riego con soluciones nutritivas, esta técnica no requiere sustrato (*Tecnocampo, 2011*).

Su masa forrajera es completa: hojas, tallos, semillas y raíces que se logra gracias al poder germinativo de la semilla, agua y energía solar (*Tarrillo, 2008*).

2.2.2. Ventajas del Hidroforraje

- El hidroforraje supera en rendimiento a la producción en forma tradicional (1:6,5).
- Utiliza menor cantidad de agua para el riego.
- La producción es apropiada en zonas donde hay escasez de agua.
- Posee excelentes propiedades nutritivas, alta palatabilidad y es sencillo de producir en cualquier época del año, en corto tiempo y en áreas pequeñas.
- Es un producto libre de contaminación y de enfermedades si es obtenido en forma adecuada.
- Se puede efectuar la producción en forma manual o tecnificada (*Pautrat, 2008*).

2.2.3. Valor nutricional del Hidroforraje

Cuadro N° 01: Composición nutricional del Hidroforraje de cebada (*Hordeumvulgare*)

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Proteína	20	%
Energía	2,900	Kcal.
Grasa	3,9	%
Vitamina C	2000	Mg kg
Digestibilidad	85-90	%

Fuente: INIA, (2008); citado por Pautrat (2008)

Cuadro N° 02: Composición nutricional del Hidroforraje de avena. (*Avena sativa*)

Composición del grano de avena en 100 g de sustancia	
Hidratos de carbono	58.2
Agua	13.3
Celulosa	10.3
Proteínas	10.0
Materia grasa	4.8
Materias minerales	3.1

Fuente: Zegarra, 2013

2.2.4. Determinación de producción de biomasa

Al terminar la fase experimental, la cual tuvo una duración de 15, 18 y 21 días, se recolectó el total de la producción de HF por bandeja para determinar la biomasa de HF/bandeja/días de cosecha (Romo, 2010). Para determinar el rendimiento de forraje fresco, se pesó el HF en una balanza digital con capacidad mínima de 5 gr y máxima de 1 kg, se extrajo de las bandejas para luego realizar el respectivo pesado con el "método P", que consiste, en el pesaje directamente recolectando el HF, retirando inicialmente la bandeja (Rivera et. al, 2010).

2.2.5. Proceso de producción de Hidroforraje

A. Dosis de Siembra

Las dosis óptimas de semillas a sembrar por metro cuadrado oscilan entre 2,2 kilos a 3,4 kilos considerando que la disposición de las semillas o "siembra" no debe superar los 1,5 cm de altura en la bandeja (FAO, 2001). En el cual la dosis de siembra respecto a la bandeja (con medidas de 25 cm x 35 cm el cual equivale a 0.0875m²) fue de 0.2625 kilos/0.0875m².

Estudios realizados mencionan que la mejor densidad de siembra para cebada es de 20 gr/dm², dando una profundidad de 2 cm (*Amaya, 1998*).

B. Siembra en las bandejas e inicio de los riegos

Realizados los pasos previos, se procederá a la siembra definitiva de las semillas en las bandejas de producción. Para ello se distribuirá una delgada capa de semillas pre-germinadas, la cual no deberá sobrepasar los 1,5 cm de altura o espesor.

Luego de la siembra se coloca por encima de las semillas una capa de papel (diario, revistas) el cual también se moja. Posteriormente tapamos todo con un plástico negro recordando que las semillas deben estar en semioscuridad en el lapso de tiempo que transcurre desde la siembra hasta su germinación o brotación. Mediante esta técnica le estamos proporcionando a las semillas condiciones de alta humedad y una óptima temperatura para favorecer la completa germinación y crecimiento inicial. Recordemos que el hidrocultivo es una biomasa que se consumirá dentro de un período muy reducido de tiempo. Una vez detectada la brotación completa de las semillas retiramos el plástico negro y el papel (*FAO, 2001*).

C. Riego de las bandejas

El agua que se va usar para riego del hidrocultivo de preferencia debe ser potable o sino desinfectar el agua aplicando 2 gotas de lejía por litro de agua que se va emplear (*Pautrat, 2008*).

El riego de las bandejas de crecimiento del hidrocultivo debe realizarse sólo a través de micro aspersores, nebulizadores y hasta con una

sencilla pulverizadora o mochila de mano. El riego por inundación no es recomendado dado que causa generalmente excesos de agua que estimulan la asfixia radicular, ataque de hongos y pudriciones que pueden causar inclusive la pérdida total del cultivo.

Al comienzo (primeros 4 días) no deben aplicarse más de 0,5 litros de agua por metro cuadrado por día hasta llegar a un promedio de 0,9 a 1,5 litros por metro cuadrado. El volumen de agua de riego está de acuerdo a los requerimientos del cultivo y a las condiciones ambientales internas del recinto de producción de hidrocultivo. Un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas del cultivo se encuentran levemente húmedas al igual que su respectiva masa radicular (*Sánchez, 1997; citado por FAO, 2001*). Recomendar una dosis exacta de agua de riego según cada especie de hidrocultivo resulta muy difícil, dado que dependerá del tipo de infraestructura de producción disponible (*FAO, 2001*).

Es importante recordar que las cantidades de agua de riego deben ser divididas en varias aplicaciones por día. Lo usual es entregarle el volumen diario dividido en 6 o 9 veces en el transcurso del día, teniendo éste una duración no mayor a 2 minutos. El agua a usar debe estar convenientemente oxigenada y por lo tanto los mejores resultados se obtienen con la pulverización o aspersion sobre el cultivo o en el caso de usar riego por goteo, poseer un sistema de burbujeo en el estanque que cumpla con la función de oxigenación del agua. En los sistemas hidropónicos con control automático, el riego se realiza mediante

aspersiones muy reducidas por 10 minutos, cada 6 horas (*Less, 1983; citado por la FAO, 2001*).

D. Cosecha y rendimiento

Gracias al poder germinativo de la semilla, agua y energía solar, se logra de 1 kg de semilla 6 a 8 kg de Hidrocultivo (*Tarrillo, 2008*).

En términos generales, entre los días 12 a 14, se realiza la cosecha del Hidrocultivo. Sin embargo si estamos necesitados de forraje, podemos efectuar una cosecha anticipada a los 8 o 9 días. Trabajos de validación de tecnología sobre Hidrocultivo realizados en Rincón de la Bolsa, Uruguay en 1996 y 1997, han obtenido cosechas de Hidrocultivo con una altura promedio de 30 cm y una productividad de 12 a 18 kilos de Hidrocultivo producidos por cada kilo de semilla utilizada a los 15 días de instalado el cultivo y en una situación climática favorable para el desarrollo del mismo. Asimismo, un máximo de 22 kilos de Hidrocultivo por cada kilo de semilla de cebada cervecera fueron obtenidos a los 17 días, utilizando riegos con la solución nutritiva de FAO al 50% (2,5 cc de "A" y 1 cc de "B" a partir del 4º día y hasta el día 15) por productores del mismo grupo. Sin embargo, esta

La mayor riqueza nutricional de un Hidrocultivo se alcanza entre los días 7 y 8 por lo que un mayor volumen y peso de cosecha debe ser compatibilizado con la calidad dado que el factor tiempo pasaría a convertirse en un elemento negativo para la eficiencia de la producción (*Níguez, 1988; citado por la FAO*). Se ha documentado que períodos de tiempo de 7 a 10 días son más que suficientes para completar el ciclo en un cereal sembrado para forraje hidropónico (*Less1983, Peer*

y Lesson 1985, Santos 1987, Dosal1987; citados por la FAO, 2001).

Ciclos más largos no serían convenientes debido a la disminución de materia seca y de calidad en general del Hidrocultivo resultante.

La cosecha del Hidrocultivo comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja o franja de producción. Esta biomasa comprende a las hojas, tallos, el abundante colchón radicular, semillas sin germinar y semillas semi germinadas (FAO, 2001).

2.2.6. Porcentaje de aprovechamiento del alimento

En el caso del cultivo de salmones, alrededor de un 75% del nitrógeno (alimento no ingerido, fecas y otros productos de excreción) quedan en el medio ambiente; solo un 25% se convierte en carne para comercio (Buschmann, 2001).

2.2.7. Biofiltro

Los biofiltros o filtros biológicos son fundamentales para la salud del sistema. Generalmente consisten en una caja, tanque o jaula lleno previamente de un sustrato que posibilite la fijación de las bacterias nitrificadoras que promueven la oxidación del amoníaco a nitrato. En los biofiltros se pueden utilizar diversos tipos de sustrato (Kubitza, 2006). Los más utilizados en biofiltros en acuicultura son arena, roca molida o ripio de río, algunas formas de material plástico o cerámico en forma de pequeños gránulos o grandes esferas, anillos o sillas de montar (Galli y Miguel, 2007).

Como inóculo para la realización del cultivo in vitro se utilizan sedimentos superficiales colectados bajo balsa y jaulas de zonas marinas de cultivo.

Una vez extraídas las muestras de sedimentos, estas son trasladadas en recipientes herméticos (*Jarpa et al., 2007*).

2.2.8. Sistema con biomasa inmovilizada

Los microorganismos responsables de la nitrificación se fijan en algún tipo de soporte, permitiendo de esta manera trabajar con tiempos de residencia menores, y alcanzar velocidades de nitrificación más elevadas (*Proyecto Melissa, 2009*).

2.2.9. Biofiltros Percoladores

Los filtros percoladores trabajan por gravedad a presión atmosférica, es decir, son filtros abiertos. Constan de un lecho de material filtrante que está en el interior de un contenedor, de manera que, mediante el empleo de diferentes sistemas, se distribuye el agua por la superficie del material filtrante dejándola caer libremente por todo el lecho. Se logra así un perfecto contacto entre el agua, el aire y el medio filtrante.

El aporte de oxígeno necesario para las reacciones de nitrificación se obtiene directamente del aire bien por tiro natural, o en escasas ocasiones, por sistema de ventilación forzada, por lo tanto, se trata de un sistema donde el aporte de oxígeno es continuo y que no suele implicar un consumo energético.

El aporte de oxígeno de manera pasiva los inhabilita para su uso como desnitrificadores (*Innovaqua, 2011*).

El agua residual fluye hacia abajo por sobre el medio y mantiene la película bacteriana mojada, pero nunca completamente sumergida, ya que los espacios vacíos son rellenados con aire en lugar de agua, las bacterias nunca entran en carencia de este (*Galli y Miguel, 2007*).

Filtros de baja carga. Filtros lentos en los cuales el agua hace un solo pasó a través del filtro, con cargas volumétricas bajas, permitiendo además una nitrificación relativamente completa.

En los filtros percoladores se usa comúnmente roca triturada como medio de soporte debido a que es fuerte, durable y químicamente resistente para el crecimiento de la biopelícula (Valdez y Vázquez, 2003).

Cuadro N° 03: Características de los medios de soporte de filtros percoladores

Medio de soporte	Tamaño nominal Mm	Masa/Unidad de volumen kg/m ³	Área superficial específica m ² /m ³	Porcentaje de vacíos
Roca de río				
Pequeña	25 – 65	1250 – 1450	55 – 70	40 – 50
Grande	100 – 120	800 – 1000	40 – 50	50 – 60
Escoria de alto horno				
Pequeña	50 – 80	900 - 1200	55 - 70	40 – 50
Grande	75 – 125	800 - 1000	45 - 60	50 – 60
Plástico				
Convencional	600 x 600 x 1200*	30 - 100	80 - 100	94 – 97
Superficie específica alta	600 x 600 x 1200*	30 - 100	100 - 200	94 – 97
Madera	1200 x 1200 x 500*	150 - 175	40 - 50	70 – 80

* Dimensiones del módulo de medio de soporte.

Fuente: Metcalf y Eddy, Inc. tomado por Valdez y Vázquez (2003).

Cuadro N° 04: Criterios de diseño típicos para filtros percoladores

Parámetro	Filtro de baja tasa	Filtro de tasa intermedia	Filtro de alta tasa
Tasa de carga hidráulica (m ³ /m ² .d)	1 – 4	4 – 10	10 – 40
Tasa de carga orgánica (kg/m ² .d)	0.08 - 0.32	0.24 - 0.48	0.32 - 1.0
Profundidad(m)	1.5 – 3	1.25 - 2.5	1.0 - 2.0
Relación de recirculación	0	0 – 1	1 - 3; 2 – 1
Medio filtrante	Roca	Roca	Roca, materiales sintéticos
Cantidad de moscas en el filtro	Gran cantidad	Cantidad intermedia	Unas cuantas; las larvas son deslavadas
Deslavado	Intermitente	Intermitente	Continuo
Intervalos de dosis	No mayor a 5 minutos	De 15 a 60 s (continuo)	No mayor a 15 s (continuo)
Efluente	Normalmente completamente nitrificado	Parcialmente nitrificado	Nitrificado a bajas cargas

Fuente: Metcalf y Eddy, Inc. tomado por Valdez y Vázquez (2003).

2.3. Hipótesis

H₀: No existe efecto de los hidrocultivos y tiempos de cosecha en la composición química y producción de cebada, avena y trigo.

H_a: Existe efecto de los hidrocultivos y tiempos de cosecha en la composición química y producción de cebada, avena y trigo.

Identificación de variables

2.3.1. Variables

Variable independiente:

- Hidrocultivos (Cebada, Avena y Trigo)
- Tiempos de cosecha (15 , 18 y 21 días)

Variables dependientes:

- Producción de Forrajera verde (kg/m²).
- Producción de Materia Seca (kg/m²).
- Altura de la Planta (cm/planta).
- Porcentaje de Proteína cruda (PC%).
- Porcentaje de Fibra detergente Neutra (FDN%)

III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la piscigranja de truchas e invernadero del asilo de ancianos "Santa Teresa Jornet" ubicada, en la Región Huancavelica, Provincia de Huancavelica, Distrito de Ascensión, en el sector de Castilla Puquio.

Se encuentra ubicado geográficamente a una altura de 3716 msnm, latitud sur 12°46'57", longitud este 74°59'15.53".

3.2. Tipo de investigación

Aplicada.

La investigación aplicada cuyo propósito es dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables, de acuerdo al estudio de la investigación reúne las características de un tipo de investigación aplicada (Bunge, 1971).

3.3. Nivel de investigación

Experimental.

Se realiza la experimentación en las unidades experimentales, en un área y tiempo determinado en el cual se manipula la variable independiente y se mide el efecto de esta variable sobre las variables dependientes, de acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación reúne las características de un nivel de investigación experimental (Hernández, 2012).

3.4. Método de investigación

Medición cuantitativa de concentración de nutrientes como proteína y fibra detergente neutra con respecto a la producción de biomasa.

3.5. Diseño estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, distribuidos a un esquema factorial 3x3 (3 variedades de forraje x 3 tiempos de cosecha), cuyo modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + T_i + H_j + (TH)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = es el valor observado en el i -ésimo nivel del factor hidrocultivo, en combinación de con el j -ésimo nivel del factor tiempo de cosecha, en la k -ésima observación;

u = es la media general, común a todas las observaciones;

T_i = es el efecto del nivel i ($i=1, 2, 3$) del factor tiempo de cosecha.

H_j = es el efecto del nivel j ($j=1, 2, 3$) del factor hidrocultivos.

TH_{ij} = es el efecto de la interacción del i -ésimo nivel T con el j -ésimo del factor H ;

E_{ijk} = es el error aleatorio asociado a cada observación Y_{ijk} .

Se aplicó la prueba de Tuckey, al nivel de 5% de probabilidad para analizar las diferencias entre las medias.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población.

Se utilizó semillas de cebada (*Hordeum vulgare L.*), avena (*avena sativa L*) y trigo (*triticum astevium L*) para la producción de Hidroforraje en bandejas (unidad experimental). El total de la población es 27 bandejas.

3.6.2. Muestra

La muestra será 3 bandejas por tratamiento

Velocidad de crecimiento: **10** planta/unidades experimental

Peso de la biomasa: unidades experimentales (bandejas).

3.6.3. Muestreo

Para la medición de la altura de la planta, se marcó 10 plantas al azar por unidad experimental (bandeja), con anillos de 0.5 cm de diámetro, los cuales se medirán los días 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21.

El método de marcación fue recomendado por la Ing. Nancy Kajjak Castañeda – INIA.

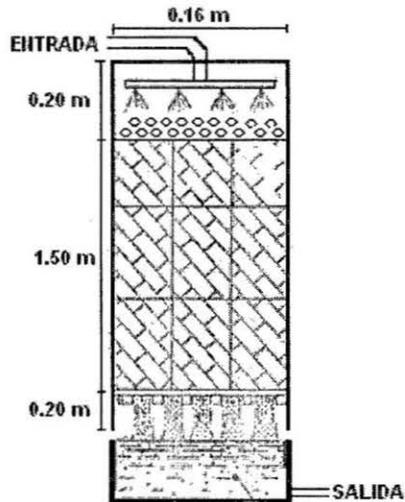
Para determinar la biomasa se tomó las 3 unidades experimentales (bandejas) por cada tratamiento.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1. Biofiltro

Se toma el diseño del filtro percolador, porque permite la aplicación del agua de manera continua, la cual permite tener el lecho en constante contacto con el agua (efluente); a la vez, lo que posibilita la circulación del aire a través de los espacios vacíos. El agua se dispersa homogéneamente en la parte superior, dando como resultado una carga hidráulica uniforme en la profundidad del lecho.

Se utilizará un recipiente cilíndrico, que no deje pasar la luz, con una medida de 0.16 m de diámetro x 1.90 m de altura. La altura del lecho será de 1.50 m.



- El efluente de las pozas de trucha fue rociada sobre el lecho del biofiltro con un rociador rotatorio.
- La aireación fue por medio de unos agujeros situados en la parte superior y en la parte inferior quedará libre todo el diámetro del biofiltro. Ambas entradas de aire serán protegidas con malla, para evitar la entrada de agentes extraños.
- El material usado como lecho es piedra chancada de un tamaño promedio de 45 mm (25 a 65 mm), elegido por ser duradero, permite que el aire circule y es libre de agentes contaminantes.
- Como inóculo para la realización del cultivo en el biofiltro (formación de biopelícula) se utilizó biopelícula adherida a la superficie de las pozas de cultivos de trucha, las cuales serán colectados en un envase de material plástico, luego, será colocado sobre el lecho del biofiltro; el cual por acción de la gravedad y la presión del agua será distribuido en todo el lecho (piedra chancada)
- El biofiltro estaba al 100% en su capacidad de funcionamiento, cuando todo el sustrato (piedras) este cubierto de una biopelícula. Además se observe el desprendimiento de biopelícula, el cual saldrá junto con el efluente del biofiltro.

- La salida del efluente del biofiltro (parte inferior) fue constante, del cual se tomó la muestra suficiente para el riego del HF.
- Las dos pozas de las que saldrá el efluente tiene 1000 truchas por cada poza aproximadamente, con una edad de 9 meses; las cuales fueron alimentadas con alimento balanceado "Crecimiento 2" con una cantidad de 2.5 kg por poza/día.
- Cada 5 días se monitoreará el pH y la temperatura del efluente del biofiltro.

3.7.2. Acopio de muestra de agua

Se acopio las muestras de la salida del efluente del biofiltro con contenedores limpios (botellas, vasos), se enjuago el contenedor varias veces primero con el agua de la cual se tomó la muestra. La muestra fue tomada cuando el biofiltro este desarrollado. Así mismo se acopio el agua de biofiltro para realizar el regado de los tratamientos (bandejas).

3.8. Procedimiento de recolección de datos.

3.8.1. Altura de planta

1°. Se tomó aleatoriamente 10 plantas de todas las regiones de cada bandeja, el cual será marcado con un anillo de 0.5 cm.

2°. Fue medido con una cinta métrica desde la base del grano hasta la última hoja apical, en centímetros.

Este procedimiento se repetirá los días 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18 y 21.

3.8.2. Producción de biomasa

1°. Se retiró el Hidrocultivo de la bandeja.

2°. Se pesó el Hidrocultivo, en gramos.

Este procedimiento se realizará los días 15, 18 y 21 (días de cosecha)

3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos de la producción de Hidrocultivo, porcentaje de proteína, porcentaje de FDN y altura de planta se procesaron con el software estadístico SAS, SPSS, INFOSTAD y ECXEL. El análisis de datos incluye:

- Análisis de varianza para altura de planta en cm a los 15 días.
- Análisis de varianza para altura de planta en cm a los 18 días.
- Análisis de varianza para altura de planta en cm a los 21 días.
- Producción en peso fresco.
- Producción en materia seca.
- Comparación de medias, por la prueba de Tuckey al 5%.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y la discusión se analizan sobre la composición química y la producción de hidrocultivo usando el efluente del biofiltro de aguas de piscigranja, se consignan a través de los diversos cuadros y figuras a lo largo del presente capítulo.

En el Cuadro 5, se presenta el resumen del análisis de varianza con la significación estadística, de los tiempos de cosecha, los hidrocultivos, interacción tiempos de cosecha por hidrocultivos y la descomposición de la interacción, sobre las variables en estudio.

Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza para la proteína cruda PC (%) y fibra detergente neutro FDN (%), producción de forraje verde (kg/m²) y altura de planta (mm/planta), en función a los hidrocultivos (avena, cebada y trigo) (H) , tiempo de cosecha (T), y la interacción H x T.

Fuente de variación	GL	PC (%)		FDN (%)	
		CM ^a	Pr > F ^b	CM ^a	Pr > F ^b
Hidrocultivo (H)	2	15.471	<.0001	193.884	<.0001
Tiempo (T)	2	0.878	0.5726	14.117	0.158
H*T	2	0.489	0.5683	44.792	0.002
Tiempo/Avena	2	0.209	0.7278	75.813	0.0008
Lineal	1	0.0002	0.9483	141.815	0.0018
Cuadrática	2	0.419	0.6987	151.628	0.0052
Tiempo/Cebada	2	0.52	0.4639	15.384	0.1362
Lineal	1	0.875	0.1465	14.199	0.0654
Cuadrática	2	1.04	0.0129	30.768	0.0018
Tiempo/Trigo	2	0.621	0.4023	12.503	0.1915
Lineal	1	0.062	0.8345	0.014	0.9773
Cuadrática	2	1.243	0.6501	25.006	0.472
Hidrocultivo/Tiempo15	2	4.92	0.0041	76.872	0.0007
Hidrocultivo/Tiempo18	2	5.55	0.0024	53.617	0.0037
Hidrocultivo/Tiempo21	2	5.979	0.0018	152.978	<.0001
Error	27	0.169		6.892	
Total	54				
CV (%)			3.34		4.09

a: Cuadrados Medios

b: Grado de significancia y no significancia

Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza.....continuación

Fuentes de variación	GL	PFV, Kg/m ²		PMS, Kg/m ²	
		CM ^a	Pr > F ^b	CM ^a	F ^b Pr >
Hidrocultivo (H)	2	34.101	<.0001	0.097	<.0001
Tiempo (T)	2	24.305	<.0001	0.150	<.0001
H*T	4	0.6314	0.022	0.012	0.0156
Tiempo/Avena	2	8.641	<.0001	0.042	0.0002
Lineal	1	10.088	0.0209	0.015	0.2692
Cuadrática	2	17.283	<.0001	0.084	0.0003
Tiempo/Cebada	2	12.001	<.0001	0.060	<.0001
Lineal	1	15.909	0.0119	0.060	0.0447
Cuadrática	2	24.002	0.0003	0.120	0.0005
Tiempo/Trigo	2	4.9261	<.0001	0.072	<.0001
Lineal	1	8.712	0.0005	0.135	0.0024
Cuadrática	2	9.852	0.0001	0.144	0.0082
Hidrocultivo/Tiempo ₁₅	2	14.97	<.0001	0.025	0.0026
Hidrocultivo/Tiempo ₁₈	2	7.338	<.0001	0.011	0.0401
Hidrocultivo/Tiempo ₂₁	2	13.054	<.0001	0.085	<.0001
Error	27	0.169		0.003	
Total	54				
CV (%)			3.34		6.48

a: Cuadrados Medios

b: Grado de significancia y no significancia

Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza.....continuación

Fuentes de variación	GL	Altura de planta (mm/planta)	
		CM ^a	Pr > F ^b
Hidrocultivo (H)	2	251.4704	<.0001
Tiempo (T)	2	121.8259	<.0001
H * T	4	26.137	0.0119
Tiempo/Avena	2	12.6778	0.1481
Lineal	1	41.67	0.7870
Cuadrático	2	2535.56	0.0335
Tiempo/Cebada	2	70.7111	0.0005
Lineal	1	141.0667	0.0039
Cuadrático	2	141.4222	0.0220
Tiempo/Trigo	2	90.7111	0.0001
Lineal	1	173.4	0.0015
Cuadrático	2	181.4222	0.0060
Hidrocultivo/Tiempo ₁₅	2	15.4778	0.1021
Hidrocultivo/Tiempo ₁₈	2	118.5333	<.0001
Hidrocultivo/Tiempo ₂₁	2	169.7333	<.0001
Error	27	05.9593	
Total	54		
CV (%)			6.58

a: Cuadrados Medios

b: Grado de significancia y no significancia

4.1. Contenido de proteína cruda (%) en función a las hidrocultivos y tiempo de cosecha.

Se evidencia por el ANAVA (Cuadro 5) que los hidrocultivos presentaron un efecto significativo ($P < .0001$) sobre el contenido de proteína cruda (PC) y la interacción entre este factor y los tiempos de cosecha no fueron significativos en la variable PC. En la prueba de medias (Cuadro 6), se constata que el hidrocultivo trigo fue mayor en el contenido de PC en relación a los hidrocultivos avena y cebada, que no difieren entre sí (12.92 vs 11.41%). *Herrera - Torres, et al* (2010), obtuvieron 15.83 % PC en cebada a tiempos de cosecha de 8, 10 y 12 días de crecimiento, siendo esto mayor a lo obtenido en el presente trabajo. De la misma manera *Pérez-Sánchez et al.* (2010) mencionan valores de 24,1% PC en FVH de trigo, los cuales son más altos que los encontrados en el presente trabajo.

Cuadro 6. Valores medios de la Proteína Cruda (PC%) en función a los hidrocultivos y los tiempos de cosecha.

Hidrocultivos	PC %			Medias de Hidrocultivos
	Tiempos de cosecha			
	15	18	21	
Avena	12.75	13.23	12.79	12.92 ^B
Cebada	11.85	11.03	11.35	11.41 ^B
Trigo	14.38	13.51	14.18	14.02 ^A
Medias de tiempos	12.99 ^a	12.59 ^a	12.77 ^a	

Medias seguidas por letras minúsculas en una misma fila no difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Medias seguidas por letras mayúsculas en una misma columna difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Referente a las medias de PC en función a los tiempos de cosecha de los cultivos hidropónicos no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$),

cuya media fue de 12.78%. Chang (2001), en un ensayo realizado con FVH obtuvo 17.4 % de PC a los 12 días de cosecha, disminuyendo el contenido proteico a 13.4 % a los 15 días. De la misma manera Arango (1998), nos indica en un análisis de muestras de trigo en diferentes edades la PC vario de 20.33 a 22.90 % del décimo día al día 15 de sembrado el forraje. Y corroborando estas investigaciones Alpi (1986), en un análisis de planta de cebada como FVH registró 16.8 % de PC. Siendo estos valores superiores a lo encontrado en el presente trabajo.

A pesar que no hubo interacción entre las especies forrajeras como cultivos hidropónicos y los tiempos de cosecha, se verifica que la cebada presento efecto cuadrático en el contenido de PC, cuya ecuación fue $Y=33.05 - 2.3633 X^{**}+0.0633X^{2**}$, $R^2 = 0.76$ (Figura 1) registrándose un 10.99% de PC a los 18.6 días de crecimiento de la cebada como hidrocultivo.

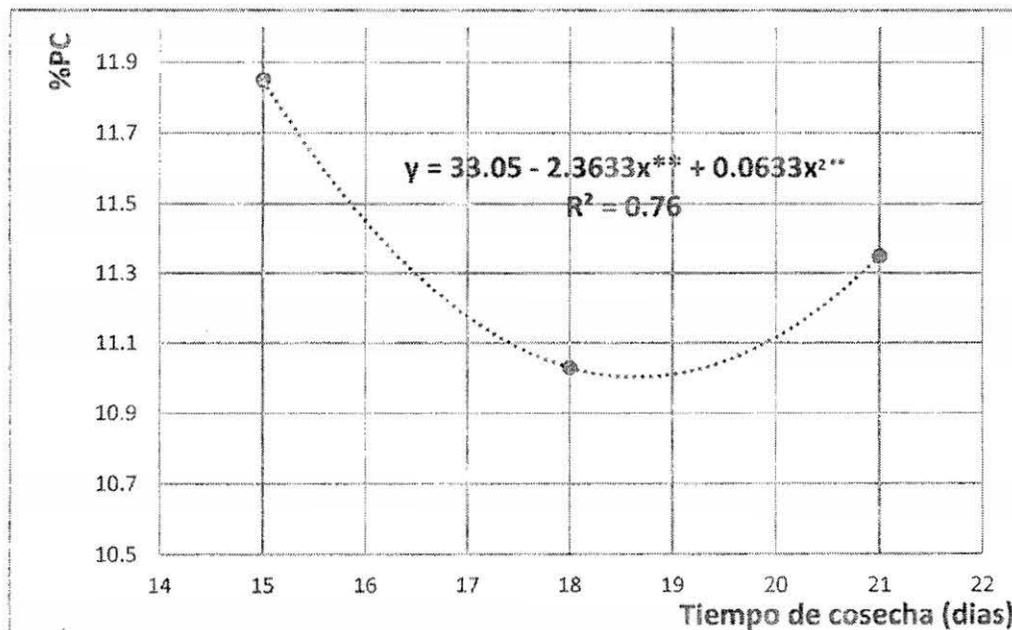


Figura 1. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la PC de la cebada en función al tiempo de cosecha.

4.2. Contenido de fibra detergente neutro (%) en función a los hidrocultivos y tiempos de cosecha.

Los hidrocultivos y la interacción hidrocultivos por tiempos de cosecha presentaron efecto significativo ($P < 0.0001$) y ($P < 0.0020$), respectivamente sobre la fibra detergente neutro (Cuadro 5).

Cuadro 7. Valores medios de la fibra detergente neutro (FDN, %) en función a los hidrocultivos y a los tiempos de cosecha.

Hidrocultivos	FDN (%)			Medidas de Hidrocultivos
	Tiempos de cosecha			
	15	18	21	
Avena	62.38 ^{Ab}	69.45 ^{Aa}	72.10 ^{Aa}	67.98 ^A
Cebada	67.84 ^{Aa}	63.42 ^{Ba}	64.76 ^{BAa}	65.34 ^A
Trigo	57.72 ^{Bba}	61.31 ^{Ba}	57.82 ^{Ba}	58.95 ^B
Medias de tiempos	62.65 ^a	64.73 ^a	62.65 ^a	

Medias seguidas por letras minúsculas diferentes en una misma fila difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Medias seguidas por letras mayúsculas diferentes en una misma columna difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Las medias (Cuadro 7) muestra que el efecto de la edad se debe exclusivamente al hidrocultivo avena, donde las plantas adultas (21 días) de crecimiento presentaron mayor contenido de FDN (72.10%), en relación a las plantas precoces (15 días de crecimiento). La respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = -39.62 + 10.5X^* - 0.2467X^{2*}$, $R = 0.77$ (Figura 2) registrándose un 72.10% de FDN a los 21.28 días de crecimiento de la avena como hidrocultivo.

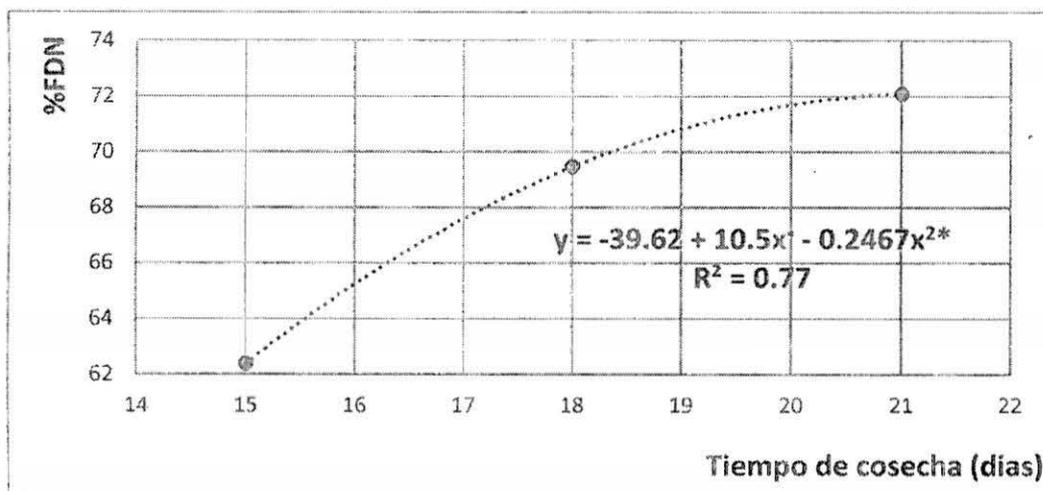


Figura 2. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la fibra detergente neutro (%FDN) de avena en función al tiempo de cosecha

Las medias (Cuadro 7) muestran que el efecto de la edad del hidrocultivo cebada, donde las plantas jóvenes (15 días de crecimiento) presentaron tendencia mayor en contenido de FDN (67.84%), en relación a las plantas adultas (18 y 21 días de crecimiento). La respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = 176.34 - 12.033X^{**} + 0.32X^{2**}$, $R^2 = 0.88$ (Figura 3), registrándose un 63.22% de FDN a los 18.8 días de crecimiento de la cebada como hidrocultivo.

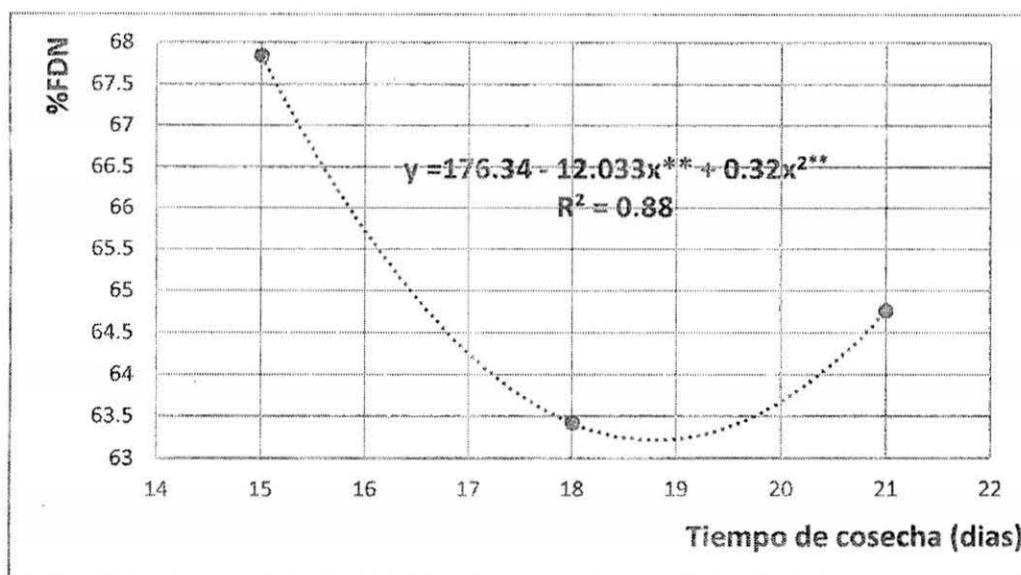


Figura 3. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la fibra detergente neutro (%FDN) de cebada en función al tiempo de cosecha.

El cultivo hidropónico trigo a las edades de 15 y 21 días de crecimiento presentaron valores similares de FDN (Cuadro 7), diferenciándose significativamente de las parcelas experimentales evaluadas a los 18 días de crecimiento.

Herrera, Torres et al. (2010), en trabajos realizados en cultivo hidropónico en trigo obtuvieron valores de 51.79% de FDN, de la misma manera Horrocks y Vallentine (1999), determinaron valores de 68% de FDN en avena, los cuales son valores similares obtenidos a los encontrados en el presente trabajo.

El trigo en la forma de cultivo hidropónico fue menos fibroso en relación a la avena y cebada a los 15 días de crecimiento. Este mismo comportamiento fue verificado a los 21 días de crecimiento que fue significativamente ($P < 0.05$) diferente de la avena y cebada que no difirieron entre sí en el contenido de FDN.

4.3. Producción de forraje verde (kg/m^2) en función a los hidrocultivos y tiempo de cosecha.

Los hidrocultivos y los tiempos de cosecha presentaron efecto significativo ($P < .0001$) y la interacción H/T significativo ($P < .0020$) sobre la producción de forraje verde (PFV, Kg/m^2) (Cuadro 5).

Cuadro 8. Valores medios de producción de forraje verde (PFV, Kg/m²) en función a los hidrocultivos y a los tiempos de cosecha.

Hidrocultivos	PFV, Kg/m ²			Medidas de Hidrocultivos
	Tiempos de cosecha			
	15	18	21	
Avena	16.07 ^{Aa}	12.88 ^{Ab}	13.48 ^{Ab}	14.14 ^A
Cebada	14.77 ^{Aa}	11.13 ^{BAb}	11.51 ^{BAb}	12.47 ^B
Trigo	11.72 ^{Ba}	9.76 ^{Bb}	9.31 ^{Bb}	10.26 ^B
Medias de tiempos	14.19 ^a	11.26 ^b	11.43 ^b	

Medias seguidas por letras minúsculas diferentes en una misma fila difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Medias seguidas por letras mayúsculas diferentes en una misma columna difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Por las medias (Cuadro 8), se verifica que el efecto de la edad sobre la PFV fue debido al hidrocultivo avena donde las plantas más jóvenes (15 días) presentaron mayor PFV (16.07 Kg/m²). Lo que concuerda por *FAO* (2011) que mencionan valores de 12 – 18 kg de hidrocultivo por kilogramo de semilla, e inferior a lo obtenido por *Castro y Ccencho* (2008) que obtuvieron 31.43 Kg/m² y 37.65 kg/m² utilizando diferentes soluciones nutritivas, registrándose un 12.68 Kg/m² de PFV a los 19.02 días de crecimiento de la avena como hidrocultivo.

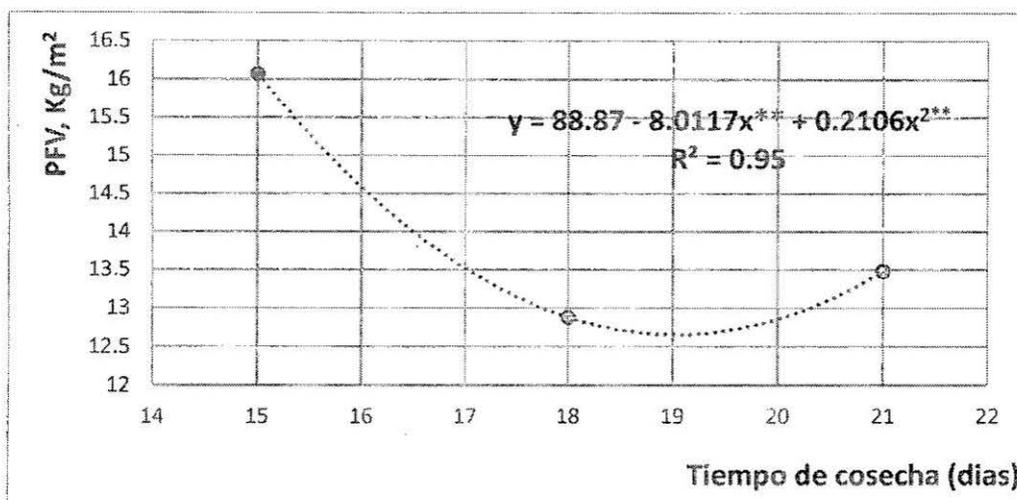


Figura 4. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de forraje verde (Kg/m²) de la avena en función al tiempo de cosecha.

Las medias (Cuadro 8) muestra que el efecto de la edad se debe al hidrocultivo avena, donde las plantas jóvenes (15 días de crecimiento) presentaron la mejor producción de forraje verde (14.77 kg/m²), en relación a las plantas adultas (18 y 21 días de crecimiento). Superior a lo reportado por Contreras y Tunque (2011) de 9.37 kg/m². La respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = 93.27 - 8.5833X^{**} + 0.2233X^{2**}$, $R^2 = 0.93$ (Figura 5), registrándose un 10.78 Kg/m² de PFV a los 19.21 días de crecimiento de la cebada como hidrocultivo.

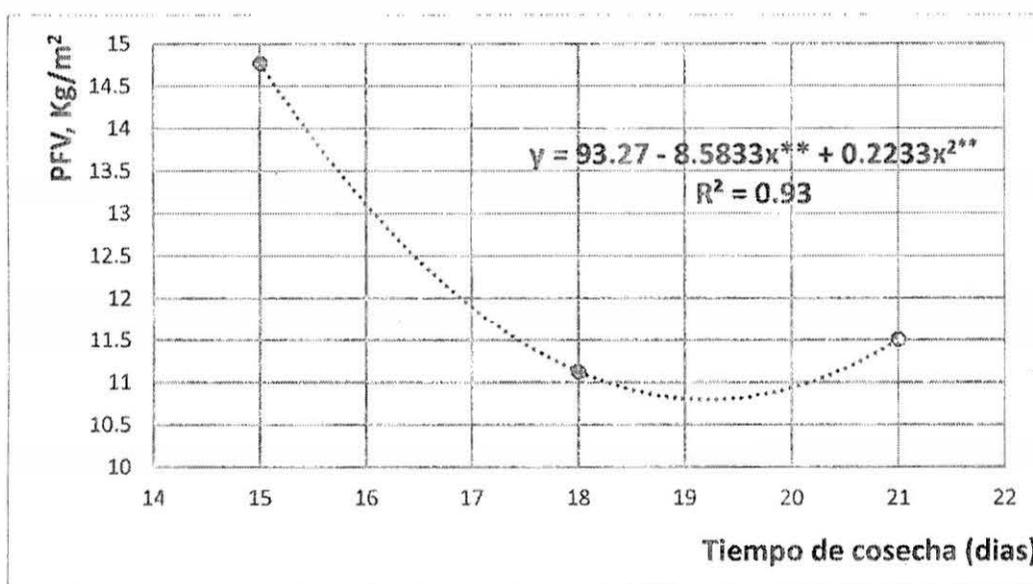


Figura 5. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de forraje verde (Kg/m²) de la cebada en función al tiempo de cosecha

Las medias (Cuadro 8) muestra que el efecto de la edad del hidrocultivo trigo, donde las plantas jóvenes (15 días de crecimiento) presentaron la mejor producción de forraje verde (11.72 kg/m²), en relación a las plantas adultas (18 y 21 días de crecimiento). Flores, A (2004) y Fernández, D (2007) expresan valores superiores a lo registrado en el presente trabajo, esto por la presencia de una solución nutritiva quien aporta mayor cantidad de nitrógeno, fosforo, potasio, micro elementos, etc. La

respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = 44.17 - 3.4217X^{**} + 0.0839X^{2**}$, $R^2 = 0.95$ (Figura 6), registrándose un 9.24 Kg/m² a los 20.39 días de crecimiento del trigo como hidrocultivo.

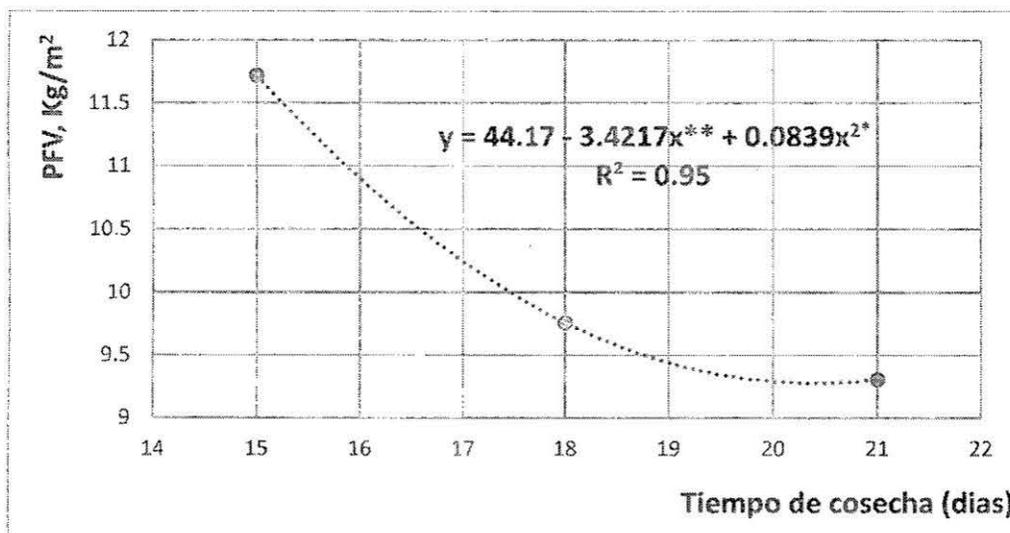


Figura 6. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de forraje verde (Kg/m²) del trigo en función al tiempo de cosecha

4.4. Producción de materia seca (kg/m²) en función a hidrocultivos y tiempos de cosecha.

Para la producción de materia seca MS (Kg/m²) presentaron efecto significativo ($P < .0001$) para hidrocultivos y tiempos de cosecha, y la interacción entre estos factores fue significativo ($P < 0.0119$) (Cuadro 5).

Cuadro 9. Valores medios de producción de materia seca (PMS, Kg/m²). En función a los Hidrocultivos y tiempos de cosecha.

Hidrocultivos	PMS, (Kg/m ²)			Medidas de Hidrocultivos
	Tiempos de cosecha			
	15	18	21	
Avena	0.68 ^{Ab}	0.92 ^{Aa}	0.78 ^{Bb}	0.79 ^B
Cebada	0.60 ^{Bb}	0.86 ^{ABa}	0.80 ^{Ba}	0.75 ^B
Trigo	0.78 ^{Ab}	1.00 ^{Aba}	1.08 ^{Aa}	0.95 ^A
Medias de tiempos	0.69 ^b	0.93 ^a	0.89 ^a	

Medias seguidas por letras minúsculas en una misma fila difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Medias seguidas por letras mayúsculas en una misma columna difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Las medias (Cuadro 9) muestra que el efecto de la edad se debe exclusivamente al hidrocultivo trigo, donde las plantas adultas (21 días de crecimiento) presentaron la mayor producción de materia seca (1.08 kg/m²), en relación a las plantas jóvenes o precoces (15 días de crecimiento). Se han reportado contenidos de MS similares a los encontrados en este trabajo producido en tres densidades de siembra y cosechado a 10 a 12 días (*Fuentes, 2009*) mientras la *FAO (2001)* reporta valores tan bajos como 0.09 kg/m² MS para este tipo de forraje, por su parte *Vargas (2008)* registro valores de 1.18 a 1.4 kg/m² MS siendo estos similares a lo obtenido en el presente trabajo. La respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = -2.193 + 30.42X^* - 0.0071X^{2*}$, $R^2 = 0.80$. (Figura 7) registrándose un 1.06 Kg/m² de PMS a los 21.42 días de crecimiento del trigo como hidrocultivo

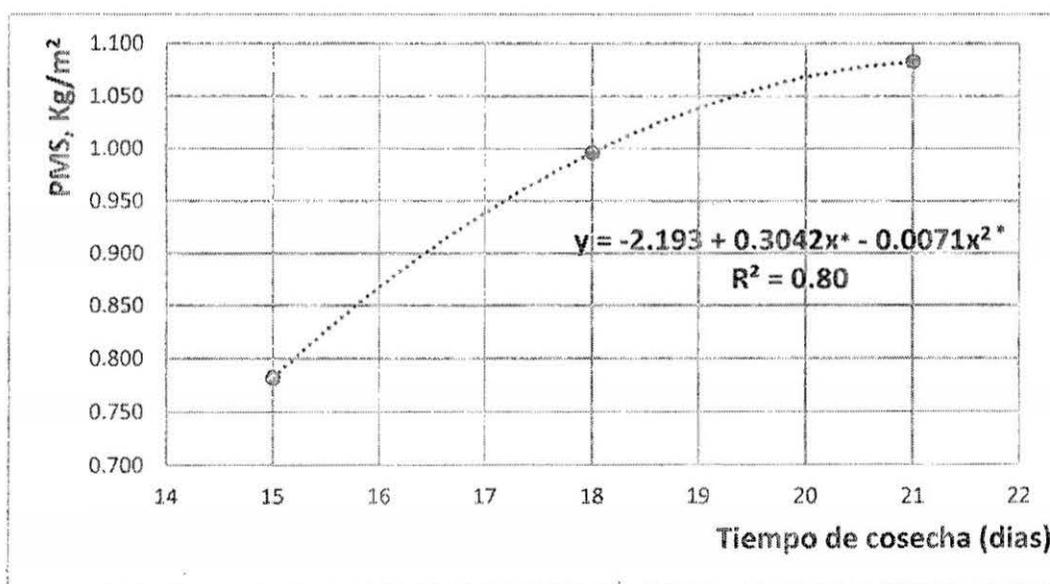


Figura 7. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de materia seca (Kg/m²) del trigo en función al tiempo

Las medias (Cuadro 9) muestra que el efecto de la edad del hidrocultivo avena, donde las plantas jóvenes (18 días de crecimiento) presentaron la mejor producción de materia seca (0.92 kg/m²), en relación a las plantas (15 y 21 días de crecimiento). La respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = -6.065 + 0.7588X^{**} - 0.0206^{2**}$, $R^2 = 0.93$ (Figura 8) registrándose un 0.92 Kg/m² de PMS a los 18.84 días de crecimiento de la avena como hidrocultivo

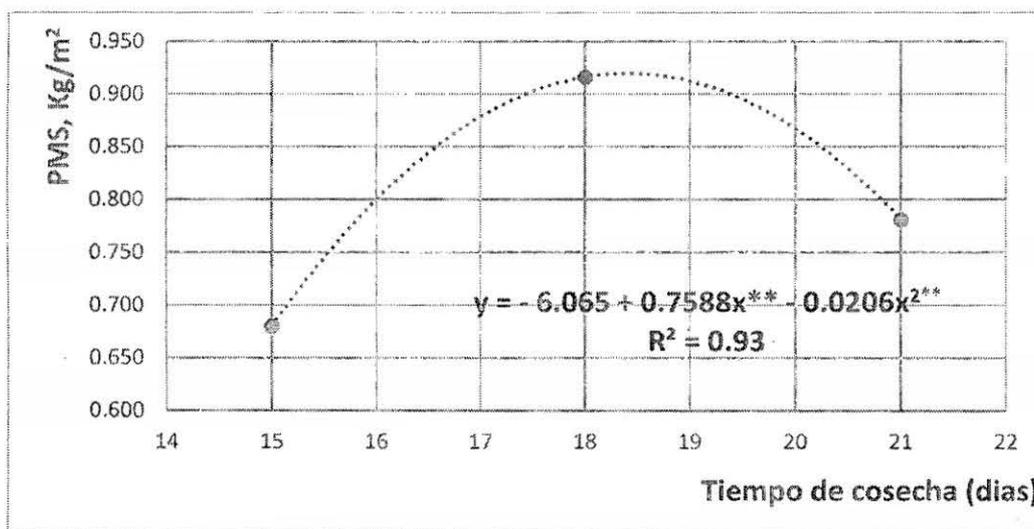


Figura 8. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de materia seca (Kg/m²) de la avena en función al tiempo

Las medias (Cuadro 9) muestra que el efecto de la edad del hidrocultivo cebada, donde las plantas jóvenes (18 días de crecimiento) presentaron el mejor producción de materia seca (0.86 kg/m²), en relación a las plantas (15 y 21 días de crecimiento). La respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = -5.974 + 0.7275X^{**} - 0.0193X^{2**}$, $R^2 = 0.92$ (Figura 9) registrándose un 0.88 Kg/m² de PMS a los 18.85 días de crecimiento de la cebada como hidrocultivo

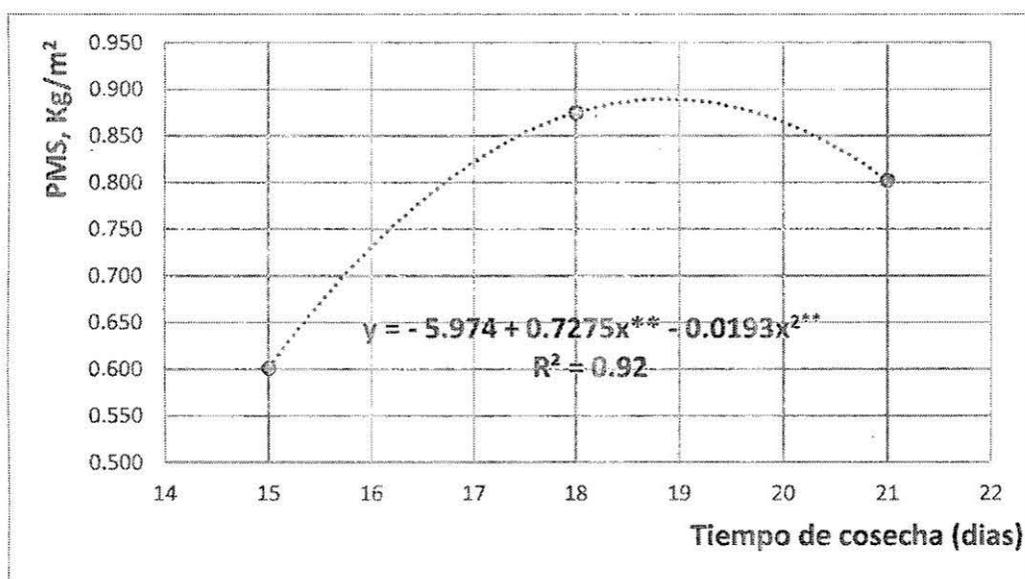


Figura 9. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la producción de materia seca (Kg/m²) de la cebada en función al tiempo de cosecha.

4.5. Altura de planta (cm/planta) en función a hidrocultivos y tiempos de cosecha.

Los hidrocultivos, tiempos de cosecha y la interacción hidrocultivos por tiempos de cosecha presentaron efecto significativo ($P < 0.0001$), ($P < 0.0001$) y ($P < 0.0119$), respectivamente sobre la altura de planta (Cuadro 5).

Cuadro 10. Valores medios de la altura de planta (cm/planta) en función a los hidrocultivos y tiempos de cosecha.

Hidrocultivos	Altura de planta (cm/planta)			Medidas de Hidrocultivos
	Tiempos de cosecha			
	15	18	21	
Avena	10.1 ^{Aa}	9.1 ^{Ba}	10.3 ^{Ba}	9.8 ^B
Cebada	11.5 ^{Ab}	12.9 ^{Ab}	14.6 ^{Aa}	13.0 ^A
Trigo	10.7 ^{Ab}	11.8 ^{Ab}	14.2 ^{Aba}	12.2 ^A
Medias de tiempos	10.8 ^b	11.3 ^b	13.0 ^a	

Medias seguidas por letras minúsculas en una misma fila difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Medias seguidas por letras mayúsculas en una misma columna difieren entre sí, por la prueba de Tukey, al 5% de probabilidad.

Las medias (Cuadro 10) muestra que el efecto de la edad se debe exclusivamente al hidrocultivo cebada, donde las plantas adultas (21 días de crecimiento) presentaron la mejor altura de planta (14.6 cm/planta), en relación a las plantas jóvenes o precoces (15 y 18 días de crecimiento). *Amaya (1998)* obtuvo una altura de 20-25 cm en un periodo de 9 a 12 días, *Tarrillo (2002)* indica un periodo de crecimiento de 10-14 días para obtener forraje de una altura de 20-25 cm, y *Contreras y Tunque (2011)* obtuvieron una altura de 16.78 cm de altura a los 20 días de producción. *Castro y Ccencho (2008)* obtuvieron alturas de 17.19 cm y 15.75 cm el día 16 en el FVH con soluciones nutritivas de la Universidad Nacional de Huancavelica y la Universidad Nacional Agraria La Molina, respectivamente, valores superiores a los observados en el presente estudio, pero superiores a los obtenidos por *Ruiz y Ramos (1999)*, 10.12 cm a los 15 días de crecimiento. La respuesta fue de naturaleza cuadrática: $Y = 8.02 + 0.045X + 0.0128X^2$, $R^2 = 0.72$. (Figura 10) registrándose un 11.76 cm a los 15.02 días de cosecha de cebada como hidrocultivo.

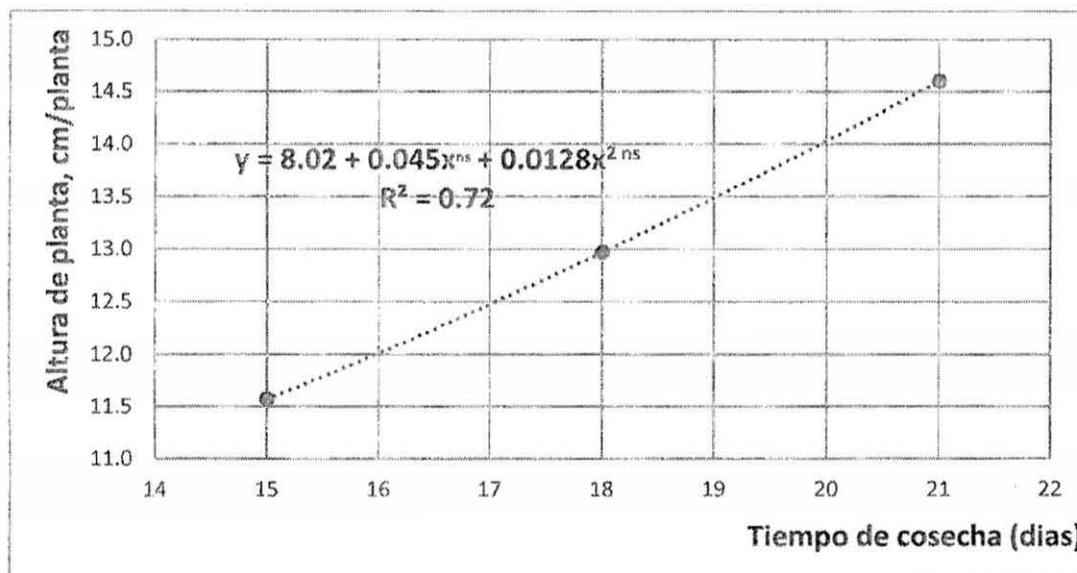


Figura 10. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la altura de planta (cm/planta) en la cebada en función al tiempo de cosecha.

Las medias (Cuadro 10) muestra que el efecto de la edad del hidrocultivo trigo, donde las plantas adultas (21 días de crecimiento) presentaron la mejor altura de planta (14.2 cm/planta), en relación a las plantas jóvenes (15 y 18 días de crecimiento). La respuesta fue de naturaleza cuadrática:

$Y = 26.8 - 2.2333X^{**} + 0.0778X^{2**}$, $R^2 = 0.82$ (Figura 11) registrándose un 10.77 cm a los 14.35 días de cosecha de trigo como hidrocultivo.

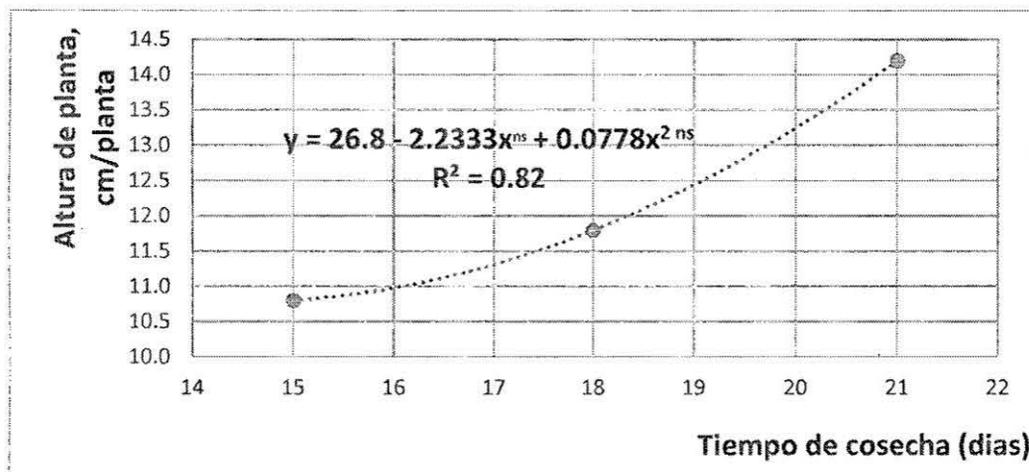


Figura 11. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la altura de planta (cm/planta) del trigo en función al tiempo de cosecha.

Las medias (Cuadro 10) muestra que el efecto de la edad del hidrocultivo avena, donde las plantas adultas (21 días de crecimiento) presentaron el mejor altura de planta (10.3 cm/planta), en relación a las plantas jóvenes (15 y 18 días de crecimiento). La respuesta fue de naturaleza cuadrática:

$Y = 48.73 - 4.4317X^* + 0.1239X^{2*}$, $R^2 = 0.68$ (Figura 12) registrándose un 9.10 cm a los 17.88 días de cosecha de avena como hidrocultivo.

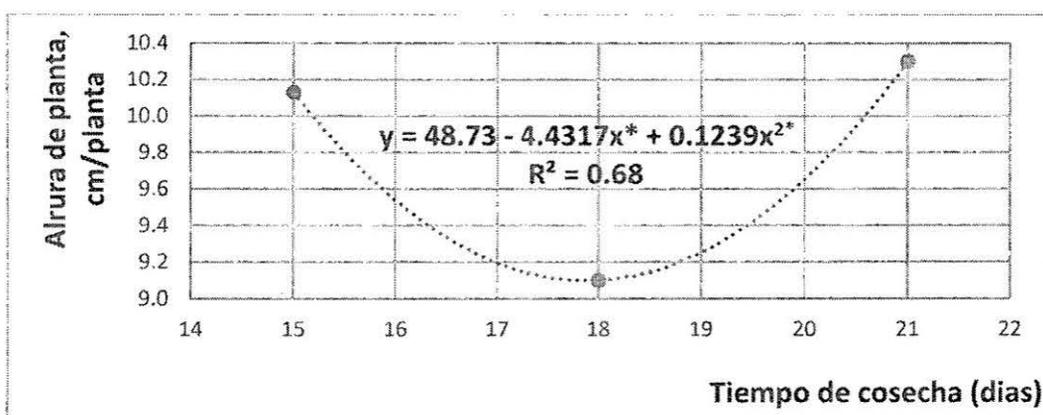


Figura 12. Curva, ecuación de regresión y coeficiente de determinación para la altura de planta (cm/planta) en la avena en función al tiempo de cosecha.

CONCLUSIONES

1. El mejor porcentaje de proteína cruda (PC%) es en el hidrocultivo trigo en el tiempo de cosecha de los 15 frente a los demás hidrocultivos y tiempos de cosecha.
2. Los mayores porcentajes de FDN% se da a los 15 días de cosecha en el trigo.
3. La mejor producción de PFV se obtuvo en la avena a los 15 días siendo superior a la cebada y trigo, y a los tiempos de cosecha de 18 y 21.
4. Según el análisis de PMS la mayor producción fue a los 21 días de cosecha en el hidrocultivo trigo.
5. Se concluye que es factible utilizar el efluente de piscigranjas para la producción de forraje verde hidropónico.

RECOMENDACIONES

1. Es factible cultivar forraje utilizando aguas residuales de piscigranja debido a que se adaptan adecuadamente al sistema.
2. Es necesario realizar investigaciones con hidrocultivos asociados para evaluar el rendimiento y capacidad nutricional y así ser utilizado como sustituto de otros recursos forrajeros.
3. La producción de hidroforraje es una actividad interesante y se debe investigar los costos de producción para evaluar económicamente su rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Amaya, C. 1998.** Cultivos hidropónicos. Bogotá, Colombia.
- **Chang M; Hoyos M, Rodríguez A. 2000.** Producción de Hidroforraje. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.
- **Cortez G, Araujo J, Bellingieri P, Dalri A. 2008.** Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia (Brasil). Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. 495 – 498.
- **FAO, 2001.** Hidroforraje. Manual técnico. *Oficina regional de la FAO para America Latina y el Caribe. Santiago de Chile.*
- **Fernández, D. 2011.** Cuaderno de Investigación en Sistemas Artificiales. AQUAFLAHS (serial on line). Disponible en: www.acuaponia.com.
- **INIA. 2012.** Curso a distancia de sistema de producción de vacuno de leche. Perú.
- **Iturbide, K. 2008.** Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación”. Tesis para optar el grado de maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Guatemala.
- **Jarpa M, Aguilar A, Belmonte M, Decap J, Abarzúa M, Vidal G. 2007.** Determinación de la capacidad nitrificante de un sedimento marino proveniente de un centro de cultivo de salmones. Universidad de Concepción. Chile.
- **Kubitza, F. 2006.** Sistemas de recirculación cerrada. Disponible en: http://www.minagri.gob.ar/SAGPyA/pesca/acuicultura/01=Cultivos/03-Otros_Sistemas. Argentina.
- **Márquez, C. 2005.** Estudio del tratamiento de lodos provenientes de pisciculturas mediante un sistema de digestión anaerobia [tesis]. México.

- **Mendoza, O. 2009.** Utilización de Bacterias Nitrificantes como biorremediadoras del agua de cultivo de *Litopenaeus vannamei*. Programa Interuniversitario de Doctorado en Biotecnología. Tumbes - Perú.
- **Pantoja S, Rossel P, Contreras S. 2004.** Ciclos biogeoquímicos en biología marina y oceanografía: conceptos y procesos. Universidad de Concepción. Chile.
- **Pautrat, W. 2008.** Producción de Hidroforraje de cebada para la alimentación de cuyes. INIA. Junín - Perú.
- **Proyectos BOFISH, 2009.** Anteproyecto Acuaponía Rural. Disponible en: www.acuaponia.com. México.
- **Proyecto MELISSA. 2009.** Alternativa de sistema de soporte de vida micro-ecológico (Micro-EcologicalLifeSupportSystemAlternative). Agencia Europea del Espacio. España.
- **Ramos, C. 2009.** Principios básicos en un sistema de acuaponía.[Epubahead of print]. Disponible en: http://www.acuaponia.com/informacion_tecnica_pdfs/PRINCIPIOS_DE_BASICOS_EN_UN_SISTEMA_DE_ACUAPONIA.pdf
- **Rivera A, Moronta M, González M, González D, Perdomo D, García D, Hernández G. 2010.** Producción de Hidroforraje de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. Universidad de los Andes, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Instituto Universitario de Tecnología del Estado de Trujillo. Trujillo – Venezuela.
- **Romo, E. 2010.** Evaluación de diferentes materiales de plástico en sustitución de charolas convencionales utilizadas en la obtención de forraje verde hidropónico. Tesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- **Santiago J.M., Ambrosio L. 2006.** Manual de capacitación para la aplicación de prácticas medioambientales en la pesca y la acuicultura. Puno-Perú.

- **Segovia M, Mariscal M.2009.** Desarrollo de Acuaponia en México. Proyectos BOFISH. disponible en: http://www.acuaponia.com/informacion_tecnica_pdfs/ACUAPONIA_EN_MEXICO.pdf. México.
- **Tarrillo, H. 2008.** Hidroforraje. disponible en: www.forrajehidroponico.com
- **TECNOCAMPO. 2011.** Manual para producir Hidroforraje (F.V.H.). HIDROPONICO s-6 (Serial on line). Disponible en PDF (www.tecnocampo.com.mx)
- **Vargas, C. F. 2008.** Comparación productiva de Hidroforraje de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Tesis de grado. Costa Rica.
- **Valdez E.C., Vázquez A.B. 2003.** Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Fundación ICA, A.C. México D.F. México.

ANEXOS

Cuadro 1A: Análisis de variancia para la proteína cruda (%PC) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos.

FV	GL	SC	CM	F	P-valor
Especie (E)	1	30.942	15.471	23.86	<.0001
Tiempo (T)	3	0.746	0.878	0.58	0.5726
E*T	3	1.956	0.489	0.75	0.5688
Error	16	11.673	0.648		

Cuadro 2A: Análisis de variancia para la fibra detergente neutra (%FDN) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos

FV	GL	SC	CM	F	P-valor
Especie	1	387.769	193.885	28.13	<.0001
(E)	3	28.234	14.117	2.05	0.1580
Tiempo (T)	3	179.168	44.792	0.50	0.0020
E*T	16	124.062	6.892		
Error					

Cuadro 3A: Análisis de variancia para la producción de forraje verde (Kg/m2) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos.

FV	GL	SC	CM	F	P-valor
Especie	1	68.201	34.101	201.63	<.0001
(E)	3	48.612	24.306	143.72	<.0001
Tiempo (T)	3	2.526	0.631	3.73	0.0221
E*T	16	3.044	0.169		
Error					

Cuadro 4A: Análisis de variancia para la producción de materia seca (Kg/m2) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos.

FV	GL	SC	CM	F	P-valor
Especie (E)	1	0.195	0.097	33.20	<.0001
Tiempo (T)	3	0.301	0.150	51.18	<.0001
E*T	3	0.048	0.012	4.10	0.0156
Error	16	0.053	0.003		

Cuadro 5A: Análisis de variancia para altura de planta (cm/planta) en función a los tipos de forraje, tiempo de cosecha y la interacción entre ellos.

FV	GL	SC	CM	F	P-valor
Especie	1	50.29407	2514.704	42.20	<.0001
(E)	3	24.36519	1218.259	20.44	<.0001
Tiempo (T)	3	10.45481	261.370	4.36	0.0119
E*T	16	10.72667	59.593		
Error					

Cuadro 6A. Medias y desviaciones estándares de la proteína cruda (%PC) en función del tiempo de cosecha y las Hidrocultivos.

Especie forrajera	Tiempo de cosecha			\bar{X} Especie Forrajera $\bar{X} \pm DE$
	15 $\bar{X} \pm DE$	18 $\bar{X} \pm DE$	21 $\bar{X} \pm DE$	
Avena	12.75 ± 0.58	13.23 ± 1.06	12.79 ± 0.44	12.92 ± 0.69
Cebada	11.85 ± 0.05	11.03 ± 0.34	11.35 ± 0.20	11.41 ± 0.20
Trigo	14.38 ± 1.94	13.51 ± 0.50	18 ± 0.09	14.02 ± 0.84
\bar{X} Tiempo de cosecha	12.99 ± 0.86	12.59 ± 0.63	12.77 ± 0.24	12.79 ± 0.58

Cuadro 7A. Medias y desviaciones estándares de la fibra detergente neutra (%FDN) en función del tiempo de cosecha y las Hidrocultivos.

Especie forrajera	Tiempo de cosecha			\bar{X} Especie Forrajera $\bar{X} \pm DE$
	15 $\bar{X} \pm DE$	18 $\bar{X} \pm DE$	21 $\bar{X} \pm DE$	
Avena	62.38 ± 0.78	69.45 ± 0.32	72.10 ± 3.90	67.98 ± 1.67
Cebada	67.84 ± 1.02	63.42 ± 0.13	64.76 ± 1.05	65.34 ± 0.73
Trigo	57.72 ± 6.51	61.31 ± 0.78	57.82 ± 1.01	58.95 ± 2.77
\bar{X} Tiempo de cosecha	62.65 ± 2.77	64.73 ± 0.41	64.89 ± 1.99	64.09 ± 1.72

Cuadro 8A. Medias y desviaciones estándares de la producción de forraje fresco (Kg/m²) en función del tiempo de cosecha y las Hidrocultivos.

Especie forrajera	Tiempo de cosecha			\bar{X} Especie Forrajera $\bar{X} \pm DE$
	15 $\bar{X} \pm DE$	18 $\bar{X} \pm DE$	21 $\bar{X} \pm DE$	
Avena	16.07 ± 0.45	12.88 ± 0.13	13.48 ± 0.44	14.14 ± 0.34
Cebada	14.77 ± 0.07	11.13 ± 0.69	11.51 ± 0.60	12.47 ± 0.45
Trigo	11.72 ± 0.39	9.76 ± 0.31	31 ± 0.11	10.26 ± 0.27
\bar{X} Tiempo de cosecha	14.19 ± 0.30	11.26 ± 0.38	11.43 ± 0.38	12.29 ± 0.35

Cuadro 9A. Medias y desviaciones estándares de la materia seca (Kg/m²) en función del tiempo de cosecha y las Hidrocultivos.

Especie forrajera	Tiempo de cosecha			\bar{X} Especie Forrajera
	15	18	21	
	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$
Avena	0.68 ± 0.05	0.92 ± 0.001	0.78 ± 0.01	0.79 ± 0.02
Cebada	0.60 ± 0.005	0.88 ± 0.05	0.80 ± 0.05	0.76 ± 0.04
Trigo	0.78 ± 0.002	1.00 ± 0.04	1.08 ± 0.13	0.95 ± 0.06
\bar{X} Tiempo de cosecha	0.69 ± 0.02	0.93 ± 0.03	0.89 ± 0.06	0.84 ± 0.04

Cuadro 10A. Medias y desviaciones estándares de la altura de planta (cm/planta) en función del tiempo de cosecha y las Hidrocultivos.

Especie forrajera	Tiempo de cosecha			\bar{X} Especie Forrajera
	15	18	21	
	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$	$\bar{X} \pm DE$
Avena	10.1 ± 7.51	9.1 ± 1.72	10.3 ± 1.00	9.8 ± 3.41
Cebada	11.6 ± 9.07	13.0 ± 5.85	14.6 ± 12.58	13.1 ± 9.17
Trigo	10.8 ± 10.97	11.8 ± 3.21	14.2 ± 8.39	12.3 ± 7.52
\bar{X} Tiempo de cosecha	10.8 ± 9.18	11.3 ± 3.59	13.0 ± 7.32	11.8 ± 6.70

Cuadro 11A. Análisis de regresión de la proteína cruda (%PC) de la avena en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	0.419	0.210	0.38	0.6987
Error	6	3.304	0.551		

Cuadro 12A. Análisis de regresión de la proteína cruda (%PC) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	1.040	0.520	9.78	0.0129
Error	6	0.319	0.053		

Cuadro 13A. Análisis de regresión de la proteína cruda (%PC) del trigo en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	1.243	0.621	0.46	0.6501
Error	6	8.050	1.342		

Cuadro 14A. Análisis de regresión de la fibra detergente neutra (%FDN) de la avena en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	151.628	75.814	14.30	0.0052
Error	6	31.820	5.303		

Cuadro 15A. Análisis de regresión de la fibra detergente neutra (%FDN) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	30.768	15.384	21.47	0.0018
Error	6	4.299	0.717		

Cuadro 16A. Análisis de regresión de la fibra detergente neutra (%FDN) del trigo en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	25.0065	12.503	0.85	0.4720
Error	6	87.944	14.657		

Cuadro 17A. Análisis de regresión de la producción de forraje verde (Kg/m²) de la avena en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	17.283	8.641	62.52	<.0001
Error	6	0.829	0.138		

Cuadro 18A. Análisis de regresión de la producción de forraje verde (Kg/m²) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	24.002	12.001	42.65	0.0003
Error	6	1.688	0.281		

Cuadro 19A. Análisis de regresión de la producción de forraje verde (Kg/m²) del trigo en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	9.852	4.926	56.13	<.0001
Error	6	0.527	0.088		

Cuadro 20A. Análisis de regresión de la producción de materia seca (Kg/m²) de la avena en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	0.0843	0.042	42.52	0.0003
Error	6	0.0060	0.001		

Cuadro 21A. Análisis de regresión de la producción de materia seca (Kg/m²) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	0.120	0.060	34.31	0.0005
Error	6	0.011	0.002		

Cuadro 22A. Análisis de regresión de la producción de materia seca (Kg/m²) del trigo en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	0.144	0.072	11.87	0.0082
Error	6	0.036	0.006		

Cuadro 23A. Análisis de regresión de la altura de planta (cm/planta) de la avena en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	25.3556	12.6778	6.30	0.0335
Error	6	12.0667	2.0111		

Cuadro 24A. Análisis de regresión de la altura de planta (cm/planta) de la cebada en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	1	141.0667	141.0667	17.84	0.0039
Error	7	55.3556	7.9079		

Cuadro 25A. Análisis de regresión de la altura de planta (cm/planta) del trigo en los tres tiempos de cosecha.

FV	GL	SC	CM	F	Pr > F
Regresión	2	181.4222	90.7111	13.54	0.0060
Error	6	40.2000	6.7000		

Cuadro 26A. Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación para las características en estudio, para los tres tiempos de cosecha.

Variable	Regresión	R ²
%PC de cebada	= $y = 33.05 - 2.3633x^{**} + 0.0633x^{2**}$	0.76
%FDN de avena	$y = -39.62 + 10.5x^{ns} - 0.2467x^{2ns}$	0.77
%FDN de cebada	$y = 176.34 - 12.033x^{**} + 0.32x^{2**}$	0.88
PFV, Kg/m ² de avena	= $y = 88.87 - 8.0117x^{**} + 0.2106x^{2**}$	0.95
PFV, Kg/m ² de cebada	= $y = 93.27 - 8.5833x^{**} + 0.2233x^{2**}$	0.93
PFV, Kg/m ² del trigo	= $y = 44.17 - 3.4217x^{**} + 0.0839x^{2*}$	0.95
MS, Kg/m ² de avena	$y = -6.065 + 0.7588x^{**} - 0.0206x^{2**}$	0.93
MS, Kg/m ² de cebada	$y = -5.974 + 0.7275x^{**} - 0.0193x^{2**}$	0.92
MS, Kg/m ² del trigo	$y = -2.193 + 0.3042x^{ns} - 0.0071x^{2ns}$	0.80
Altura planta, cm/Planta de avena	$y = 48.73 - 4.4317x^* + 0.1239x^{2*}$	0.68
Altura planta, cm/Planta de cebada	$y = 8.02 + 0.045x^{ns} + 0.0128x^{2ns}$	0.72
Altura planta, cm/Planta del trigo	$y = 26.8 - 2.2333x^{ns} + 0.0778x^{2ns}$	0.82

FOTOGRAFÍAS OBTENIDAS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

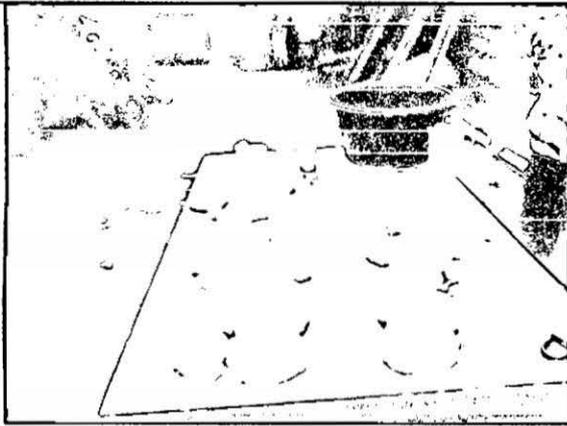


Foto 1. Materiales para la desinfección de las semillas

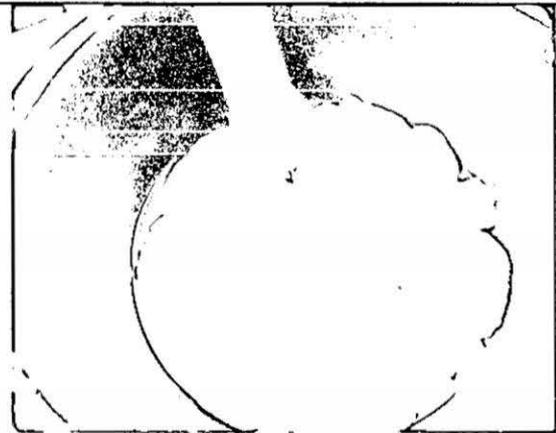


Foto 2. Desinfección de semillas con solución a base de cloro



Foto 3. Limpieza exhaustiva de las semillas de avena, cebada y trigo

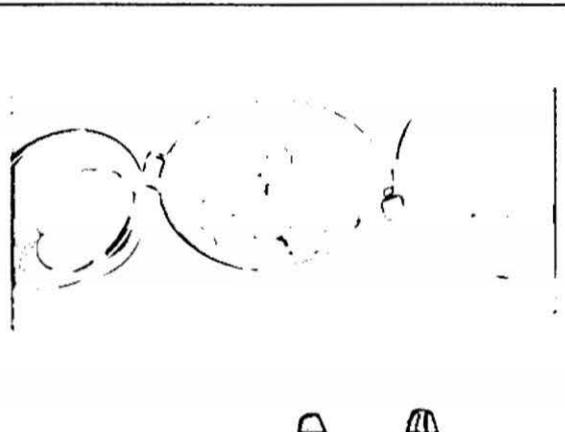


Foto 4. Reposo de las semillas de avena, cebada y trigo en agua

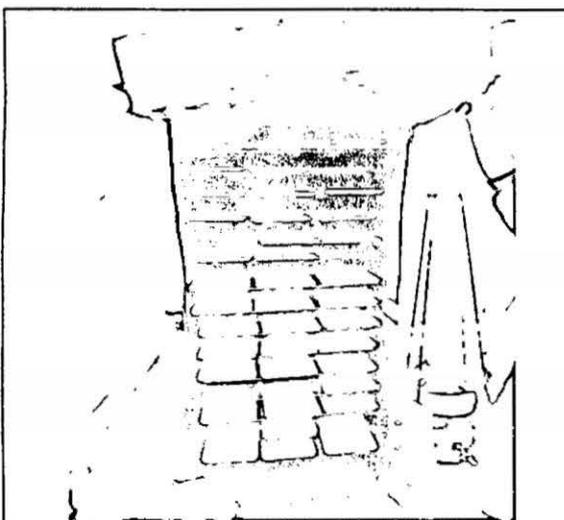


Foto 5. Cámara oscura

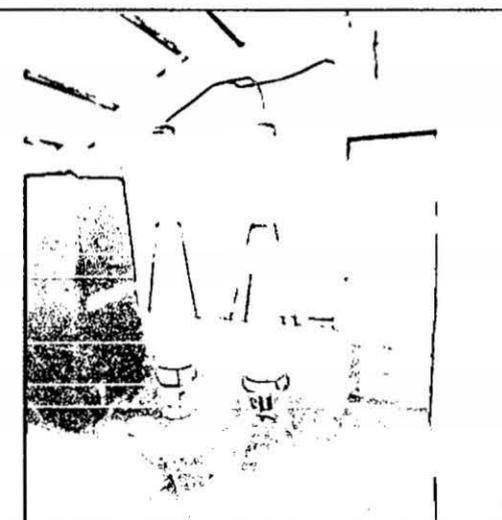


Foto 6. Biofiltro de agua de piscigranja

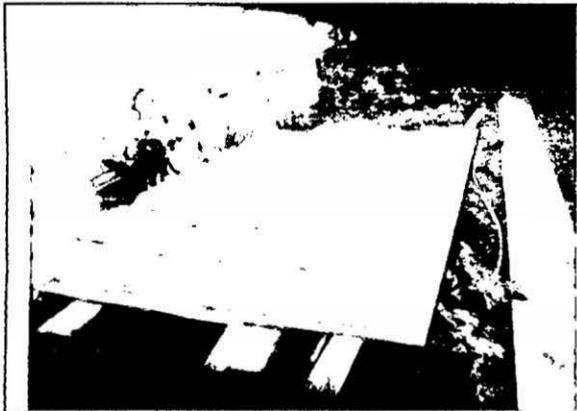


Foto 7. Muestras en crecimiento



Foto 8. Medida de avena a los 15 días



Foto 9. Picado de muestras



Foto 10. Mezcla uniforme de todo el forraje hidropónico



Foto 11. Pesado de muestras antes de llevar al horno



Foto 12. Muestras en la estufa por un periodo de 3 días

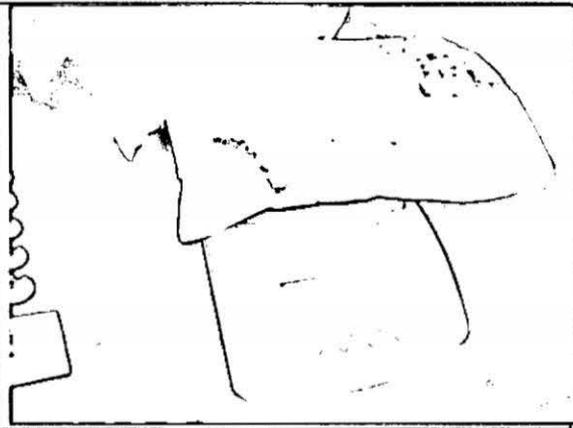


Foto 13. Pesado de muestras después de secado



Foto 14. Molido de muestras



Foto 15. Envase de muestras para su traslado a los laboratorios