

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(CREADA POR LEY N° 25265)



**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
ZOOTECNIA**

TESIS

**“PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE CEBADA
(*Hordeum vulgare*) USANDO EL EFLUENTE DE PISCIGRANJAS EN
EL ASILO DE ANCIANOS SANTA TERESA JORNET -
HUANCAVELICA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
BIOTECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ZOOTECNISTA**

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

**CARHUAPOMA OSNAYO, WILLY
CURI CASTILLO, GUILLERMO**

HUANCAVELICA - PERÚ

2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingenieria, a los 20 dias del mes de enero del año 2014, a horas 3:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **Ing. Paul Herber MAYHUA MENDOZA (PRESIDENTE)**, **Ing. Yola Victoria RAMOS ESPINOZA (SECRETARIA)**, **Ing. José Luis CONTRERAS PACO (VOCAL)**. designados con la Resolución de Consejo de Facultad N° 058-2013-FCI-UNH, de fecha 07 de febrero del 2013, y ratificados con la Resolución de Decano N° 002-2014-FCI-UNH de fecha 15 de enero del 2014, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "PRODUCCION DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE CEBADA (*Hordeum vulgare*) USANDO EL EFLUENTE DE PISCIGRANJAS EN EL ASILO DE ANCIANOS SANTA TERESA JORNET - HUANCAMELICA", presentado por los Bachilleres **Guillermo Curi Castillo y Willy Carhuapoma Osnayo**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Zootecnista**; en presencia del **M.Sc. Elmer René CHÁVEZ ARAUJO**, Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...4:25 pm...; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

GUILLERMO CURÍ CASTILLO

APROBADO POR...UNANIMIDAD.....

DESAPROBADO

WILLY CARHUAPOMA OSNAYO

APROBADO POR...UNANIMIDAD.....

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

Vocal

Vocal Decano

M.Sc. ELMER RENÉ CHÁVEZ ARAUJO
ASESOR

*Dedicado a mi
madre y hermanos por su
apoyo y su amor.
Guillermo*

*Dedicado a mis
padres y hermanas con
todo cariño.
Willy*

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ciencias de Ingeniería, y a nuestra querida Escuela de Ingeniería Zootecnia por permitirnos formarnos profesionalmente.

Al M.Sc. Elmer René Chávez Araujo quien tuvo a bien, aceptar ser asesor del trabajo de investigación, por su orientación e invaluable contribución para la ejecución del presente.

Al Asilo de Ancianos Santa Teresa Jornet, a las Hermanas de la Congregación y a todos los trabajadores de esta casa por habernos permitido sus instalaciones y darnos todas las facilidades para la ejecución de la presente tesis.

Al Ing. José Luis Contreras Paco, por facilitarnos las instalaciones del laboratorio de nutrición animal y por su orientación.

A los que de alguna manera directa e indirectamente, colaboraron con la realización de nuestra tesis.

A todos ustedes, amigos: ¡Muchas gracias!

ÍNDICE

	PAG.
PORTADA	
INDICE	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I	
PROBLEMA	
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Formulación del problema	19
1.3. Objetivos	19
1.4. Justificación	20
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes	21
2.1.1. Cultivos acuapónicos	21
2.1.2. Generación de nitrato	21
2.1.3. Producción y valor nutricional del forraje verde hidropónico(FVH)	23
2.2. Bases teóricas	25
2.2.1. Forraje verde hidropónico	25
2.2.2. Ventajas del forraje verde hidropónico	25
2.2.3. Valor nutricional del forraje verde hidropónico	26
2.2.4. Poder germinativo	26
2.2.5. Determinación de altura de planta y producción de biomasa	27
2.2.6. Proceso de producción de forraje verde hidropónico	27

2.2.7. Propiedades físicas y químicas de un cuerpo de agua para la truchicultura (rango óptimo)	32
2.2.8. Porcentaje de aprovechamiento del alimento	32
2.2.9. Desperdicios metabólicos y alimento no ingerido	32
2.2.10. Bacterias nitrificantes	35
2.2.11. Proceso de nitrificación	36
2.2.12. Biofiltro	36
2.2.13. Sistema con biomasa inmovilizada	37
2.2.14. Formación de la biopelícula	37
2.2.15. Provisión de las condiciones adecuadas para la nitrificación	38
2.2.16. Capacidad de nitrificación en los biofiltros	39
2.2.17. Biofiltros percoladores	40
2.3. Hipótesis	43
2.4. Identificación de variables	43

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio	44
3.2. Tipo de investigación	44
3.3. Nivel de investigación	44
3.4. Método de investigación	44
3.5. Diseño de investigación	44
3.6. Población, muestra y muestreo	45
3.6.1. Población.	45
3.6.2. Muestra	45
3.6.3. Muestreo	45
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.7.1. Biofiltro	46
3.7.2. Acopio de muestra de agua	48
3.7.3. Medición de compuestos nitrogenados	48
3.7.4. Proceso de producción de forraje verde hidropónico	48

220

3.7.5. Determinación del porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico	51
3.8. Procedimiento de recolección de datos	51
3.8.1. Tiempo de desarrollo de la biopelícula	51
3.8.2. Determinación de nitrato	52
3.8.3. Altura de planta	52
3.8.4. Producción de biomasa	52
3.8.5. Determinación del porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico	53
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	53

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Desarrollo del biofiltro	55
4.2. Generación de Nitrato	56
4.3. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico	57
4.3.1. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia	57
4.3.2. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia	58
4.3.3. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia	59
4.3.4. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia	60
4.4. Altura de planta en el forraje verde hidropónico	61
4.4.1. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 4 días, después de la emergencia	61
4.4.2. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 8 días, después de la emergencia	63
4.4.3. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 12 días, después de la emergencia	65

4.4.4. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 16 días, después de la emergencia	66
4.5. Producción de la biomasa de forraje verde hidropónico	68
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Análisis de proteína de una planta completa con diferentes días de siembra	24
Tabla 2:	Composición nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	26
Tabla 3:	Ejemplo de obtención de porcentaje de germinación	26
Tabla 4:	Características de los medios de soporte de filtros percoladores	42
Tabla 5:	Criterios de diseño típicos para filtros percoladores	42
Tabla 6:	Distribución de las unidades experimentales	49
Tabla 7:	Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia.	57
Tabla 8:	Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia.	58
Tabla 9:	Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia.	59
Tabla 10:	Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia.	60
Tabla 11:	Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia.	62
Tabla 12:	Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	62
Tabla 13:	Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia.	63

Tabla 14:	Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	64
Tabla 15:	Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia.	65
Tabla 16:	Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	66
Tabla 17:	Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia.	67
Tabla 18:	Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	67
Tabla 19:	Análisis de varianza para la producción de biomasa de forraje verde hidropónico.	69
Tabla 20:	Prueba de Tukey al 5% para la producción de biomasa	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Rango de nitrógeno de amonio (N-NH ₄ ⁺) para cada ensayo	22
Figura 2:	Rango de nitrógeno de nitrato (N-NO ₃ ⁻) en cada ensayo	23
Figura 3:	Proceso de desarrollo del biofiltro	40
Figura 4:	Diseño de un filtro percolador	43
Figura 5:	Diseño del biofiltro percolador	46
Figura 6:	Generación de nitrato en el efluente de poza de trucha y en el biofiltro en el Asilo de Ancianos de Huancavelica.	56
Figura 7:	Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	57
Figura 8:	Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	58
Figura 9:	Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	59
Figura 10:	Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	60
Figura 11:	Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.	63

- Figura 12:** Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados. 64
- Figura 13:** Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados. 66
- Figura 14:** Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados. 68
- Figura 15:** Promedio y coeficiente de variación (CV) de la producción de biomasa del forraje verde hidropónico. 70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Porcentaje de germinación	81
ANEXO 2: Registro del pH de la poza de trucha y del biofiltro	81
ANEXO 3: Temperatura del invernadero y del biofiltro	82
ANEXO 4: Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico	85
ANEXO 5: Altura de planta del forraje verde hidropónico	87
ANEXO 6: Biomasa del forraje verde hidropónico	88
ANEXO 7: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 4 días	89
ANEXO 8: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 8 días	91
ANEXO 9: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 12 días	93
ANEXO 10: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 16 días	95
ANEXO 11: Análisis de varianza de la altura de planta a los 4 días	97
ANEXO 12: Análisis de varianza de la altura de planta a los 8 días	99
ANEXO 13: Análisis de varianza de la altura de planta a los 12 días	101
ANEXO 14: Análisis de varianza de la altura de planta a los 16 días	103
ANEXO 15: Análisis de varianza de la biomasa	105
ANEXO 16: Método de reducción de cadmio	107
ANEXO 17: Fotografías	109

RESUMEN

“Producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) usando el efluente de piscigranjas en el asilo de ancianos Santa Teresa Jornet – Huancavelica”

Willy Carhuapoma Osnayo y Guillermo Curi Castillo

El presente trabajo fue desarrollado en la piscigranja del asilo de ancianos Santa Teresa Jornet con el objetivo de determinar el efecto que tiene el efluente de las pozas de trucha en la producción del forraje verde hidropónico de cebada. Para cumplir con el objetivo se tuvieron que desarrollar las siguientes actividades: Determinar la cantidad de nitrógeno de nitrato ($N-NO_3^-$) en el biofiltro completamente desarrollado, determinar en los días 4, 8, 12 y 16 de producción la cantidad de nitrógeno y medir la altura del forraje verde hidropónico (FVH), además, evaluar la producción de biomasa del FVH el día 16.

El biofiltro se desarrolló a los 90 días, a un pH promedio de 8.23 y una temperatura promedio de 14.9 °C. Para determinar la cantidad de $N-NO_3^-$ se utilizó el equipo HACH DR 2800. La cantidad de $N-NO_3^-$ presente en el efluente del biofiltro fue de 2.2 mg/L $N-NO_3^-$ y del efluente de las pozas de trucha fue de 1.2 mg/L $N-NO_3^-$. La generación de nitrato en el biofiltro fue de 1 mg/L $N-NO_3^-$ más que el de la poza de trucha.

El diseño de investigación utilizado fue el diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos: 100% agua de entrada a las pozas de trucha (T0), 50% de efluente del biofiltro más 50% agua de entrada a las pozas de trucha (T1) y 100% efluente del biofiltro (T2). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Para el porcentaje de nitrógeno en el FVH no se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$). En la altura de planta hubo un efecto altamente significativo ($P < 0.01$), según la prueba de Tukey al 5% el tratamiento T2 en los días 4, 8, 12 y 16 de medición de altura se ubicó en el rango A con medias en centímetros: 6.35, 8.29, 9.58 y 10.85, el tratamiento T1 se ubicó en el rango B con medias en centímetros: 5.60, 7.33, 9.04 y 10.18 y el tratamiento T0 (testigo) se ubicó en el rango C con las medias en centímetros: 4.85, 5.64, 6.98 y 8.25. En la producción de biomasa hubo un efecto altamente significativo ($P < 0.01$), con la prueba de Tukey al 5% el tratamiento T2 se ubicó en el rango A con 8.7 kg/m² FVH, el T1 en el rango B con 7.62 kg/m² FVH y el T0 en el rango C con 6.19 kg/m² FVH.

Palabras clave: Biofiltro, nitrificación, biopelícula, forraje verde hidropónico

SUMMARY

Production of green hydroponic forage of barley (*Hordeum vulgare*) using trout farm's effluent at Santa Teresa Jornet nursing home– Huancavelica

Willy Carhuapoma Osnayo and Guillermo Curi Castillo

This study was developed in Santa Teresa Jornet nursing home's trout farm to determine the effect that has its effluent in the production of green hydroponic forage of barley. The aims of the study were to determine the quantity of nitrate of nitrogen (N-NO_3^-) in the completely developed biofilter, to determine the quantity of nitrogen production in the days 4, 8, 12, and 16, to measure green hydroponic forage height (FVH) as well as to evaluate biomass production of FVH the day 16.

The biofilter was developed to determine the quantity of N within 90 days with an average pH of 8.23 and at a temperature of 14.9°C . HACH DR 2800 equipment was utilized to get N-NO_3^- . The quantity of N-NO_3^- in the biofilter's effluent was 2.2 mg/L N-NO_3^- , and in trout farm's effluent was 1.2 mg/L N-NO_3^- . It means that biofilter's effluent generated 1 mg/L N-NO_3^- more than the produced in trout's farm effluent.

The investigation design was completely randomized (CRD) having three treatments: 100% from trout farm's effluent (T0), 50% from biofilter's effluent with 50% from trout farm's effluent (T1), and 100% from biofilter's effluent (T2). Tukey test at 5% was used to compare means. Where no significant difference was found in nitrogen percentage in FVH ($P < 0.05$) regarding to height plant, there was a highly significant effect ($P < 0.01$) according to Tukey test at 5%, treatment T2 during the days 4, 8, 12, and 16 of height measurement was in the range of A with means in centimeters: 6.35, 8.29, 9.58, and 10.85; treatment T1 was located in the range of B with means in centimeters: 5.60, 7.33, 9.04, and 10.18; and treatment T0 (witness treatment) was in the range of C with means in centimeters: 4.85, 5.64, 6.98, and 8.25. There was also a highly significant effect on biomass production ($P < 0.01$) where T2 was found in the range of A with 8.7 kg/m^2 FVH, T1 in the range of B with 7.62 kg/m^2 FVH, and T0 in the range of C with 6.19 kg/m^2 FVH.

Key words: Biofilter, nitrification, biofilm, green hydroponic forage

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 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, agua con gran cantidad de materia orgánica es vertida a los ríos o cuerpos de aguas naturales. 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, hoy llamada "acuaponía", 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).

10

El objetivo general del presente trabajo es determinar el efecto del efluente de la piscigranja, como fuente de nutrientes para la producción de forraje verde hidropónico. Los objetivos específicos fueron: determinar el tiempo de desarrollo del biofiltro, nitrificar el amoníaco presente en el efluente de la piscigranja a través de un biofiltro, para transformarlo a nitrato, luego evaluar el efecto en la producción del forraje verde hidropónico.

Los autores.

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La piscicultura al igual que otras actividades de producción animal genera residuos sólidos y líquidos contenidos en las aguas de descarga de los sistemas productivos, también llamados "efluentes", siendo éstos comúnmente retomados al medio natural sin previo tratamiento (Iturbide, 2008).

Del total de alimento que se suministra en la crianza de truchas, alrededor de un 75% del nitrógeno, fósforo y carbono que ingresa al sistema como alimento, se pierde como alimento no ingerido, fecas y otros productos de excreción. Solo un 25% se convierte en carne para comercio. El fósforo se acumula principalmente en los sedimentos que se encuentran bajo las jaulas de cultivo, por lo que resulta un buen indicador de contaminación (Buschmann y Fortt, 2005). Esta ineficacia en el aprovechamiento de estos restos y la recirculación de desechos de organismos acuáticos provoca una generación de desechos que ocasiona que se acumulen nutrientes en cuerpos de agua como ríos, lagos y mares, a los cuales llegan a un límite que provoca muerte por asfixia a los seres vivos del cuerpo receptor, proceso que se conoce como eutroficación (Proyectos BOFISH, 2009). Estos desechos de los peces sirven como nutrientes para el crecimiento de las plantas, quienes a su vez, los absorben del agua permitiendo que ésta se encuentre disponible nuevamente para los peces, ya que de otra manera, serían tóxicos y no podrían subsistir sin recambio alguno (Ramos, 2009).

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 mínimo de residuos y un impacto favorable 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. Existen métodos, no obstante, que pueden ampliar la posibilidad de desarrollo de una actividad determinada, como siempre y cuando sea admisible la adopción de medidas de corrección, en cuyo caso, podríamos llegar a superar ese umbral natural ya que la aplicación de dichas medidas reduciría los efectos negativos hasta niveles nunca superiores a la capacidad de absorción del medio (Santiago y Ambrosio, 2006).

En Huancavelica existe muchas piscigranjas, que no hacen tratamiento de los efluentes en el cual se desperdicia muchos nutrientes que podrían ser reutilizados como fertilizantes para las plantas, por lo que proponemos en este trabajo de investigación usar este efluente como recurso para la producción de forraje verde hidropónico, especialmente el nitrógeno amoniacal el cual es tóxico para los organismos acuáticos.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del efluente de piscigranjas en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*)?

1.3. Objetivos

Objetivo General.

Determinar el efecto que tiene el efluente de las pozas de trucha en la producción del forraje verde hidropónico de cebada.

Objetivos Específicos.

- Determinar el tiempo de desarrollo del biofiltro
- Determinar la generación de nitrógeno de nitrato ($N-NO_3^-$) en el biofiltro completamente desarrollado.

- Determinar el porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico los días 4, 8, 12 y 16.
- Medir la altura del forraje verde hidropónico (una planta por bandeja, tomada al azar) los días 4, 8, 12 y 16.
- Evaluar el efecto en la producción de biomasa de forraje verde hidropónico de cebada a los 16 días de producción.

1.4. Justificación

La intervención intensiva que generan las prácticas acuícolas va degradando el medio ambiente, esto debido a que el agua recibe grandes cantidades de desechos, como el alimento no consumido por los peces que sedimenta en el fondo de los ríos y lagunas, dañando un espacio que no sólo es utilizado por los peces cultivados, sino, también por otras especies.

El proceso productivo de la trucha finaliza con la obtención de su producto (carne) y sus desechos. Los desechos son alimento no ingerido, productos de excreción, materias fecales, químicos y microorganismos. Del total del alimento suministrado para la producción de truchas solo una parte es aprovechada por estos, mientras que el resto queda en el ambiente de una forma u otra. Una parte importante de estos desechos va al fondo y otro porcentaje queda en la columna de agua. Este aporte y concentración local de nutrientes tiene múltiples efectos ambientales, por lo tanto una buena medida es hacer uso de estos desechos que se generan en el cultivo de truchas como fuente de nutrientes para especies vegetales, al ser nitrificados por los microorganismos.

De este modo en el presente trabajo de investigación nos planteamos utilizar el efluente de las pozas de crianza de truchas para la producción de forraje verde hidropónico de cebada, sabiendo que es necesario utilizar microorganismos (biofiltro) para nitrificar el amoníaco presente en la columna de agua del efluente y por consiguiente evitar el efecto negativo medio ambiental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Cultivos acuapónicos

Cortez *et al.* (2008), asociaron 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.

2.1.2. Generación de nitrato

Puigcerver y Tort (1996), evaluaron dos medios bacterianos aceleradores del proceso de nitrificación en un sistema de circulación de agua cerrado, en el cual utilizaron como sustrato de crecimiento de las bacterias, arena viva sobre filtros semi húmedos, y como productores de amonio 17 peces dorados (*Sparus aurata*) en el cual observaron que debido a la excreción nitrogenada de las doradas, la concentración de amonio aumentó en el sistema hasta alcanzar un nivel máximo (0.1 mg N-NH₄⁺), a partir de este pico la concentración de amonio fue disminuyendo progresivamente, aumentando simultáneamente la concentración de nitritos (0.05 mg N-NO₂⁻

). Tras alcanzar el nivel máximo de concentración de nitritos (36 días) fueron observando un aumento en la concentración de nitratos simultáneamente a una progresiva reducción de los nitritos.

Arcos (2002), en cultivos de post-larva de camarón (*Litopenaeus vannamei*) evaluó la acumulación diaria de la concentración de nitrato en el biofiltro, observó, que empezó el día cero con 0.53 ± 0.0 mg/l NO_3^- y culminó el día ocho con 16.02 ± 0.9 mg/l NO_3^- .

Sarmiento (2011), estudio la eficiencia de un sistema de recirculación de agua para truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), cuyo sistema contaba con un biofiltro percolador, para la función de oxidación del amonio. Al final como resultado de la nitrificación en el T1 (densidad de 10 Kg de trucha) obtuvo 0.01 mg/l a los 12 días a 0.02 mg/l a los 120 días; en el T2 (densidad de 20 Kg de trucha) obtuvo 0.12 mg/l a los 12 días a 0.16 mg/l a los 120 días y en el T3 (densidad de 30 Kg de trucha) obtuvo 0.03 mg/l a los 12 días a 0.23 mg/l a los 120 días.

Ambrosio y Tejero (2000), en su estudio de la operación de un "reactor aireado de biopelícula fija" (biofiltro) operando con agua residual sintética, observó una reducida eliminación de amonio (NH_4^+), la concentración de nitrito (NO_2^-) se mantuvo reducida a lo largo del reactor y observó un aumento en la concentración de nitrato (NO_3^-). Los resultados que obtuvo se muestran en las siguientes figuras:

Figura 1: Rango de nitrógeno de amonio (N-NH_4^+) para cada ensayo

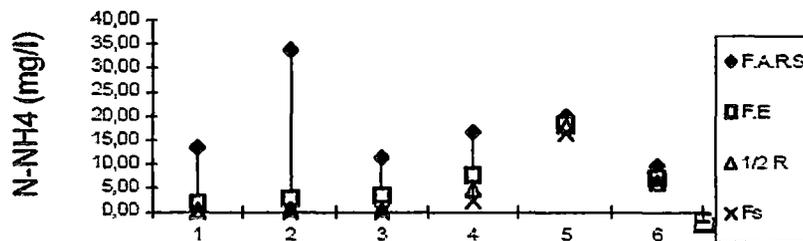
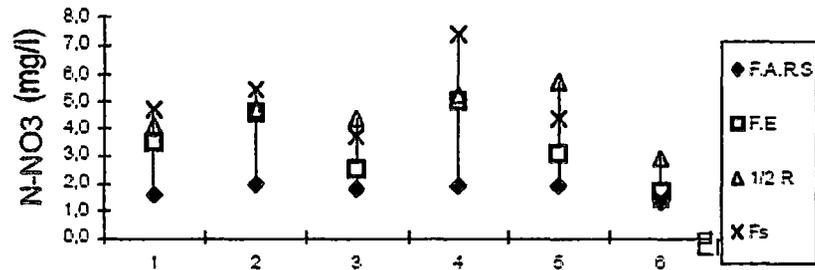


Figura 2: Rango de nitrógeno de nitrato (N-NO_3) en cada ensayo



Dónde:

- F.A.R.S.: Flujo de agua residual sintética
- F.E.: Flujo de entrada
- 1/2 R: Zona central del reactor
- F.S.: Flujo de salida

En cuanto al pH durante los ensayos N° 1, 2, 3 y 4, observó una disminución desde FE hasta 1/2 R (procesos de oxidación de M.O. carbonosa y nitrificación), a partir del punto central del reactor y hasta FS en los ensayos N° 1, 3 y 4 se observó un aumento de pH.

En los ensayos N° 5 y 6, no se detectó variación de pH, al no producirse porcentajes importantes de nitrificación, sino eliminación de M.O carbonosa.

2.1.3. Producción y valor nutricional del forraje verde hidropónico (FVH)

El valor proteico del FVH obtenido por Curasma y Quispe (2011) fue de 16.4% PT a los 17 días de crecimiento y Chang (1995) menciona un valor proteico de 15% PT. Tarrillo (2002) menciona valores que van desde 16 a 22% PT, mientras Contreras y Tunque (2004) obtuvieron una media de 10.31% PT en el FVH de cebada a los 20 días de producción.

En cuanto al tiempo de producción la FAO (2001) cita varios autores (Bonner y Galston, 1961; Koller, 1962; Simón y Meany 1965, Fordhan et. al 1975) mencionando que el tiempo de producción de FVH apto para la alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días, que a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos no puede extenderse más del día 12. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH. Malterías de Colombia S.A.; citado por Amaya (1998) muestra en el siguiente cuadro el análisis de proteína del FVH con diferentes días de siembra.

Tabla 1: Análisis de proteína de una planta completa con diferentes días de siembra

Cantidad sembrada por bandeja (gr)	Días de siembra	Humedad (%)	Proteína total (%)
1000.00	14	84.9	13.4
	13	81.0	13.3
	12	82.1	17.4
	11	85.0	16.8
	10	91.1	13.8

Fuente: Malterías de Colombia S.A., citado por Amaya (1998)

El período de crecimiento de la planta, según Amaya (1998) dura de 9 a 12 días, para obtener una altura de 20 a 25 cm, mientras que Tarrillo (2002) indica un período de crecimiento de 10 – 14 días para obtener forraje de una altura promedio de 20 – 25 cm, Ruiz y Ramos (1999) exponen la altura de la planta a la cosecha de 10.12 cm con 15 días de crecimiento, Contreras y Tunque (2004) obtuvieron en su parcela que solo contenía cebada 16.78 cm de altura a los 20 días de producción, Castro y Ccencho (2008) obtuvieron con la solución nutritiva de la UNH una altura de 17.19 cm y con la solución de la UNA - la Molina 15.75 cm, registrados el día 16 después de la siembra.

Según Tarrillo (2008) para producir de 6 a 8 kg de FVH se necesita 1 kg de semilla, mientras que la FAO (2001) menciona producciones de 12 a 18 kg FVH de 1 kg de semilla. Contreras y Tunque (2004) obtuvieron en su investigación

1386 g/1480 cm² en promedio, Castro y Ccencho (2008) obtuvieron 31.43 kg/m² FVH con el testigo (agua) y 37.65 kg/m² FVH con la solución nutritiva UNH - Huancavelica.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico (FVH) 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 forraje verde hidropónico

- El forraje verde hidropónico 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 forraje verde hidropónico

Tabla 2: Composición nutricional del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*)

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)

2.2.4. Poder germinativo

Tiene como objetivo conocer la capacidad de la semilla para dar origen a una plántula normal, también se conoce como emergencia y desarrollo del embrión, que da origen a una plántula. Esta prueba se puede determinar en placas petri, cajas de pasta de zapatos o mediante papel periódico (FAO, 2001).

EL método consiste en colocar 100 semillas distribuidas uniformemente en toda la superficie del sustrato o depósito, se recomienda realizar esta práctica en 3 grupos o repeticiones, cuando se utilice el papel periódico se colocan las 100 semillas en forma de hileras y se procede a enrollarse, para luego ser colocadas en un depósito, el mismo que debe contener agua, para así tener las muestras con una humedad constante (INIA, 2012).

Tabla 3: Ejemplo de obtención de porcentaje de germinación

N°	DÍAS DE GERMINACION																X	
	Muestra	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15		16
01	-	-	-	-	-	41	25	12	5	3	1	-	-	-	-	-	-	87
02	-	-	-	33	20	16	9	6	3	-	1	-	-	-	-	-	-	88
03	-	-	-	-	28	26	18	11	7	2	1	-	1	-	-	-	-	94
Total																		269
Promedio																		89.6

Fuente: INIA (2012)

2.2.5. Determinación de altura de planta y producción de biomasa

Para determinar la altura, se mide la altura de una planta los días 4, 8, 12, y 16 de producción para determinar la velocidad de crecimiento del forraje (Romo, 2010). Para ello se toma aleatoriamente una planta de la región central de cada bandeja y se mide con cinta métrica desde la base del grano hasta la última hoja apical (Rivera *et al.*, 2010).

La fase experimental tiene una duración de 16 días, se recolecta el total del germinado por charola para determinar la biomasa de FVH/lámina/tratamiento (Romo, 2010). Para determinar el rendimiento de forraje fresco, se pesa el FVH en una balanza digital con capacidad mínima de 5 g y máxima de 1 kg. Se usa el "método P", que consiste, en el pesaje directo recolectado del FVH de las bandejas (Rivera *et. al*, 2010).

2.2.6. Proceso de producción de forraje verde hidropónico

A. Selección de la Semilla

En términos ideales, se debería usar semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón de eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad pero manteniendo un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local. Es muy conveniente también que las semillas elegidas para nuestra producción de forraje, se encuentren libres de piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas; fundamentalmente saber que no hayan sido tratadas con cura semillas, agentes pre emergentes o algún otro pesticida tóxico (FAO, 2001), para ello, se hace una selección manual de las semillas para eliminar todas aquellas que estaban en mal estado (semillas partidas) y cuerpos extraños (Vargas, 2008).

B. Lavado de la semilla

Antes del lavado se realiza un "pre-lavado", luego en baldes se coloca por separado cada grupo de semillas (1.7 kg en caso de maíz) y de las diferentes gramíneas a evaluar y se eliminan todas aquellas que flotan en el agua (Vargas, 2008).

Las semillas deben lavarse y desinfectarse con una solución de hipoclorito de sodio al 1% ("solución de lejía", preparada diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado tiene por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberarlas de residuos y dejarlas bien limpias (Chang *et al.*, 2000). El desinfectado con el hipoclorito elimina prácticamente los ataques de microorganismos patógenos al cultivo de FVH. El tiempo que dejamos las semillas en la solución de hipoclorito o "lejía", no debe ser menor a 30 segundos ni exceder de los tres minutos. El dejar las semillas mucho más tiempo puede perjudicar la viabilidad de las mismas causando importantes pérdidas de tiempo y dinero. Finalizado el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua limpia (FAO, 2001).

C. Remojo y germinación de las semillas

Esta etapa consiste en colocar las semillas dentro de una bolsa de tela y sumergirlas completamente en agua limpia por un período no mayor a las 24 horas para lograr una completa imbibición. Este tiempo lo dividiremos a su vez en 2 períodos de 12 horas cada uno.

A las 12 horas de estar las semillas sumergidas procedemos a sacarlas y orearlas (escurrirlas) durante 1 hora, acto seguido las sumergimos nuevamente por 12 horas para finalmente realizarles el último oreado. Mediante este fácil proceso estamos induciendo la rápida germinación de la semilla a través del estímulo que estamos efectuando a su embrión.

Esta pre-germinación nos asegura un crecimiento inicial vigoroso del FVH, dado que sobre las bandejas de cultivo estaremos utilizando semillas que ya han brotado y por lo tanto su posterior etapa de crecimiento estará más estimulada. El cambiar el agua cada 12 horas facilita y ayuda a una mejor oxigenación de las semillas (FAO, 2001).

Trabajos anteriores de Hidalgo (1985); citado por la FAO (2001), establecen que terminado el proceso de imbibición, aumenta rápidamente la intensidad respiratoria y con ello las necesidades de oxígeno. Este fenómeno bioquímico es lo que nos estaría explicando por qué se acelera el crecimiento de la semilla cuando la dejamos en remojo por un periodo no superior a las 24 horas. Varias experiencias han demostrado que períodos de imbibición más prolongados no resultan efectivos en cuanto al aumento de la producción final de FVH.

Debemos recordar que la etapa de remojo o pre germinación debe ser realizada con las semillas colocadas dentro de bolsas de arpillera o plastillera, las cuales sumergimos en bidones o recipientes de material plástico, no debiéndose usar recipientes metálicos dado que pueden liberar residuos u óxidos que son tóxicos para las semillas en germinación. Es importante utilizar suficiente cantidad de agua para cubrir completamente las semillas y a razón de un mínimo de 0.8 a 1 litro de agua por cada kilo de semilla (FAO, 2001).

D. 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).

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

E. 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 FVH 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).

F. Riego de las bandejas

El agua que se va usar para riego del FVH 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 FVH 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 FVH. 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 FVH 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 aspersión 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).

G. Cosecha y rendimiento

La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse más allá del día 12. La cosecha del FVH 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)

2.2.7. Propiedades físicas y químicas de un cuerpo de agua para la truchicultura (rango óptimo)

- Temperatura del agua : 10 – 16°C
- Oxígeno Disuelto : 6.5 – 9 ppm
- pH : 6.5 – 8.5
- CO₂ : < 7ppm
- Alcalinidad : 20 – 200 mg/l CaCO₃
- Dureza : 60 – 300 mg/l CaCO₃
- NH₃ : No mayor de 0.02 mg/l
- H₂S : Máximo aceptado de 0.002 mg/l
- Nitratos : No mayor de 100 mg/l
- Nitritos : No mayor de 0.055 mg/l
- Nitrógeno amoniacal : No mayor de 0.012 mg/l
- Fosfatos : Mayores de 500 mg/l
- Sulfatos : Mayor de 45 mg/l
- Hierro : Menores de 0.1 mg/l
- Cobre : Menores de 0.05 mg/l
- Plomo : 0.03 mg/l
- Mercurio : 0.05 mg/l

(CEDEP y ANTAMINA, 2009)

2.2.8. 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).

2.2.9. Desperdicios metabólicos y alimento no ingerido

El alimento es un aditamento biológicamente activo que se supe al medio. En el mejor de los casos, se está aportando al medio del orden de 1.3 toneladas de alimento por tonelada de pescado producido, del cual una parte va a convertirse en biomasa piscícola, otra parte en residuos metabólicos de los peces de diferente potencial contaminante, y otra parte pasa al medio sin haber sido aprovechado por los peces. Tanto los residuos metabólicos como los restos de alimento

desperdiciado se depositan en el fondo generando problemas de eutroficación, que se vuelven contra el medio y, en consecuencia, contra la propia producción.

Una parte del alimento que se provee a los peces no es aprovechado, bien al ser arrastrado fuera de la jaula antes de que pueda ser comido, bien al no ser ingerido por haber sido provisto en exceso o en raciones inadecuadas. El alimento que no se ingiere puede ser arrastrado y dispersado por las corrientes de agua lejos de la instalación, o ser depositado en el fondo, cerca de las jaulas, en lugares donde su concentración provoca alteraciones ambientales importantes. La pérdida de alimento puede estar entre 1 y 15%, si bien en explotaciones poco eficientes esta cifra puede dispararse. El alimento que sí es ingerido es asimilado en parte por el pez, pasando a su torrente sanguíneo, siendo expulsadas las porciones no asimilables y los residuos metabólicos por medio de las heces, la orina, y las propias branquias. Los residuos principales los podemos agrupar en nitrogenados y fosfatados, además del propio dióxido de carbono. Todos estos residuos fertilizan el medio provocando la exacerbación del *fouling* (crecimiento de algas) en las jaulas y la eutroficación del fondo, con los efectos negativos que ello conlleva. Algunos son, además, directamente tóxicos, como el amoníaco no disociado (NH_3), mucho más perjudicial que el amoníaco ionizado (amonio). La relación entre amoníaco no disociado y amoníaco total depende de la temperatura y el pH. Por ejemplo, a pH 8.0 y 12°C, el porcentaje de amoníaco no disociado respecto del total en una disolución acuosa es 2.13; mientras a pH 8.5 e idéntica temperatura es 6.44%.

La concentración de amoníaco no disociado tolerada por las truchas se encuentra entre 0.025 y 0.1 mg/l. Niveles de concentración como este último, si bien pueden ser soportados, lo son a costa de producirse crecimientos lentos en los peces, e incrementando la mortalidad en exposiciones largas.

Algunos peces pueden alimentarse de parte de los residuos sólidos escapados de la jaula, si bien la finura de muchas de las partículas producidas las hace

inaprovechables y se depositan en el fondo directamente. Además de las propias características del alimento, existen otras circunstancias que afectan a la cantidad de nitrógeno y fósforo que se incorpora al medio: además de las características químicas del agua, la temperatura, la profundidad y las corrientes de agua influyen en la deposición de nutrientes. Una vez que los nutrientes se han depositado en el fondo, se produce un intercambio de equilibrio entre el sedimento y la columna de agua, estimándose que, de modo general, el 60% del fósforo y el 80% del nitrógeno de los residuos pasan a estado de disolución en la columna de agua.

Uno de los síntomas de la eutrofización generada por la hipernutrición del medio (incremento de los niveles de nutrientes disueltos) suele provocar un aumento de la producción de plancton, si bien se suele tratar de especies de alta tolerancia (poco exigentes en calidad ambiental).

Los cambios producidos por la hipernutrición del medio en las comunidades bénticas (del fondo del lago) dependen de los mismos factores antes citados (características químicas del agua, la temperatura, la profundidad y las corrientes). La primera consecuencia de dicho aumento de residuos orgánicos es la proliferación de microorganismos, que aumentan la demanda de oxígeno produciendo un incremento de la anaerobiosis (propiedad de los procesos metabólicos que se producen en ausencia o pobreza de oxígeno). Estas circunstancias reducen la diversidad de los organismos bénticos y favorecen la dominancia de aquellos más tolerantes con la contaminación orgánica, como oligoquetos y larvas de quironómidos, afectando muy negativamente a organismos sensibles como las esponjas, perdiéndose hasta un 90-100% de la riqueza faunística total.

Es importante, al elegir el emplazamiento para las jaulas, evaluar la capacidad productiva en términos de asimilación de fósforo por el medio, y de la dispersión y acumulación de residuos metabólicos (fecales y urinarios) y de alimento no ingerido. Hay que tener en cuenta que las alteraciones en el medio pueden

revelarse en tan solo unos pocos meses, pero su recuperación puede llevar años, siempre y cuando no se hayan producido daños irreversibles como la extinción de especies especialmente sensibles.

El alimento de calidad, y más cuando es extruido, minimiza la pérdida de materiales finos y de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno hacia el medio. La mejor tasa de asimilación de estos alimentos hace que se deba emplear menos cantidad y ello reduce el impacto sobre el medio.

Cuando hablamos de instalaciones situadas en tierra (estanques) el problema de la contaminación orgánica debe ser también tenido en cuenta, ya que el agua sobre fertilizada al final vuelve al medio a través de un efluente, donde están presentes cantidades importantes de restos de alimento no digerido y residuos metabólicos excretados (ambos se encuentran en forma disuelta y de sólidos en suspensión). En estos casos, tras la aplicación de sistemas de aislamiento y retención de residuos, podemos estar obteniendo del orden de 300 g de lodo por kilogramo de pienso aportado (Santiago y Ambrosio, 2006).

2.2.10. Bacterias Nitrificantes

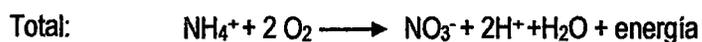
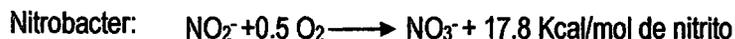
Existen dos tipos de bacterias las que colectivamente ejecutan la nitrificación. Estas son generalmente catalogadas como bacterias quimioautótrofas, ya que obtienen la energía de la oxidación de compuestos inorgánicos a diferencias de las bacterias heterótrofas que obtienen energía oxidando compuestos orgánicos. Las bacterias de oxidación del amoníaco obtienen su energía oxidando amoníaco no ionizado a nitrito como: *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* y *Nitrosovibrio*. Las bacterias de oxidación del nitrito al nitrato son: *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* y *Nitrospina*. Las bacterias nitrificantes son principalmente autotróficas obligadas, que consumen dióxido de carbono, y aeróbicas obligadas, que requieren oxígeno para desarrollarse. Las bacterias heterotróficas crecen significativamente más rápido que las bacterias nitrificantes y prevalecen por sobre estas compitiendo por espacio y oxígeno en los biofiltros

cuando las concentraciones de materia orgánica disuelta y particulada son altas. Por ese motivo, es imperativo que la fuente de agua para los biofiltros sea mantenida tan limpia como sea posible con la mínima concentración de sólidos totales (Galli y Miguel, 2007).

2.2.11. Proceso de nitrificación

Normalmente, los ambientes acuáticos tienen la capacidad de metabolizar los residuos orgánicos mediante la acción de poblaciones bacterianas que habitan tanto en la columna de agua como en los sedimentos marinos, siendo estas colonias las encargadas del reciclamiento de nutrientes (N y P) en el mar (Pantoja *et al.*, 2004).

Es un proceso de dos etapas, donde primero el amoníaco (NH_3) se oxida a nitrito y luego el nitrito se oxida a nitrato. Los dos pasos de la reacción normalmente se llevan a cabo secuencialmente, ya que el primer paso tiene una tasa de reacción cinética más alta que el segundo paso, el proceso es normalmente controlado por la oxidación del amoníaco y como resultado no existe una apreciable acumulación de nitrito.



(Galli y Miguel, 2007)

2.2.12. 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).

2.2.13. 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).

2.2.14. Formación de la biopelícula

Se describe dos tipos de adhesión para describir la formación de las biopelículas: inicialmente los primeros microorganismos se adhieren al soporte (adsorción). Mientras el soporte disponga de superficie sin colonizar este proceso se puede seguir produciendo, pero, simultáneamente, ocurre el segundo mecanismo de adhesión: la adhesión de células o unidades formadoras de colonias que se unen a las células que ya están unidas al soporte, de modo que esta adhesión se lleva a cabo desde la fase líquida a la biopelícula (y no directamente al soporte) (Proyecto MELISSA, 2009).

La formación natural de biopelículas se inicia sobre un soporte debido al crecimiento bacteriano. La formación y desarrollo de biopelículas sobre un soporte se puede describir macroscópicamente, mediante varias etapas:

- a) Fase de latencia: el soporte no está cubierto de biomasa.

- b) Crecimiento dinámico: el soporte se recubre de una biopelícula.
- c) Fase de crecimiento lineal: la biomasa se acumula proporcionalmente al tiempo.
- d) Desprendimiento: ocurre cuando la biopelícula se ha desarrollado plenamente.

(Capdeville, 1992; citado en Proyecto MELISSA, 2009)

Otros autores citados por el proyecto MELISSA, 2009 (Nogueira *et al.*,1998; Tijhuis *et al.*,1995), diferencian tres estadios en el proceso de colonización del soporte por parte de las células:

- I. Adhesión de las células
- II. Formación de biopelícula en las concavidades del soporte (la biopelícula no recubre el soporte de forma homogénea).
- III. Extensión de la biopelícula desde las áreas colonizadas al resto de superficie (hasta que el soporte está cubierto de forma completa u homogénea).

Luego que el espesor de la biopelícula se incrementa, siendo este crecimiento contrarrestado únicamente por el desprendimiento de la biomasa, llevándolo a una situación pseudoestacionaria en la que la velocidad de formación de biomasa es igual a la del desprendimiento (Garrido, 1996; citado por proyecto MELISSA, 2009)

2.2.15. Provisión de las condiciones adecuadas para la nitrificación

Diversos factores ambientales perjudican el trabajo de las bacterias nitrificadoras. Entre los principales, merecen destacarse:

- a) El bajo oxígeno en el interior del biofiltro (ideal por encima de 4 mg/l)
- b) Bajo pH en el agua del biofiltro (ideal entre 7 y 8)
- c) Acumulo de material orgánico en el biofiltro, que favorece el desarrollo de bacterias heterotróficas y otros organismos que compiten con las bacterias

nitrificadoras por el espacio de fijación en los sustratos, por el oxígeno y por los nutrientes (Kubitza, 2006).

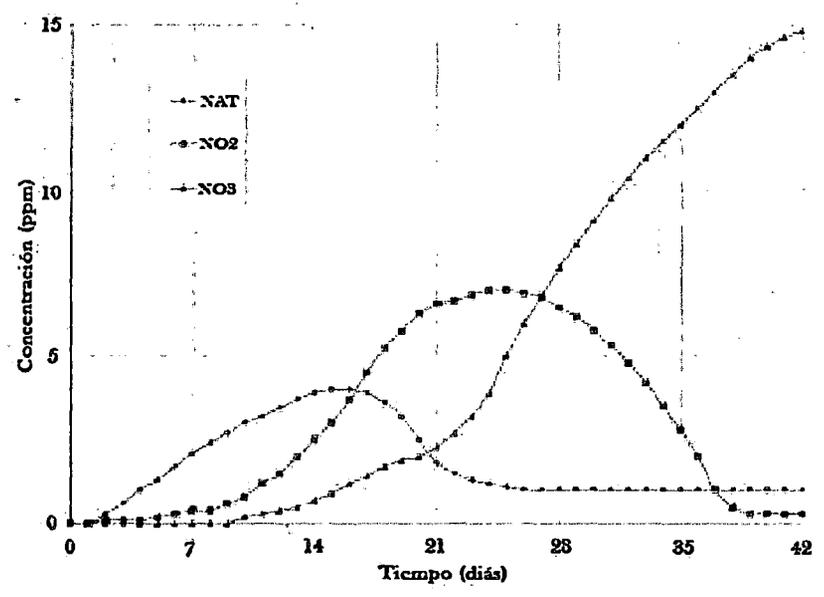
Galli y Miguel (2007) mencionan que los biofiltros nitrificantes han sido operados en un rango mucho más amplio de pH, desde 6 a 9 debido a la adaptación de las poblaciones bacterianas a las condiciones de operaciones reales. En la aplicación práctica la temperatura en la cual opera un biofiltro esta normalmente determinada por los requerimientos de las especies en cultivo y no por las necesidades de las bacterias del mismo.

2.2.16. Capacidad de nitrificación en los biofiltros

El biofiltro ideal sería el que pudiese remover el 100% del amoníaco de la alimentación, no producir nitrito, requerir de poca superficie, usar un medio de soporte barato, no requerir presión de agua ni mantenimiento para operar y no capturar sólidos. Desgraciadamente, no hay un biofiltro que cumpla con todas esas ideas. Como el biofiltro de lecho fluidizado son eficientes para la remoción del amoníaco; normalmente removiendo el 50 – 90% de este durante cada paso en aplicaciones en acuicultura de agua fría y moderadamente fría (Galli y Miguel, 2007).

La puesta en marcha típica de un biofiltro hasta desarrollar su capacidad máxima se muestra en la siguiente figura:

Figura 3: Proceso de desarrollo del biofiltro



Nótese que las concentraciones de amonio y nitrito llegan a un máximo los días 14 y 28 respectivamente, y la acumulación de nitrato se inicia después de 21 días. La adición de amonio y nitrito al sistema desde el primer día podría acelerar el proceso. Al observar una caída en el nivel de nitrito, nos indica que el reactor está totalmente activado. La capacidad de remoción de amoniaco de los filtros biológicos es ampliamente dependiente de la superficie total disponible para el desarrollo de las bacterias nitrificantes. Para una eficiencia máxima, el medio de soporte usado debe balancear una alta superficie específica (superficie por volumen de unidad) con una suficiente fracción de hueco para un adecuado comportamiento hidráulico (Galli y Miguel, 2007).

2.2.17. 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 contendor, 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).

Los filtros de baja carga, son filtros lentos en los cuales el agua hace un solo paso 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 Vásquez, 2003).

Tabla 4: 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.

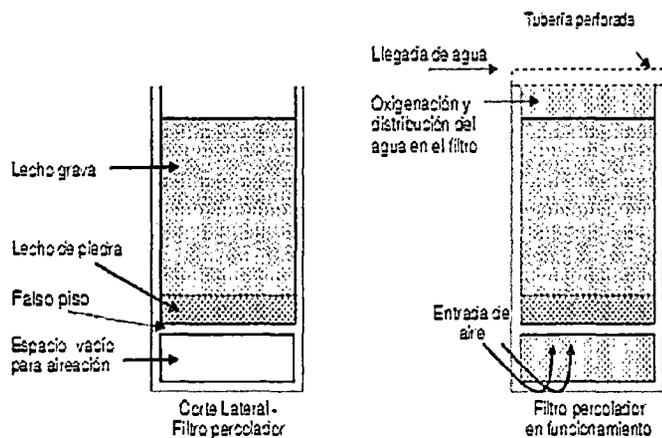
Fuente: Metcalf y Eddy, Inc. tomado por Valdez y Vázquez (2003).

Tabla 5: 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).

Figura 4: Diseño de un filtro percolador



2.3. Hipótesis

H₀: El efluente de las pozas de trucha no tiene efecto en la producción del forraje verde hidropónico de cebada.

H_a: El efluente de las pozas de trucha tiene efecto en la producción del forraje verde hidropónico de cebada.

2.4. Identificación de variables

2.4.1. Variables

Variable independiente:

- Efluente de las pozas de truchas.

Variables dependientes:

- Cantidad de nitrato en el efluente del biofiltro.
- Cantidad de nitrógeno en el forraje verde hidropónico
- Altura de la planta del forraje verde hidropónico.
- Producción de biomasa del forraje verde hidropónico.

CAPÍTULO 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 Jomef", que está ubicado, en la Región Huancavelica, Provincia de Huancavelica, Distrito de Ascensión, en el sector de Castilla Puquio, en la Av. Santos Villa N° 1464.

Se encuentra ubicado geográficamente a una altura de 3716 msnm, latitud sur 12° 46' 48.57", longitud este 74° 59' 15.53"

3.2. Tipo de investigación

Aplicada

3.3. Nivel de investigación

Experimental

3.4. Método de investigación

Medición cuantitativa de la concentración de nitrato, tamaño de planta, porcentaje de nitrógeno en el FVH y producción de biomasa

3.5. Diseño de investigación

Se empleó el diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y diez repeticiones. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = u + T_i + S_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable de la j-esima observación, debido al efecto del i-esimo tratamiento

u = Media poblacional

T_i = Efecto del i-esimo tratamiento

S_{ij} = Error experimental

Tratamientos:

T0: 100% agua de entrada a las pozas de trucha (testigo)

T1: 50% de efluente del biofiltro y 50% agua de entrada a las pozas de trucha.

T2: 100% efluente del biofiltro.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población.

Se usó semillas de cebada (*Hordeum vulgare*) para la producción de forraje verde hidropónico en bandejas (unidad experimental). El total de la población es de 30 bandejas.

3.6.2. Muestra

El tamaño de muestra fue de 10 bandejas por tratamiento (T0, T1 Y T2).

Las muestras requeridas para cada variable fueron:

- Velocidad de crecimiento: 1 planta/unidad experimental.
- Cantidad de nitrógeno: área de 100 cm² de FVH/unidad experimental.
- Peso de la biomasa: 10 unidades experimentales/tratamiento (10 bandejas).

3.6.3. Muestreo

Para la medición de la altura de la planta, se señaló 1 planta al azar por unidad experimental (bandeja), con anillos de 0.5 cm de diámetro, los cuales fueron medidos los días 4, 8, 12 y 16.

Para determinar el porcentaje de nitrógeno del FVH, se tomó un área de 100 cm² de cada bandeja (10 bandejas por tratamiento), esta toma de muestra se realizó los días 4, 8, 12 y 16 para el análisis en laboratorio.

Para determinar la biomasa se tomó las 10 unidades experimentales de cada tratamiento.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

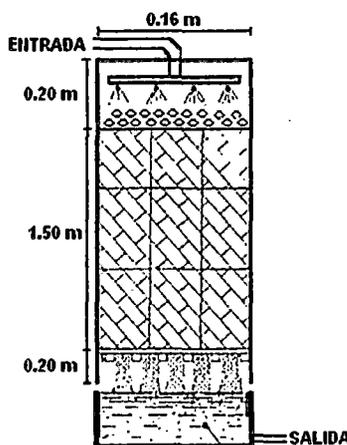
3.7.1. Biofiltro

Se tomó 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.

A. Construcción

Se construyó un recipiente cilíndrico, que no permitiese el paso de la luz, con una medida de 0.16 m de diámetro x 1.90 m de altura. La altura del lecho fue de 1.50 m.

Figura 5: Diseño del biofiltro percolador



- **Volumen del lecho:**

$$\pi r^2 \times 1.50 \text{ m} = 0.03 \text{ m}^3$$

Dónde: r (radio) es 0.08 m

- **Área del lecho:**

$$1 \text{ m}^3 \text{ — } 62.5 \text{ m}^2 \text{ de área superficial}$$

$$0.03 \text{ m}^3 \text{ — } X$$

$$X = 1.875 \text{ m}^2$$

- **Tasa de carga hidráulica:**

$$1 \text{ m}^2 \text{ — } 2.5 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$1.875 \text{ m}^2 \text{ — } X$$

$$X = 4.7 \text{ m}^3 / \text{día}$$

B. Funcionamiento

- El efluente de las pozas de trucha fue rociada sobre el lecho del biofiltro con un rociador rotatorio.
- La aireación fue por unos agujeros situados en la parte superior, y en la parte inferior se instaló una rendija de ventilación, que a la vez tenía la función de soporte de todo el peso del lecho.
- El material a usar como lecho fue 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. Las piedras previo a su utilización fueron lavadas, luego desinfectadas con lejía, con el fin de obtener un lecho libre de microorganismos, que no sean los que se necesiten para el proceso de la nitrificación.
- Como inóculo para la realización del cultivo en el biofiltro (formación de biopelícula) se utilizó la biopelícula adherida a la superficie de las pozas de cultivos de trucha (ver foto 1.), las cuales fueron colectados en un envase, luego llevados al lecho del biofiltro, el

69

cual por acción de la gravedad y la presión del agua fue distribuido en todo el lecho.

- La salida del efluente del biofiltro (parte inferior) fue constante, del cual se tomó la muestra suficiente para el análisis de nitrato; también se tomó lo necesario para el riego del FVH.
- Las dos pozas de las que salía el efluente tenía 1000 truchas por cada poza en promedio, son truchas de engorde de 4 por kilogramo, de 9 meses; las cuales fueron alimentadas con alimento balanceado "Acabado" en la cantidad de 8 kg por poza/día.
- Cada 5 días se monitoreará el pH del biofiltro y de las pozas de trucha.
- La temperatura del efluente del biofiltro y del invernadero se monitoreo a diario.

3.7.2. Acopio de muestra de agua

La toma de muestra del efluente del biofiltro fue en envases estériles, el cual se enjuagaba varias veces con el efluente saliente del biofiltro, luego se colectó la muestra para el análisis en el laboratorio.

La muestra se tomó cuando el biofiltro estuvo completamente desarrollado. Así mismo se acopió una muestra del efluente de las pozas de trucha.

3.7.3. Medición de compuestos nitrogenados

Se utilizó el espectrofotómetro HACH DR 2800

- **Determinación de nitrato:** se usó el método de "Reducción de cadmio" (ver anexo 16)

3.7.4. Proceso de producción de forraje verde hidropónico

La instalación de las unidades experimentales (bandejas) fue a una misma altura, los cuales tuvieron una ubicación de 5 x 6, luego se les designó por sorteo el tratamiento (T_0 , T_1 y T_2) que iba tomar cada uno.

Tabla 6: Distribución de las unidades experimentales

T0	T2	T0	T0	T1	T1
T0	T1	T0	T2	T1	T1
T1	T1	T1	T0	T2	T1
T0	T2	T2	T2	T2	T2
T0	T1	T0	T0	T2	T2

1º. Determinación del porcentaje de germinación

Se colocó 100 semillas distribuidas uniformemente en toda la superficie de la placa petri, en 3 grupos o repeticiones. Este proceso se mantuvo por 16 días; cada día se anotó cuantas semillas germinaban. Luego se sacó un promedio de las tres repeticiones, cuyo resultado es el porcentaje de germinación. El método fue tomado del INIA.

2º. Selección de impurezas

Con un tamizador se eliminaron todas las impurezas como: piedras, paja, tierra, semillas partidas las que son luego fuente de contaminación, semillas de otras plantas, etc.

3º. Pesado

Se pesó las muestras de semilla en una balanza analítica (381 g de cebada/bandeja), luego fue colocada en bolsas "tipo malla".

4º. Lavado

Se procedió a lavar las semillas hasta que el agua este limpia, luego se procedió a desinfectar con una solución de hipoclorito de sodio al 1% (lejía), en la cantidad de 10 ml de lejía por cada litro de agua. En esta solución se dejó remojar las semillas por 3 minutos, para luego proceder a enjuagarlo con agua limpia hasta que desaparezca el olor a lejía.

5º. Remojo y germinación de las semillas

Se dejó remojar las semillas en agua por 12 horas, luego por 1 hora se dejó orear, para luego hacer remojar por 12 horas más. Luego se colocó en una cámara oscura por 48 horas para su germinación, el cual se le mantenía húmedo con riegos.

6º. Siembra en las bandejas e inicio de los riegos

Luego que las semillas hayan germinado, se les distribuyó sobre las bandejas (área: 51.5 cm x 37 cm), la cual no sobrepasó los 2 cm de altura o espesor. En la cámara oscura se le mantuvo hasta la emergencia de las plantas.

7º. Riego de las bandejas

Se pasó las bandejas al área de luz. El riego del forraje verde hidropónico se realizó con un aspersor; uno por tratamiento.

Con respecto al momento de riego, cuando las hojas del cultivo se encontraban levemente húmedas al igual que su respectiva masa radicular no se aplicaba el riego.

El riego se realizó de 4 a 6 veces por día, dependiendo del clima, el primer riego fue a las 8:00 am y el último riego fue a las 4:00 pm. Si el clima era muy caluroso requerirá más riegos.

8º. Cosecha y rendimientos

El día 16 se realizó la cosecha.

3.7.5. Determinación del porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico

El porcentaje de nitrógeno fue determinado por el método de Micro Kjeldahl, que está basado en la cuantificación de nitrógeno total de una muestra de forraje. Este método se divide en tres etapas: digestión, destilación y titulación.

El proceso fue el siguiente; por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente, se destruye la materia orgánica, quedando el nitrógeno convertido en sulfato de amonio, el cual liberado en la destilación como amoniaco y capturado como borato de amino, cuya cantidad es cuantificada por titulación con ácido clorhídrico.

3.8. Procedimiento de recolección de datos

3.8.1. Tiempo de desarrollo de la biopelícula

Se determinó por observación según lo dicho por Capdeville, (1992); citado en proyecto MELISSA (2009), quien menciona que la formación y desarrollo de la biopelícula sobre un soporte se puede describir macroscópicamente; la observación del desprendimiento de la biopelícula será señal de que el biofiltro está plenamente desarrollado.

Entonces según lo dicho, se comprobó por tres observaciones que el biofiltro ya estaba desarrollado:

- Al tacto se comprobó si los sustratos estaban cubiertos por una sustancia de estructura gelatinosa.
- Al lavar las muestras de sustrato con agua se verifico si se desprendía la biopelícula adherida sobre él, el cual se observaría suspendido en la masa de agua del envase.

- Observación de biopelícula desprendida del lecho en el fondo del envase de recepción del efluente proveniente del biofiltro. El desprendimiento ocurre cuando el biofiltro se ha desarrollado plenamente. (Capdeville, 1992; citado en Proyecto MELISSA, 2009)

3.8.2. Determinación de nitrato

Cuando el biofiltro estaba desarrollado, se procedió a determinar la cantidad de nitrato presente en el efluente del biofiltro y del efluente de las pozas de trucha. El proceso consistió en:

- 1°. Recolección de la muestra del efluente el día en que se observó el desprendimiento de la biopelícula (señal de que está desarrollado el biofiltro).
- 2°. Con el equipo HACH DR 2800 y el "Método de reducción de cadmio" se determinó la cantidad de nitrato presente en la muestra. (Ver foto N° 02)
La medición del nitrato fue en mg/l $N-NO_3^-$.

3.8.3. Altura de planta

- 1°. Se tomó aleatoriamente una planta de la región central de cada bandeja, el cual fue marcado con un anillo de 0.5 cm de diámetro.
- 2°. Se midió con una cinta métrica desde la base del grano hasta la última hoja apical, en centímetros.

Este procedimiento se repitió los días 4, 8, 12, y 16.

3.8.4. Producción de biomasa

- 1°. Se retiró el forraje verde hidropónico de la bandeja.
- 2°. Se dejó orear por 24 horas, colgados para eliminar el exceso de agua retenido, especialmente entre las raíces.
- 3°. Pesado del forraje verde hidropónico, en gramos.

Este procedimiento se realizará el día 16 (día de cosecha)

3.8.5. Determinación del porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico

- 1°. Secado de la muestra en el horno a 65° por 48 horas
- 2°. Molido de la muestra para obtenerlo en forma de polvo
- 3°. Se pesa 0.3 gr de muestra
- 4°. Se mezcló 1 gr de catalizador (sulfato de cobre + sulfato de potasio)
- 5°. Se agregó 2.5 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄), se dejó reposar por un periodo de 15 minutos aproximadamente
- 6°. Colocar en el equipo de digestión Kjeldahl a una temperatura de 150 °C/30 min, luego a una temperatura de 400 °C hasta que finalice la digestión. La coloración verde claro es señal de término de la digestión.
- 7°. Luego se pasó a la destilación
- 8°. Para finalmente proceder con la titulación, el cual se realizó con ácido clorhídrico.
- 9°. El cálculo del porcentaje de nitrógeno fue con la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{V \times N(F) \times 14 \times 100}{(\text{Peso de muestra en mg})}$$

Dónde:

V = volumen gastado del HCl, en la titulación

N = normalidad del HCl

F = factor de corrección de HCl

3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La concentración de nitrato, obtenida del agua del biofiltro y del agua de entrada a las pozas de trucha fueron representados en un diagrama de barras.

Los datos de la producción de forraje verde hidropónico se procesó con el software estadístico Statistical Analysys System (SAS 9.2). El análisis de datos incluyó:

- Análisis de varianza para altura de planta a los 4 días.
- Análisis de varianza para altura de planta a los 8 días.

- Análisis de varianza para altura de planta a los 12 días.
- Análisis de varianza para altura de planta a los 16 días.
- Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno a los 4 días.
- Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno a los 8 días.
- Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno a los 12 días.
- Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno a los 16 días.
- Análisis de varianza para la producción de biomasa.
- Comparación de medias, por la prueba de Tukey al 5%.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Desarrollo del biofiltro

El tiempo que demoró en desarrollarse el biofiltro fue de 90 días, día en que se observó el desprendimiento de las células en la interfase biopelícula/fase líquida (ver foto 03), comprobando lo observado con lo dicho por Capdeville (1992).

Además se observó el recubrimiento total de las muestras extraídas del medio de soporte (piedras) por biopelícula, lo cual comprueba lo dicho por Nogueira (1998) y Tijhuis (1995), que en el último estadio de proceso de colonización del soporte por parte de las células es cubierto de forma completa u homogénea. Lo cual se comprobó por tacto, al sentir una sustancia de estructura gelatinosa que cubría el soporte; luego al lavar este soporte con un chorro de agua se desprendió la biopelícula que la cubría (ver foto N° 04)

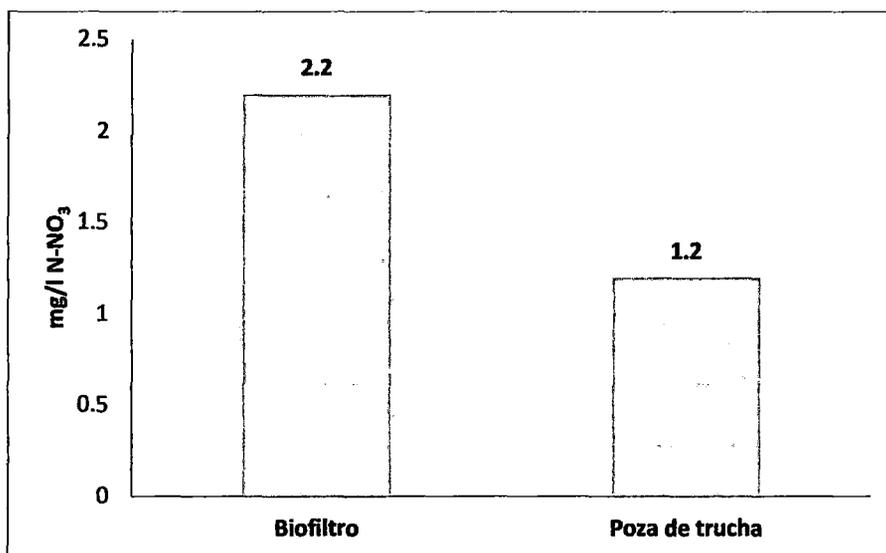
Luego de este momento de desarrollo del biofiltro, paso a una situación pseudoestacionaria, en la que la velocidad de formación de biomasa o biopelícula era casi igual a la de desprendimiento, Garrido (1996).

El biofiltro se desarrolló a un pH promedio de 8.23 lo cual no concuerda con lo dicho por Kubitza, 2006 que el pH ideal para el desarrollo del biofiltro es de 7 a 8, pero Galli y Miguel, 2007, mencionan que los biofiltros pueden ser operados en un rango mucho más amplio, desde 6 a 9 debido a la adaptación de las poblaciones bacterianas. La temperatura promedio en la cual se desarrolló el biofiltro fue de 14.9 °C.

4.2. Generación de Nitrato

En el presente trabajo, cuando el biofiltro estaba desarrollado, la cantidad de nitrato presente en el efluente del biofiltro fue de 2.2 mg/l N-NO_3^- y del efluente de las pozas de trucha fue de 1.2 mg/l N-NO_3^- . El aumento de generación de nitrato en el biofiltro fue de 1 mg/l N-NO_3^- más que el de la poza de trucha, concordando con Puigcerver y Tort (1996), Arcos (2002), Ambrosio y Tejero (2000), en que los biofiltros aumentan la generación de nitratos (nitrificación) de aguas residuales con fuente de nitrógeno (amonio). Los resultados del presente trabajo obtenidos en 90 días son superiores al obtenido por Sarmiento (2011), cuyo mejor resultado es del T3 (30 kg de trucha/ m^3) 0.03 mg/l a 0.23 mg/l obtenidos en 120 días, debido a que a mayor densidad de biomasa (cantidad de truchas) hay mayor generación de desechos (NH_3 , NO_2^- , NO_3^-), Sarmiento trabajo con 30 kg de trucha, en el presente trabajo se trabajó con 500 kg de trucha aproximadamente.

Figura 6: Generación de nitrato en el efluente de poza de trucha y en el biofiltro en el Asilo de Ancianos de Huancavelica.



4.3. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico

4.3.1. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia

El análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los cuatro días (Tabla N° 07) después de la emergencia, no presenta una diferencia significativa ($P < 0.05$) debido a la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

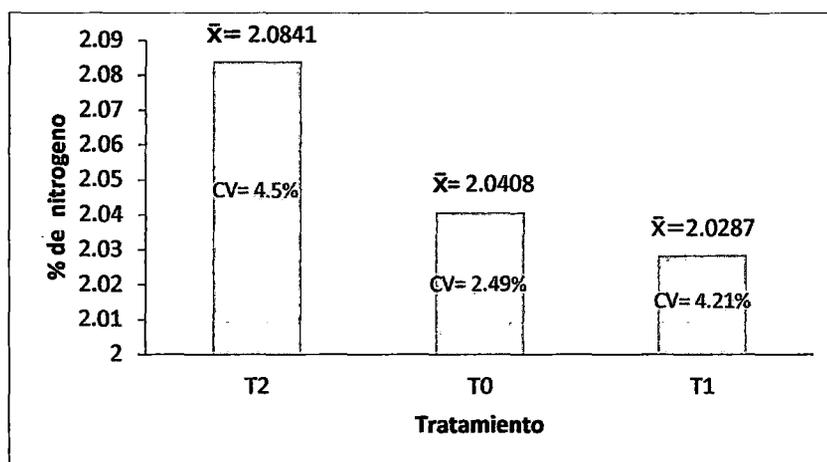
El coeficiente de variación fue 3.85% y una media general de 2.05% de nitrógeno en el forraje verde hidropónico.

Tabla 7: Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	0.01696820	0.00848410	1.36 ^{ns}
Error	27	0.16808460	0.00622536	
Total	29	0.18505280		

^{ns}: No significativo.

Figura 7: Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



4.3.2. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia

El análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los ocho días (Tabla N° 08) después de la emergencia, no presenta diferencia significativa debido a la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

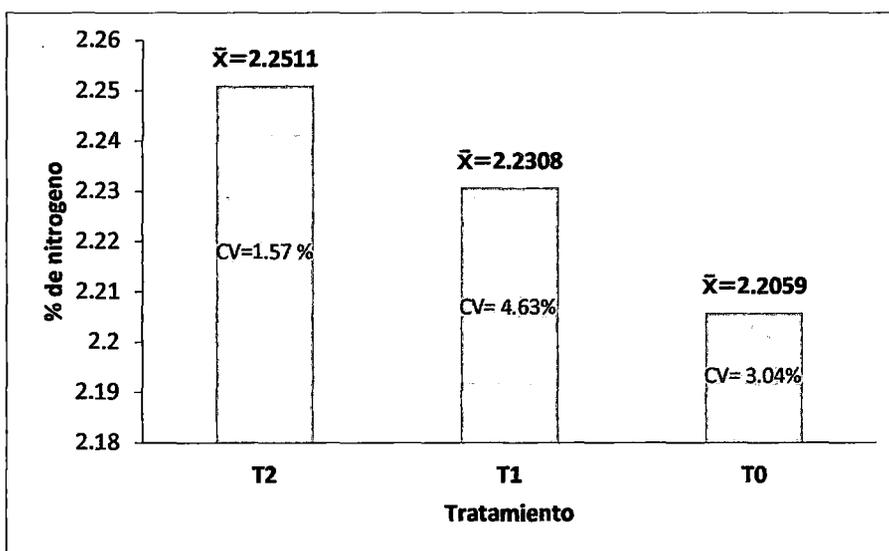
El coeficiente de variación fue 3.31% y una media general de 2.23% de nitrógeno en el forraje verde hidropónico.

Tabla 8: Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	0.01025047	0.00512523	0.94 ^{NS}
Error	27	0.14736140	0.00545783	
Total	29	0.15761187		

^{NS}: No significativo.

Figura 8: Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



4.3.3. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia

En el análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los doce días (Tabla N° 09) después de la emergencia, no presenta diferencia significativa debido a la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

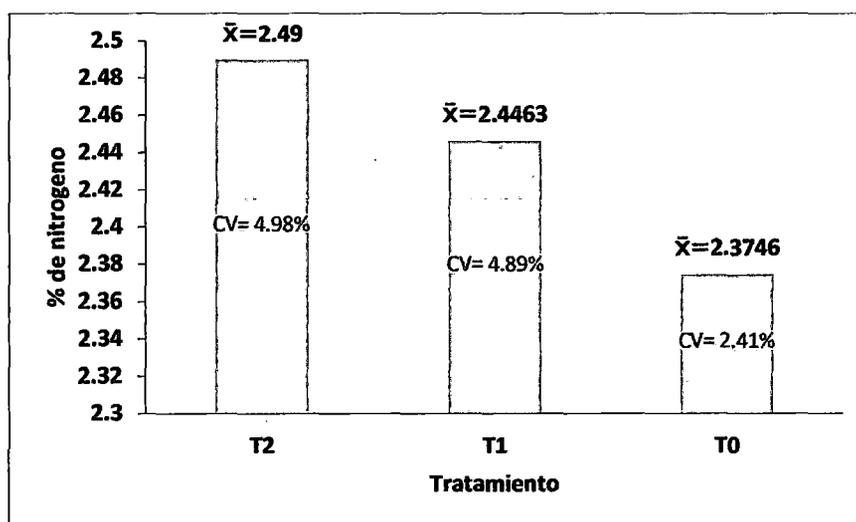
El coeficiente de variación fue 4.30% y una media general de 2.44% de nitrógeno en el análisis del forraje verde hidropónico.

Tabla 9: Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	0.06789247	0.03394623	3.08 ^{NS}
Error	27	0.29713050	0.01100483	
Total	29	0.36502297		

^{NS}: No significativo.

Figura 9: Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



4.3.4. Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia

En el análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico a los dieciséis días (Tabla N° 10) después de la emergencia, no presenta diferencia significativa debido a la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

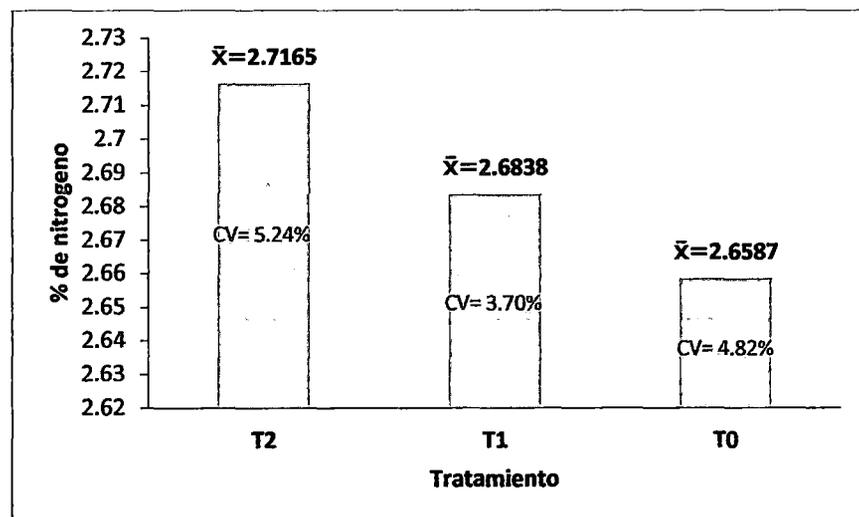
El coeficiente de variación fue 4.64% y una media general de 2.69% de nitrógeno en el análisis del forraje verde hidropónico.

Tabla 10: Análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	0.01674020	0.00837010	0.54 ^{ns}
Error	27	0.41927410	0.01552867	
Total	29	0.43601430		

^{ns}: No significativo.

Figura 10: Promedio y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de nitrógeno del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



Los valores obtenidos en proteína para el tratamiento 2 en el presente estudio es: 13.02% PT (2.08% N) a los 4 días, 14.07% PT (2.25% N) a los 8 días, 15.56% PT (2.49% N) a los 12 días y 16.98% PT (2.72% N) a los 16 días. Estos valores son superiores al obtenido por Contreras y Tunque (2004) que obtuvieron una media de 10.31% PT en el FVH de cebada a los 20 días de producción, Curasma y Quispe (2011) obtuvieron 16.4% PT a los 17 días de crecimiento siendo superado solo con el valor obtenido a los 16 días de crecimiento. El valor obtenido por Chang (1995) al final de su producción, es de 15% PT, lo cual es superado por el presente estudio (16.98% PT).

Tarrillo (2002) menciona valores que van desde 16 a 22% PT, el único valor obtenido en el presente estudio que se encuentra dentro de este rango es el del día 16 (16.98% PT).

La FAO (2001) menciona que a partir 12^{avo} día de producción se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH y Amaya (1998) muestra en el análisis de proteína del FVH con diferentes días de siembra que el mayor porcentaje de proteína se obtiene a los 12 días de siembra con 17.4% PT, luego pasado este día muestra decaimiento. Pero lo obtenido en el presente estudio muestra lo contrario, a 12 días de crecimiento se obtuvo 15.56% PT, el día 16 aumentó el porcentaje de proteína a un valor de 16.98% PT. La causa de la diferencia del porcentaje de proteína podría atribuirse a los diferentes factores que se dan en el tiempo y espacio, en los que fueron elaboradas cada investigación.

4.4. Altura de planta en el forraje verde hidropónico

4.4.1. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 4 días, después de la emergencia

En el análisis de varianza para la altura de planta en el forraje verde hidropónico a los cuatro días (Tabla N° 11) después de la emergencia, presenta una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) debido a la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 17.5% y una media general de 5.6 cm de altura en la medición de la altura del forraje verde hidropónico.

Tabla 11: Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	11.25	5.625	5.86**
Error	27	25.93	0.96037037	
Total	29	37.18		

** : Significativo, a 1% de probabilidad, por la prueba de F

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico, evaluada a los 4 días después de la emergencia, en relación a los tratamientos aplicados, muestra que:

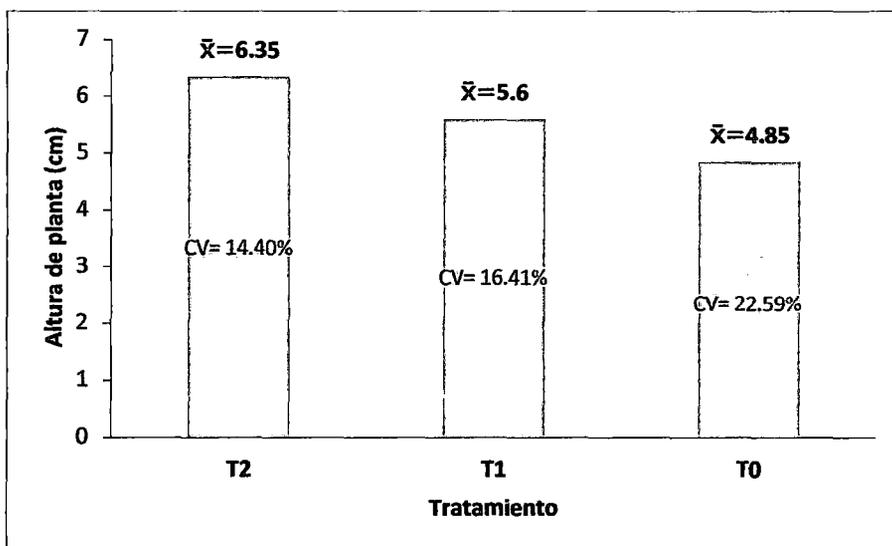
- Los tratamientos T2 y T1 no presenta diferencia significativa
- Existe diferencia significativa en los tratamientos T2 y T0
- No hay diferencia significativa en los tratamientos T1 y T0
- La mayor altura se obtuvo con el tratamiento T2; y la menor altura se obtuvo con el tratamiento T0.

Tabla 12: Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Altura de planta (cm)
T2	6.35 A
T1	5.60 AB
T0	4.85 B

Letras distintas indican diferencia estadística por la prueba de Tukey, a 5% de probabilidad.

Figura 11: Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 4 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



4.4.2. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 8 días, después de la emergencia

El análisis de varianza para la altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 8 días (Tabla N° 13) después de la emergencia, presenta diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) debido a la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 19.27% y una media general de 7.1 cm de altura en la medición de la altura del forraje verde hidropónico.

Tabla 13: Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	36.00066667	18.00033333	9.65**
Error	27	50.374	1.8657037	
Total	29	86.37466667		

** : Significativo, a 1% de probabilidad, por la prueba de F

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico, evaluada a los 8 días, después de la emergencia, en relación a los tratamientos aplicados, muestra que:

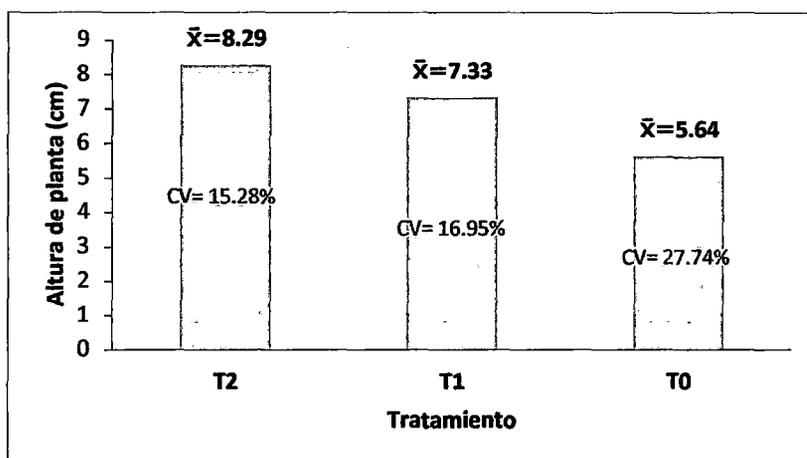
- Entre los tratamientos T2 y T1 no existe diferencia significativa
- Existe diferencia significativa en los tratamientos T2 y T0
- Existe diferencia significativa en los tratamientos T1 y T0
- La mayor altura se obtuvo con el tratamiento T2; y la menor altura se obtuvo con el tratamiento T0.

Tabla 14: Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Altura de planta (cm)
T2	8.29 A
T1	7.33 A
T0	5.64 B

Letras distintas indican diferencia estadística por la prueba de Tukey, a 5% de probabilidad.

Figura 12: Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 8 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



4.4.3. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 12 días, después de la emergencia

El análisis de varianza para la altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 12 días (Tabla N° 15) después de la emergencia, presenta una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) para la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 19.3% y una media general de 8.53 cm de altura en la medición de la altura del forraje verde hidropónico.

Tabla 15: Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	37.6506667	18.8253333	6.94**
Error	27	73.236	2.7124444	
Total	29	110.8866667		

** : Significativo, a 1% de probabilidad, por la prueba de F

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico, evaluada a los 12 días, después de la emergencia, en relación a los tratamientos aplicados, muestra que:

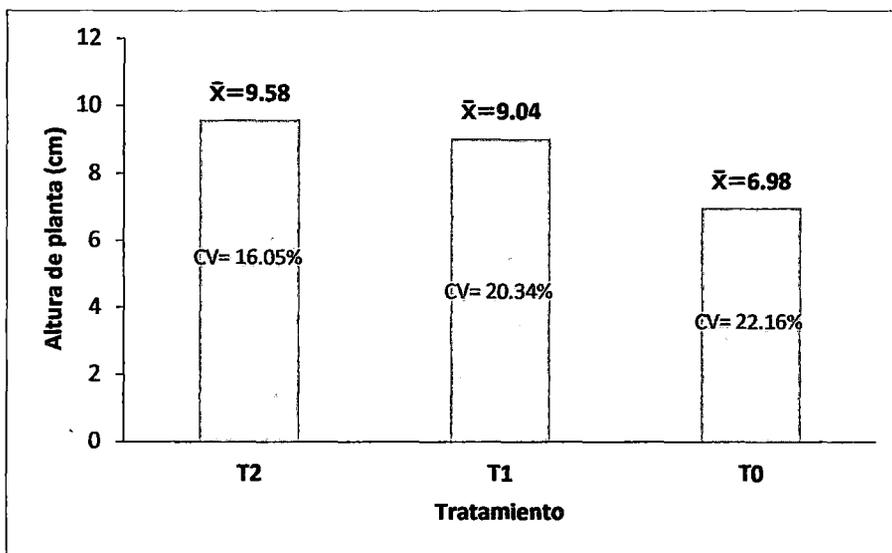
- Entre los tratamientos T2 y T1 no existe diferencia significativa
- Existe diferencia significativa en los tratamientos T2 y T0
- Existe diferencia significativa en los tratamientos T1 y T0
- La mayor altura se obtuvo con el tratamiento T2; y la menor altura se obtuvo con el tratamiento T0.

Tabla 16: Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Altura de planta (cm)
T2	9.58 A
T1	9.04 A
T0	6.98 B

Letras distintas indican diferencia estadística por la prueba de Tukey, a 5% de probabilidad.

Figura 13: Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 12 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



4.4.4. Altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 16 días, después de la emergencia

El análisis de varianza para la altura de planta en el forraje verde hidropónico a los 16 días (Tabla N° 17) después de la emergencia, presenta una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) debido a la aplicación del efluente de pozas de trucha como fuente de nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 15.8% y una media general de 9.76 cm de altura en la medición de la altura del forraje verde hidropónico.

Tabla 17: Análisis de varianza para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	36.446	18.223	7.67**
Error	27	64.186	2.3772593	
Total	29	100.632		

** : Significativo, a 1% de probabilidad, por la prueba de F

En la prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico, evaluado a los 16 días, después de la emergencia, en relación a los tratamientos aplicados, muestra que:

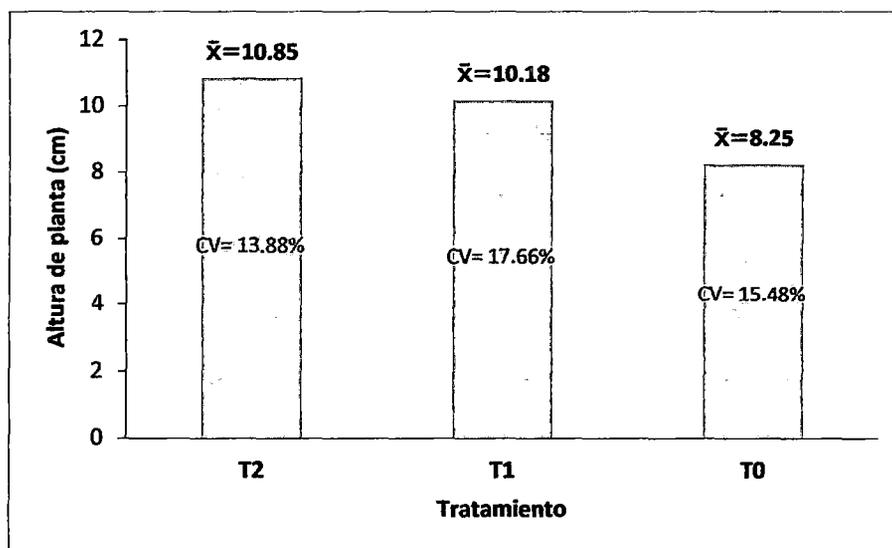
- Entre los tratamientos T2 y T1 no existe diferencia significativa
- Existe diferencia significativa en los tratamientos T2 y T0
- Existe diferencia significativa en los tratamientos T1 y T0
- La mayor altura se obtuvo con el tratamiento T2; y la menor altura se obtuvo con el tratamiento T0.

Tabla 18: Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Altura de planta (cm)
T2	10.85 A
T1	10.18 A
T0	8.25 B

Letras distintas indican diferencia estadística por la prueba de Tukey, a 5% de probabilidad.

Figura 14: Promedio y coeficiente de variación (CV) de la altura de planta del forraje verde hidropónico a los 16 días después de la emergencia, según los tratamientos aplicados.



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 promedio de 20 – 25 cm, Contreras y Tunque (2004) obtuvieron en su parcela que solo contenía cebada 16.78 cm de altura a los 20 días de producción, Castro y Ccencho (2008) obtuvieron con la solución nutritiva de la UNH una altura de 17.19 cm y con la solución de la UNA - la Molina 15.75 cm, registrados el día 16 después de la siembra, siendo superiores al presente estudio la cual obtuvo una media máxima de 10.85 cm de altura, pero es superior al obtenido por Ruiz y Ramos (1999), que mencionan un valor de 10.12 cm de altura con 15 días de crecimiento.

4.5. Producción de la biomasa de forraje verde hidropónico

El análisis de varianza para la producción de biomasa a los 16 días (Tabla N° 19), después de la emergencia, presenta una diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) debido a la aplicación del efluente de poza de trucha como fuente de nitrógeno.

El coeficiente de variación fue de 7.47% y una media general de 7.51 kg/m².

Tabla 19: Análisis de varianza para la producción de biomasa de forraje verde hidropónico.

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	2	31.77263227	15.88631613	50.48**
Error	27	8.49723310	0.31471234	
Total	29	40.26986537		

** : Significativo, a 1% de probabilidad, por la prueba de F

En la prueba de Tukey al 5% para la producción de biomasa a los 16 días después de la emergencia, mediante la aplicación del efluente de poza de trucha, muestra que:

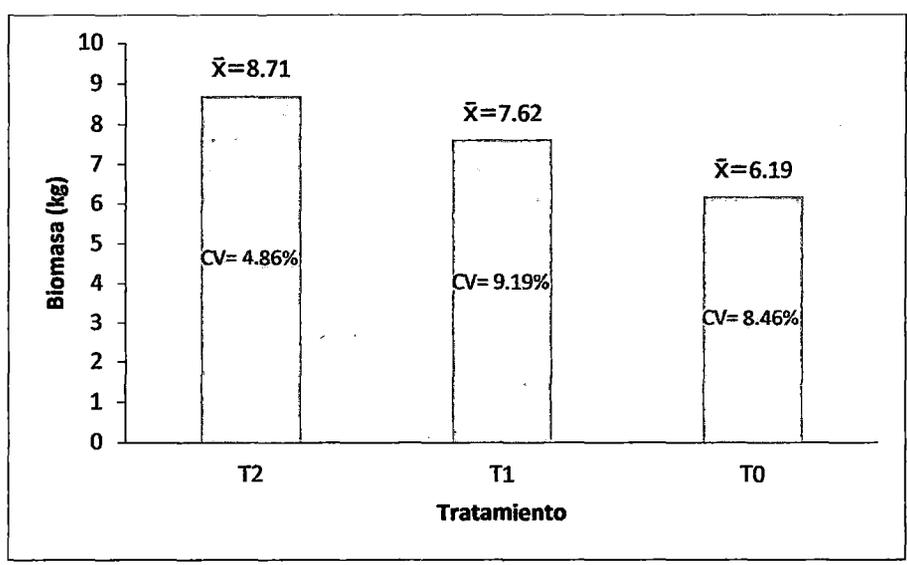
- Existe diferencia significativa entre los tres tratamientos.
- La mayor producción de biomasa se obtuvo con el tratamiento T2, y la menor producción se obtuvo con el tratamiento T0.

Tabla 20: Prueba de Tukey al 5% para la producción de biomasa.

Tratamiento	Biomasa (kg)
T2	8.7075 A
T1	7.6205 B
T0	6.1943 C

Letras distintas indican diferencia estadística por la prueba de Tukey, a 5% de probabilidad.

Figura 15: Promedio y coeficiente de variación (CV) de la producción de biomasa del forraje verde hidropónico.



La producción de FVH obtenido en el presente trabajo es de 1.398 kg/bandeja obtenido de 0.381 kg de semilla (de 1 kg de semilla seria 3.7 kg FVH), es inferior a lo mencionado por Tarrillo (2008) que menciona de 1 kg de semilla se logra 6 a 8 kg de FVH y de la FAO (2001) que menciona producciones de 12 a 18 kg de FVH de 1 kg de semilla.

La producción de FVH por metro cuadrado (m²) es de 6.71 kg/m², obtenido en este trabajo, pero es inferior al obtenido por Contreras y Tunque (2004) que es de 1386 gr/1480 cm², que transformado a metros cuadrados, da 9.37 kg/m² aún es más grande la diferencia con el obtenido por Castro y Ccencho (2008), que obtuvieron 31.43 Kg/m² FVH y 37.65 kg/m² con diferentes soluciones nutritivas.

Por los resultados obtenidos en el presente trabajo, en la generación de nitrato en el biofiltro (presencia de nitrógeno para las plantas), concordamos con Cortez et al. (2008) que observó en sus resultados de análisis químico de las aguas residuales, 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 – en su caso la lechuga – salvo el potasio y el magnesio. Pero no encontró diferencias significativas entre cultivares en la productividad y el peso fresco de las plantas (lechuga), pero en el presente trabajo si se encontró diferencias significativas en cuanto a la altura de planta y peso fresco de la biomasa del FVH.

CONCLUSIONES

- El biofiltro quedó completamente desarrollado a los 90 días, desde su inicio en funcionamiento, a una temperatura promedio de 14.9 °C y un pH promedio de 8.23. En este día se observó el desprendimiento de las células en la interfase biopelícula/fase líquida; además se observó el recubrimiento total de las muestras extraídas que sirvieron como medio de soporte (piedras) por la biopelícula, siendo esta la última fase del proceso de colonización del soporte por parte de las células, cubriéndolas de forma completa u homogénea.
- La generación de nitrógeno de nitrato (N-NO₃) en la poza de trucha fue de 1.2 mg/l N-NO₃ y en el biofiltro fue de 2.2 mg/l N-NO₃. Por lo tanto es posible nitrificar el amoníaco presente en el efluente de pozas de trucha.
- En el porcentaje de nitrógeno presente en el forraje verde hidropónico a los 4, 8, 12 y 16 días de toma de muestra, no se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos aplicados al forraje verde hidropónico.
- En el crecimiento de la planta hubo un efecto altamente significativo ($P < 0.01$). Según la prueba de Tukey al 5% el tratamiento T2 en los días 4, 8, 12 y 16 de medición de altura se ubicó en el rango A, el tratamiento T1 se ubicó en el rango B y el tratamiento T0 (testigo) se ubicó en el rango C. El día de la cosecha (día 16) con el tratamiento T2 se obtuvo una media de 10.85 cm, con el tratamiento T1 se obtuvo una media de 10.18 cm y con el tratamiento T0 se obtuvo una media de 8.25 cm.

- En la producción de biomasa hubo un efecto altamente significativo ($P < 0,01$), obteniéndose con el tratamiento T2: 8,7 kg/m² FVH, con el T1: 7,62 kg/m² FVH y con el T0: 6,19 kg/m² FVH a los 16 días de producción.
- Es factible utilizar el efluente de piscigranjas para la producción de forraje verde hidropónico para el crecimiento y biomasa.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda procesar el efluente de las piscigranjas – ejemplo instalando biofiltros – , para su utilización como fuente de nutrientes para las plantas y con el fin de no contaminar las cuencas hidrológicas.
- Es necesario realizar más investigaciones del proceso de nitrificación de los efluentes de las piscigranjas.
- También es necesario realizar investigaciones para identificar los microorganismos que participan en el proceso de la nitrificación, con el fin de obtener mayores poblaciones de éstos y por tanto obtener una mejor tasa de nitrificación.
- Realizar trabajos de investigación para determinar a qué tiempo el porcentaje de proteína es mayor en el forraje verde hidropónico.
- Realizar investigaciones en cuanto al porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico con el uso de efluentes de piscigranjas.
- Se recomienda utilizar el efluente de piscigranjas para la producción de forraje verde hidropónico, en cuanto a altura y biomasa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **AMAYA, C. 1998.** Cultivos hidropónicos. Bogotá, Colombia.
- **AMBROSIO M. J.; Tejero I. 2000.** Reducción simultanea de DBO (C), NH₄⁺ y desnitrificación de un reactor de biopelícula. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Mendoza - Argentina.
- **ARCOS, D. R. 2002.** Calidad de agua en un sistema de recirculación con biofiltro para la producción intensiva de post-larvas de camarón *litopenaeus vannamei*. Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas. Guayaquil – Colombia.
- **BUSCHMANN, A.H. 2001.** Impacto Ambiental de la Acuicultura, el estado de la investigación en Chile y el mundo. Terram Publicaciones. Santiago – Chile.
- **BUSCHMANN A.H.; FORTT A. 2005.** Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable (Santiago - Chile). Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA. 58 – 64 pp.
- **CASTRO, P.; CCENCHO, E. 2008.** Influencia de dos soluciones nutritivas en la composición química y producción de la cebada hidropónica. Tesis Ing. Zootecnista. UNH. Huancavelica, Perú.
- **CEDEP Y ANTAMINA. 2009.** Manual de Crianza de la Trucha. Ragash– Perú.

- **CHANG, R. 1995.** Producción de forrajes y germinados. En Hidroponía un nuevo campo en la agricultura, centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral. Departamento de Biología de la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú, p.59.
- **CHANG M.; HOYOS M.; RODRÍGUEZ A. 2000.** Producción de Forraje Verde Hidropónico. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.
- **CONTRERAS J. L.; TUNQUE M. 2004.** Evaluación del rendimiento de la arveja, cebada y trigo en asociación, en la producción de germinados hidropónicos. Tesis Ing. Zootecnista. UNH. Huancavelica - Perú.
- **CORTEZ G.; ARAUJO J.; BELLINGIERI P.; DALRI A. 2008.** Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alfafa em hidroponia (Brasil). Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental. 495 – 498 pp.
- **CURASMA A.; QUISPE J. 2011.** Efecto de la sustitución gradativa del alimento balanceado por el germinado de cebada en raciones de cuyes (*Cavia Porcellus*) en la etapa de crecimiento. Tesis Ing. Zootecnista. UNH. Huancavelica - Perú.
- **FAO, (2001).** Forraje Verde Hidropónico. Manual técnico. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- **GALLI O.; MIGUEL F. 2007.** Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. CENADAC. Argentina.
- **HACH. 2005.** DR 2800. Manual del usuario. 1º edición. HACH Company. Alemania.
- **INIA. 2012.** Curso a distancia de sistema de producción de vacuno de leche. Perú.

- **INNOVAQUA** [homepage on the internet]. **2011**. Empresa INNOVAQUA. c2012 [Consultado 15 de agosto]. <http://www.innovaqua.com/>
- **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 forraje verde hidropónico de cebada para la alimentación de cuyes. INIA. Junín - Perú.
- **Proyectos BOFISH, 2009**. Anteproyecto Acuaponia Rural. Disponible en: www.acuaponia.com. México.

- **Proyecto MELISSA. 2009.** Alternativa de sistema de soporte de vida micro-ecológico (Micro-Ecological Life Support System Alternative). Agencia Europea del Espacio. España.
- **PUIGSERVER M.; TORT LL. 1996.** Evaluación de dos medios bacterianos aceleradores del proceso de nitrificación en filtros biológicos de cultivos marinos. Universidad Autónoma de Barcelona. Unidad de Fisiología Animal. Facultad de Ciencias. 08193 Bellaterra (Barcelona), España.
- **RAMOS, C. 2009.** Principios básicos en un sistema de acuaponía. [Epub ahead 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 forraje verde hidropónico 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.
- **RUIZ, B. J.; RAMOS, E. 1999.** Cultivo Hidropónico de Avena y Cebada. Resumen de la XXII Reunión Científica Anual de la Asociación Peruana de Producción Animal. Huancavelica. Perú.
- **SANTIAGO J. M.; AMBROSIO L. 2006.** Manual de capacitación para la aplicación de prácticas medioambientales en la pesca y la acuicultura. Puno-Perú.

- **SARMIENTO D. F. 2011.** Eficiencia productiva de trucha arco iris, bajo un sistema de recirculación de aguas con diferentes densidades de carga animal en la zona de Pailones, Iasa, Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército Departamento de Ciencias de la vida. Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. Sangolquí – Ecuador.
- **TARRILLO, M. 2002.** Artículo. Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal, disponible en: www.forrajehidroponico.com.
- **TARRILLO, H. 2008.** Forraje Verde Hidropónico. disponible en: www.forrajehidroponico.com
- **TECNOCAMPO. 2011.** Manual para producir forraje verde hidropónico (F.V.H.). HIDROPONICO s-6 (Serial on line). Disponible en PDF (www.tecnocampo.com.mx)
- **VARGAS, C. F. 2008.** Comparación productiva de forraje verde hidropónico 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.

ANEXO

ANEXO 1: Porcentaje de germinación

MUESTRA	DIAS DE GERMINACION																X
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	0	0	4	10	21	16	0	4	2	10	5	0	3	2	4	1	82
2	0	0	3	27	8	20	6	3	0	4	2	1	3	3	4	5	89
3	0	0	3	15	16	4	8	3	3	6	5	4	1	2	7	2	79
TOTAL																	250
PROMEDIO																	83

ANEXO 2: Registro del pH de la poza de trucha y del biofiltro

N°	FECHA	POZA DE TRUCHA		BIOFILTRO	
		1° medición	2° medición	1° medición	2° medición
1	10/01/2013	7.62	7.67	7.71	7.64
2	15/01/2013	7.51	7.24	8.08	8.06
3	20/01/2013	7.76	7.73	8.13	8.16
4	25/01/2013	8.15	8.15	8.22	8.08
5	30/01/2013	7.78	7.83	8.38	8.36
6	04/02/2013	7.8	7.78	8.18	8.21
7	09/02/2013	7.95	7.92	8.48	8.29
8	14/02/2013	7.88	7.85	8.28	8.24
9	19/02/2013	7.99	7.91	8.25	8.27
10	24/02/2013	7.81	7.86	8.18	8.23
11	01/03/2013	7.99	7.95	8.42	8.46
12	06/03/2013	7.81	7.77	8.16	8.16
13	11/03/2013	7.99	7.87	8.19	8.19
14	16/03/2013	7.76	7.78	8.16	8.19
15	21/03/2013	7.87	7.87	8.25	8.27
16	26/03/2013	7.69	7.85	8.19	8.21
17	31/03/2013	7.81	7.82	8.31	8.34
18	05/04/2013	7.83	7.8	8.35	8.38
19	10/04/2013	7.77	7.74	8.32	8.35
20	15/04/2013	7.82	7.97	8.37	8.34
21	20/04/2013	7.68	7.9	8.23	8.25
22	25/04/2013	7.88	7.89	8.23	8.22
23	30/04/2013	7.82	7.87	8.18	8.2
24	05/05/2013	7.81	7.84	8.26	8.3
MEDIA GENERAL		7.83		8.23	

ANEXO 3: Temperatura del invernadero y del biofiltro

N°	fecha	TEMPERATURA EN INVERNADERO °C			TEMPERATURA EN BIOFILTRO °C		
		8.00am	12:00pm	4:00pm	8.00am	12:00pm	4:00pm
1	10/01/2013	17.3	22.3	16	10.9	11.2	9.9
2	11/01/2013	12.7	12.1	13.9	10.9	11.1	10
3	12/01/2013	18.1	32	11.7	13	15.7	10.6
4	13/01/2013	20.2	29.6	17	11.7	16.4	14.3
5	14/01/2013	16.5	36.8	14.3	14.2	19.8	16.6
6	15/01/2013	19.9	40.2	15.9	15.9	26	12.7
7	16/01/2013	17.7	20.8	12.6	12.6	14.7	11
8	17/01/2013	12	23.9	13.6	9.9	15.1	12.7
9	18/01/2013	16.1	29.5	15.9	11.6	20.1	11.4
10	19/01/2013	17.7	36.5	19.5	17.1	21.5	14.3
11	20/01/2013	16.3	25.3	18.1	12.4	18.7	15.2
12	21/01/2013	19.4	15.6	11	12.8	13.9	10
13	22/01/2013	11.9	11.1	8.7	10.6	9.5	8.7
14	23/01/2013	16.5	28	9.2	12	18.2	9.1
15	24/01/2013	17.6	25.1	19.5	12.8	16.5	13.3
16	25/01/2013	19.8	33.9	26.3	17.7	22.7	17.2
17	26/01/2013	21	30.7	21.9	15	20.5	14.1
18	27/01/2013	19.4	32.9	20	14.3	17.7	10.1
19	28/01/2013	16.1	31.5	22.2	17.6	22.6	13.8
20	29/01/2013	15.2	17.5	19.3	8.8	13.9	14.3
21	30/01/2013	10.7	36.6	15.9	10.1	27.5	11.4
22	31/01/2013	14.9	36.5	19.5	17.1	21.5	14.3
23	01/02/2013	13.6	19.6	15.7	11.3	15.3	11.5
24	02/02/2013	17.3	15.2	16.3	13.7	12	13
25	03/02/2013	15	28.6	19.4	11.2	22.4	14.8
26	04/02/2013	10.2	26.6	14.2	9.7	21.3	12.8
27	05/02/2013	9.8	24.2	11.2	9.6	20.9	10
28	06/02/2013	18.2	26.6	11.9	12.3	21.3	10.2
29	07/02/2013	16.1	27.6	20.1	12.2	20.3	11.1
30	08/02/2013	14.9	37.5	20.3	20.6	27.9	16
31	09/02/2013	17.4	36.5	26.9	12.7	26	19.3
32	10/02/2013	18.4	22.8	18.5	13.8	16.2	8.4
33	11/02/2013	15.5	17.5	12.8	13.1	16.5	11.5
34	12/02/2013	14.5	17	17.2	11.7	14	13.6
35	13/02/2013	19	17.5	16	13.6	14	13.5
36	14/02/2013	14.2	28.8	19	10.3	22.3	13.5
37	15/02/2013	16.8	21.5	18.2	12	14	15
38	16/02/2013	13.6	23.2	13.4	11.5	18.3	12.5
39	17/02/2013	12.5	21.1	18	10	18.9	16.9
40	18/02/2013	10.9	21.8	19.2	9.4	19.1	15.1
41	19/02/2013	10.5	23.6	10.9	9.4	18.1	9.4

42	20/02/2013	20.1	22.9	13.2	15.6	16.7	11.3
43	21/02/2013	17.9	16.7	13.6	13.9	14.6	11.9
44	22/02/2013	19.5	15.4	15	14.1	12.7	12.7
45	23/02/2013	17.3	19.4	30.4	13	14.5	19.7
46	24/02/2013	9.6	18.9	20.5	9.2	15.6	16.1
47	25/02/2013	14.3	15.4	14	11.7	12.9	11.8
48	26/02/2013	17.4	23.2	14.1	12.9	16.6	12.4
49	27/02/2013	12.2	22.9	13.8	10.4	17.6	11.4
50	28/02/2013	21.2	31.3	16.9	15.4	21.4	13.7
51	01/03/2013	17.9	29.5	14.6	13.5	22.3	12.8
52	02/03/2013	19.2	17	10.6	10.7	14.9	10.2
53	03/03/2013	15.8	23.3	12.6	11.6	18.2	11.2
54	04/03/2013	21.2	21.1	12.6	12.5	16.4	12
55	05/03/2013	19.2	21.5	16.5	15.9	19.7	15.6
56	06/03/2013	16.8	28	18.8	12.5	21.7	14.6
57	07/03/2013	14	30.5	16.8	11.6	19.7	14.7
58	08/03/2013	16.8	18.7	22	12.6	14.4	18.3
59	09/03/2013	17.1	21.2	17	11.2	16.5	14.1
60	10/03/2013	17.9	26	14.3	12.1	19.9	12.5
61	11/03/2013	15.1	29.9	20	10.6	22	16
62	12/03/2013	18.3	29.3	10.8	12.8	20.6	10.1
63	13/03/2013	19.9	33.8	19.4	14.2	19.1	13.2
64	14/03/2013	19.4	28.3	16.4	13.4	17	11.7
65	15/03/2013	17.5	25.4	16.2	12.1	16.8	12.9
66	16/03/2013	24	24.7	17.9	14.7	16.4	13.5
67	17/03/2013	16.2	31.7	23.1	11.7	24.1	14.3
68	18/03/2013	19	37.7	25.7	13.6	22.1	16.1
69	19/03/2013	15	30	27.2	11.3	20.6	16.4
70	20/03/2013	15.6	37.4	24.1	10.6	22.3	14.2
71	21/03/2013	17.1	34.3	29	12.7	20.4	17.9
72	22/03/2013	16.6	35.5	26.5	12	20.2	17.4
73	23/03/2013	15	18	11	11	15	9
74	24/03/2013	20	24	19	15	18	12
75	25/03/2013	17.7	25.4	14.1	11.5	16.9	10.1
76	26/03/2013	15.3	35.2	16.4	11.1	20.3	12.6
77	27/03/2013	17.4	24.8	18.3	12.5	15.9	13
78	28/03/2013	14.1	17	17.9	10.6	12.6	13.2
79	29/03/2013	16.9	27.5	19.3	13.4	19	13.2
80	30/03/2013	15.3	21.3	19.4	11.4	20.4	12.6
81	31/03/2013	21.4	15.5	10	12.2	20.6	10.1
82	01/04/2013	17.6	34	20.2	12.9	24.5	12.5
83	02/04/2013	16.9	24.6	35.4	11.5	20.7	23.3
84	03/04/2013	14.2	34.2	15.7	8.5	24.4	19.7
85	04/04/2013	21.9	34	37.5	11.9	21	21.4
86	05/04/2013	19.4	32.9	22.6	12.2	21.9	15
87	06/04/2013	21	32	22.6	13.6	20.2	15.8

88	07/04/2013	23.5	25.8	15.9	12.6	17.6	11.5
89	08/04/2013	14.9	18	17	11.5	15	13.1
90	09/04/2013	20.6	18.3	30.8	12.7	13.7	22.3
91	10/04/2013	17.6	31.3	21.9	12.7	21.3	19.2
92	11/04/2013	21.4	35.3	34.2	11.3	21.5	20.5
93	12/04/2013	17.5	32.4	22.5	13.3	25.4	17.3
94	13/04/2013	21.4	29.6	17.6	12.6	20.1	13.2
95	14/04/2013	18.2	31.2	30.3	11.5	18.9	21
96	15/04/2013	18.7	34.4	14.6	11.3	20.5	11.3
97	16/04/2013	16.9	25.2	19.2	9.4	20	16.1
98	17/04/2013	18.8	34.7	18.4	10.2	23.1	15.1
99	18/04/2013	18.1	18.7	19	10.7	13.5	14.7
100	19/04/2013	20.6	31.5	22	10.9	20	16.4
101	20/04/2013	17.9	36	22.3	11.6	23.6	16.9
102	21/04/2013	20.3	37	18.5	10.6	25	17.1
103	22/04/2013	20.6	34.9	26.6	10.5	25.1	20.3
104	23/04/2013	17.4	24.5	16.2	9.1	20.1	14.6
105	24/04/2013	18.8	26.8	21.5	9.3	18.8	15.6
106	25/04/2013	20.1	30.4	21.2	9.5	23.1	16.7
107	26/04/2013	15.9	20.9	22.4	10.3	15	15.4
108	27/04/2013	21.7	29	11.7	12.5	15.9	9.8
109	28/04/2013	21.3	28.1	14.6	11.1	15.5	11.9
110	29/04/2013	15.8	23.3	11.3	10	16.4	9.6
111	30/04/2013	14.5	24.4	18.4	10.4	14.4	13.3
112	01/05/2013	16.9	25.2	14.3	10.4	18	12.2
113	02/05/2013	17.5	15.3	11.6	11.7	13.2	10.5
114	03/05/2013	19.6	29.6	16.2	10.6	19.8	12.6
115	04/05/2013	21.7	30.8	24.7	11.4	22.1	17.5
116	05/05/2013	21.6	34.6	19.3	11.6	24.7	15.2
117	06/05/2013	16.5	36	20.7	10.5	26	14.8
118	07/05/2013	17	22.9	13.5	7.2	15.6	10.6
119	08/05/2013	17.5	25.8	15.4	11.2	16.9	11.8
120	09/05/2013	16.7	27.1	17.4	12.3	19.6	13.2
PROMEDIO		17.2	26.6	18.2	12.1	18.8	13.8

ANEXO 4: Porcentaje de nitrógeno en el forraje verde hidropónico

Porcentaje de nitrógeno a los 4 días de crecimiento

N°	T0					T1					T2				
	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA
1	0.3002	1.333333333	6.35	1.974239395	12.3389962	0.3000	1.333333333	6.90	2.146666666	13.41666666	0.3001	1.333333333	7.15	2.223703209	13.89814506
2	0.3002	1.333333333	6.75	2.098600932	13.1162558	0.3002	1.333333333	6.15	1.912058627	11.95036642	0.3001	1.307189542	7.10	2.164855723	13.53034827
3	0.3001	1.333333333	6.80	2.114850605	13.2178163	0.3000	1.307189542	6.85	2.089324618	13.05827886	0.3000	1.290322581	6.80	2.047311829	12.79569893
4	0.3001	1.307189542	6.65	2.027646557	12.672791	0.3000	1.307189542	6.65	2.028322439	12.67701525	0.3001	1.290322581	6.65	2.001483377	12.50927111
5	0.3000	1.307189542	6.90	2.104575163	13.1535948	0.3001	1.307189542	7.05	2.14961026	13.43506412	0.3002	1.290322581	6.55	1.970729192	12.31705745
6	0.3002	1.299870130	6.50	1.97015626	12.3134766	0.3003	1.299870130	6.65	2.014950201	12.59343876	0.3001	1.290322581	6.80	2.046529619	12.79143512
7	0.3000	1.290322581	6.75	2.032258065	12.7016129	0.3001	1.299870130	6.60	2.001132956	12.50708097	0.3000	1.290322581	6.80	2.047311829	12.79569893
8	0.3001	1.282051282	6.80	2.033510197	12.7094387	0.3000	1.299870130	6.25	1.895643939	11.84777462	0.3001	1.290322581	6.90	2.076727113	12.97954446
9	0.3002	1.282051282	6.75	2.017885512	12.6117845	0.3000	1.299870130	6.60	2.0018	12.51125	0.3002	1.282051282	7.50	2.242095013	14.01309383
10	0.3002	1.282051282	6.80	2.032832812	12.7052051	0.3003	1.282051282	6.85	2.047098201	12.79436376	0.3001	1.282051282	6.75	2.018557917	12.61598698
	0.3001	1.3051	6.7050	2.0407	12.7541	0.3001	1.3070	6.6550	2.0287	12.6791	0.3001	1.2904	6.9000	2.0839	13.0246

Porcentaje de nitrógeno a los 8 días de crecimiento

N°	T0					T1					T2				
	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA
1	0.3002	1.242236025	7.20	2.085566145	13.0347884	0.3000	1.242236025	7.40	2.144927537	13.4057971	0.3000	1.242236025	7.65	2.217391305	13.85869585
2	0.3002	1.242236025	7.65	2.215914029	13.8494627	0.3000	1.242236025	7.30	2.115942029	13.22463768	0.3001	1.257861635	7.65	2.24453484	14.02834275
3	0.3001	1.242236025	7.50	2.173188648	13.582429	0.3002	1.257861635	8.10	2.37577464	14.8485915	0.3000	1.257861635	7.70	2.259958071	14.12473794
4	0.3001	1.257861635	7.45	2.185854191	13.6615887	0.3003	1.257861635	7.95	2.331002331	14.56876457	0.3001	1.234567901	7.90	2.274961844	14.21851152
5	0.3000	1.257861635	7.65	2.245283018	14.0330189	0.3002	1.257861635	7.90	2.317113538	14.48195961	0.3002	1.234567901	7.60	2.18784185	13.67401156
6	0.3002	1.257861635	7.70	2.258452436	14.1153277	0.3000	1.257861635	7.75	2.274633123	14.21645702	0.3002	1.234567901	7.75	2.231022939	13.94389337
7	0.3000	1.234567901	7.60	2.189300411	13.6831276	0.3000	1.257861635	7.80	2.289308176	14.3081761	0.3003	1.234567901	7.75	2.230280008	13.93925005
8	0.3003	1.234567901	7.90	2.273446717	14.209042	0.3000	1.257861635	7.60	2.230607966	13.94129979	0.3002	1.234567901	7.95	2.288597725	14.30373578
9	0.3002	1.234567901	8.00	2.302991421	14.3936964	0.3002	1.257861635	7.05	2.067803854	12.92377409	0.3003	1.234567901	8.00	2.30224524	14.38890328
10	0.3002	1.234567901	7.40	2.130267064	13.3141692	0.3001	1.234567901	7.50	2.159773902	13.49858689	0.3002	1.234567901	7.90	2.274204028	14.21377518
	0.3002	1.2439	7.6050	2.2060	13.7877	0.3001	1.2524	7.6350	2.2307	13.9418	0.3002	1.2397	7.7850	2.2511	14.0694

Porcentaje de nitrógeno a los 12 días de crecimiento

N°	T0					T1					T2				
	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA
1	0.3001	1.204819277	8.10	2.27634965	14.2271853	0.3002	1.204819277	8.00	2.247497652	14.04686032	0.3001	1.204819277	8.65	2.430916602	15.19322876
2	0.3001	1.204819277	8.45	2.374710438	14.8419402	0.3002	1.204819277	8.20	2.303685093	14.39803183	0.3002	1.234567901	8.60	2.475715777	15.47322361
3	0.3002	1.204819277	8.20	2.303685093	14.3980318	0.3001	1.234567901	8.40	2.41894677	15.11841731	0.3000	1.250000000	8.40	2.45	15.3125
4	0.3002	1.234567901	8.35	2.403747296	15.0234206	0.3000	1.234567901	8.55	2.462962962	15.39351852	0.3000	1.265822785	8.10	2.392405064	14.95253165
5	0.3001	1.234567901	8.35	2.435416667	15.2213542	0.3000	1.234567901	8.35	2.405349794	15.03343621	0.3002	1.265822785	8.45	2.494117846	15.58823654
6	0.3000	1.250000000	8.35	2.436708861	15.2294304	0.3000	1.250000000	8.60	2.508333333	15.67708333	0.3003	1.265822785	9.30	2.744091352	17.15057095
7	0.3000	1.265822785	8.25	2.418181818	15.1136364	0.3001	1.250000000	8.90	2.594968344	16.21855215	0.3003	1.265822785	8.70	2.5670532	16.0440825
8	0.3000	1.212121212	8.55	2.418181818	15.1136364	0.3000	1.250000000	9.05	2.639583333	16.49739583	0.3002	1.265822785	8.90	2.62694069	16.41837931
9	0.3001	1.212121212	8.30	2.346692516	14.6668282	0.3000	1.250000000	8.50	2.479166667	15.49479167	0.3003	1.212121212	8.30	2.345129618	14.65706011
10	0.3002	1.212121212	8.25	2.331778814	14.5736176	0.3001	1.212121212	8.50	2.403239324	15.02024578	0.3002	1.212121212	8.40	2.374174792	14.83859245
	0.3001	1.2236	8.3150	2.3745	14.8409	0.3001	1.2325	8.5050	2.4464	15.2898	0.3002	1.2487	8.5800	2.4901	15.5628

Porcentaje de nitrógeno a los 16 días de crecimiento

N°	T0					T1					T2				
	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA	PESO MUESTRA (g)	FACTOR DE CORRECCION	GASTO DE HCl (ml)	% DE NITROGENO	% DE PROTEINA
1	0.3003	1.257861635	9.15	2.682851739	16.7678234	0.3003	1.257861635	8.70	2.550908211	15.94317632	0.3001	1.257861635	9.25	2.713980036	16.96237522
2	0.3000	1.257861635	9.50	2.788259958	17.4266247	0.3003	1.257861635	9.10	2.668191347	16.67619592	0.3000	1.242236025	9.05	2.623188406	16.39492754
3	0.3002	1.257861635	8.70	2.551757947	15.9484872	0.3000	1.242236025	8.80	2.550724638	15.94202899	0.3003	1.265822785	9.15	2.699831814	16.87394884
4	0.3003	1.242236025	9.05	2.620567838	16.378549	0.3001	1.242236025	9.15	2.65129015	16.57056344	0.3001	1.250000000	9.00	2.624125292	16.40078307
5	0.3003	1.242236025	9.15	2.648524389	16.5595274	0.3000	1.242236025	9.15	2.652173913	16.57608696	0.3001	1.250000000	9.60	2.799066978	17.49416861
6	0.3002	1.265822785	9.00	2.656456877	16.6028555	0.3002	1.265822785	9.20	2.715489252	16.97180783	0.3001	1.250000000	8.60	2.507497501	15.67185938
7	0.3003	1.250000000	8.20	2.389277389	14.9329837	0.3000	1.265822785	9.70	2.864978903	17.90611815	0.3003	1.250000000	9.55	2.782634033	17.3914627
8	0.3000	1.290322581	9.50	2.860215055	17.8763441	0.3003	1.265822785	9.15	2.699831814	16.87394884	0.3003	1.250000000	9.35	2.724358974	17.02724359
9	0.3000	1.290322581	9.05	2.724731184	17.0295699	0.3002	1.265822785	9.05	2.671214971	16.69509357	0.3000	1.290322581	8.80	2.649462366	16.55913979
10	0.3002	1.290322581	8.85	2.662740969	16.6421311	0.3001	1.290322581	9.35	2.814115726	17.58822329	0.3000	1.290322581	10.10	3.040860216	19.00537635
	0.3002	1.2645	9.0150	2.6586	16.6165	0.3002	1.2596	9.1350	2.6839	16.7743	0.3001	1.2597	9.2450	2.7165	16.9781

30

ANEXO 5: Altura de planta del forraje verde hidropónico

N°	4 días			8 días			12 días			16 días		
	TO	T1	T2	TO	T1	T2	TO	T1	T2	TO	T1	T2
1	6.3	5.4	6.7	8.6	7.1	8.6	10.2	8.8	9.5	10.5	10.3	10.9
2	5.3	6	5.9	5.5	6.2	7.5	6.1	7.1	8.8	6.6	8.6	10.3
3	4.6	6.5	7.7	6.8	8.1	10.2	8.5	10.1	12.1	9.9	10.7	13.2
4	5.3	4.3	5.4	5.4	6.7	7	6.7	7.8	8	8.5	9.5	10
5	4.3	5.3	5.8	4.8	6.3	8.5	6	7	9	7.5	7.6	10.7
6	4.9	6	5.4	6.2	8.7	7.7	6.9	11.3	9.4	8.8	12.1	10.1
7	4	4.5	6.8	4.5	6	9.4	6	7.5	10.1	7.5	9	11.4
8	4	5.4	5.4	4.1	9.1	6.3	5.2	11.6	7.8	6.9	12.1	8.7
9	6.7	7.4	7.8	7.1	8.9	9.9	8.3	11.2	12.3	8.8	13.1	13.5
10	3.1	5.2	6.6	3.4	6.2	7.8	5.9	8	8.8	7.5	8.8	9.7
PROMEDIO	4.85	5.6	6.35	5.64	7.33	8.29	6.98	9.04	9.58	8.25	10.18	10.85

ANEXO 6: Biomasa del forraje verde hidropónico

N°	TRATAMIENTO T0			TRATAMIENTO 01			TRATAMIENTO 02		
	g/bandeja	Kg	Kg/m2	g/bandeja	Kg	Kg/m2	g/bandeja	Kg	Kg/m2
1	1010.000	1.010	6.291	1060.000	1.060	6.602	1425.000	1.425	8.876
2	1075.000	1.075	6.696	1100.000	1.100	6.851	1520.000	1.520	9.467
3	940.000	0.940	5.855	1275.000	1.275	7.941	1400.000	1.400	8.720
4	1060.000	1.060	6.602	1310.000	1.310	8.159	1480.000	1.480	9.218
5	1015.000	1.015	6.322	1280.000	1.280	7.973	1430.000	1.430	8.907
6	1075.000	1.075	6.696	1220.000	1.220	7.599	1360.000	1.360	8.471
7	920.000	0.920	5.730	1360.000	1.360	8.471	1380.000	1.380	8.595
8	1070.000	1.070	6.665	1270.000	1.270	7.910	1325.000	1.325	8.253
9	960.000	0.960	5.979	1310.000	1.310	8.159	1300.000	1.300	8.097
10	820.000	0.820	5.107	1050.000	1.050	6.540	1360.000	1.360	8.471
PROMEDIO	994.500	0.995	6.194	1223.500	1.224	7.621	1398.000	1.398	8.708

**ANEXO 7: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 4 días
Resolución por el SAS 9.2**

```
DATA EJEMPLO10;
TITLE "%NITROGENO 4 DIAS (4DIAS)";
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRATO $ REPLICA DIAS;
CARDS;
T0 1 1.974
T0 2 2.099
T0 3 2.115
T0 4 2.028
T0 5 2.105
T0 6 1.97
T0 7 2.032
T0 8 2.034
T0 9 2.018
T0 10 2.033
T1 1 2.147
T1 2 1.912
T1 3 2.089
T1 4 2.028
T1 5 2.15
T1 6 2.015
T1 7 2.001
T1 8 1.896
T1 9 2.002
T1 10 2.047
T2 1 2.224
T2 2 2.165
T2 3 2.047
T2 4 2.001
T2 5 1.971
T2 6 2.047
T2 7 2.047
T2 8 2.078
T2 9 2.242
T2 10 2.019
;
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO10;
CLASS NITRATO;
MODEL DIAS = NITRATO;
MEANS NITRATO /TUKEY; RUN;
```

Resultado por el SAS 9.2
 %NITROGENO 4 DIAS (4DIAS)
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2
Número de observaciones leídas		30
Número de observaciones usadas		30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.01696820	0.00848410	1.36	0.2730
Error	27	0.16808460	0.00622536		
Total corregido	29	0.18505280			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.091694	3.846574	0.078901	2.051200

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	0.01696820	0.00848410	1.36	0.2730

**ANEXO 8: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 8 días
Resolución por el SAS 9.2**

```

DATA EJEMPLO11;
TITLE "%NITROGENO 8 DIAS (8DIAS)";
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRATO $ REPLICA DIAS;
CARDS;
T0 1 2.086
T0 2 2.216
T0 3 2.173
T0 4 2.186
T0 5 2.245
T0 6 2.258
T0 7 2.189
T0 8 2.273
T0 9 2.303
T0 10 2.13
T1 1 2.145
T1 2 2.116
T1 3 2.376
T1 4 2.331
T1 5 2.317
T1 6 2.275
T1 7 2.289
T1 8 2.231
T1 9 2.068
T1 10 2.16
T2 1 2.217
T2 2 2.245
T2 3 2.26
T2 4 2.275
T2 5 2.188
T2 6 2.231
T2 7 2.23
T2 8 2.289
T2 9 2.302
T2 10 2.274
;
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO11;
CLASS NITRATO;
MODEL DIAS = NITRATO;
MEANS NITRATO /TUKEY; RUN;

```

Resultado por el SAS 9.2
 %NITROGENO 8 DIAS (8DIAS)
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA
 Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2
Número de observaciones leídas		30
Número de observaciones usadas		30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.01025047	0.00512523	0.94	0.4034
Error	27	0.14736140	0.00545783		
Total corregido	29	0.15761187			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.065036	3.313965	0.073877	2.229267

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	0.01025047	0.00512523	0.94	0.4034

**ANEXO 9: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 12 días
Resolución por el SAS 9.2**

```
DATA EJEMPLO12;
TITLE "%NITROGENO 12 DIAS (12DIAS)";
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRATO $ REPLICA DIAS;
CARDS;
T0 1 2.276
T0 2 2.375
T0 3 2.304
T0 4 2.404
T0 5 2.435
T0 6 2.437
T0 7 2.418
T0 8 2.418
T0 9 2.347
T0 10 2.332
T1 1 2.247
T1 2 2.304
T1 3 2.419
T1 4 2.463
T1 5 2.405
T1 6 2.508
T1 7 2.595
T1 8 2.64
T1 9 2.479
T1 10 2.403
T2 1 2.431
T2 2 2.476
T2 3 2.45
T2 4 2.392
T2 5 2.494
T2 6 2.744
T2 7 2.567
T2 8 2.627
T2 9 2.345
T2 10 2.374
;
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO12;
CLASS NITRATO;
MODEL DIAS = NITRATO;
MEANS NITRATO /TUKEY; RUN;
```

Resultado por el SAS 9.2
 %NITROGENO 12 DIAS (12DIAS)
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA
 Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2
Número de observaciones leídas		30
Número de observaciones usadas		30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.06789247	0.03394623	3.08	0.0622
Error	27	0.29713050	0.01100483		
Total corregido	29	0.36502297			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.185995	4.304693	0.104904	2.436967

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	0.06789247	0.03394623	3.08	0.0622

**ANEXO 10: Análisis de varianza del porcentaje de nitrógeno a los 16 días
Resolución por el SAS 9.2**

```

DATA EJEMPLO13;
TITLE "%NITROGENO 16 DIAS (16DIAS)";
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRATO $ REPLICA DIAS;
CARDS;
T0 1 2.683
T0 2 2.788
T0 3 2.552
T0 4 2.621
T0 5 2.650
T0 6 2.656
T0 7 2.389
T0 8 2.860
T0 9 2.725
T0 10 2.663
T1 1 2.551
T1 2 2.668
T1 3 2.551
T1 4 2.651
T1 5 2.652
T1 6 2.715
T1 7 2.865
T1 8 2.7
T1 9 2.671
T1 10 2.814
T2 1 2.714
T2 2 2.623
T2 3 2.7
T2 4 2.624
T2 5 2.799
T2 6 2.507
T2 7 2.783
T2 8 2.724
T2 9 2.649
T2 10 3.041
;
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO13;
CLASS NITRATO;
MODEL DIAS = NITRATO;
MEANS NITRATO /TUKEY; RUN;

```

Resultado por el SAS 9.2
 %NITROGENO 16 DIAS (16DIAS)
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO
 17:52 Sunday, January 11, 2009

Procedimiento ANOVA
 Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2

Número de observaciones leídas	30
Número de observaciones usadas	30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	0.01674020	0.00837010	0.54	0.5895
Error	27	0.41927410	0.01552867		
Total corregido	29	0.43601430			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.038394	4.638875	0.124614	2.686300

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	0.01674020	0.00837010	0.54	0.5895

**ANEXO 11: Análisis de varianza de la altura de planta a los 4 días
Resolución por el SAS 9.2**

```

DATA EJEMPLO4;
TITLE "ALTURA 4DIAS (4DIAS) NITRITOTO";
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRITO $ REPLICA DIAS;
CARDS;
T0 1 6.3
T0 2 5.3
T0 3 4.6
T0 4 5.3
T0 5 4.3
T0 6 4.9
T0 7 4
T0 8 4
T0 9 6.7
T0 10 3.1
T1 1 5.4
T1 2 6
T1 3 6.5
T1 4 4.3
T1 5 5.3
T1 6 6
T1 7 4.5
T1 8 5.4
T1 9 7.4
T1 10 5.2
T2 1 6.7
T2 2 5.9
T2 3 7.7
T2 4 5.4
T2 5 5.8
T2 6 5.4
T2 7 6.8
T2 8 5.4
T2 9 7.8
T2 10 6.6
;
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO4;
CLASS NITRITO;
MODEL DIAS = NITRITO;
MEANS NITRITO /TUKEY; RUN;

```

Resultado por el SAS 9.2
 ALTURA 4DIAS (4DIAS) NITRATO
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2

Número de observaciones leídas	30
Número de observaciones usadas	30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	11.25000000	5.62500000	5.86	0.0077
Error	27	25.93000000	0.96037037		
Total corregido	29	37.18000000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.302582	17.49973	0.979985	5.600000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	11.25000000	5.62500000	5.86	0.0077

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para DIAS

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error de cuadrado medio	0.96037
Valor crítico del rango estudentizado	3.50643
Diferencia significativa mínima	1.0866

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	NITRATO
A	6.3500	10	T2
A			
B A	5.6000	10	T1
B			
B	4.8500	10	T0

17

**ANEXO 12: Análisis de varianza de la altura de planta a los 8 días
Resolución por el SAS 9.2**

```
DATA EJEMPLO5;
TITLE "ALTURA 8 DIAS (8DIAS) NITRITOT1";
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRITO $ REPLICA DIAS;
CARDS;
T0 1 8.6
T0 2 5.5
T0 3 6.8
T0 4 5.4
T0 5 4.8
T0 6 6.2
T0 7 4.5
T0 8 4.1
T0 9 7.1
T0 10 3.4
T1 1 7.1
T1 2 6.2
T1 3 8.1
T1 4 6.7
T1 5 6.3
T1 6 8.7
T1 7 6
T1 8 9.1
T1 9 8.9
T1 10 6.2
T2 1 8.6
T2 2 7.5
T2 3 10.2
T2 4 7
T2 5 8.5
T2 6 7.7
T2 7 9.4
T2 8 6.3
T2 9 9.9
T2 10 7.8
;
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO5;
CLASS NITRITO;
MODEL DIAS = NITRITO;
MEANS NITRITO /TUKEY; RUN;
```

Resultado por el SAS 9.2
 ALTURA 8 DIAS (8DIAS) NITRATO
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2
Número de observaciones leídas		30
Número de observaciones usadas		30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	36.00066667	18.00033333	9.65	0.0007
Error	27	50.37400000	1.86570370		
Total corregido	29	86.37466667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.416797	19.27433	1.365908	7.086667

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	36.00066667	18.00033333	9.65	0.0007

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para DIAS

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error de cuadrado medio	1.865704
Valor crítico del rango estudentizado	3.50643
Diferencia significativa mínima	1.5146

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	NITRATO
A	8.2900	10	T2
A	7.3300	10	T1
B	5.6400	10	T0

**ANEXO 13: Análisis de varianza de la altura de planta a los 12 días
Resolución por el SAS 9.2**

```
DATA EJEMPLO6;  
TITLE "ALTURA 12DIAS (12DIAS) NITRITO";  
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";  
INPUT NITRITO $ REPLICA DIAS;  
CARDS;  
T0 1 10.2  
T0 2 6.1  
T0 3 8.5  
T0 4 6.7  
T0 5 6  
T0 6 6.9  
T0 7 6  
T0 8 5.2  
T0 9 8.3  
T0 10 5.9  
T1 1 8.8  
T1 2 7.1  
T1 3 10.1  
T1 4 7.8  
T1 5 7  
T1 6 11.3  
T1 7 7.5  
T1 8 11.6  
T1 9 11.2  
T1 10 8  
T2 1 9.5  
T2 2 8.8  
T2 3 12.1  
T2 4 8  
T2 5 9  
T2 6 9.4  
T2 7 10.1  
T2 8 7.8  
T2 9 12.3  
T2 10 8.8  
;  
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO6;  
CLASS NITRITO;  
MODEL DIAS = NITRITO;  
MEANS NITRITO /TUKEY; RUN;
```

Resultado por el SAS 9.2
 ALTURA 12 DIAS (12DIAS) NITRATO
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2
Número de observaciones leídas		30
Número de observaciones usadas		30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	37.6506667	18.8253333	6.94	0.0037
Error	27	73.2360000	2.7124444		
Total corregido	29	110.8866667			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.339542	19.30020	1.646950	8.533333

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	37.6506667	18.8253333	6.94	0.0037

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para DIAS

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error de cuadrado medio	2.712444
Valor crítico del rango estudentizado	3.50643
Diferencia significativa mínima	1.8262

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	NITRATO
A	9.5800	10	T2
A	9.0400	10	T1
B	6.9800	10	T0

**ANEXO 14: Análisis de varianza de la altura de planta a los 16 días
Resolución por el SAS 9.2**

```
DATA EJEMPLO7;
TITLE "ALTURA 16 DIAS (16DIAS) NITRITO";
TITLE2 "EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRITO $ REPLICA DIAS;
CARDS;
T0 1 10.5
T0 2 6.6
T0 3 9.9
T0 4 8.5
T0 5 7.5
T0 6 8.8
T0 7 7.5
T0 8 6.9
T0 9 8.8
T0 10 7.5
T1 1 10.3
T1 2 8.6
T1 3 10.7
T1 4 9.5
T1 5 7.6
T1 6 12.1
T1 7 9
T1 8 12.1
T1 9 13.1
T1 10 8.8
T2 1 10.9
T2 2 10.3
T2 3 13.2
T2 4 10
T2 5 10.7
T2 6 10.1
T2 7 11.4
T2 8 8.7
T2 9 13.5
T2 10 9.7
;
PROC ANOVA DATA = EJEMPLO7;
CLASS NITRITO;
MODEL DIAS = NITRITO;
MEANS NITRITO /TUKEY; RUN;
```

Resultado por el SAS 9.2
 ALTURA 16 DIAS (16DIAS) NITRATO
 EXPERIMENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRATO	3	T0 T1 T2

Número de observaciones leídas	30
Número de observaciones usadas	30

Variable dependiente: DIAS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	36.4460000	18.2230000	7.67	0.0023
Error	27	64.1860000	2.3772593		
Total corregido	29	100.6320000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIAS Media
0.362171	15.79750	1.541836	9.760000

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	36.44600000	18.22300000	7.67	0.0023

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para DIAS

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error de cuadrado medio	2.377259
Valor crítico del rango estudentizado	3.50643
Diferencia significativa mínima	1.7096

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	NITRATO
A	10.8500	10	T2
A	10.1800	10	T1
B	8.2500	10	T0

ANEXO 15: Análisis de varianza de la biomasa Resolución por el SAS 9.2

```
data EJEMPLO3;
TITLE "BIOMASA (BIOMASAFIN) 2 TRATAMIENTOS DE NITRITO";
TITLE2 "EXPERMIENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO";
INPUT NITRITO $ REPLICA BIOMASAFIN;
CARDS;
T0 1 6.291
T0 2 6.696
T0 3 5.855
T0 4 6.602
T0 5 6.322
T0 6 6.696
T0 7 5.73
T0 8 6.665
T0 9 5.979
T0 10 5.107
T1 1 6.602
T1 2 6.851
T1 3 7.941
T1 4 8.159
T1 5 7.973
T1 6 7.599
T1 7 8.471
T1 8 7.91
T1 9 8.159
T1 10 6.54
T2 1 8.876
T2 2 9.467
T2 3 8.72
T2 4 9.218
T2 5 8.907
T2 6 8.471
T2 7 8.595
T2 8 8.253
T2 9 8.097
T2 10 8.471
;
PROC ANOVA DATA=EJEMPLO3;
CLASS NITRITO;
MODEL BIOMASAFIN=NITRITO;
MEANS NITRITO/TUKEY; RUN;
```

Resultado por el SAS 9.2
 BIOMASA (BIOMASAFIN)3 TRATAMIENTOS DE NITRATO
 EXPERMIENTO COMPLETAMENTE ALEATORIZADO

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
NITRITO	3	T0 T1 T2
Número de observaciones leídas		30
Número de observaciones usadas		30

Variable dependiente: BIOMASAFIN

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	2	31.77263227	15.88631613	50.48	<.0001
Error	27	8.49723310	0.31471234		
Total corregido	29	40.26986537			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	BIOMASAFIN Media
0.788993	7.472491	0.560992	7.507433

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
NITRATO	2	31.77263227	15.88631613	50.48	<.0001

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para BIOMASAFIN

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error de cuadrado medio	0.314712
Valor crítico del rango estudentizado	3.50643
Diferencia significativa mínima	0.622

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	NITRITO
A	8.7075	10	T2
B	7.6205	10	T1
C	6.1943	10	T0

ANEXO 16: Método de reducción de cadmio

Nitrato

Método 8171

Método de reducción de cadmio

Sobres de reactivo en polvo o ampollas AccuVac

(0,1 – 10,0 mg/L NO₃⁻-N)

Campo de aplicación: Para agua, aguas residuales y agua de mar



Preparación de análisis

Antes de comenzar el análisis:

Para obtener resultados de mayor precisión determinar un valor blanco de reactivo para cada nuevo lote. Seguir el procedimiento utilizando agua desionizada en lugar de la muestra. Restar la lectura del blanco a la lectura de la muestra, respectivamente; con el instrumento se puede comparar automáticamente con el ajuste del blanco. (Véase el manual de instrucciones para obtener información adicional sobre el "Uso de un blanco de reactivo").

Después de la disolución del NitraVer 5 quedarán partículas de cadmio no oxidado. Esto no afecta al resultado final.

Este método es sensible a la técnica. El tiempo de agitación y la técnica influyen en la formación del color. Para obtener resultados de máxima precisión, realizar análisis sucesivos en una solución patrón de 10,0 mg/L de nitrato-nitrógeno. Ajustar los tiempos de agitación para obtener el resultado correcto.

Aclarar la cubeta y el tubo mezclador inmediatamente después de su utilización para eliminar todas las partículas de cadmio.

Las muestras usadas contienen cadmio. Productos químicos y soluciones para análisis deben descartarse de acuerdo a los reglamentos nacionales pertinentes. Los empaques de los productos deben descartarse según los reglamentos específicos del país o ser sometidos a un sistema de retorno.

Se requieren los siguientes elementos:

Cantidad

Análisis con sobres de reactivo en polvo:	
Sobres de reactivo nitrato NitraVer 5 en polvo	1
Cubeta de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 mL	2
Tapón, Neopreno, tamaño n°2, sólido	2
Análisis con ampollas AccuVac:	
Recoger por lo menos 40 mL de muestra en un vaso de precipitados de 50 mL	40 mL
Ampollas AccuVac de reactivo nitrato NitraVer 5	1
Vaso de precipitados, 50 mL	1
Cubeta de análisis, circular, 10 mL, con tapas roscadas	1

Nota: En la pág. 7 encontrará información para realizar el pedido de fungibles y repuestos.

Sobres de reactivo NitraVer 5

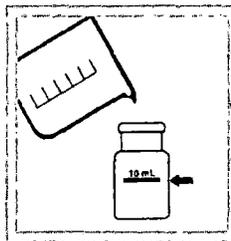
Método 8671



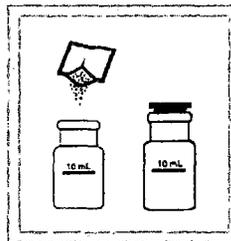
1. Seleccionar en la pantalla: **Programas almacenados**



2. Seleccionar el test.



3. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 mL hasta la marca de 10 mL con muestra.



4. **La muestra preparada:** añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo a la cubeta.

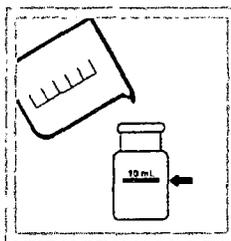
Tapar la cubeta con un tapón.



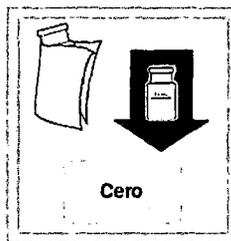
5. Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar **OK**. Comienza un período de reacción de 1 minuto. Agitar vigorosamente la cubeta hasta que suene el temporizador.



6. Después de que suene el temporizador, seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar **OK**. Comienza un período de reacción de 5 minutos. En presencia de nitrato, aparecerá un color ámbar.



7. **Preparación del blanco:** llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 mL hasta la marca de 10 mL con muestra.

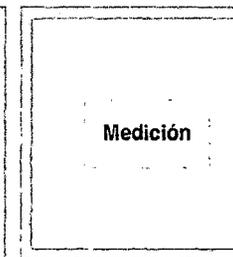


8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.

Seleccionar en la pantalla: **Cero**
La pantalla indicará:
0,0 mg/L NO₃⁻-N



9. Dentro de los 2 minutos después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.



10. Seleccionar en la pantalla: **Medición**
El resultado aparecerá en **mg/L NO₃⁻-N**
Véase el manual de instrucciones para obtener información detallada sobre el instrumento.

ANEXO 17: Fotografías

Foto 1: Biopelícula adherida a la superficie de las pozas de cultivos de trucha

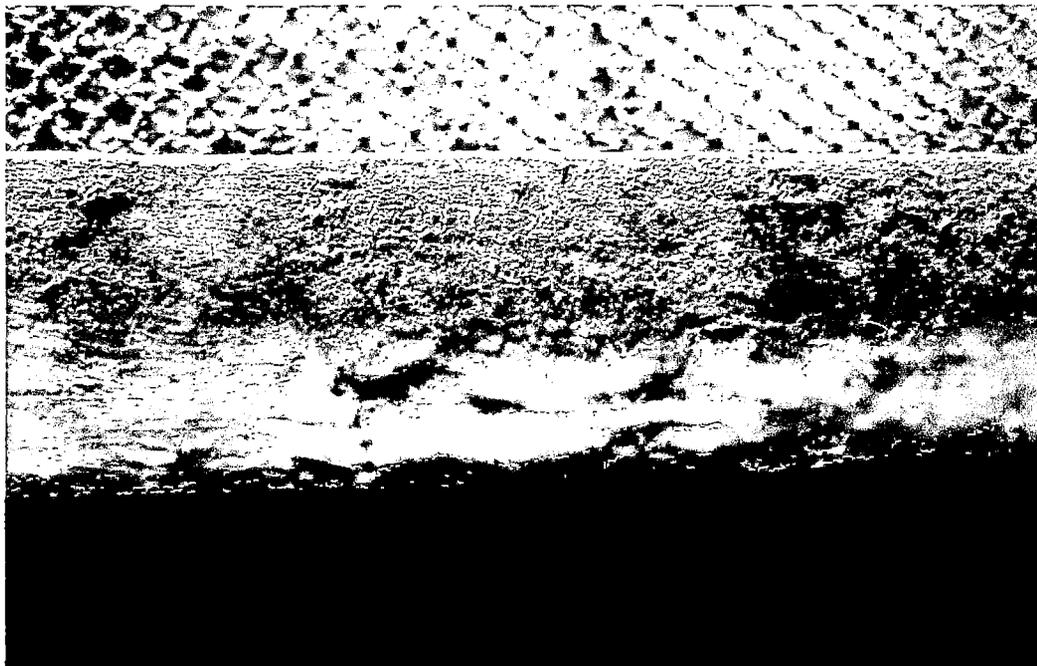


Foto 2: Equipo HACH DR 2800

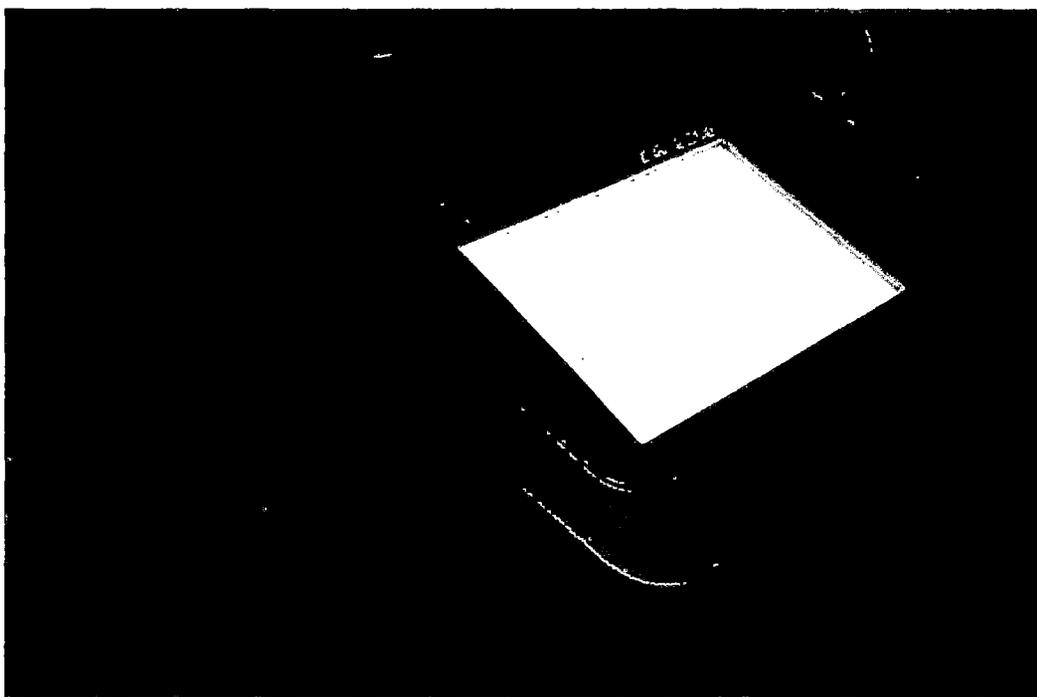


Foto 3: Desprendimiento de las células en la interfase biopelícula/fase líquida



Foto 4: Desprendió de la biopelícula del soporte (piedra)

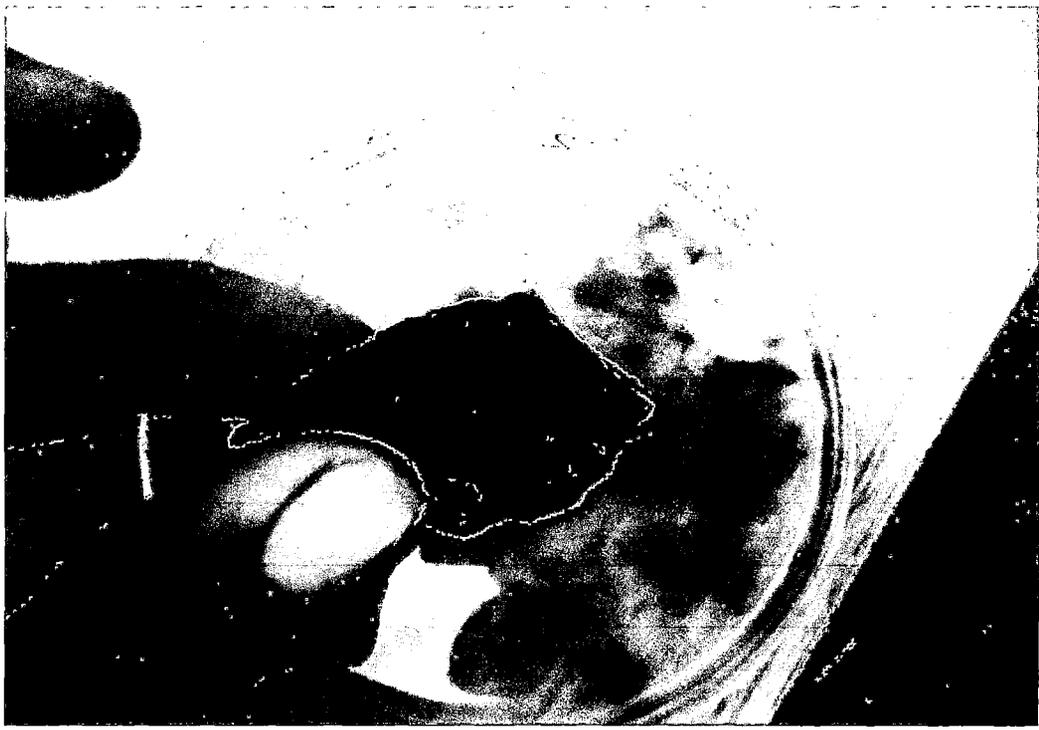


Foto 5: Medición de $N-NO_3^-$ del efluente de la poza de trucha

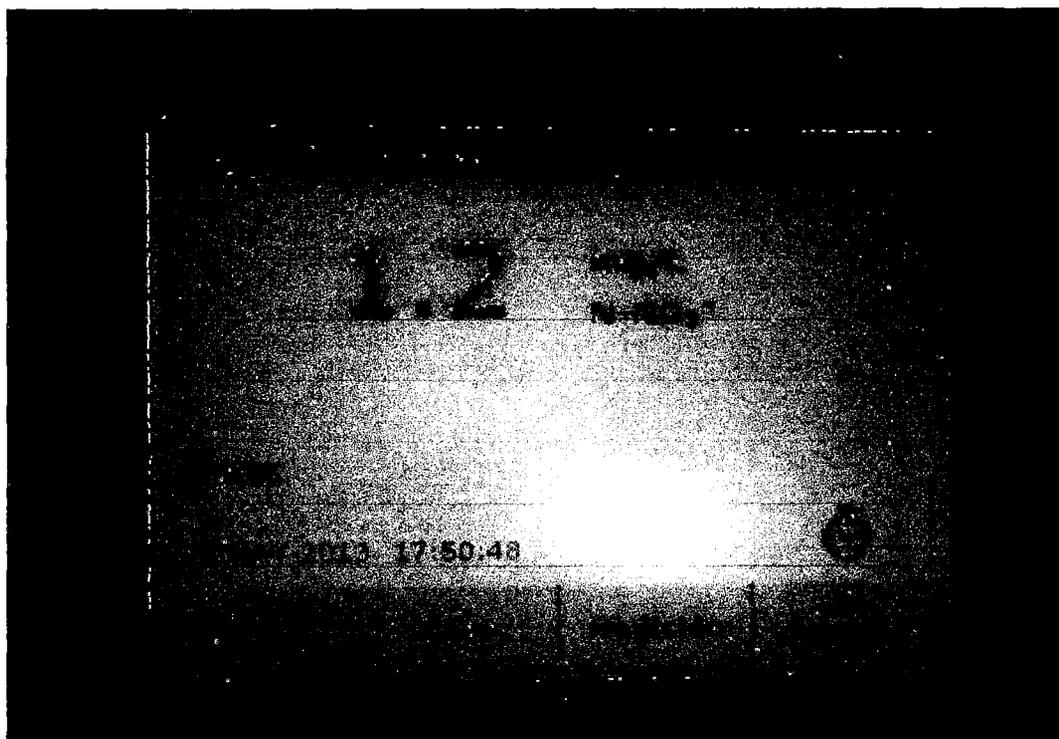


Foto 6: Biofiltro percolador

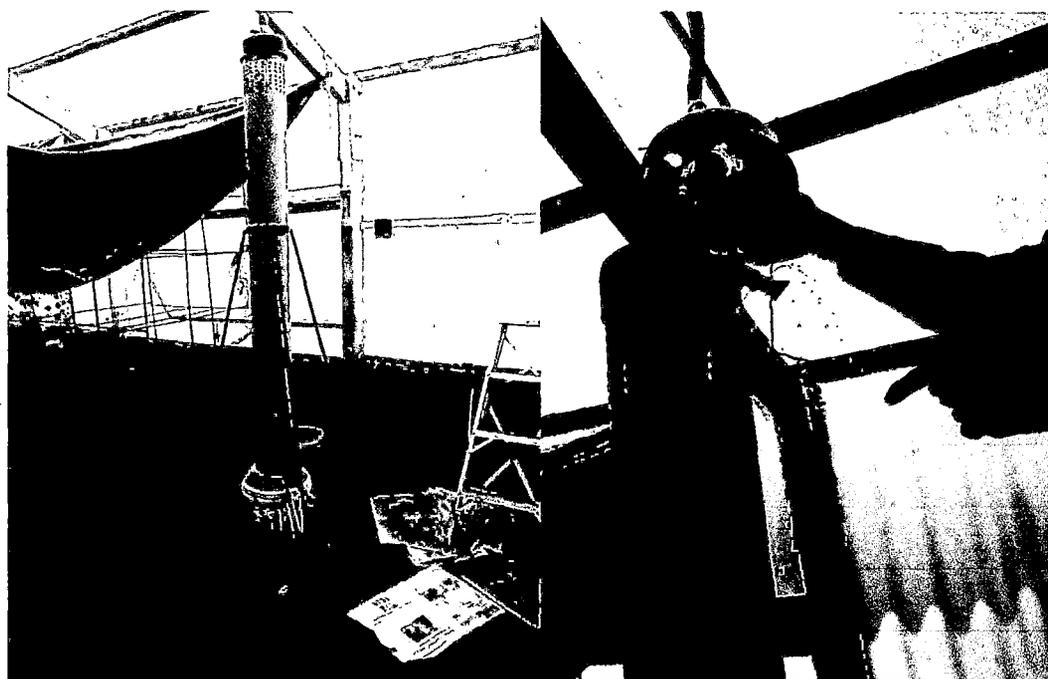


Foto 7: Toma de muestra del biofiltro



Foto 8: Distribución de las unidades experimentales



Foto 9: Determinación del porcentaje de germinación



Foto 10: Medición de altura



Foto 11: Producción de biomasa



Foto 12: Determinación del porcentaje de nitrógeno



Foto 13: Comparación entre los tres tratamientos de forraje verde hidropónico



Foto 14: Comparación de densidad de forraje entre los tratamiento T0 y T2

