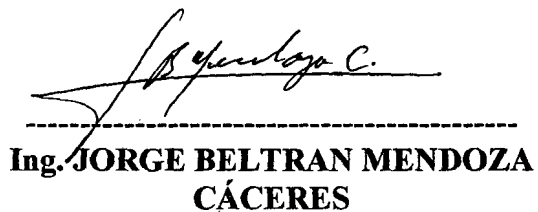
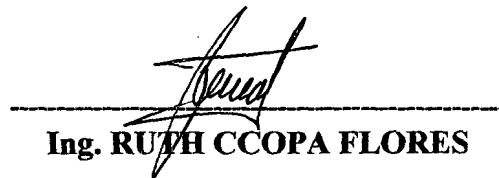
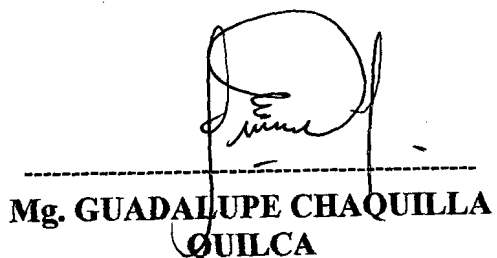


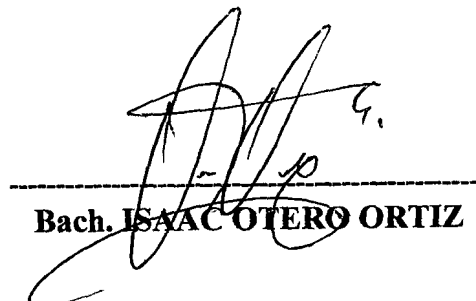
**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE
APURÍMAC**


Ing. RICARDO PAREDES QUIROZ


Ing. JORGE BELTRAN MENDOZA
CÁCERES


Ing. RUTH CCOPA FLORES


Mg. GUADALUPE CHAQUILLA
QUILCA


Bach. ISAAC OTERO ORTIZ

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA

BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“INFLUENCIA DE LEVADURAS (*Saccharomyces cerevisiae*) Y DE HARINA DE LOMBRIZ ROJA

CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) EN LA

ALIMENTACION DE CUYES (*Cavia Porcellus*) EN

ETAPA DE CRECIMIENTO”

AGRO

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar el
título de Ingeniero Agroindustrial

ISAAC OTERO ORTIZ

ASESOR: MSc. Guadalupe Chaquilla Quilca

Abancay – Perú

Julio - 2011



Dedicatoria

La vida del hombre para el tiempo es solo un fugas soplido del viento, que tiende a desaparecer tan rápido como vino, en ella va llevando y poniendo cosas y solo algunas de las muchas cosas hechas serán de importancia y de utilidad que marcan un punto en la vida, esta tesis es una de esos puntos que considero importante en mi vida, por ello dedico a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en su logro y a aquellos que en el futuro lo entiendan y lo utilicen de manera provechosa tal como es su fin.

ISAAC

RESUMEN

El mal manejo de los residuos orgánicos generados por las granjas y por las poblaciones de las ciudades, ofrece una amenaza al ambiente y una oportunidad biotecnológica al aprovechar los residuos como sustrato para los microorganismos (levaduras) o para las lombrices, en ambos casos convirtiendo los desechos orgánicos y productos bajos en nutrientes en productos altamente nutritivos que puedan servir para complementar la alimentación de los animales.

Este trabajo plantea una alternativa de manejo de residuos orgánicos mediante la lombricultura para la producción final de harina de lombrices y la producción de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* a partir del jugo de caña de azúcar, formulando un alimento balanceado para cuyes con estos dos productos mas otros insumos de la región (harina integral de maíz, de avena y afrecho de trigo), y evaluar su influencia en el desarrollo de los cuyes en etapa de crecimiento.

Para la producción de harina de lombriz se utilizaron 2500 g de lombrices de la especie *E. foetida* obteniéndose 3154 g de harina con un rendimiento del 11.5 % w/w, en la producción de levaduras *S. cerevisiae* se utilizo 40 L de jugo de caña de azúcar con 19.5 °Brix, cultivándose en un sistema continuo en un biorreactor de 25 L de capacidad, se llevo a producir 3423 g de biomasa de *S. cerevisiae* en base seca, siendo los parámetros cinéticos de producción, $\mu = 0.208 \text{ h}^{-1}$, $Y_{x/s} = 0.43$ g de levaduras/ g de sustrato, $k_s = 10.0$ g de sustrato /L de cultivo, $X = 15.4$ g células / L de cultivo $S_0 = 45.814$ g de sustrato/L cultivo (4.58 °Brix).

Para la evaluación de la influencia en el desarrollo de los cuyes se formulo cuatro tipos de alimentos con un diseño factorial de 2^2 por bloques (bloque A= machos y B= hembras), con niveles de 2% y 5% en cuatro tratamientos siendo el T01, 5%

HL (Harina de lombriz), 5% LSC (Levaduras *S. cerevisiae*) ; T02, 2% HL, 5% LSC; T03, 5% HL, 2% LSC; T04, 2% HL, 2% LSC; para la evaluación de los insumos se utilizaron 48 cuyes de la línea Perú, de una edad de 21 a 30 días con un peso promedio de 400 g, 24 cuyes por bloque, cada bloque se dividió en seis cuyes al azar alojándolos en jaulas acondicionadas, el sistema de alimentación fue mixto, suministrando en la mañana forraje verde hidropónico de cebada y por la tarde el alimento concentrado, siendo los primeros siete días un periodo de acostumbramiento al nuevo alimento, después de este periodo se evaluó la ganancia de peso en g/ día, logrando para el bloque A de T01= 12.04, T02 = 10.45, T03= 8.34 y T04= 6.06 y para el bloque B de T01= 10.04, T02 = 8.45, T03= 6.34 y T04= 4.06, conversión alimenticia en consumo alimento g/ incremento de peso g, obteniéndose para el bloque A de T01= 4.45, T02 = 6.04, T03= 5.04 y T04= 6.06 y bloque B de T01= 5.42, T02 = 8.75, T03= 6.50y T04= 10.5 y de digestibilidad de materia seca (%), para el bloque A de T01= 68.15%, T02 = 62.45%, T03= 65.15% y T04= 61.52% y bloque B de T01= 65%, T02 = 59%, T03= 62% y T04= 63%, encontrándose una incidencia marcada de los dos insumos en el crecimiento de los cuyes con mas énfasis de la harina de lombriz que la levaduras *S. cerevisiae*, asimismo el análisis estadístico con un nivel de confianza del 0,05 encontró diferencias significativas en los tratamientos, mostrando el tratamiento 01 un mejor comportamiento, por lo que se concluye que la harina de lombriz y las levaduras *S. cerevisiae* tienen influencia positiva en el desarrollo del cuy en etapa de crecimiento.

PALABRAS CLAVE: Lombriz (*Eisenia foetida*), levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, cuyes (*Cavia porcellus*), alimento balanceado.

ABSTRACT

The mishandling of the organic waste generated by farms and by the populations of the cities, offers a threat to the environment and an opportunity biotechnology in order to take advantage as a substrate for the microorganisms (yeasts) or to earthworms, in both cases converting organic wastes and products low in nutrients in products highly nutritious that can serve to complement the animal feed.

This work proposes an alternative for the management of organic waste through earthwork for the final production of flour of worms and the production of yeast *Saccharomyces cerevisiae* from the juice of sugar cane and evaluate their influence on the development of the guinea pigs.

For the production of earthworm meal were used 25000 g earthworm species *Eisenia foetida* obtaining 3154 g of flour with a performance of the 11.5 % w/w; in the production of yeast *S. cerevisiae* was used 40 L of sugar cane juice with 19.5 °Brix, continuing production in system continues in a bioreactor 25 L capacity, to occur 3423 g biomass of *S. cerevisiae* on dry matter basis, being kinetic parameters of production $\mu = 0,208 \text{ h}^{-1}$, $Y_{x/s} = 0.43 \text{ g of yeast/ g of substrate}$, $k_s = 10.0 \text{ g of substrate /L of cultivation}$, $X = 15.4 \text{ g cells/L of culture}$ $S_0 = 45,814 \text{ g of substrate/L cultivation (4.58 °Brix)}$.

For the assessment of the influence on the development of the guinea pigs are made four types of foods according to the nutritional requirements of the guinea pig with a factorial design with 22 levels of 2% and 5% in four treatments remain the T01, 5% HL (earthworm meal), 5% LSC (Yeast *S. cerevisiae*) ; T02, 2% HL, 5% LSC; T03, 5% HL, 2% LSC; T04, 2% HL, 2% LSC; adding wheat bran,

whole wheat flour of yellow corn, oats as additional inputs, For the evaluation of the inputs were used 48 guinea pigs of the line Peru, from an age of 21 to 30 days with an average weight of 400 g of which 24 were males and 24 females, forming blocks A and B, each block was divided into six guinea pigs at random accommodated them in cages upgraded, the power supply system was mixed, first they were provided with the food for seven days as a period of acclimatisation, weight gain by day, achieving to block A T01= 12.04 , T02 = 10.45 , T03= 8.34 and T04= 6.06 and for the block B of T01= 10.04 , T02 = 8.45 , T03= 6.34 and T04= 4.06 feed conversion to block A T01= 4.45 , T02 = 6.04 , T03= 5.04 and T04= 6.06 and block B of T01= 5.42 , T02 = 8.75 , T03= 6.50and T04= 10.5 and digestibility of dry matter to block A T01= 68.15 % , T02 = 62.45 % , T03= 65.15 % and T04= 61.52 % and block B of T01= 65 % , T02 = 59 % , T03= 62% and T04= 63 % , while a marked incidence of the two inputs in the development of guinea pigs with more emphasis on the earthworm meal that the yeast *S. cerevisiae*, also the statistical analysis with a level of 95% found significant difference in the two blocks and on the three factors for the T01 the other treatments, therefore, it is concluded that the earthworm meal and the yeast *S. cerevisiae* have positive influence on the development of the guinea pig in stage of growth.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar un agradecimiento especial a mi asesora de tesis la Mg. Ing. Guadalupe Chaquilla Quilca, por su constante apoyo y asesoramiento en el desarrollo de la investigación y a mi Co-asesor MVZ. Martin Pineda Serruto por todo el apoyo prestado con la aportación de ideas, material bibliográfico y la instalación de la parte experimental.

A mi familia por ser la fuerza y mi gran orgullo en mi vida, que me enseñaron que todas las cosas se pueden lograr si se realizan con decisión; a mi señorita enamorada Cindy Cañari Ramírez por su amor, comprensión, apoyo y el constante aliento en los momentos más difíciles.

A los amigos que estuvieron en el periodo del desarrollo de la tesis Oscar Rivera Silvera, Norma Huamán Huilca, Verónica Robles Aedo, Roger Salas Delgado, Fidel Llalli Huaraca y Fredy Farfán Dávalos quienes con sus ideas aportaron para mejorar el proyecto de tesis e hicieron que el periodo de todo el trabajo realizado sea mas agradable.

Así mismo quiero agradecer a todos los docentes y personal administrativo de la escuela profesional de ingeniería agroindustrial en especial al Ing. Justo Arias, Ing. José Barazorda Carrillo y a la Ing. Marlín Juro, que siempre me apoyaron desinteresadamente con sus ideas y facilitando los ambientes adecuados haciendo que mi trabajo de tesis resulte fácil e interesante, igualmente a la dirección de investigación de la UNAMBA por el financiamiento de la parte económica.

ÍNDICE

Pág.

Dedicatoria	
Resumen	
Abstract	
Agradecimiento	
Índice de cuadros	
Índice de figuras	
Índice de anexos	

INTRODUCCION

CAPITULO II: MARCO TEÒRICO

2.1. La lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	04
2.1.1. Clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana	05
2.1.2. Morfología de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	05
2.1.3. Reproducción de la lombriz roja californiana	07
2.1.4. Condiciones óptimas para el desarrollo de la lombriz roja Californiana.	09
2.1.5. Producción de harina de lombriz	10
2.1.6. Composición química de la harina de lombriz	13
2.1.7. Digestibilidad de la harina de lombriz	15
2.1.8. Uso de la harina de lombriz roja californiana en alimentación animal.	16
2.2. Levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i>.	17
2.2.1. Clasificación taxonómica de levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	18
2.2.2. Morfología de levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	28

	Pag.
2.2.3. Metabolismo de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	20
2.2.4. Sistema de producción de biomasa de levaduras <i>S. cerevisiae</i> .	21
2.2.5. Cinética de crecimiento en la producción continua de levaduras.	25
2.2.6. Composición química de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	28
2.2.7. Utilización de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en alimentación animal	28
2.2.8. Digestibilidad de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	32
2.3. El Cuy (<i>Cavia porcellus</i>)	32
2.3.1. Clasificación taxonómica del cuy	33
2.3.2. Fisiología digestiva del cuy	33
2.3.3. Necesidades nutricionales del cuy	37
2.3.4. Digestibilidad de insumos alimenticios utilizados en la alimentación de cuyes.	52
2.3.5. Actividad cecotrófica en cuyes.	54
2.3.6. Sistema de alimentación mixta	55
2.3.7. Influencia de la flora intestinal	56
2.3.8. Factores que afectan la alimentación.	57
2.3.9. Formulaciones de raciones.	58
2.4. Insumos utilizados en la formulación del balanceado	58
2.4.1. Afrecho	58
2.4.2. Harina integral de avena	59
2.4.3. Harina integral de maíz amarillo duro	60
2.5. Forraje verde hidropónico	61
2.5.1. Factores que afectan la producción de forraje verde hidropónico.	62

	Pag.
2.5.2. Sistema de producción de forraje verde hidropónico de cebada	64
2.5.3. Digestibilidad del forraje hidropónico	66
2.5.4. Uso de forraje verde hidropónico en alimentación animal.	66

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución.	67
3.2. Materia prima.	67
3.3. Materiales equipos y reactivos.	68
3.4. Métodos de análisis.	70
3.5. Metodología experimental.	70
3.5.1. Producción de levaduras <i>S. cerevisiae</i> y harina de lombriz roja californiana	70
3.5.2. Análisis fisicoquímico de levaduras <i>S. cerevisiae</i> y harina de Lombriz roja californiana.	75
3.5.3. Formulación del alimento balanceado	75
3.5.4. Producción del alimento balanceado.	76
3.5.5. Análisis fisicoquímico de los alimentos formulados.	78
3.5.6. Evaluación del alimento balanceado en los cuyes.	78

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Producción de levaduras <i>S. cerevisiae</i> y harina de lombriz roja californiana	79
---	----

	Pag.
4.1.1. Producción de levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	79
4.1.2. Producción de harina de lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).	85
4.2. Análisis físicoquímico de levaduras <i>S. cerevisiae</i> y harina de lombriz roja californiana.	86
4.3. Formulación del alimento balanceado	88
4.4. Producción del alimento balanceado.	90
4.5. Análisis físicoquímico de los alimentos formulados.	92
4.6. Evaluación del alimento balanceado en los cuyes.	96
4.6.1. Ganancia de peso logrado.	96
4.6.2. Conversión alimenticia	101
4.6.3. Digestibilidad	105

CAPITULO V: CONCLUSIONES

CAPITULO V: RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	124



INDICE DE CUADROS		pág.
Cuadro 01.	Composición química de macro elementos de la harina de lombriz determinado por diversos autores	13
Cuadro 02:	Contenido en aminoácidos de la harina de lombriz según distintos autores	14
Cuadro 03:	Composición de minerales en la harina de lombriz	15
Cuadro 04.	Parámetros de operación que afectan los sistemas bioquímicos de producción de levaduras.	26
Cuadro 05:	Composición química de levaduras <i>Sacharomyces cerevisiae</i> determinado por diferentes autores. .	28
Cuadro 06:	Composición de aminoácidos (en % del total de proteínas) en levaduras <i>S. cerevisiae</i> por diversos autores.	29
Cuadro 07:	Clasificación del cuy según su anatomía gastrointestinal	34
Cuadro 08:	Necesidades nutricionales del cuy en etapa de crecimiento	38
Cuadro 09.	Deficiencia y fuente de aminoácidos esenciales.	41
Cuadro 10:	Porcentaje de aminoácidos requeridos por el cuy en etapa de crecimiento con un nivel de proteína del 18%.	42
Cuadro 11:	Signos de deficiencia por minerales en cuyes.	47
Cuadro 12:	Requerimientos de minerales en Cuyes en etapa de crecimiento	48
Cuadro 13:	Deficiencias y fuentes de vitaminas.	50
Cuadro 14:	Requerimientos de vitaminas de cuyes en etapa de crecimiento.	52

Pag.



Cuadro 15:	Composición química del afrecho de trigo	59
Cuadro 16:	Composición química del grano de avena	60
Cuadro 17:	Composición química del grano de maíz amarillo	61
Cuadro 18:	Composición química y calidad nutricional del forraje verde hidropónico de cebada.	65
Cuadro 19:	Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.	66
Cuadro 20:	Representación esquemática del diseño experimental bloque A y bloque B.	76
Cuadro 21:	Velocidad de crecimiento de levaduras <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en jugo de caña de azúcar	81
Cuadro 22:	Análisis fisicoquímico de la harina de lombriz (<i>Eisenia foetida</i>)	86
Cuadro 23:	Análisis fisicoquímico de la biomasa de levaduras <i>S. cerevisiae</i> .	87
Cuadro 24:	Composición química de insumos en base de 100 g.	88
Cuadro 25:	Composición química en base seca en base de 100 g	89
Cuadro 26:	Requerimientos nutricionales del cuy en etapa de crecimiento	89
Cuadro 27:	Formulación de los 04 tipos de alimentos de acuerdo a los tratamientos establecidos.	90
Cuadro 28:	Análisis fisicoquímico de la harina de lombriz (<i>Eisenia foetida</i>)	93

Pag.



Cuadro 29:	Composición química de los alimentos formulados en base seca	94
Cuadro 30:	Evolución de la ganancia de peso logrado por el bloque A.	96
Cuadro 31:	Evolución de la ganancia de peso logrado por el bloque B.	97
Cuadro 32:	Conversión alimenticia logrado por el bloque A	101
Cuadro 33:	Conversión alimenticia logrado por el bloque B	102
Cuadro 34:	Digestibilidad in vitro de proteínas de los alimentos formulados	105
Cuadro 35:	Digestibilidad de materia seca logrado por los cuyes machos (bloque A)	107
Cuadro 36:	Digestibilidad de materia seca logrado por los cuyes hembras (bloque B)	107



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Morfología externa de <i>Eisenia foetida</i> .	06
Figura 02: Morfología interna de <i>Eisenia foetida</i> .	08
Figura 03: Ciclo biológico de la lombriz roja californiana.	10
Figura 04: Diagrama de flujo cualitativo para la producción de harina de lombriz.	12
Figura 05: Estructura interna de la célula de levadura	19
Figura 06: Metabolismo de levaduras bajo condiciones aerobias y anaerobias.	21
Figura 07: Sistema de producción industrial de biomasa de levaduras <i>S. cerevisiae</i>	24
Figura 08: Aparato digestivo del cuy.	35
Figura 09: Descripción de la fisiología digestiva del cuy.	35
Figura 10: Estructura del sistema de producción de forraje verde hidropónico.	64
Figura 11: Diagrama de flujo cualitativo de producción de biomasa de levaduras <i>S. cerevisiae</i> a partir de jugo de caña de azúcar.	72
Figura 12: Diagrama de flujo cuantitativo de la harina de lombriz roja	74
Figura 13: Diagrama de flujo cualitativo de producción del alimento balanceado para cuyes.	77



	Pag.
Figura 14: Cinética del crecimiento de <i>S. cerevisiae</i> y del consumo de sustrato jugo de caña de azúcar	82
Figura 15: Evolución de ganancia de peso logrado por los cuyes del bloque A.	97
Figura 16: Evolución de ganancia de peso logrado por los cuyes del bloque B.	98
Figura 17: Conversión alimenticia lograda los cuyes del bloque A y bloque B.	102
Figura 18: Digestibilidad <i>in vitro</i> de los cuatro tipos de alimentos formulados.	106
Figura 19: Digestibilidad de materia seca logrado por los cuyes del bloque A y bloque B.	108

INDICE DE ANEXOS

	Pag.
ANEXO 01: Determinación de humedad (método AOAC 925.10, 1995)	125
ANEXO 02: Determinación de cenizas (método AOAC 923.03, 1995)	126
ANEXO 03: Determinación de proteína (Método AOAC 920.87, 1995)	129
ANEXO 04: Determinación de grasa (método AOAC 920.85, 1995)	135
ANEXO 05: Determinación de fibra fruta (método AOAC 991.43, 1995)	137
ANEXO 06: Conversión alimenticia	138
ANEXO 07: Digestibilidad de materia seca. (DMS)	140
ANEXO 08: Diseño experimental de la investigación	142
ANEXO 09: Ganancia de peso logrado por los cuyes	143
ANEXO 10: ANOVA Factorial – GANANCIA DE PESO	147
ANEXO 11: ANOVA Factorial – CONVERSION ALIMENTICIA	150
ANEXO 12: ANOVA Factorial – DIGESTIBILIDAD DE MATERIA SECA	153
ANEXO 13: ANOVA Factorial – DIGESTIBILIDAD <i>in vitro</i> por tratamiento de los alimentos formulados.	156
ANEXO 14: Fotografía de biorreactor y extracto de levaduras	157
ANEXO 15: Fotografía de instalación experimental de jaulas para la evaluación y cuyes en proceso de evaluación	158
ANEXO 16: Fotografía de las diferentes etapas de producción de forraje verde hidropónico	159



INTRODUCCION

El cuy es un mamífero roedor originario de los andes de Perú, Ecuador y Bolivia, desde tiempos remotos ha constituido una importante fuente de alimento de alta calidad proteica para el poblador andino. Su prolificidad, su adaptabilidad a diferentes climas, la facilidad de su crianza y su demanda creciente de su carne en el mercado local, regional e internacional, hacen que su producción sea una actividad muy prometedora en comparación con otras especies pecuarias.

En los últimos años en el departamento de Apurímac, la crianza de cuyes se a incrementado notablemente, algunos criadores motivados por la creciente demanda y la oportunidad de negocio generada por esta especie, han mejorado su sistema de crianza, pasando de las crianzas familiares hacia las crianzas comerciales. El sistema de alimentación que utilizan consiste en su mayoría solo en forraje verde, suplementado por algunos con granos de baja calidad y sub productos de molinerías, con precios relativamente menores que los alimentos balanceados del mercado, no obstante sus parámetros productivos no alcanzan niveles satisfactorios reduciendo notablemente su rentabilidad, por otra parte el medio geográfico de la región hacen que la producción de forraje verde todo el año sea difícil por la falta de agua en las estaciones secanas, obligando a los productores reducir su producción el cual les limita llegar a producciones a gran escala. Esta situación conlleva al desarrollo de nuevas estrategias de alimentación que permitan optimizar la productividad de la crianza del cuy con productos alternativos que estén al alcance de los productores.

El problema de utilizar alimentos solo de origen vegetal es que la cantidad de nutrientes que estos alimentos aportan no es muy variada, y en algunos casos no son suficientes para satisfacer la demanda de nutrientes de los cuyes, principalmente en proteína, energía y minerales.

La deficiencia de nutrientes puede corregirse mediante la formulación de alimentos balanceados suplementados con productos de alta calidad nutricional, siendo la harina de lombriz roja californiana y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* productos de alta calidad nutricional que han sido probados en diferentes investigaciones en la suplementación de la alimentación de diferentes animales llegando a resultados muy superiores en comparación a la alimentación tradicional; Dado que no ha sido evaluado el alimento concentrado formulado con productos de la región (afrecho de trigo, harina integral de avena y maíz amarillo duro), y con una suplementación simultánea de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), y levaduras *Sacharomyces cerevisiae* suministrado en un 50% este concentrado y forraje verde hidropónico de cebada en un 50% en un sistema de alimentación mixta, a cuyes en etapa de crecimiento, en el presente trabajo se plantea evaluar el efecto de este sistema de alimentación y en especial de los dos productos mencionados sobre los parámetros de ganancia de peso, índice de conversión alimenticia, y digestibilidad de materia seca.

Los objetivos de la investigación fueron los siguientes:

- Determinar la formulación óptima de un alimento balanceado con levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para el buen desarrollo de los cuyes en etapa de crecimiento.

- Determinar la influencia de la formulación óptima del alimento balanceado formulado con levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el desarrollo de los cuyes en etapa de crecimiento.
- Determinar la eficiencia del alimento balanceado con harina de lombriz y levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) En el desarrollo de los cuyes en etapa de crecimiento.

CAPITULO II: MARCO TEÒRICO

2.1. LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*)

A nivel mundial, existen 3000 especies de lombriz de tierra, que han sido divididas de acuerdo a sus características en dos grupos: lombrices silvestres o comunes y las lombrices domesticadas. Dentro del segundo grupo, destaca la Lombriz (*Eisenia foetida*) o comúnmente conocida como lombriz roja de California (Aguilera, 2004).

Ferruzi (1988) citado por Rosende (2006), señala que normalmente la lombriz roja es conocida en el ámbito comercial con el nombre de “californiana” porque fue en éste Estado de los EE.UU. donde se desarrollaron, a partir de los años 50, los primeros criaderos intensivos de lombrices.

Eisenia foetida es un tipo de anélido con la capacidad de metabolizar los excedentes antes mencionados y convertirlos en humus y excedentes cárneos. La biomasa de excedentes cárneos puede ser extraída y transformada en una rica fuente de proteína no tradicional (Aguilera, 2004).

La lombriz *Eisenia foetida* o Lombriz Roja de California es la más utilizada por su adaptabilidad a los alimentos y medios donde trabaja y su elevada capacidad de reproducción. Además por la lentitud de sus desplazamientos, que limita su migración, especialmente en el sistema tradicional del manejo de la lombricultura, con los “canteros” directamente en el suelo y a la intemperie, (Carrera, 2007).



2.1.1. Clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana

La lombriz roja californiana presenta la siguiente clasificación:

Reino	: Animal
Tipo	: Anélido
Clase	: Clitelada
Orden	: Oligoqueta
Familia	: Lumbricidae
Genero	: <i>Eisenia</i>
Especie	: <i>Foetida</i>
Nombre común	: Lombriz roja californiana

Fuente: Somarriba y Guzmán (2004), Díaz (2002), Rosende (2006) y Aguilera (2004).

2.1.2. Morfología de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

a. Morfología externa

La lombriz posee el cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral. Existe una porción más gruesa en el tercio anterior de 5 mm. de longitud llamada Clitellium (anillo del cuerpo) cuya función está relacionada con la reproducción, (Gonzales y Urzua, 2006).

Curi (2006), menciona que Tanto los órganos como la pared corporal adquieren la forma de segmentos separados en tabiques transversales. En varios segmentos se repiten órganos corporales como musculatura, nervios e incluso órganos de excreción y gónadas, el único sistema no afectado es el digestivo, ya que se

extiende atravesando cada uno de los segmentos, en el extremo anterior tiene un lóbulo redondeado, llamado prostomio, detrás y debajo del mismo se abre la boca, rodeada por el primer anillo denominado peristomio. Carecen de ojos y el último segmento del cuerpo se denomina pidigio o abertura anal.

Su color es marrón, y está formada (*Eisenia foetida*) por más o menos 95 anillos o segmentos, cada uno de ellos tiene porosidades, pelos o quetas, no visibles, que los utiliza para varias actividades, El tamaño en estado adulto, varía entre 5 y 10 cm., y el diámetro va de 2 a 5 mm. Su peso normal está entre 0,60 y 1,00 g, dimensiones que alcanza en su madurez, es decir después de los tres meses, (Carrera, 2007).

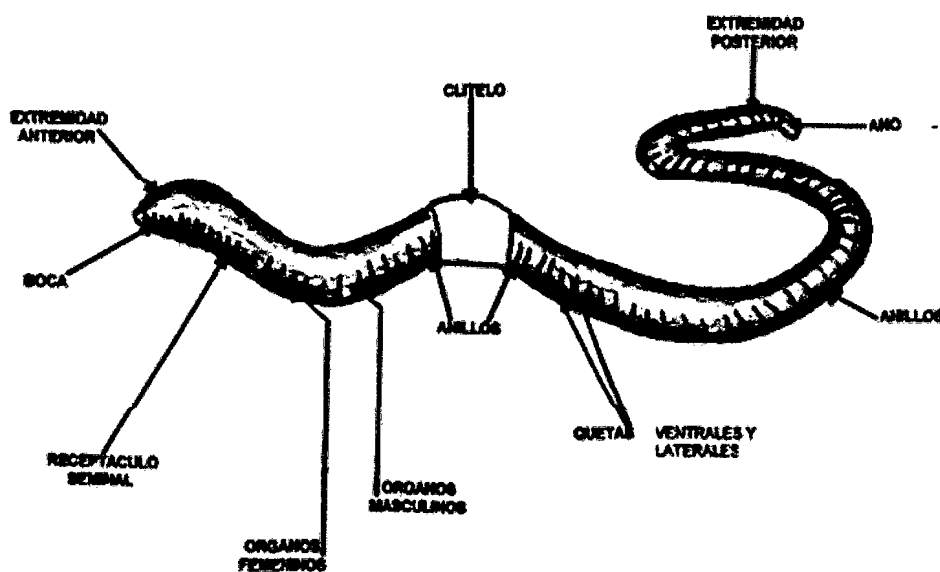


Figura 01: Morfología externa de *Eisenia foetida*.

Fuente: Carrera, 2007.

b. Morfología interna

La lombriz tiene una pared corporal conformada, de afuera hacia adentro, por una cutícula externa que le permite el intercambio gaseoso, la permeabilidad al agua, así como; la transmisión de impulsos sensitivos. Luego se encuentra la epidermis, donde se encuentran células nerviosas con receptores luminosos sensitivos especializados en reaccionar al pH y a la temperatura, también se encuentra el sentido del tacto y órganos gustativos, que le permiten distinguir entre los diferentes sustratos alimenticios, así mismo por la epidermis la lombriz realiza la función de respiración. Posteriormente se encuentran las capas fibrosas musculares (circular externa y longitudinal interna), peritoneo y finalmente se encuentran los órganos de los sistemas circulatorios (conformado por cinco pares de corazones), nervioso y muscular que se encuentran dentro del celoma (Curi, 2006).

El celoma es definido como un amplio espacio lleno de líquido, que se extiende por la pared del cuerpo y envuelve al aparato digestivo de la lombriz. Este líquido celómico se junta con la sangre y transportan el alimento, los desechos y los gases respiratorios de la lombriz, también cumple la función de locomoción y es considerado como un esqueleto hidráulico contra el cual actúan los músculos para cambiar la forma del cuerpo (Curi, 2006).

2.1.3. Reproducción de la lombriz roja californiana

Las lombrices logran vivir en condiciones adecuadas hasta los 16 años, alcanzando la madures sexual de los tres a cinco meces de edad, las lombrices adultas se diferencias de

las jóvenes por la aparición del clitelo, (Somarriba y Guzmán, 2004). La lombriz es una especie hermafrodita incompleta que contiene los dos aparatos reproductores pero no se puede fecundar sola, cada lombriz está dotada de un aparato genital masculino y de un aparato genital femenino, el aparato genital masculino está integrado por dos pares de testículos que son glándulas secretoras de esperma, alojados en los segmentos 10 y 11. Su situación es anterior, muy cerca de la boca, mientras el aparato genital femenino conformado por un par de ovarios alojados en el anillo 13, recibe el esperma y lo retiene hasta el momento de la fecundación; este aparato se encuentra en una posición relativa posterior al aparato genital masculino (Carter, 1999 y Curi, 2006).

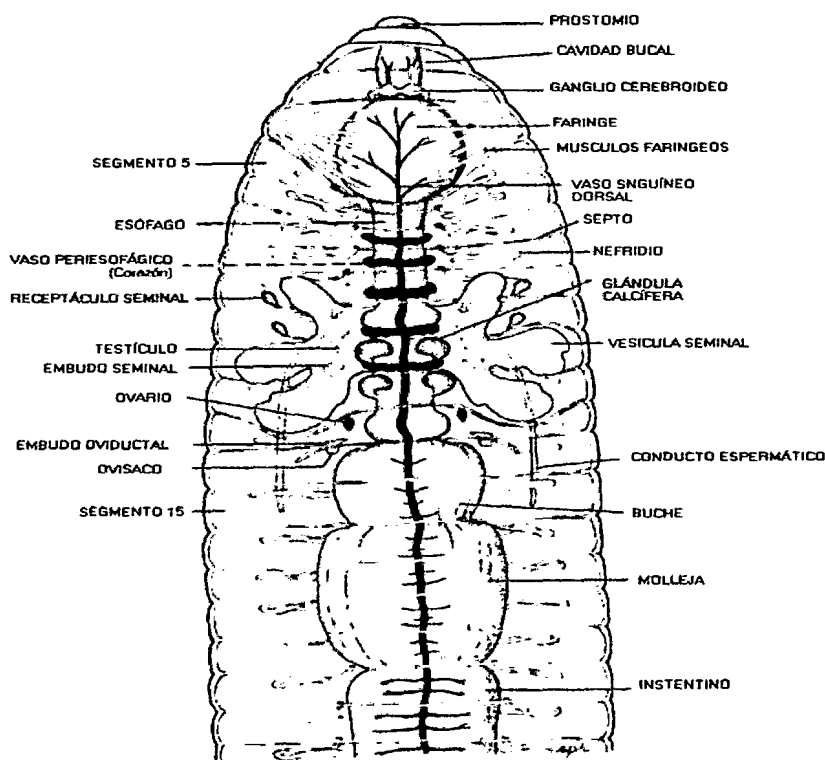


Figura 02: Morfología interna de *Eisenia foetida*.

Dos lombrices en fase de acoplamiento giran en sentido opuesto la una de la otra, de esta manera, puede contactar el aparato genital masculino de una con el aparato genital femenino de la otra. Así, en cada acoplamiento, una lombriz recibe el esperma de la otra y lo retiene en su propio aparato genital femenino hasta la fecundación (Ayala y Quintero, 2009).

Las lombrices se aparean cada 7 u 8 días acto del cual se produce un huevecillo o capullo de 2x3 mm (cocón). Aproximadamente, con forma de pera y de color amarillento. Cada cápsula o huevo contiene de 2 a 20 embriones, luego de 14 a 21 días de incubación, eclosionan, originando lombrices capaces de moverse y nutrirse de inmediato. Recién nacidas son de color blanco, a la semana son rosadas y a los 20 días ya tienen el color de las adultas (rojo) (Girón, 2005 y Carrera, 2007).

2.1.4. Condiciones óptimas para el desarrollo de la lombriz roja californiana.

Stanley (2007), citado por García (2009), menciona que las condiciones ambientales para un óptimo desarrollo son una temperatura de 19 a 20 °C, con una humedad del 80%, un pH de desarrollo entre 6.5 y 7.5 y con baja luminosidad, ya que teme a la luz, pues los rayos ultravioleta las matan. En estas condiciones una lombriz produce unas 1,500 lombrices por año que producen el 60% de la ingesta en forma de humus.

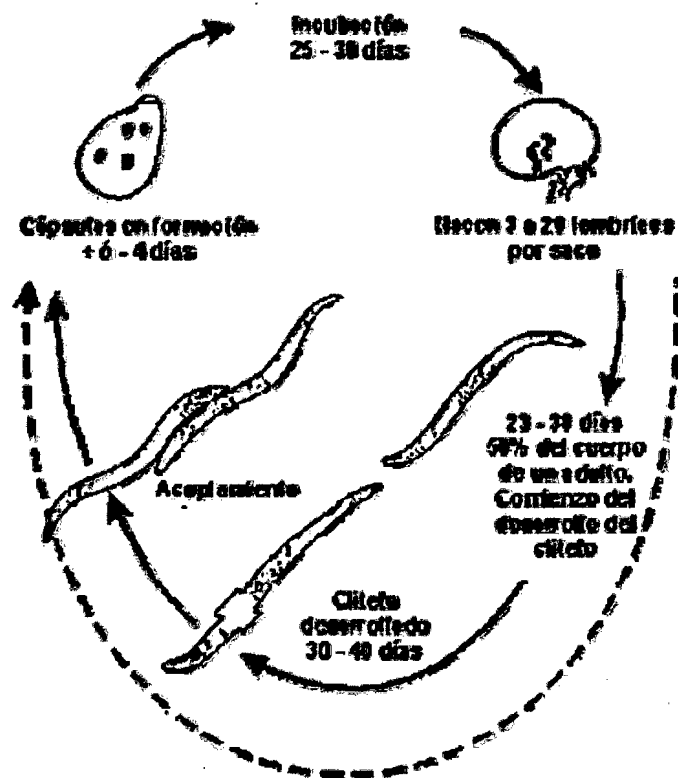


Figura 03: Ciclo biológico de la lombriz roja californiana.

Fuente: Porcel, 2007.

2.1.5. Producción de harina de lombriz

Muchos autores han determinado diferentes métodos para la obtención de la harina de lombriz, diferenciándose en algunas operaciones como se muestra a continuación.

Alva, *et al.*, (2008), para determinar el “Perfil electroforético y calidad microbiológica de la harina de lombriz *Eisenia fetida*,” siguieron dos metodologías, el primero consistió en la recolección, lavado, congelación con nitrógeno líquido y posterior secado a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un liofilizador, la segunda metodología consistió en la recolección, lavado, sacrificadas con shock osmótico

con una solución de NaCl al 4 % y secadas durante 9 horas en estufa a 60 °C; en las dos metodologías se molieron hasta obtener un producto homogéneo.

Travez (2010) y Carter (1999), siguieron el proceso de recolección con un agente químico el cual irrita la piel de las lombrices obligándolas a salir hacia unos depósitos contenidos de agua limpia, siguiendo con el proceso de lavado y desaguado, el cual consiste en lavar las lombrices con agua hasta que queden limpias, las cuales se pasan a un depósito oscuro con agua limpia y aireación a una temperatura de 18 °C por un periodo de 24 horas con la finalidad de limpiar el tracto digestivo de las lombrices, pasado el tiempo nuevamente se realiza el lavado y se pasa al beneficio el cual se realiza con shock de solución salina con NaCl al 4%, en un tiempo de 5 a 10 minutos, en este proceso las lombrices secretan el fluido celomático de color amarillo y olor fuerte, el cual debe ser extraído con un lavado con agua para que no dejen características negativas al producto final, se escurren y se pasa al secado en bandejas de aluminio en un horno con aire seco a una temperatura de 38 a 50 °C, la carne de lombriz seca se pasa por un molino de cuchillos y malla 60 obteniendo una harina uniforme de color pardo.

Boulogne *et al.*, (2008), siguieron el mismo proceso utilizado por Travez (2010), y Carter (1999), con la diferencia de que la recolección se realizó en forma manual, la operación del beneficio lo realizaron con agua a 100°C por un minuto y el secado a temperaturas de 100 °C, 80°C y 60°C en un secador de estufa y secador de bandejas, no se encontró diferencias significativas entre los dos métodos mientras que en tiempos de secado para llegar a 12 % de humedad final a 100 °C fue menor a comparación a las otras temperaturas, pero al realizar electroforesis se

evidencio una degradación de las proteínas a mediada que se suba la temperatura, determinado que la temperatura optima para el secado es de 60 °C . Curi (2006), siguió el mismo proceso con la diferencia de que el proceso del secado lo realizo con la exposición a la intemperie en mallas por un tiempo de 17 horas.

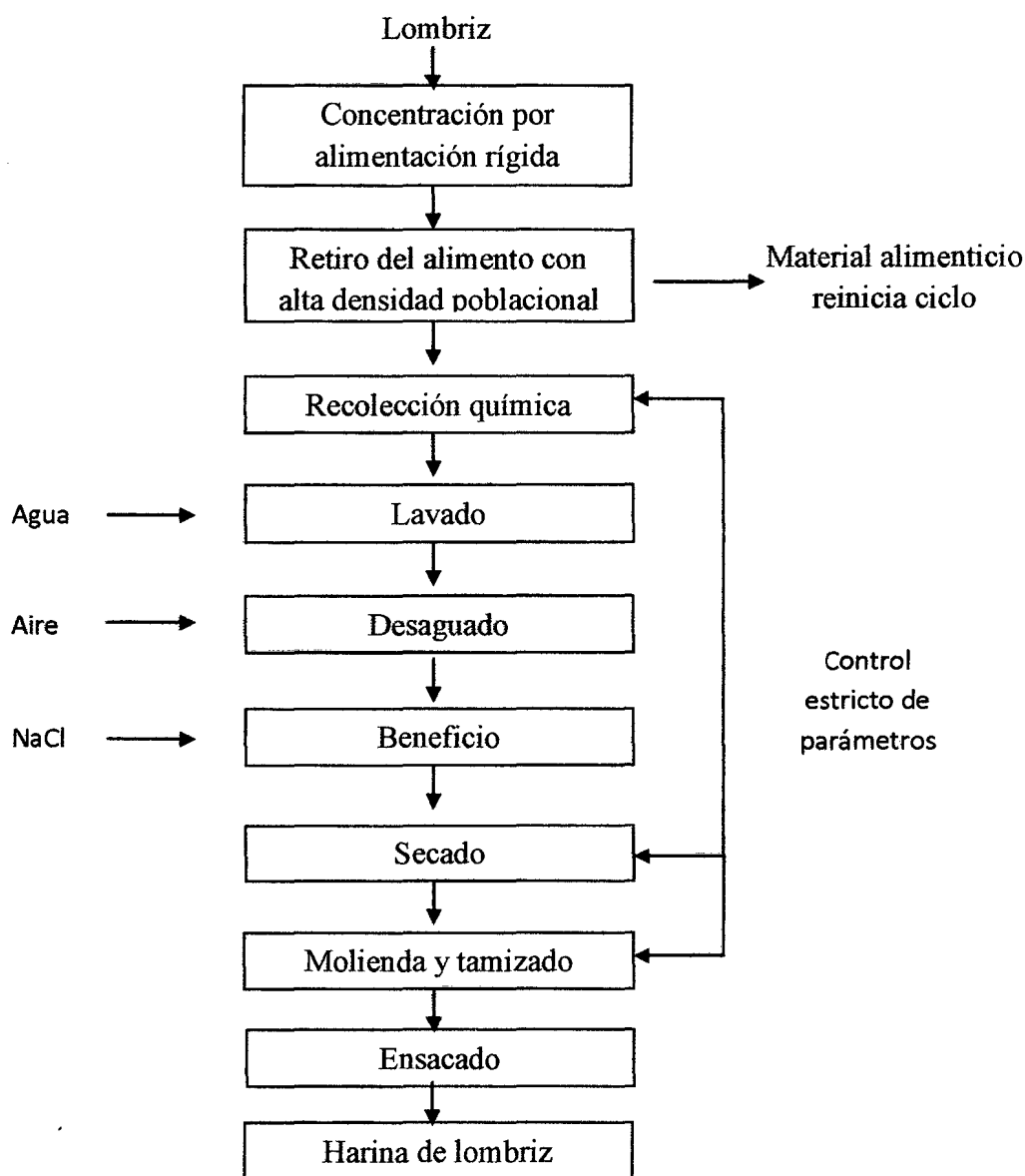


Figura 04: Diagrama de flujo cualitativo para la producción de harina de lombriz.

Fuente: Carter, (1999)



2.1.6. Composición química de la harina de lombriz

La composición química de la harina de lombriz evaluado por los diferentes investigadores se muestra el cuadro 01, las variaciones en los porcentajes entre un autor y otros se deben a las diferentes metodologías utilizadas, se puede apreciar que el componente que predomina es la proteína.

Cuadro 01. Composición química de macro elementos de la harina de lombriz determinado por diversos autores

Componentes (%)	Morón, <i>et al.</i> , (2008)	Valenzuela citado por Rosende (2006)	Vielma, y Medina, (2006) citado por Alcelmo, <i>et al.</i> , (2010)
Materia seca	92.46	92.7 +/- 0.3	89.4 ± 0.9
Proteína	56.25	66.8 +/- 3.2	62.3 ± 0.1
Grasa	4.77	8.8 +/- 0.9	7.9 ± 0.7
Cenizas	15.59	8.4 +/- 0.6	7.9 ± 0.1
Fibra	0.81	1.3 +/- 0.8	2.0 ± 0.3
Carbohidratos	15.04	1.2 +/- 0.2	8.3 ± 1.1

En lo referente a la composición de Aminoácidos de la Harina de Lombriz distintos investigadores han determinado la composición de aminoácidos de la proteína de la harina de lombriz por lo que en el cuadro 02, se presenta una recopilación de los mismos, en los cuales se observan valores distintos que se podrían explicar por variaciones en la precisión de las técnicas así como el tipo de método usado.

Cuadro 02: Contenido en aminoácidos de la harina de lombriz según distintos autores

Aminoácidos g/ 100g de proteína	García, <i>et al.</i> , (2009)	Valenzuela citado por Rosende (2006)	Rondón <i>et al.</i> , 2003.
Alanina	4.36	5.54	4.10
Arginina	4.83	7.03	
Acido aspártico	8.34	11.01	7.10
Cistina	1.51	4.23	
Acido glutámico	11.01	13.57	9.00
Glicina	4.42	5.22	5.70
Histidina	2.87	2.51	2,50
Isoleucina	3.67	4.73	6.20
Leucina	6.02	7.39	16.6
Lisina	5.21	12.51	4.30
Metionina	1.47	1.53	
Fenilalanina	1.26	3.54	
Serina	3.52	3.3	0.90
Treonina	3.66	3.76	3.60
Tirosina	0.56	3.23	0.92
Valina	4.48	6.14	

Según Flores y Alvira (1987) citado por García. Existe una relación de calcio: fósforo de 1.4:1, el cual es una relación optima para fuentes de alimento destinadas a animales. Esta relación entre estos dos componentes fue encontrado en la harina lombriz (García). En el cuadro 03 se muestra la composición de minerales de la fracción de cenizas.



Cuadro 03: Composición de minerales en la harina de lombriz

<i>Componente</i>	<i>Cantidad (%)</i>
Fósforo	1.17
Potasio	1.16
Magnesio	0.11
Calcio	1.69
Sodio	0.50

Fuente: García *et al.*, 2009

2.1.7. Digestibilidad de la harina de lombriz

Curi (2006), evaluó la digestibilidad verdadera de la harina de lombriz utilizando seis ratas macho raza Holtzman, encontrando una digestibilidad del 85.45 % mientras que el valor biológico verdadero del mismo fue de 79.68 %.

Para las digestibilidades in vitro de la materia seca y la materia orgánica de la lombriz roja californiana presentaron valores de 87.92 % y de 91.06 % respectivamente, así mismo se evaluó la digestibilidad del nitrógeno contenido llegando a un valor de 92.73%, siendo todos los valores de digestibilidad in vitro encontrados en la lombriz elevados y comparables a fuentes proteicas de alta calidad, (García *et al.*, 2009).

Isea *et al.*, (2008). Estudiaron la digestibilidad de la harina de lombriz en comparación con la harina de pescado (alimento control), torta de soya y afrecho de trigo en truchas arco iris, encontrando digestibilidades de 90% tanto para la harina de lombriz y la torta de soya, siendo del 57% para el afrecho de trigo, la harina de lombriz supero en proteína digerible (63.4%) a la harina de pescado (59.6%) y a las otros dos insumos evaluados.

2.1.8. Uso de la harina de lombriz roja californiana en alimentación animal.

La harina de lombriz por su calidad nutricional que presenta ha sido objeto de muchos estudios en la fortificación de alimentos tanto para el consumo humano y animal, en la mayoría de los casos estudiados se ha reportado resultados positivos y prometedores tanto tecnológica y económicamente.

Guerrero y Ravillet (1994), utilizaron la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como sustituto de harina de pescado en la ración de cuyes criollos, para la evaluación utilizaron veintisiete cuyes machos criollos, destetados, de un mes de edad aproximadamente, los cuales distribuyeron en los siguientes tratamientos:

T0 (ración testigo con 12 % de harina pescado), T1 (ración 6% de harina de lombriz y 6% de harina de pescado) T2 (ración con 12% de harina de lombriz). A cada tratamiento dieron como fuente forrajera maíz chala. El experimento tuvo una duración de 7 semanas. Los parámetros evaluados fueron consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y mérito económico. Los incrementos totales de peso vivo fueron de 0.353 (T0), 0.349 (T1) y 0.334 kg (T2), correspondientes a ganancias diarias de 7.2, 7.1 y 6.8 g/animal, no habiéndose hallado diferencias significativas entre tratamientos. Las conversiones del alimento para materia del concentrado y del concentrado mas forraje fueron: 3.48, 6.74 (T0); 3.73, 7.08 (T1) y 3.50, 6.92 (T2). Se concluye que es factible reemplazar la harina de pescado por la harina de lombriz en raciones de crecimiento de cuyes criollos.

La inclusión de harina de lombriz como sustitución parcial de la harina de pescado en un 25% en la formulación de alimento balanceado iniciador para truchas arco iris no reporta diferencias significativas en la ganancia de peso y en

el crecimiento que el alimento control (100% de harina de pescado), mientras que el crecimiento fue menor con una sustitución del 50% (Bastardo, 2007).

Al evaluar los efectos de la inclusión de la harina de lombriz en la dieta sobre el rendimiento en canal, en cortes y la calidad fisicoquímica de la carne de codorniz (*Coturnix coturnix japónica*), se le suministro a un grupo concentrado para pollos y a otro grupo alimento para pollos con 20% de proteína cruda mezclada con 6% de harina de lombriz con 56 % de proteína. La evaluación fue realizado por 42 días, al comparar las dos dietas, reportaron un rendimientos de canal del 80. 85 y del 83. 19% para en alimento control y el suplementado con harina de lombriz respectivamente, en rendimiento de cortes y textura no se encontraron diferencias significativas entre los dos alimentos, siendo mayor en cantidad de proteína del 19 % contra el 17.6 % con respecto al alimento control (Morón *et al.*, 2008).

2.2. Levaduras *Saccharomyces cerevisiae*.

Las levaduras son hongos unicelulares que representan un puente biológico entre las bacterias y los organismos superiores, manteniendo las ventajas de los microorganismos en cuanto a su fácil manipulación y crecimiento rápido.

Las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* es quizás la levadura mas importante para la humanidad, ya sea por su utilización hace miles de años en la producción de pan y bebidas alcohólicas por fermentación, o por ser uno de los organismos eucarísticos modelo mas intensamente estudiados a nivel de su biología celular y molecular (Valdivieso, 2006). Son de forma ovalada o alargada, midiendo de 6 a 8 μm y de color cristalinos.

2.2.1. Clasificación taxonómica de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*.

La clasificación taxonómica correspondiente a la levadura es la siguiente:

Reino	: Fungi – Mycetae
División	: Amastigomycota – Eumycota
Subdivisión	: Ascomycotina
Clase	: Ascomycetes – Hemiascomycete
Subclase	: Hemiascomycetidae
Orden	: Endomycetales - Saccharomycetales
Familia	: Saccharomycetaceae - Endomycetaceae
Subfamilia	: Saccharomycetoidea
Género	: <i>Saccharomyces</i>
Especie	: <i>cerevisiae</i> .

Fuente: Buitriago y Tenjo. 2007

2.2.2. Morfología de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*.

La célula de levadura está envuelta por una membrana exterior denominada pared celular. La membrana celular que regula el intercambio de la célula con el medio exterior permite la entrada de nutrientes a la célula, y que el CO₂ y el alcohol sean evacuados. La membrana celular regula por procesos osmóticos (fenómeno de difusión entre dos soluciones de concentración diferente) la cantidad de agua contenida en la célula (Mendieta y Picado, 2002).

Sus dimensiones son: 2.5 – 10 micras de ancho y 4.5 – 21 micras de largo, Microscópicamente se observan redondas y ovoides, elipsoides, a veces cilíndricas y filamentosas. Fermenta glucosa, galactosa, sacarosa y maltosa y no fermenta lactosa. Asimila galactosa, sacarosa, maltosa y rafinosa. La aireación

óptima es de 0.6 – 0.9 vvm (Ariza y González, 1997 citado por Fajardo y Sarmiento, 2007).

Tejero (1999), citado por Mendieta y Picado (2002), señala que el citoplasma es la parte fundamental viva de la célula y esta compuesta de:

1. Un núcleo con los cromosomas (material genético).
2. Algunas vacuolas, pequeños cuerpos elípticos llenos de jugo celular que constituyen las reservas nutritivas.
3. Otros orgánulos, los ribosomas, las mitocondrias.

Las enzimas que se producen a nivel de citoplasma son:

1. La maltasa que transforma la maltosa en glucosa.
2. La invertasa que transforma la sacarosa en glucosa y fructosa.
3. La zimasa que transforma la glucosa en fructosa y la descompone en alcohol y en dióxido de carbono.

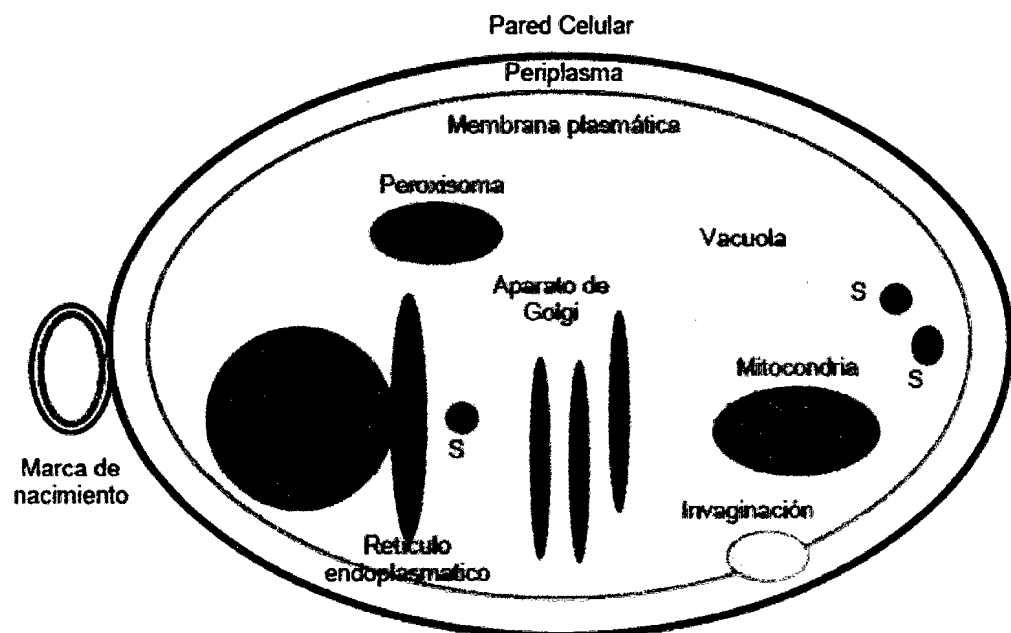


Figura N° 05: Estructura interna de la célula de levadura

Fuente: Feldmann, 2005.

2.2.3. Metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae*

Es un microorganismo que puede llevar a cabo un metabolismo respiratorio o fermentativo de acuerdo con concentración de oxígeno. En condiciones aerobias aumenta la biomasa y produce poco alcohol, pero en anaerobiosis el crecimiento celular es lento y la producción de etanol es alta. Por esta razón, la oxidación completa de la fuente de carbono a dióxido de carbono y agua presenta una producción celular óptima, donde el oxígeno es el aceptor final de electrones en la fosforilación oxidativa durante la respiración. Es así, que en concentraciones altas de oxígeno disuelto la fermentación de azúcar a etanol es inhibida. Esta situación fue observada por Pasteur en 1967, y se denomina el efecto Pasteur (Fiechter, *et al.*, 1981, citado por Buitriago y Tenjo, 2007).

La mayoría de levaduras usan azúcares como su principal fuente de carbono y energía, en la producción de levadura *S. cerevisiae* la mayor fuente de energía es la glucosa y la glucólisis es la principal vía para la conversión de la glucosa a piruvato.

La producción de energía en forma de ATP es acompañada de la generación de intermediarios y disminución de energía en forma de NADH para las vías biosintéticas. El metabolismo de las levaduras como en los demás organismos, esta mediado por reacciones enzimáticas (Feldmann, 2005).



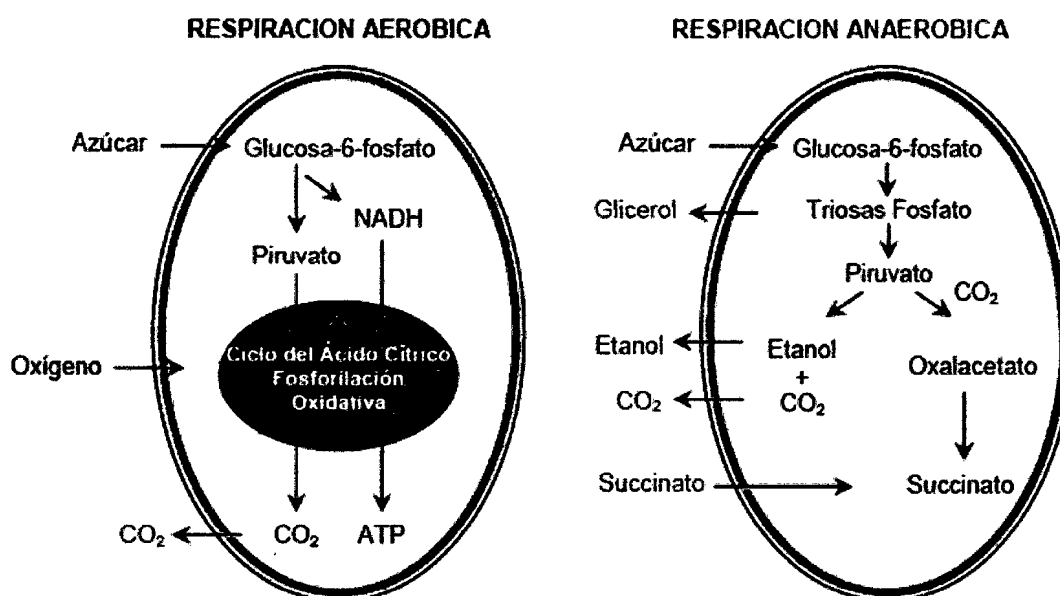


Figura 06: Metabolismo de levaduras bajo condiciones aerobias y anaerobias.

Fuente: Feldmann, 2005

2.2.4. Sistema de producción de biomasa de levaduras *S. cerevisiae*.

Esto ocurre en el proceso de fermentación donde la levadura crece en una serie de fermentadores. Estos fermentadores son operados bajo condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno libre o exceso de aire), puesto que bajo condiciones anaeróbicas (limitación o ausencia de oxígeno) los azúcares fermentables son consumidos en la formación de etanol y dióxido de carbono, lo cual resulta en bajos rendimientos de levadura. Este proceso de fermentación aeróbico es exotérmico, lo cual implica que el fermentador debe ser enfriado para mantener la temperatura bajo 30°C, mediante agua de refrigeración, consiguiendo así la temperatura óptima de crecimiento (Gonzales, 2004).

La etapa inicial del crecimiento de la levadura tiene lugar en el laboratorio. Una porción de cepas de levadura (levadura madre) se mezcla con el mosto de la

melaza en frascos esterilizados, y se deja crecer por 2 a 4 días. El contenido completo del frasco se usa para inocular el primer fermentador en la etapa del cultivo puro (siembra inicial). La fermentación del cultivo puro se realiza en fermentadores batch donde la levadura crece por un periodo de 13 a 24 horas; es usual que se usen dos fermentadores en esta etapa.

A continuación, el cultivo puro fermentado, o levadura de siembra, es transferido a un fermentador intermedio, y posteriormente pasa a la etapa de la fermentación "stock", donde se aumenta la alimentación con una buena aireación. Esta etapa es llamada "stock", porque después que la fermentación se completa, la levadura es separada del medio de cultivo por centrifugación, produciendo la levadura "stock" para la próxima etapa. En esta nueva etapa, denominada fermentación "pitch", se realiza una aireación fuerte y se incrementa la adición de melaza y nutrientes, y se produce la levadura "pitch" para la última etapa de la fermentación. Alternativamente, la levadura producida en esta etapa se puede centrifugar y almacenar por varios días antes de ser utilizada en la última etapa de fermentación ("trade fermentation"), (Gonzales, 2004)

La etapa final de la fermentación tiene el grado de aireación más alta, y se incrementa la alimentación de melaza y nutrientes. Esta etapa tiene una duración que varía entre 11 y 15 horas. Después que toda la melaza y los nutrientes son adicionados, el líquido es aireado por un período adicional de 0,5 a 1 hora para permitir la total maduración de la levadura, permitiendo así una mayor estabilidad para el almacenamiento refrigerado.

El volumen de crecimiento de la levadura en las etapas principales descritas anteriormente, aumenta con cada etapa. El crecimiento de la levadura es en



general de 120 kilos en el fermentador intermedio, 420 kilos en el fermentador "stock", 2.500 kilos en el fermentador "pitch", y 15.000 a 100.000 kilos en el fermentador final.

La secuencia de las distintas etapas de fermentación varía entre los diferentes productores. En general la mitad de las operaciones existentes, a nivel mundial, utilizan dos etapas, y las restantes utilizan las cuatro etapas. Cuando se usan sólo dos etapas, las fermentaciones a continuación de la etapa de cultivo puro (siembra inicial) son las fermentaciones "stock" y la final "trade" (Gonzales, 2004).

Al final de la etapa de producción comercial las células de levaduras son separadas por centrifugación y lavadas en una o más etapas. Las operaciones de lavado son realizadas para reducir los sólidos no debidos a levaduras que pueden dificultar la filtración y oscurecer el color de la levadura prensada. La eficiencia del sistema de lavado está determinada por la concentración de los sólidos de levadura, la cantidad del agua usada y el contenido de sólidos del agua de dilución que tiene importancia cuando el agua de lavado se utiliza en contracorriente a la crema de levadura, este proceso de separación produce una crema de levadura ligeramente coloreada conteniendo hasta 22% de sólidos debidos a células y prácticamente libres de otros materiales, (Ertola *et al.*, 2008).

Las condiciones exteriores óptimas para el buen desarrollo de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* se dan entre rangos muy pequeños y establecidos según los estudios realizados por Vargas 1992, citado por Ramírez y Molina (2000) y Paz (2010):

- **Temperatura:** El ámbito para el crecimiento de las levaduras esta entre 25 °C a 30 °C



- **pH:** Las levaduras se ven favorecidas por un pH próximo a 4 ó 4,5
- **Oxígeno:** la cantidad de oxígeno necesaria es de al menos 1 g oxígeno /g de levadura
- **Concentración de sustrato:** Inhibición por sustrato a concentraciones mayores de 150 g/L.

En la producción en sistema estacionario (sistema continuo) de levaduras es muy importante trabajar de acuerdo a los parámetros cinéticos de crecimiento.

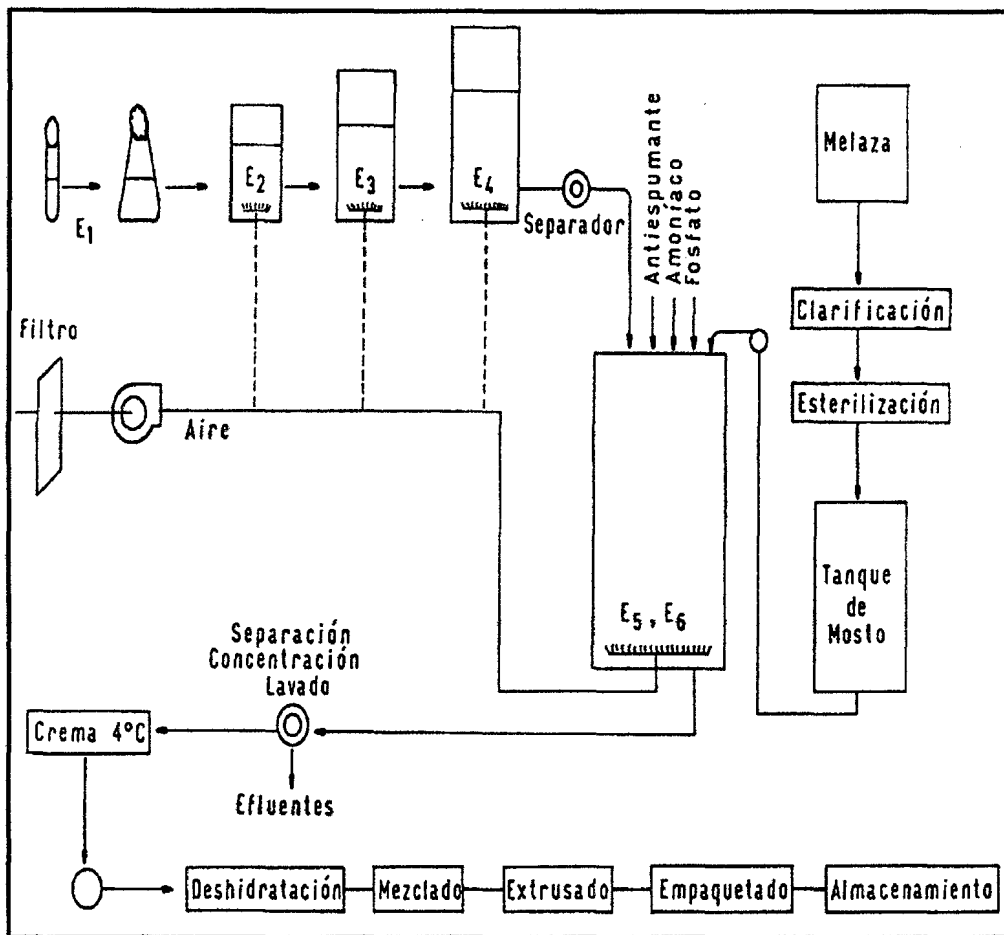


Figura 07: Sistema de producción industrial de biomasa de levaduras *S. cerevisiae*

Fuente: Ertola *et al.*, 2008

2.2.5. Cinética de crecimiento en la producción continua de levaduras.

Para la producción de levaduras se deben de tomar en cuenta los parámetros de la cinética de crecimiento, El crecimiento microbiano fue estudiado y modelado por Monod para un sistema discontinuo (Ramírez y Molina, 2005), Una de las técnicas básicas de cultivo continuo es el uso de un quimiostato, caracterizado porque la suspensión de biomasa está perfectamente mezclada y opera en estado estacionario; su importancia radica en la posibilidad de fijar la velocidad específica de crecimiento, entre cero y un valor máximo, para un determinado tipo de sustrato (Amato, 1992; citado por Ramirez y Molina, 2005).

En procesos de fermentación, los biorreactores deben proveer un ambiente controlado para el crecimiento de los microorganismos; no obstante, el estado de un reactor bioquímico está determinado por parámetros físicos, químicos, bioquímicos y biológicos (Ver Cuadro 04), que afectan permanentemente la actividad biológica de las células. De esta manera, los sistemas bioquímicos son muy sensibles al medio al que se exponen, y en consecuencia, se presentan variaciones en su estabilidad. Por esta razón, los procesos que involucran sistemas bioquímicos exhiben comportamientos atípicos en las variables de salida. Se ha determinado que más de 13 microorganismos incluyendo levaduras, bacterias, hongos y algas exhiben comportamiento oscilatorio durante los cultivos continuos (Xiu et al., 2002, citado por Paz, 2010).

Cuadro 04. Parámetros de operación que afectan los sistemas bioquímicos de producción de levaduras.

Medios	Parámetros	Función
Físicos	Volumen del caldo, potencia de agitación, velocidad de transferencia de calor, velocidad de alimentación del líquido, velocidad de flujo de gas, velocidad de dilución, etc.	Describen el funcionamiento mecánico del equipo.
Químicos	Concentraciones de sustrato, de productos, de dióxido de carbono, de oxígeno, y de nutrientes, conductividad, pH, etc.	Definen el ambiente químico dentro del reactor.
Bioquímicos	Contenido de aminoácidos, de ATP/ADP, de carbohidratos, de enzimas, de NAD/NADH, de ácidos nucleicos, de proteínas, de vitaminas, etc.	Indican el estado metabólico de la célula durante su crecimiento.
Biológicos	Distribución de edad y de tamaño, grado de agregación, de contaminación, y de degeneración, tiempo de duplicación, inestabilidad genética, morfología, mutaciones, cantidad de células viables, etc.	Caracterizan el reactor en términos del comportamiento de la población celular.

Fuente: Paz, 2010.

Para establecer adecuadamente un sistema de cultivo continuo se debe fijar con precisión los parámetros cinéticos de crecimiento, para mantener estos

parámetros se deben controlar óptimamente las condiciones de producción en el bioreactor siendo estos:

- F_e y F_s : Flujos Volumétricos de entrada y salida del sustrato.
- S_o , X_o y P_o : Concentración de sustrato, biomasa y producto a la entrada.
- S , X y P : Concentración de sustrato, biomasa y producto a la salida y al interior del fermentador o bioreactor.
- $Y_{x/s}$ y $Y_{p/s}$: Productividad de biomasa o de producto en función del sustrato (g biomasa/g de sustrato),

Ecuaciones para determinar parámetros cinéticos en cultivo continuo de levaduras (Ramírez y Molina, 2005, Ertola *et al.*, 2008):

1. Concentración de biomasa a la salida del birreactor (g biomasa/ L de cultivo).

$$x = Y_{x/s} \cdot (s_o - s)$$

Donde: $Y_{x/s}$: Productividad de biomasa en función del sustrato (g biomasa/g de sustrato), para levaduras *S. cerevisiae* 0.45 a 0.60 g biomasa /g de sustrato.

S_o , S : Concentración de sustrato a la entrada y salida del biorreactor (g de sustrato/ L de cultivo)

2. Velocidad de dilución (1/hr)

$$D = \mu = F/V$$

Donde: μ : Velocidad de crecimiento de levaduras (1/h).

V : Volumen del birreactor (L)

F : Flujo volumétrico de cultivo entrada y salida del biorreactor (L/h)

2.2.6. Composición química de levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Las levaduras *Saccharomyces* se caracterizan por contener una alta cantidad de proteínas y minerales, se han realizado varios estudios de su producción y composición química tan como se detalla en el cuadro 05.

Cuadro 05: Composición química de levaduras *Sacharomyces cerevisiae* determinado por diferentes autores.

Componente	Referencia		
	Ferrer <i>et al.</i> , 2004.	Gutiérrez y Gómez, 2008	Vargas y Campos, 2004
Materia seca	93.7	90	94.7
Proteínas	47.8	45	52.3
Fibra	2.9	2	1.44
Grasa	0.9	0.5	0.6
Cenizas	7.1	5	7.41
Minerales	41.3	39	--
Calcio	0.4	0.2	--
Fosforo	1.6	1	--
Magnesio	0.25	0.2	--

2.2.7. Utilización de *Saccharomyces cerevisiae* en alimentación animal

Giraldo y Lorena (2008), manifiestan que por el alto contenido de proteína en la biomasa microbiana determina su uso potencial en la alimentación humana y

animal, ya que actualmente las fuentes convencionales (agricultura, ganadería y pesca) no satisfacen la demanda de alimentos, situación que se ve agravada por el incremento alarmante de la población mundial.

Cuadro 06: Composición de aminoácidos (en % del total de proteínas) en levaduras *Saccharomyces cerevisiae* por diversos autores.

Aminoácidos	Referencia		
	Ferrer <i>et al.</i> , 2004.	Gutiérrez y Gómez, 2008	Vargas y Campos, 2004
Lisina	7.7	5.0	4.3
Histidina	1.50	1.0	1.4
Arginina	5.6	4.3	2.8
Treonina	4.8	3.5	3.1
Cisteína	0.8	0.4	0.6
Valina	5.3	4.5	3.5
Metionina	1.1	1.6	1.0
Isoleucina	2.1	3.0	2.8
Leucina	7.0	8.0	4.3
Triptófano	0.5		
Fenilalanina	1.8		2.6

Durante los últimos años se ha aumentado de manera considerable el uso de aditivos microbianos que se suplementan en forma directa en sistemas de alimentación animal, formulados principalmente a partir de cepas de bacterias y

hongos altamente celulolíticos (García et al., 2004). La mayoría de los cultivos de levadura con fines de nutrición animal, se derivan del género *Saccharomyces* y especie *cerevisiae* (Nagaraja et al., 1997 citado por Durango, 2007).

En la actualidad se han realizado muchas investigaciones del uso de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* como suplemento proteico y prebiótico en la alimentación animal, encontrándose en su mayoría resultados con diferencias significativas en comparación con las dietas control como se muestran a continuación.

La utilización de la levadura seca (sub-producto de la industria cañera), en niveles de proteína como sustituto de la torta de soya, con una dieta conformada de 5% de proteína proveniente de la torta de soya, 15% de proteína de la levadura seca, alfalfa verde *ad libitum*, 0.20% de DL-metionina y 0.15% de premezcla de vitaminas y minerales, dio como resultado que los gazapos alimentados con esta dieta alcanzaron mayor incremento de peso (828 g), mejor conversión alimenticia (3.96) y mayor beneficio económico por cuy. La levadura seca sustituye satisfactoriamente a la torta de soya en función del tenor proteico y su alto valor alimenticio en una explotación de cuyes (Fuentes, 1988, citado por Revollo, 2003).

Recientemente se está utilizando la Levadura de cerveza, *Saccharomyces cerevisiae*, como uno de los aditivos que producen efectos beneficiosos en los pollos de carne, ya que mejora las variables productivas y la calidad de la canal, efectos que son dependientes de la dosis utilizada y el tiempo de administración de la misma. Incluso el reemplazo de parte del núcleo vitamínico mineral, por Levadura, mejoró las variables productivas, notándose, además, efectos positivos



en la calidad de la canal. la combinación de Levadura y antibióticos, o incluso probióticos, y según las dosis utilizadas, se han encontrado mejoras en el peso de la canal y reducción de la grasa en las aves. Otras investigaciones verificaron los efectos de la pared celular de la Levadura, encontrándose que los mananooligosacáridos, uno de los componentes de la misma, tienen efectos beneficiosos en la salud de las aves, ya que son biorreguladores del tracto intestinal, con acción preventiva o curativa, manifestándose en mejoras en la producción sin dejar residuos en la canal (Peralta y Miazzo 2008).

El empleo de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* en el alimento concentrado de borregos en una concentración 1g/kg. Suministrado conjuntamente con la monensina sódica utilizada en la misma concentración mejoró las ganancias de peso y la conversión alimenticia de los ovinos en un sistema de alimentación 50:50 concentrado y forraje, a comparación del alimento testigo (Plata *et al.*, 2006).

Rivas *et al.*, (2008), encontraron resultados con diferencias significativas al suministrar *Saccharomyces cerevisiae* al inicio de la lactancia sobre la producción de leche y grasa de vacas holstein ubicados en el estado de Mérida (Venezuela), a un grupo experimental se le suministró 10 g de levadura por día durante los primeros 105 días postparto, La alimentación basal consistió en el pastoreo de *Pennisetum clandestinum* y *Panicum maximum*, y alimento concentrado (20% PC y 77% NDT) a razón de 1 kg/3 kg de leche. La producción de leche se registró semanalmente, encontrándose que la producción de leche incrementó 165 kg más en los 105 días postparto, y la producción de grasa a las 6 semanas fue mayor 3,4 kg en comparación al grupo control.

2.2.8. Digestibilidad de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Por fermentación microbiana se ha obtenido proteína destinada a la alimentación animal. Aprovechando su rápido crecimiento pudiendo duplicar su masa celular de 3 a 4 horas, incluso en los sistemas de fermentación a gran escala.

El contenido de proteína de las levaduras es rico en aminoácidos azufrados y en lisina, contiene altos contenidos de ácidos nucleídos, oscilando entre 50 y 120 g/kg de materia seca.

Los coeficientes de digestibilidad de la energía obtenidos en experimentos realizados en cerdos han variado entre 70 y 90 % (McDonald *et al*, 2002).

2.3. EL CUY (*Cavia porcellus*)

El cuy es un mamífero roedor originario de la zona andina de América del Sur que contribuye a la seguridad alimentaria de la población rural de escasos recursos de la región. La población de cuyes se encuentra distribuida en todo el Perú, donde son criados para aprovechar su carne en la alimentación humana. Su rusticidad, fácil manejo y rápida reproducción han hecho que la crianza de cuyes se haya mantenido desde épocas muy antiguas hasta nuestros días (Chauca, 1997).

Rico y Rivas (2003), mencionan que la crianza de cuyes, ofrece una alternativa nutritiva y de ingresos al criador principalmente en la región de los Valles, aspectos de fácil manejo y alimentación son factores que contribuyen al desarrollo de esta actividad. La calidad de la carne del cuy por el alto contenido proteico y energético contribuye a mejorar el nivel nutricional de la población rural.

2.3.1. Clasificación taxonómica del cuy

En la clasificación taxonómica el cuy se ubica en la siguiente manera:

Reino	: Animal
Sub reino	: Metazoario
Rama	: Vertebrado
Sub rama	: Tetrapodos
Clase	: Mamífero
Orden	: Roedores
Sub orden	: Simplicidentados
Familia	: Caviidae
Genero	: Cavia
Especie	: <i>Cavia porcellus</i> o <i>Cavia cobayo</i>

Fuente: Cabrera, 1954, citado por Moreno, 1989.

2.3.2. Fisiología digestiva del cuy

La fisiología digestiva estudia los mecanismos que se encargan de transferir nutrientes orgánicos e inorgánicos del medio ambiente al medio interno, para luego ser conducidos por el sistema circulatorio a cada una de las células del organismo. Comprende la ingestión, la digestión y la absorción de nutrientes y el desplazamiento de los mismos a lo largo del tracto digestivo (Chauca, 1997).

Quintana (2009), manifiesta que el cuy es un mamífero herbívoro que se alimenta principalmente de forraje verde, y según su anatomía gastrointestinal esta clasificado como un fermentador post gástrico cecal tal como se aprecia en el cuadro 08.

Cuadro 08: Clasificación del cuy según su anatomía gastrointestinal

Clase	Tipo	Especie	Habito alimenticio
Fermentadores pregástricos	Rumiantes	Vacuno, ovino Antílope, camello	Herbívoro de pasto Herbívoro selectivo
	No rumiantes	Hamster, ratón de campo Canguro, hipopótamo	Herbívoro selectivo Herbívoro de pasto y selectivo
Fermentadores postgástricos	Cecales	Capibara Conejo Cuy Rata	Herbívoro de pasto Herbívoro selectivo Herbívoro Omnívoro
	Colónicos Sacualdos no Saculados	Caballo, cebra Perro, gato	Herbívoro de pasto Carnívoro

Fuente: Van Soest, 1991, citado por Gómez y Vergara, 1993, citado por Chauca, 1997.

El cuy, especie herbívora monogástrica, tiene un estómago donde inicia su digestión enzimática y un ciego funcional donde se realiza la fermentación bacteriana; su mayor o menor actividad depende de la composición de la ración. Realiza cecotrófia para reutilizar el nitrógeno, lo que permite un buen comportamiento productivo con raciones de niveles bajos o medios de proteína (Chauca, 1997).

Aparato digestivo del cuy en si está conformada por la boca, faringe, esófago, estómago, intestinos delgado y grueso, glándulas salivales, páncreas e hígado.

En el estómago se secreta ácido clorhídrico cuya función es disolver el alimento convirtiéndolo en una solución denominada quimo.

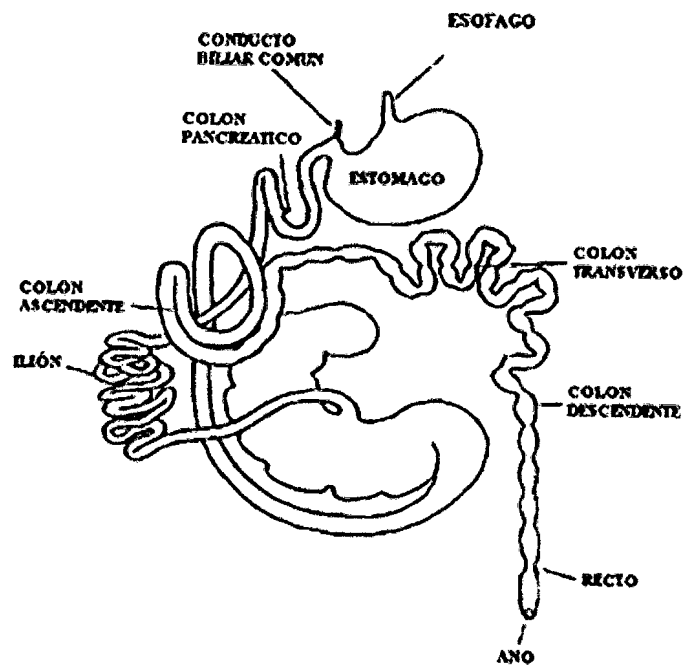


Figura 08: Aparato digestivo del cuy.

Fuente: INIA, 2005 citado por Revollo, 2003.

El ácido clorhídrico además destruye las bacterias que son ingeridas con el alimento cumpliendo una función protectora del organismo.

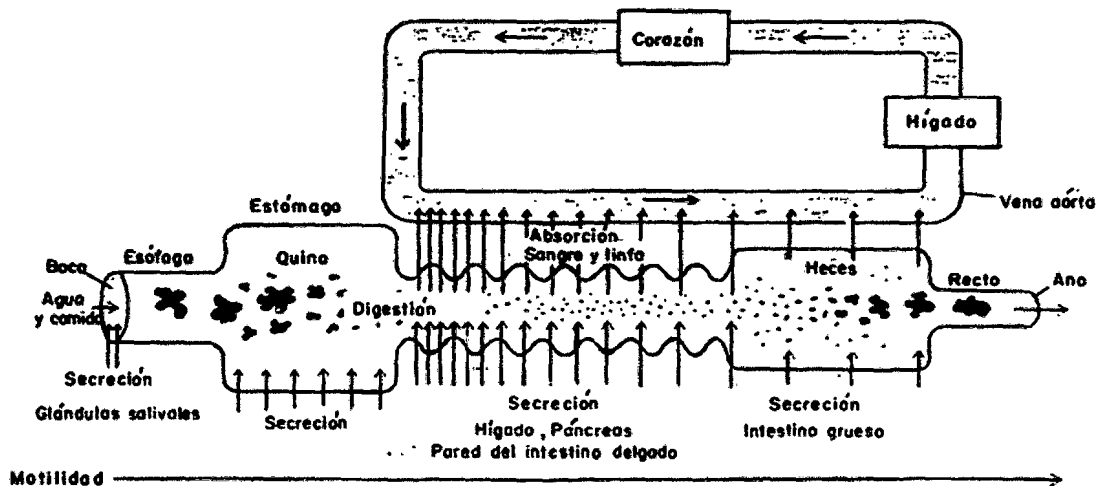


Figura 09. Descripción de la fisiología digestiva del cuy.

Fuente: INIA, 2005 citado por Revollo, 2003.

Algunas proteínas y carbohidratos son degradados; sin embargo, no llegan al estado de aminoácidos ni glucosa; las grasas no sufren modificaciones. La secreción de pepsinógeno, al ser activada por el ácido clorhídrico se convierte en pepsina que degrada las proteínas convirtiéndolas en polipéptidos, así como algunas amilasas que degradan a los carbohidratos y lipasas que degradan a las grasas; segrega la gastrina que regula en parte la motilidad, el factor intrínseco sustancia esencial en la absorción de la vitamina B12 a nivel del intestino delgado. Cabe señalar que en el estómago no hay absorción (INIA, 1995 Citado por Revollo, 2003).

En el intestino delgado ocurre la mayor parte de la digestión y absorción, especialmente en la primera sección denominada duodeno; el quimo se transforma en quilo, por la acción de enzimas provenientes del páncreas y por sales biliares del hígado que llegan con la bilis; las moléculas de carbohidratos, proteínas y grasas son convertidas en monosacáridos, aminoácidos y ácidos grasos capaces de cruzar las células epiteliales del intestino y ser introducidas al torrente sanguíneo y a los vasos linfáticos (INIA, 1995 Citado por Revollo, 2003).

También son absorbidos el cloruro de sodio, la mayor parte del agua, las vitaminas y otros microelementos.

Revollo (2003), menciona que el proceso de la ingesta no demora más de dos horas en atravesar el estómago e intestino delgado, siendo en el ciego donde demora 48 horas. La absorción de ácidos grasos de cadenas cortas se realiza en el ciego y en el intestino grueso.

Los alimentos no digeridos, el agua no absorbida y las secreciones de la parte final del intestino delgado pasan al intestino grueso en el cual no hay digestión



enzimática; sin embargo, en esta especie que tiene un ciego desarrollado existe digestión microbiana. Comparando con el intestino delgado la absorción es muy limitada; sin embargo, moderadas cantidades de agua, sodio, vitaminas y algunos productos de la digestión microbiana son absorbidas a este nivel. Finalmente todo el material no digerido ni absorbido llega al recto y es eliminado a través del ano (INIA, 1995 citado por Revollo, 2003).

A pesar de los procesos ocurridos en el estomago y el intestino delgado la pared celular contenida en la materia vegetal transita casi intacta hacia el ciego, lugar que contiene una flora muy compleja, cuyas enzimas tienen acción degradativa sobre la pared celular. La acción de estas enzimas se conoce como digestión fermentativa y se lleva a cabo en aproximadamente 48 horas, producto de este proceso se obtienen ácidos grasos de cadena corta, vitaminas del complejo B y proteína microbiana, pero solo se absorben a este nivel los ácidos grasos volátiles, vitaminas y agua (Rico y Rivas, 2003).

2.3.3. Necesidades nutricionales del cuy

La vida del animal depende de un suministro adecuado de alimentos procedentes de fuentes diversas para asegurar el mantenimiento de las funciones corporales normales durante la totalidad del ciclo vital, ningún alimento único contiene la cantidad óptima de todos los componentes necesarios llamados nutrientes. Un nutriente se define como cualquier elemento o componente químico necesario en la dieta para mantener la normalidad de la reproducción, crecimiento, lactación o mantenimiento de los procesos vitales. Los animales en comparación de los vegetales necesitan una larga lista de nutrientes específicos (Pond y Pond, 2006)



La nutrición juega un rol muy importante en toda explotación pecuaria, el adecuado suministro de nutrientes conlleva a una mejor producción. El conocimiento de los requerimientos nutritivos de los cuyes permite poder elaborar raciones balanceadas que logren satisfacer las necesidades de mantenimiento, crecimiento y producción (Chauca, 1997).

Mejorando el nivel nutricional de los cuyes se puede intensificar su crianza de tal modo de aprovechar convenientemente su precocidad y prolificidad, así como su habilidad reproductiva. Los cuyes como productores de carne precisan del suministro de una alimentación completa y bien equilibrada que no se logra si se suministra únicamente forraje, a pesar de la gran capacidad de consumo del cuy. Las condiciones de medio ambiente, estado fisiológico y genotipo influirán en los requerimientos (Revollo, 2003).

Cuadro 09: Necesidades nutricionales del cuy en etapa de crecimiento

Nutrientes	Unidad	Crecimiento
Proteínas	%	13-17
Energía digestible	kcal/kg	2 800
Fibra	%	10
Calcio	%	0,8-1,0
Fósforo	%	0,4 0,7
Magnesio	%	0,1 0,3
Potasio	%	0,5-1,4
Vitamina C	mg	200

Fuente: NRC, 1995.



Estas necesidades nutritivas que generalmente se utilizan para formular raciones para cuyes, han sido determinadas por la National Research Council (NRC) (1995) y son mostradas en el Cuadro 09, para cuyes en etapa de crecimiento.

Proteínas:

Las proteínas constituyen el principal componente de la mayor parte de los tejidos, la formación de cada uno de ellos requiere de su aporte, dependiendo más de la calidad que de la cantidad que se ingiere. Existen aminoácidos esenciales que se deben suministrar a los monogástricos a través de diferentes insumos ya que no pueden ser sintetizados (Chauca, 1997).

Las funciones que cumplen las proteínas en el organismo de los cuyes son, enzimáticas en todo el proceso metabólico, defensivas (están a cargo de las proteínas los sistemas inmunológicos del organismo, gama globulina, etc.). Las enzimas, hormonas y los anticuerpos tienen proteínas como estructura central, que controlan y regulan las reacciones químicas dentro del cuerpo. También las proteínas fibrosas juegan papeles protectivos estructurales (por ejemplo pelo y cascos). Finalmente algunas proteínas tienen un valor nutritivo importante (proteína de leche y carne) (Revollo, 2003).

Chauca, 1997 y Revollo, 2003, mencionan que la deficiencia y el suministro inadecuado de proteína, trae como consecuencia un menor peso al nacimiento, escaso crecimiento, baja producción de leche, baja fertilidad y menor eficiencia de utilización del alimento.

Se han realizado diferentes trabajos para determinar el porcentaje exacto de proteína en la formulación de alimentos para cuyes de acuerdo a su estado fisiológico, encontrándose respuestas muy variadas, al respecto Vergara *et al.*, (2006), evaluaron dos niveles de energía (2.8 y 3.0 Mcal/ kg) y proteína (15 y 18%) en la formulación del alimento concentrado para cuyes machos en etapa de crecimiento, encontrando mayor ganancia de peso (13.2 g/día) con 18% de proteína y 3.0 kcal/kg de energía, Garibay *et al* (2008) y Tenorio *et al* (2008) citado por Vergara (2008), determinaron que la reducción de proteína del 18 al 17% no afecta el crecimiento ni la ganancia de peso.

Los consumos del alimento y las ganancias de peso están relacionadas con la cantidad y calidad de la proteína ingerida, es decir, por la disponibilidad de aminoácidos (Chauca, 1997). Algunos aminoácidos son sintetizados en los tejidos del animal, denominándose dispensables. Otros aminoácidos no se sintetizan en absoluto, denominándose esenciales o indispensables (Revollo, 2003).

Aminoácidos esenciales: Lisina, triptófano, metionina, valina, histidina, fenilalanina, leucina, isoleucina, treonina, arginina.

Aminoácidos no esenciales: Glicina, serina, alanina, norleucina, ácido aspártico, ácido glutámico, ácido hidroxiglutámico, cistina, citrolina, prolina, hidroxiprolina.

Cuando se realiza el cálculo y balanceo de raciones alimenticias debe cuidarse que cada ración cuente con lisina, metionina y triptófano. En especial lisina y triptófano a los que se suma la cistina que es capaz de sustituir hasta el 50% de metionina. Si las necesidades no son satisfechas con las fuentes alimenticias se puede adicionar aminoácidos sintéticos hasta obtener las proporciones requeridas, Calero del Mar, (1978), citado por Revollo, (2003).

Cuadro 09. Deficiencia y fuente de aminoácidos esenciales.

Aminoácido	Deficiencia	Fuente
Lisina	Disminución en la velocidad de crecimiento. Disminución de ganancia de peso. Deficiencia alimentaria.	Harina de pescado, harina de carne, hígado, leche, tortas de girasol y soya.
Triptófano	Perdida de peso. Consumo reducido de alimentos. Pelo se le torna áspero.	Maní, soya, leche, maíz, girasol y trigo.
Metionina	Menor eficiencia de asimilación. Disminución del ritmo de crecimiento. Acumulación de grasa en el organismo.	Tortas de girasol, harina de carnes, harina de pescado, levadura de cerveza.
Valina	Disminuye el consumo diario. Retardo en ganancia de peso. Mala conversión alimenticia.	Algodón, maíz, maní, soya, girasol y leche.
Histidina	Retardo en el crecimiento. Disminución de la eficiencia alimenticia.	Maíz, maní, soya y girasol.
Fenilalanina	Retraso de crecimiento.	Maíz, algodón, leche, soya.
Leucina	Disminución de peso y de crecimiento.	Maíz, algodón, maní, soya y girasol.
Isoleusina	Disminuye la retención de nitrógeno y la eficiencia alimenticia.	Maíz, maní, soya, girasol y algodón.
Treonina	Semejante a los demás aminoácidos.	Soya, leche y maíz.
Arginina	Reducción del crecimiento. Menor aprovechamiento de los alimentos.	Organismo animal puede sintetizar hasta el 50%.

Fuente: NRC (1995) y Revollo (2003), en función de datos de Calero del Mar (1978).

Cuadro 10: Porcentaje de aminoácidos requeridos por el cuy en

etapa de crecimiento con un nivel de proteína del 18%.

Aminoácido	Cantidad en g por kg de dieta
Lisina	8.4
Metionina	6.0
Arginina	12.0
Treonina	6.0
Triptofano.	1.8
Histidina	3.6
Isoleusina	6.0
Leusina	10.8
Fenilalamina	10.8
Valina	8.0
Nitrógeno preparado	16.9

Fuente: Vergara, 2008, y NRC, 1995.

Fibra

Los porcentajes de fibra de concentrados utilizados para la alimentación de cuyes van de 5 al 18%. Este componente tiene importancia en la composición de las raciones no sólo por la capacidad que tienen los cuyes de digerirla, sino que su inclusión es necesaria para favorecer la digestibilidad de otros nutrientes, ya que retarda el paso del contenido alimenticio a través del tracto digestivo (Chauca, 1987 y Revollo 2003).

La digestión de celulosa en el ciego puede contribuir a cubrir los requerimientos de energía. Hirsh (1973) citado por NRC (1995), muestra que la dilución de 1:1 en la dieta con celulosa no afecta a la ingestión de alimento o al peso, lo cual apoya a la celulosa como fuente de energía; El procesamiento de la fibra se da por digestión microbiana a nivel del ciego y colon obteniendo entre sus productos ácidos grasos de cadena corta que contribuyen a satisfacer los requerimientos de energía de esta especie. Sin embargo cuando el forraje posee alto grado de lignificación y consecuentemente baja digestibilidad, como ocurre con la panca de maíz (28.2 % de digestibilidad de MS); los cobayos realizan una respuesta compensatoria incrementando su consumo (Gómez *et al.*, 1992 citado por Quintana, 2003).

Según las pruebas realizadas por Villafranca (2003) citado por Quintana (2003), determina que el nivel de fibra que mejor se ajusta en la alimentación de cobayos en crecimiento varía entre 12 a 14 %, mientras que Chauca (1987) menciona que para cuyes en etapa de crecimiento el porcentaje de fibra no debe bajar del 18 %, a lo que Vergara (2008), recomienda un 8% de fibra para cuyes en esta etapa.

Energía

Cuantitativamente la energía es el componente más importante de la dieta animal, tras del agua. La energía solo puede ser medida mediante su transformación de una forma u otra.

Los valores de la energía bruta de los alimentos (Kcal/g) son determinados mediante la cantidad relativas presentes de las tres clases principales de nutrientes

orgánicos: carbohidratos, 4.1; lípidos, 9.4 y proteínas, 5.7 que proveen de energía al animal (Pond y Pond, 2006). Los más disponibles son los carbohidratos, fibrosos y no fibrosos, contenido en los alimentos de origen vegetal. El consumo de exceso de energía no causa mayores problemas, excepto una deposición exagerada de grasa que en algunos casos puede perjudicar el desempeño reproductivo.

Su importancia radica en el hecho de que un 70 ó 90% de la dieta está constituido por sustancias que se convierten en precursores de la energía o en moléculas conservadoras de la energía; además del 10 al 30% del resto de la dieta, una parte suministra cofactores los cuales son auxiliares importantes en las transformaciones de la energía en el organismo (Rojas, 1972, citado por Revollo, 2003).

El NRC (1995), sugiere un nivel de energía digestible de 3000 kcal/kg en la dieta. Al evaluar raciones con diferente densidad energética, se encontró mejor respuesta en ganancia de peso y eficiencia alimenticia con las dietas de mayor densidad energética, (Chauca, 1997).

El consumo excesivo de energía no causa mayores problemas, excepto una deposición exagerada de grasa que en algunos casos puede perjudicar al desempeño reproductivo mientras que la deficiencia disminuye el crecimiento y la cantidad de grasa depositada en los canales, lo que hace perder peso al animal que tiene que usar su propia proteína como energía. Además, el animal puede ser afectado en alguna de sus funciones vitales y por último puede morir (Revollo, 2003 y Chauca, 1987).

Grasa

El cuy tiene un requerimiento bien definido de grasa o ácidos grasos no saturados.

Su carencia produce un retardo en el crecimiento, además de dermatitis, úlceras en la piel, pobre crecimiento del pelo, así como caída del mismo (Chauca, 1987).

Una respuesta satisfactoria en cuyes en crecimiento se logra incluyendo 1% de lípidos en la dieta, cuando la concentración de lípidos saturados es alta como en el aceite de maíz. Sin embargo, para fines prácticos es recomendable un nivel de 3% en la ración (REID, 1954, citado por Quintana, 2003).

Agua

El agua está indudablemente entre los elementos más importantes que debe considerarse en la alimentación. Constituye el 60 al 70% del organismo animal (Revollo, 2003), El animal la obtiene de acuerdo a su necesidad de tres fuentes: una es el agua de bebida que se le proporciona a discreción al animal, otra es el agua contenida como humedad en los alimentos, y la tercera es el agua metabólica que se produce del metabolismo por oxidación de los nutrientes orgánicos que contienen hidrógeno (Chauca, 1987).

Chauca (1987), señala que la utilización de agua de bebida en la alimentación de cuyes en recría, no ha mostrado diferencias que favorezcan su uso en cuanto a crecimiento, pero si mejoran su conversión alimenticia. Los cuyes que recibían agua *ad libitum* alcanzaban una conversión alimenticia de 6,80 mientras que los que no recibían alcanzaban una de 7,29.

Cuando la alimentación es solo a base de forraje verde no es necesario dar agua, si la alimentación es mixta (forraje mas concentrado) se debe dar de 100 a 150 g de forraje verde por animal para la ingestión mínima de agua de 80 a 120 ml. Si la alimentación es a base solo de concentrado debe proporcionarse de 8 a 15 ml de agua por 100 g de peso vivo o 50 a 140 ml por animal por día, cuidando que el agua ofrecida debe encontrarse limpia y libre de patógenos (INIA, 1995, citado por Revollo, 2003).

Minerales

Los elementos minerales se encuentran en el cuerpo del animal cumpliendo varias funciones: estructurales, fisiológicas, catalíticas, etc (INIA, 1995 citado por Revollo, 2003).

Unos 21 elementos pueden considerarse como esenciales para el organismo animal: calcio, fosforo, magnesio, azufre, manganeso, potasio, cloro, sodio, zinc, hierro, cobre, cobalto, molibdeno, iodo, selenio, cromo, flúor, níquel, vanadio, sílice y estaño, cuyos requerimientos son más difíciles de determinar con exactitud que los otros nutrientes orgánicos ya que muchos factores determinan su aprovechamiento como la interrelación de estos en el organismo (Maynard *et al.*, 1981, citado por Quintana, 2003).

Si los cuyes reciben cantidades adecuadas de pastos, no es necesario proporcionarles minerales en su alimentación, algunos productores proporcionan sal a sus cuyes, però no es indispensable si reciben forraje de buena calidad y en cantidad apropiada (Rico y Rivas, 2003).



La falta de minerales ocasiona trastornos como alteración del apetito, roído de la madera e ingestión de tierra. Las deficiencias que comúnmente se observan son las de calcio, fósforo y yodo, las principales deficiencias se muestran el cuadro 11.

Cuadro 11: Signos de deficiencia por minerales en cuyes.

Mineral	Signos de deficiencia
Calcio y fosforo	Pérdida de peso, lesiones raquíticas en las costilla s y huesos largos, dientes con hipoplasia extrema del esmalte. Osteoparálisis, que causa fracturas, urolitiasis en los animales en crecimiento.
Magnesio	Crecimiento pobre, pérdida de pelo, actividad decreciente, coordinación muscular pobre, rigidez en miembros posteriores, fosforo elevado en el suero y anemia.
Potasio	Muerte < o = 1 g/ kg.
Cobre y hierro	Retardación de crecimiento, defectos cardiovasculares y anormalidades del sistema nervioso central.
	Anormalidades esqueléticas y patología pancreática.
Zinc	Postura anormal, lesiones en la piel, anorexia y excesiva vocalización.

Fuente: NRC, 1995.

Los requerimientos de minerales para cuyes en etapa de crecimiento se muestran en el cuadro 12:

**Cuadro 12: Requerimientos de minerales en Cuyes
en etapa de crecimiento**

Mineral	Unidad	Cantidad por kg de dieta
Calcio	g	8.0
Fosforo	g	4.0
Magnesio	g	1.0
Potasio	g	5.0
Cloro	g	0.5
Sodio	g	0.5
Cobre	mg	6.0
Hierro	mg	50.0
Maganeso	mg	40.0
Zinc	mg	20.0
Yodo	µg	150.0
Molibdeno	µg	150.0
Selenio	µg	150.0

Fuente: NRC, 1995.

Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos esenciales requeridos en muy pequeñas cantidades para el mantenimiento de la salud, para el crecimiento y reproducción normal. No pueden ser sintetizadas en el cuerpo, por ello deben ser suministradas del exterior (Quintana, 2003).

El cuy carece de la capacidad de sintetizar el ácido ascórbico (vitamina C), debido a deficiencia genética de la enzima L-gulonolactona oxidasa necesaria para la síntesis de esta vitamina a partir de la glucosa, razón fundamental por la cual deben consumir permanentemente forrajes verdes, como fuente de esta (Revollo, 2003).

El ácido ascórbico cumple funciones específicas en el organismo, como la formación y sostenimiento de colágeno y otras sustancias que contribuyen a mantener unidas las células de los tejidos, asimismo contribuye a la protección del organismo contra sustancias tóxicas, regulando el ritmo del metabolismo de las células (Revollo, 2003).

La NRC, (1995) y Vergara, (2008), recomiendan que para los cuyes en etapa de crecimiento con alimentación mixta o solo a base de concentrados, la dosis de vitamina C debe ser de 200 mg/kg de alimento suministrado.

Las otras vitaminas al igual que la vitamina C, cumplen funciones muy específicas dentro del organismo del cuy, aunque el requerimiento es en cantidades mínimas su deficiencia causa diversas alteraciones dentro del organismo, Revollo (2003), a ordenado las vitaminas con sus síntomas en el animal por su deficiencia y las fuentes para suministrar el cual se muestra en el cuadro 13.



Cuadro 13: Deficiencias y fuentes de vitaminas.

Vitamina	Deficiencia	Fuente
Vitamina C o Antiescorbútica	Pérdida de apetito, crecimiento retardado, parálisis de miembros posteriores y muerte. Escorbuto. Cambio de voz, encías inflamadas, sangrantes y ulceradas, aflojamiento de los dientes, hemorragias especialmente peri articulares, fragilidad de los huesos, mala cicatrización de heridas y pérdida de vigor, articulaciones se inflaman, cojera y resistencia a moverse, pérdida de peso, disminución de la temperatura, tendencia a la diarrea, tendencia a echarse, puede morir.	Forraje verde, alfalfa, trébol, rye grass, vicia, grama china, kikuyo, gramalote, hortalizas, hoja de plátano, pasto elefante, soya forrajera, alimentos de base seca, restos de cosecha de cereales, raciones concentradas.
B1 o Tiamina	Vómitos, diarrea, falta de apetito, pérdida de equilibrio y una tendencia a la retracción de la cabeza durante los estados finales anorexia.	Cereales, pastos verdes, afrecho de trigo, concentrados proteicos.
Riboflavina	Trastornos digestivos, debilidad general, afecciones en los ojos y en la piel; aspereza en el pelaje, palidez en las patas, nariz y orejas. Muerte.	Leche, trébol y alfalfa.
Niacina o ácido nicotínico	Pérdida de apetencia por los alimentos y el agua, babeo, pelaje sucio, diarrea, palidez de las patas, nariz y orejas.	Leche.
Ácido pantoténico o vitamina antitérmica.	Retardo del crecimiento, anorexia, pelaje desarreglado, decoloración del pelaje, tendencia a diarreas, debilidad y muerte.	Forrajes verdes, el salvado de trigo, melaza de caña de azúcar, etc.



Vitamina	Deficiencia	Fuente
B6 o Piridoxina	Es muy difícil que presente deficiencias.	Alfalfa, los forrajes verdes y los granos.
Ácido fólico	Retardo del crecimiento, pérdida de apetito, debilidad, diarrea, salivación, convulsiones y muerte.	Alfalfa, algodón y trigo.
Colina	Disminución del crecimiento y debilidad muscular, disminución de glóbulos rojos (anemia), hemorragias subcutáneas, riñones pálidos.	Alfalfa, algodón, maní, soya y trigo
Vitamina A	Crecimiento pobre, pérdida de peso, incrustaciones de párpados y dermatitis severa; neumonía a priori a la muerte.	Maíz amarillo, pastos verdes, productos vegetales.
Vitamina D	Mala regulación de calcio y fósforo.	Aceite de pescado, alfalfa y gramíneas.
Vitamina E	Musculatura blanda, degeneración de los músculos voluntarios, lesión del músculo cardíaco. Muerte repentina. Afecta la reproducción.	Gérmenes de todos los cereales, pastos verdes.
K o vitamina antihemorrágica	Disminución de protrombina de la sangre; hemorragias en la placenta, ocasionando abortos; crías mueren al nacer desangrándose.	Se sintetiza en el intestino del animal (ciego), hojas verdes.

Fuente: NRC, 1995.

Los requerimientos de vitaminas para cuyes en etapa de crecimiento se detallan en el cuadro 14:



Cuadro 14: Requerimientos de vitaminas de cuyes en etapa de crecimiento.

Vitamina	Cantidad en mg por kg de alimento
A o retinol	6.6
Beta caroteno	28.0
D	0.025
E	26.7
K	5.0
acido ascórbico	200.0
Biotina	0.2
Colina	1.8
Acido fólico	3.0 – 6.0
Niacina	10.0
Acido pantoténico	20.0
Piridoxina	2.0 – 3.0
Riboflamina	3.0
Tiamina	2.0

Fuente: NRC, 1995.

2.3.4. Digestibilidad de insumos alimenticios utilizados en la alimentación de cuyes.

La composición química de un alimento es solamente indicativa del contenido de nutrientes del mismo, mas no de su disponibilidad para el animal, por lo que es necesario contar con datos de digestibilidad (Villegas, 1993, citado por Beltrán 1992).

Villarroel (1977), citado por Villegas (1993), indica que la digestibilidad se define como la porción de un alimento que no es excretado con las heces y que se supone

por lo tanto que ha sido absorbida. Por lo general se representa por el llamado coeficiente de digestibilidad o coeficiente de utilización digestiva (CUD) que se expresa en porcentaje de materia seca.

Los factores que afectan la digestibilidad, propios del alimento, son:

- Composición química del alimento
- Nivel de consumo del alimento
- Deficiencias de los nutrientes

Y los factores dependientes del animal:

- Tiempo para realizar la acción digestiva
- Trastornos digestivos

Las pastas proteicas y las harinas de carne y de pescado son de digestibilidad alta y no así las harinas de sangre, pluma y de pelo. La digestibilidad de los forrajes es más variada siendo el estado de madurez el principal causante de dicha variabilidad. En general a medida que aumenta la madurez de la planta disminuye su contenido en proteína, azúcares y se eleva el contenido de fibra (Shimada, 1983). Esos cambios son el resultado de deposición de celulosa y hemicelulosa en las paredes celulares y tienen el efecto no sólo de disminuir el porcentaje de proteína sino también reducir su digestibilidad (Butterworth citado por Correa, 1986, citado por Villegas, 1993).

La determinación de la digestibilidad puede establecerse *in vivo* e *in vitro*. La primera se comprueba mediante experiencias directas sobre los animales y en la segunda se establece en laboratorio tratando de reproducir las funciones del rumen. Estas técnicas reciben el nombre de “fermentación” o digestibilidad “*in vitro*” o técnicas del rumen artificial.

El determinar los coeficientes de digestibilidad de los diferentes insumos alimenticios sean forrajeros o componentes de raciones, permite estudiar más sobre la nutrición del cuy como productor de carne (INIA, 1995, citado por Revollo, 2003).

2.3.5. Actividad cecotrófica en cuyes.

El cuy es un animal que realiza cecotrofia, ya que produce dos tipos de heces, una rica en nitrógeno que es reutilizada (cecótrofo) y otra que es eliminada como heces duras (Rico, 1995).

La cecotrofia es un proceso digestivo poco estudiado; se han realizado estudios a fin de caracterizarla. Esta actividad explica muchas respuestas contradictorias halladas en los diferentes estudios realizados en prueba de raciones. Al evaluar balanceados con niveles proteicas entre 13 y 25 por ciento, que no muestran diferencias significativas en cuanto a crecimiento, una explicación de tales resultados podría tener su base en la actividad cecotrófica (Chauca, 1997).

Calero del Mar (1978), citado por Revollo (2003), indica que el cuy toma las heces y las ingiere nuevamente pasando al estómago e inicia un segundo ciclo de digestión que se realiza generalmente durante la noche. Este fenómeno constituye una de las características esenciales de la digestión del cuy.

Esta doble digestión tiene una singular importancia para el aprovechamiento de azufre. Las heces que ingiere el cuy actúan notablemente como suplemento alimenticio.



2.3.6. Sistema de alimentación mixta

En la alimentación de cuyes se pueden emplear tres sistemas de alimentación: alimentación básica (a base de forraje), alimentación mixta (forraje mas concentrado) y alimentación a base de concentrados (Chauca, 1997 y Revollo, 2003).

Los sistemas de alimentación se adaptan de acuerdo a la disponibilidad de alimento y de recursos económicos. El cuy es una especie versátil en su alimentación. Puede comportarse como herbívoro o se puede forzar su alimentación en función de un mayor uso de balanceados. Los cambios de alimentación no deben ser bruscos; hay que adaptarlos paulatinamente al cambio de forraje ya que son muy susceptibles a presentar trastornos digestivos especialmente los de menor edad (Chauca, 1997).

Alimentación mixta:

Un factor importante para utilizar este sistema de alimentación es que la disponibilidad de alimento verde no es constante a lo largo del año, hay meses de mayor producción y épocas de escasez por falta de agua, de lluvia o de riego, tornándose crítica la alimentación de los cuyes; por tanto, se tiene que recurrir a diferentes alternativas, entre ellas el uso de concentrado, granos o subproductos industriales (afrecho de trigo o residuo seco de cervecería) como suplemento al forraje (Chauca, 1997).

Rico (1995), menciona que en este sistema de alimentación, el forraje asegura la ingestión adecuada de vitamina C y el concentrado completa una buena alimentación.

Diferentes trabajos han demostrado la superioridad del comportamiento de los cuyes cuando reciben un suplemento alimenticio conformado por una ración balanceada. Un animal mejor alimentado exterioriza mejor su bagaje genético y mejora notablemente su conversión alimenticia que puede llegar a valores intermedios entre 3,09 y 6. Cuyes de un mismo germoplasma alcanzan incrementos de 546,6 g cuando reciben una alimentación mixta, mientras que los que recibían únicamente forraje alcanzaban incrementos de 274,4 g (Chauca, 1997).

2.3.7. Influencia de la flora intestinal

McDonald *et al* (2002), detalla que la flora intestinal cumple un rol muy importante en el sistema digestivo, influyendo directa o indirectamente en el estado de salud del hombre y los animales a través de las siguientes funciones:

- Producción de vitaminas y ácidos grasos de cadena corta
- Degradación de sustancias alimenticias no ingeridas.
- Integridad del epitelio intestinal
- Estimula de la respuesta inmunitaria.
- Protección frente a microorganismos enteropatógenos.



La estabilidad de la flora intestinal es imprescindible para que estas funciones puedan desarrollarse (McDonald *et al* 2002). Según Tournut (1989) citado por Revollo (2003) la palabra “probióticos”, utilizada por Parker en 1974, tiene la siguiente explicación: “probióticos son organismos de sustancias que contribuyen al equilibrio microbiano en el intestino”. Muchas personas actualmente utilizan estos probióticos por la combinación de bacterias, enzimas y levaduras de efecto benéfico, compuesto en su mayoría por *Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus faecium bacillus*; usado en grandes dosis en el alimento para prevenir desórdenes digestivos, incrementando efectos zootécnicos (índices de producción).

2.3.8. Factores que afectan la alimentación.

Los alimentos representan el principal coste en la producción animal, por consiguiente, la eficacia en la utilización de los alimentos es un hecho importante en la explotación ganadera y el nivel de consumo de los alimentos por los animales individuales en crecimiento esta relacionado directamente con la eficacia del crecimiento (Pond y Pond, 2006).

Según Rico (1995) y Pond y Pond, (2006), los siguientes factores afectan directamente en la alimentación:

1. Densidad de animales por m².
2. Horario de alimentación.
3. Estado fisiológico de los animales.
4. Calidad y estado del forraje.
5. Cambios en la ración alimenticia.



6. Forraje contaminado (insectos, hongos, plantas tóxicas, residuos químicos, etc.)

7. Forraje sin orear (caliente).

2.3.9. Formulaciones de raciones.

Según Pond y Pond (2006), menciona que el éxito de cualquier empresa dedicada a la producción animal depende de una nutrición adecuada y de un manejo de la alimentación adecuada y de un manejo de los alimentos basado en dietas económicas y equilibradas nutricionalmente adecuadas para cada fase del ciclo vital y situación fisiológica. La formulación de dietas es un procedimiento que adapta las necesidades nutritivas del animal con las combinaciones óptimas de los ingredientes alimenticios disponibles. Los dos bloques de información necesarios para equilibrar una dieta son: (1) las necesidades nutritivas del animal y (2) la composición química (nutrientes) de los alimentos disponibles.

Las raciones que cubren las necesidades sin que presenten deficiencias nutritivas o excesos marcados, se denominan raciones equilibradas. Para formular raciones, se precisan los siguientes datos: necesidades nutritivas de los animales en cuestión, composición nutritiva de los alimentos disponibles, utilización de los nutrientes de los alimentos, características no nutritivas de los alimentos como aceptabilidad y precios de los alimentos disponibles (Cheeke, 1987, citado por Revollo, 2003).

2.4. Insumos utilizados en la formulación del balanceado

2.4.1. Afrecho

El afrecho de trigo se define como un alimento de tipo energético-proteico, con valores intermedios tanto de energía como proteínas. Puesto que es un

subproducto de la extracción de harina (almidón) el residuo que le confiere el valor energético deriva fundamentalmente de la "fibra" de la cubierta de los granos. Por lo tanto, se trata de una fuente de energía de menor digestibilidad y "metabolicidad" que la del almidón. El valor proteico, proviene tanto del "germen" de la semilla como de las cubiertas del grano, siendo el germen el que contribuye con la mayor proporción de sustancias proteicas de calidad (Gallardo, 2002).

Cuadro 15: Composición química del afrecho de trigo por 100 g.

Componente	Energía (Kcal)	Agua	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Hidratos carbono
Cantidad (%)	384.00	4.00	14.80	3.80	10.00	4.80	62.60

Fuente: collazos, 1996.

2.4.2. Harina integral de avena

La avena (*avena sativa*) ha sido siempre muy apreciada en la alimentación de los herbívoros, debido a su alto contenido de fibra y bajo valor energético. El valor nutritivo de la avena depende, en alto grado, de la relación existente entre el grano y la cascarilla. La vena de alto contenido de cascarilla es más rica en fibra bruta y de menor valor en energía metabolizable, que la avena de bajo contenido en cascarilla.

El contenido de proteína bruta, que varía entre 70 y 150 g/kg de materia seca, aumenta por la aplicación de abonos nitrogenados. La proteína de la avena es de baja calidad, siendo deficiente en los aminoácidos esenciales metionina, histidina y triptófano; las cantidades de dichos aminoácidos en la proteína de la

avena, suelen ser inferiores a 20 g/Kg. El contenido de lisina también es bajo, aunque ligeramente superior al de las proteínas de otros cereales, el aminoácido más abundante de la proteína de la avena es el ácido glutámico, cuyo contenido puede llegar hasta 200g/Kg (McDonald *et al*, 2002).

En comparación con la mayoría de los demás granos de cereales, el contenido en grasa de la avena es superior, encontrándose en el endospermo alrededor del 60 por ciento. Según se ha indicado, la grasa es rica en ácidos grasos insaturados, teniendo efecto ablandante sobre las grasas del organismo (McDonald *et al*, 2002).

Cuadro 16: Composición química del grano de avena por 100 g.

Componente	Energía (Kcal)	Agua	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Hidratos carbono
Cantidad (%)	319.80	13.30	10.00	4.80	10.30	3.10	58.50

Fuente: Collazos, 1996.

2.4.3. Harina integral de maíz amarillo duro

Existen diversos tipos de maíz (*Zea mays*), cuyos granos presentan distintos colores: amarillo, blanco o rojo. El maíz amarillo contiene el pigmento criptoxantina, que es precursor de la vitamina A.

Al igual que otros cereales, el maíz presenta ciertas limitaciones como alimento del ganado, aunque se trata de una fuente de energía digestible excelente, el contenido de proteína es bajo, y dicha proteína es de baja calidad, contiene aproximadamente 730 g de almidón/kg de materia seca, la cantidad de fibra es muy escasa, y presenta un alto valor de energía metabolizable. El almidón del maíz se digiere con más lentitud que de otros granos, administrado en gran

cantidad, parte del almidón llega al intestino delgado, donde se digiere y se absorbe como glucosa (McDonald *et al*, 2002).

El contenido de aceite de maíz varia entre 40 y 60 g / kg de materia seca, siendo rico en ácido linoleico (McDonald *et al*, 2002).

Cuadro 17: Composición química del grano de maíz amarillo por 100 g.

Componente	Energía (Kcal)	Agua	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Hidratos carbono
Cantidad (%)	315.00	16.10	8.40	1.10	3.80	1.20	69.40

Fuente: collazos, 1996.

2.5. Forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El FVH es un pienso o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apta para la alimentación animal, consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (FAO, 2001).

Este sistema ofrece una alternativa para la producción rápida y simple de forraje verde de gran valor en época seca o cuando las condiciones climáticas no permitan la cosecha de forraje (Elizondo, 2005).



2.5.1. Factores que afectan la producción de forraje verde hidropónico.

Semilla:

Romero (2009), sustenta que la semilla a utilizar es el punto primordial de este sistema. Es importante como elemento productivo controlando también el costo final del producto.

El éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH (FAO, 2001).

Iluminación:

La fuente de luz dentro de los recintos de producción de FVH, es importante para cumplir la función fotosintética por las células verdes de las hojas. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, a la vez que promotora de la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal (FAO, 2001).

La iluminación es un factor importante para la producción del FVH, variando en cada etapa de la producción, al comienzo del ciclo de producción, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas, las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces, a partir de se tiempo se expone las bandejas a una iluminación bien distribuida pero nunca directa de luz solar donde obtiene su color verde intenso característico completando su riqueza nutricional óptima (FAO, 2001).

Temperatura:

La temperatura es una de las variables más importantes en la producción de FVH. Ello implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18° C y 26 ° C. (Martínez, 2001; citado por la FAO, 2001).

Humedad:

Mantener la condición adecuada de humedad en el interior del recinto de producción es muy importante. La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior al 90%. Valores de humedad superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos (FAO, 2001).

Calidad de agua de riego:

La calidad de agua de riego es otro de los factores para el éxito de la producción de FVH. La condición básica que debe presentar el agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Si el agua disponible no es potable, tendremos problemas sanitarios y nutricionales con el FVH.

Las características óptimas del agua de riego deben ser: pH, de 5.2 a 7; Conductividad, debe estar entre valores de 1,5 a 2,0 mS/cm (miliSiemens por centímetro) (FAO, 2001).



2.5.2. Sistema de producción de forraje verde hidropónico a partir de cebada

El proceso de producción de FVH, tiene pequeñas variaciones generalmente en el factor del tiempo, esto debido por la especie producida y las condiciones medioambientales.

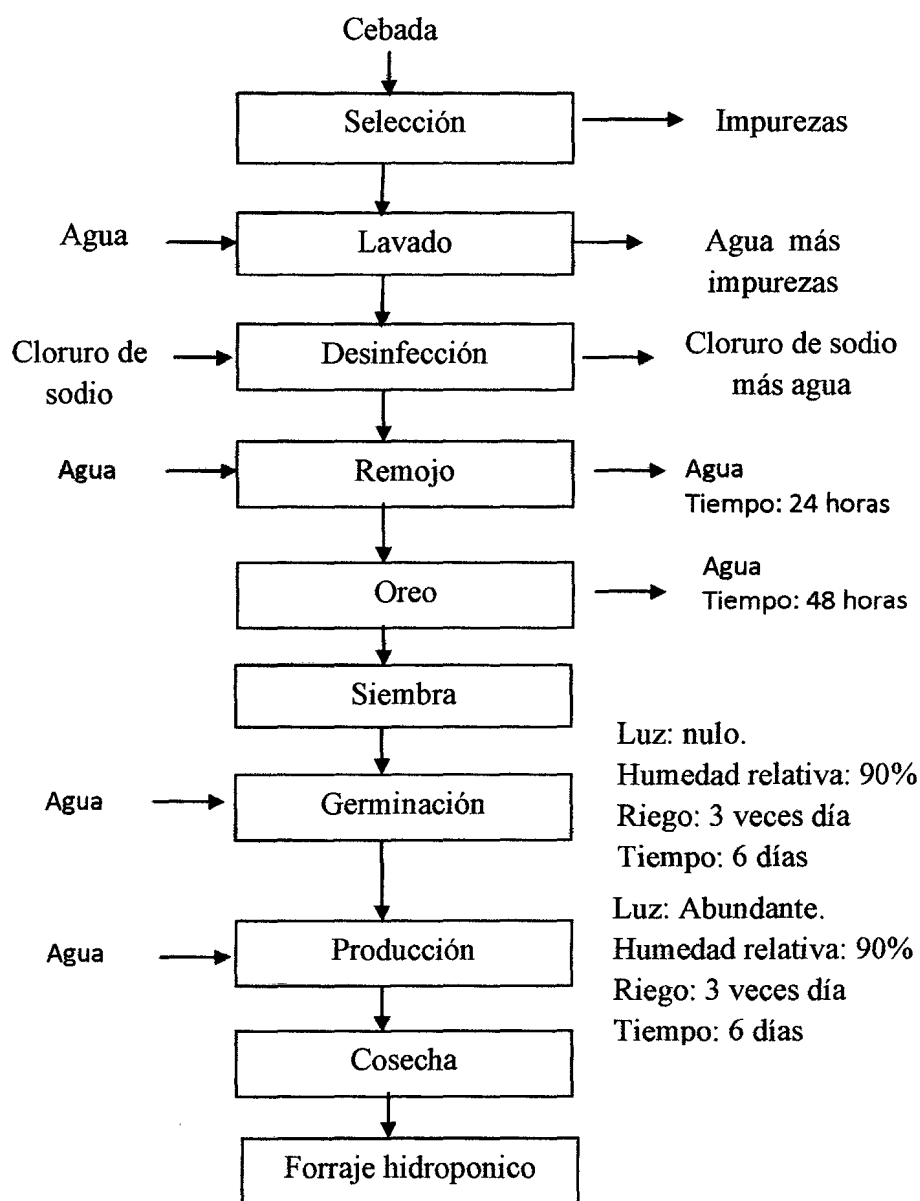


Figura 10: diagrama de flujo para la producción de forraje verde hidropónico de cebada.

Fuente: FAO, 200; Elizondo, 2005 y Vargas, 2008.

El forraje verde hidropónico presenta una alta calidad nutricional para los animales herbívoros tal como se muestra en el cuadro N° 18.

Cuadro 18: Composición química y calidad nutricional del forraje verde hidropónico de cebada.

Parámetro	Valor	Unidad
Energía	3.21	kcal/kg MS
Digestibilidad	81	%
Proteína Cruda	16.02	%
Fibra Cruda	12.95	%
Grasa	5.37	%
E.L.N.	62.63	%
N.D.T.	80.91	%
Ceniza	3.03	%
Vitamina A	25.1	UI/Kg.
Vitamina C	45.1 – 154	mg/Kg.
Vitamina E	26.3	UI/Kg.
Calcio	0.11	%
Fósforo	0.30	%
PH	6.0 - 6.5	%
Palatabilidad	Excelente	
Materia Seca	12 - 20	%

E.L.N. Extracto libre de nitrógeno; N.D.T. Nutrientes digestible totales

Fuente: Laboratorio de evaluación nutricional de alimentos de la Universidad Nacional Agraria la Molina y Tarrillo, 2010.

2.5.3. Digestibilidad del forraje hidropónico

La digestibilidad del forraje hidropónico de cebada es alta en comparación con otros insumos utilizados en la alimentación del cuy tal como se aprecia en el cuadro 19.

Cuadro 19. Comparación entre las características del FVH (cebada) y otras fuentes alimenticias.

Parámetro	FVH(cebada)	Concentrado	Heno	Paja
Energía (kcal/kg MS)	3.216	3.000	1,680	1,392
Proteína Cruda (%)	25	30,0	9,2	3,7
Digestibilidad (%)	81,6	80	47,0	39,0
Kcal Digestible/kg	488	2,160	400	466
kg Proteína Digestible/Tm	46,5	216	35,75	12,41

Fuente: Sepúlveda, Raymundo. 1994, citado por FPA CONAMA, 2010.

2.5.4. Uso de forraje verde hidropónico en alimentación animal.

En la producción de forraje verde hidropónico entre las especies de cebada, maíz, trigo y avena, la cebada resulto ser el mas precoz, al comenzar la germinación al tercer día a los 48 horas germina en un 95%, mientras que la avena empieza la germinación a los 4 días y el 95% de las semillas germinan en tres días, en el caso del trigo y el maíz germinan a los 9 días el 90% y 85% respectivamente; de las cuatro especies la cebada es el que produce mayor cantidad de forraje y es el mas consumido por los cuyes lactantes. Los cuyes lactantes solo consumen el tallo no mas las raíces que son consumidas por las hembras reproductoras (INIA, 1994).

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución.

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se utilizaron los laboratorios de Química, Biotecnología Agroindustrial y Operaciones Unitarias de la Escuela Académico Profesional de Ing. Agroindustrial, así como también el galpón de cuyes de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (Sede Tamburco), El tiempo utilizado para realizar las corrida experimental fue de diciembre del 2010 a mayo del 2011 de acuerdo al cronograma establecido.

3.2. Materia prima.

Las materias primas e insumos utilizados en la investigación fueron varios de acuerdo a las etapas desarrolladas, a continuación se detallan las materias primas utilizadas:

En la producción de levaduras *Sacharomyces Serevisiae*, se utilizo como materia prima, el jugo recién extraído del proceso de molienda de la caña de azúcar adquirido de la Destiladora Donayres, ubicado en el valle de Pachachaca de la Provincia de Abancay, la levadura utilizada como inculo fue de la marca Fleishman.

Para la obtención de harina de lombriz roja californiana, se recolectaron lombrices del centro de producción de lombricultura ubicado en el Distrito de San Jerónimo, Andahuaylas.

En el proceso de producción del alimento balanceado se utilizaron como parte de la formulación el afrecho de trigo, avena partida y maíz partido, adquirido del comercial Cañari, de la provincia de Andahuaylas.

Para realizar la evaluación final de los alimentos formulados se utilizaron cuyes línea Perú, procedente del sector de Kerapata del distrito de Tamburco-Abancay, del criador Víctor Chávez; Así mismo se utilizó cebada adquirida en el mercado las Américas para la producción de forraje hidropónico.

Otros insumos utilizados en el desarrollo de la investigación fueron:

- Agua potable: Para la dilución del jugo de caña, lavado de las lombrices, regado del forraje hidropónico, alimentación de cuyes.
- Sal de piedra: Para complementar el yodo en la alimentación.

3.3. Materiales equipos y reactivos.

3.3.1. Materiales

Los materiales de vidrio utilizados fueron: Fiolas, placas petri, vasos de precipitados de 100, 250, 500 y 1000 ml; Matraces de 250 y 500 ml; Erlenmeyer, probetas de 100 y 250 ml, balones de digestión, pipetas, embudo, baguetas, tubos de ensayo, campana de vidrio (deseCADador).

Materiales de porcelana: Embudos, mortero y crisol.

Otros materiales: pinza de metal, papel whatman N° 2, tapón de corcho, papel tipo facial o higiénico, malla de asbesto, coladores, cubos de 18 L, ollas de acero, comederos de tolva, bebederos de porcelana, jaulas de cuyes, y otros materiales para los análisis de los métodos respectivos.



3.3.2. Equipos

- Balanza analítica modelo AR2140, capacidad 210 g, con aproximación de 0.001 g.
- Balanza digital xes-3000 con aproximación de 1 g.
- Equipo kjeldahl. VECP SCIENTIFICA, UDK 126 D.
- Mufla eléctrica marca BARNSTEAD THEMOLYNE.
- Equipo soxhlet.
- Cocinillas eléctricas con tesmostato.
- Bomba de vacío. Vacuubrand. Made in Germany.
- Centrifuga. ML W MEDIZINTECHNIK.
- Biorreactor bach con capacidad de 25 L, acondicionado para una producción en sistema continuo.
- Agitador mecánico
- Equipo de producción de forraje hidropónico.

3.3.3. Reactivos.

- Agua destilada
- Acido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Éter de petróleo
- Hidróxido de sodio
- Acido clorhídrico.
- Sulfato de cobre
- Sulfato de potasio
- Indicador rojo de metilo

3.4. Métodos de análisis.

En el desarrollo de la investigación se realizaron diferentes análisis, composición proximal de los insumos obtenidos y de los alimentos formulados fueron realizados según las metodologías desarrolladas por la AOAC, 1995; Cada uno de ellos se detallan en las etapas correspondientes de la metodología experimental.

3.5. Metodología experimental.

Cada uno de las etapas ejecutadas en la investigación se detalla a continuación:

3.5.1. Producción de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Cada uno de los procesos se llevo por separado, en forma simultánea.

3.5.1.1. Producción de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*

Para la producción de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* se utilizo como medio de cultivo el jugo de caña de azúcar recién extraída del proceso de molienda, el cual se filtro para separar las partículas gruesas provenientes del proceso de molienda, acto seguido se diluyo con agua hasta conseguir una concentración de azúcares de 4 ° Brix en un volumen de 5 L, el jugo diluido se procedió a pasteurizar a 80 °C por 10 minutos con la finalidad de eliminar los microorganismos presentes en el jugo, terminado el tratamiento térmico se vacio el jugo caliente al autoclave que ha sido lavado, desinfectado con hipoclorito de sodio y cerrado herméticamente.

Cuando la temperatura desciende a 35 °C (Por aireación con aire estéril) se inocula el cultivo de *Saccharomyces cerevisiae* comercial deshidratada marca Fleishman; en una concentración de 0.25% w/v, previamente rehidratada a una temperatura de 28 °C.

Para la fermentación se utilizo un biorreactor bach estándar de acero inoxidable de 25 L, acondicionada para una producción en sistema continuo (ver anexo 13), el proceso de fermentación fue de forma aerobia suministrando aire estéril a razón de 68 L/min, con agitación continua a 156 rpm y una temperatura ambiente 22°C ±3°C.

Para establecer el sistema de cultivo continuo inicialmente se trabajo en sistema de bach alimentado, empezando con un volumen de 5 L y un tiempo de 24 horas hasta que la concentración del sustrato baje a 1 °Brix, en esta etapa se obtuvieron algunos parámetros cinéticos de crecimiento para la levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, luego se adiciono 15 L de sustrato a una concentración de 5 °Brix para mantener la concentración del medio dentro del biorreactor a 4 °Brix, se cultivo por 24 horas hasta que la concertación bajo a 1°Brix, de allí se estableció el cultivo continuo estableciendo los parámetros cinéticos para cultivo continuo en el biorreactor utilizado jugo de caña de azúcar como sustrato:

- F_e y F_s : Flujos Volumétricos de entrada y salida (L/h).
- S_o , y S : Concentración de sustrato a la entrada y salida del biorreactor (°Brix).
- X_o y X : Concentración de biomasa a la entrada y salida del biorreactor (g células/ L de sustrato).
- D : Velocidad de dilución (1/h).
- μ : Velocidad de Crecimiento de las levaduras (1/h).



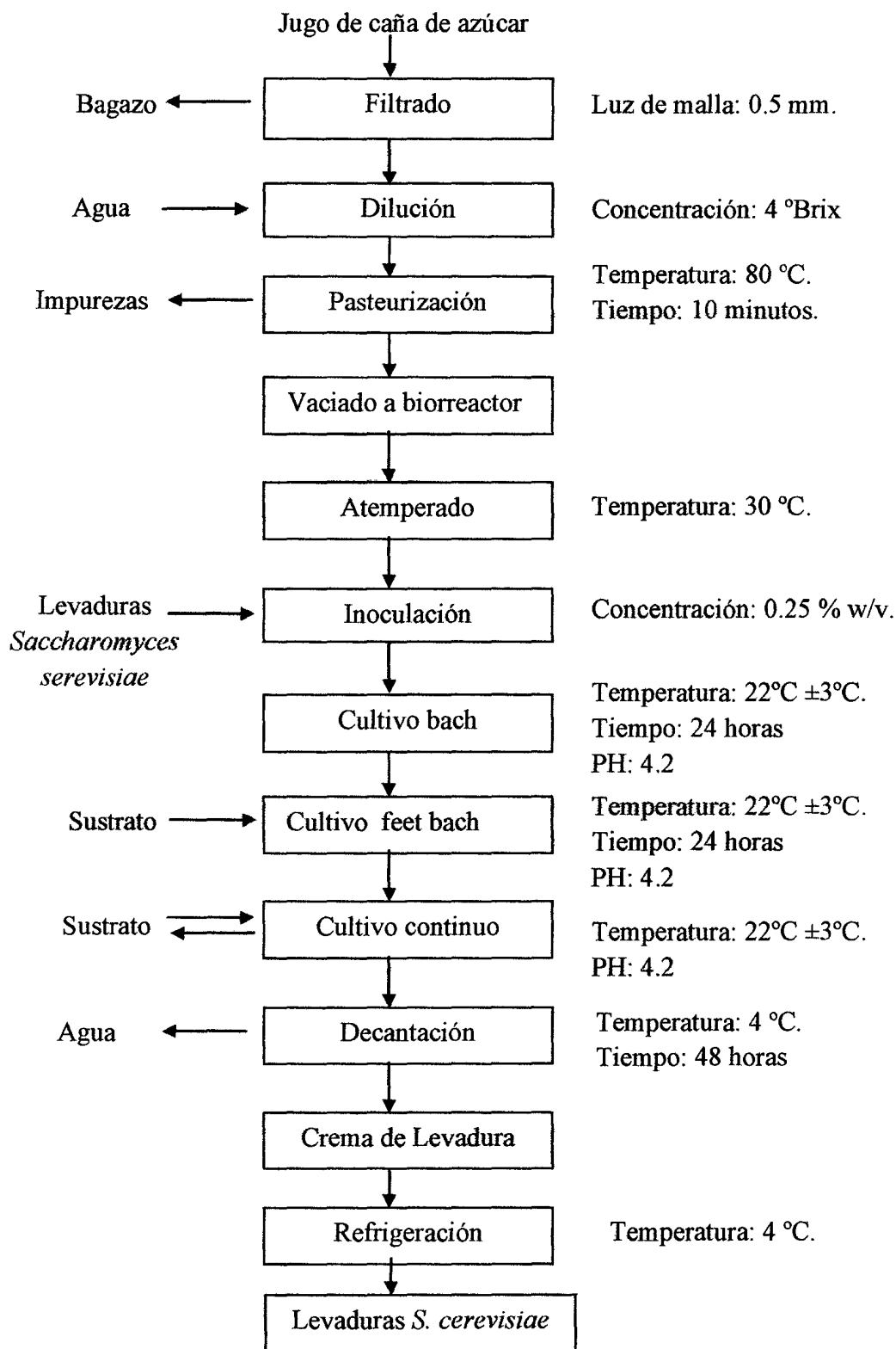


Figura 11: Diagrama de flujo cualitativo de producción de biomasa de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* a partir de jugo de caña de azúcar.

- $Y_{x/s}$: Conversión de células referidas a nutriente consumido (g célula/g sustrato).

La concentración de biomasa en base seca se determino por espectrofotometría de acuerdo a una curva patrón realizado con diferentes concentraciones de levaduras secas, para lo cual se tomaron muestras cada 4 horas, hasta determinar la concentración mas alta.

El proceso de producción de levaduras se esquematiza en la figura 11, para la producción de biomasa de levaduras se utilizaron los laboratorios de biotecnología y de procesamiento de productos de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

3.5.1.2. Producción de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Para la producción de harina de lombriz, se empezó cosechando las lombrices escogiendo de forma manual de un centro de producción de lombricultura establecido a base de estiércol de cuy y restos de cosecha como alimento de las lombrices, se procedió con el lavado por varias enjuagues hasta que queden limpias, se les deposito en un cubo con agua a una relación de 1:3 w/v en función del peso de las lombrices por un periodo de 18 horas con la finalidad de limpiar el sistema digestivo de las lombrices de la materia orgánica consumida, se volvió a lavar por varias veces hasta que queden limpias.

Se procedió con el sacrificio por shock osmótico introduciendo las lombrices limpias en una solución salina al 10% w/v por un tiempo de 10 minutos después del cual se lavo para quitar la sustancia amarillenta expulsado por las lombrices,

siguiendo con el escurrido y secado al sol por un tiempo de 8 horas, finalmente se molió en un molino manual con una granulometría grosera.

El proceso productivo de la obtención de la harina de lombriz roja californiana se muestra en la figura 12.

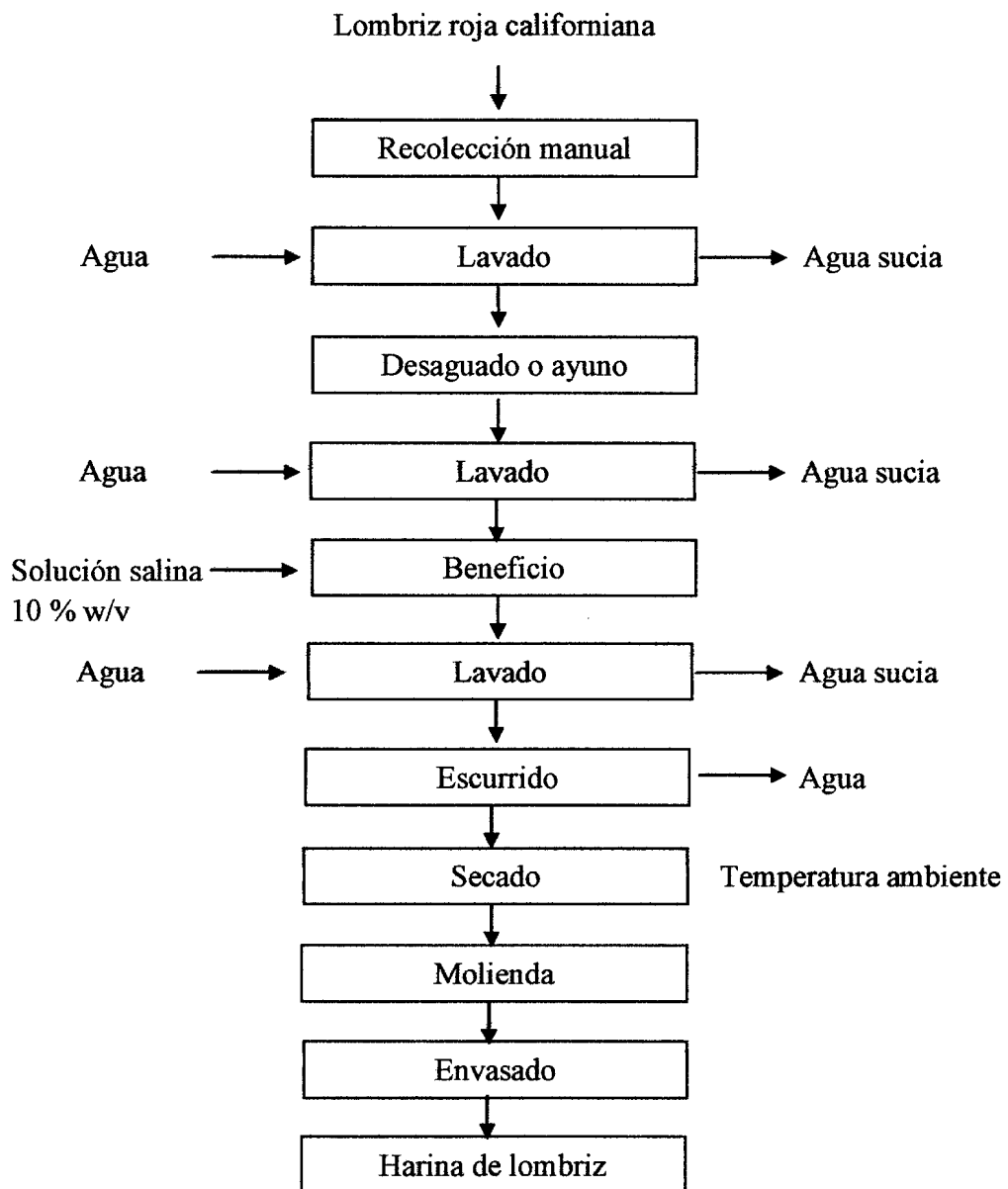


Figura 12: Diagrama de flujo cuantitativo de la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

3.5.2. Análisis fisicoquímico de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y harina de lombriz roja californiana.

La evaluación fisicoquímica de estos dos insumos se realizaron de acuerdo a las metodologías establecidas por la AOAC, 1995 e incluyeron:

- Humedad por secado en estufa, método AOAC 925.10, 1995 (ver anexo 01).
- Cenizas por calcinación en mufla método AOAC 923.03 (ver anexo 02)
- Proteína mediante la técnica micro Kjeldhal método AOAC 920.87, 1995 (ver anexo 03),
- Grasa por Soxlet, método AOAC 920.85, 1995 (ver anexo 04)
- Fibra bruta, método AOAC 991.43, 1995 (ver anexo 05)

Todos los análisis se realizaron por triplicado, desarrollándose en el laboratorio de química de la E.A.P. de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

3.5.3. Formulación del alimento balanceado

Esta parte de la investigación corresponde al diseño experimental propuesto, es aquí donde se manipularon las variables independientes (factores de entrada) como son las cantidades de inclusión de la harina de lombriz roja californiana 2% w/w y 5% w/w y levaduras *Saccharomyces cerevisiae* 2% w/w y 5% w/w.

Para la formulación del alimento concentrado se utilizaron tres insumos de origen vegetal (afrecho de trigo, harina integral de avena y harina integral de maíz) y los dos insumos a evaluar (harina de lombriz y levaduras *Sacharomyces cerevisiae*), Para determinar la formulación mas optima de los alimentos a evaluar se trabajo con el Software MITIX-2 y Microsoft Excel a los cuales se introdujeron las

composición química de los insumos y de acuerdo a los requerimientos nutricionales del cuy se obtuvo las formulaciones mas optimas.

En la formulación de cada uno de los alimentos, los insumos a evaluar (harina de lombriz y levaduras *Sacharomyces cerevisiae*, se mantuvieron constante de acuerdo al diseño experimental propuesto mostrado en el cuadro 20, tanto para el bloque A; cuyes machos y bloque B; cuyes hembras, siguiendo los dos bloques con el mismo diseño experimental, utilizándose para cada bloque 24 cuyes.

Cuadro 20: Representación esquemática del diseño experimental tanto para bloque A y bloque B.

Nº de tratamientos	Factores				Nº Ensayos	Nº de cuyes por ensayo	Nº cuyes a evaluar
	Harina de lombriz		Levadura <i>S. cerevisiae</i> .				
	Niveles						
	2%	5%	2%	5%			
1	5%		5%		3	2	6
2	2%		5%		3	2	6
3	5%		2%		3	2	6
4	2%		2%		3	2	6
Total de ensayos					12		24

3.5.4. Producción del alimento balanceado.

Con la formulación obtenida de la etapa anterior se procedió a producir los cuatro tipos de alimento, la cantidad de cada uno de los alimentos a producir fue de



acuerdo a cálculos realizados del consumo de alimento por los cuyes para un tiempo de 42 días, para este fin se utilizaron datos bibliográficos de pesos promedios del cuy de la edad de 21 días y la cantidad de ingestión por día por cuy, las cantidades se trabajaron con un margen de error del 10 % (Suposición del investigador) para asegurar que la cantidad del alimento sea suficiente.

El proceso de producción del alimento balanceado se realizó de acuerdo a la figura 13:

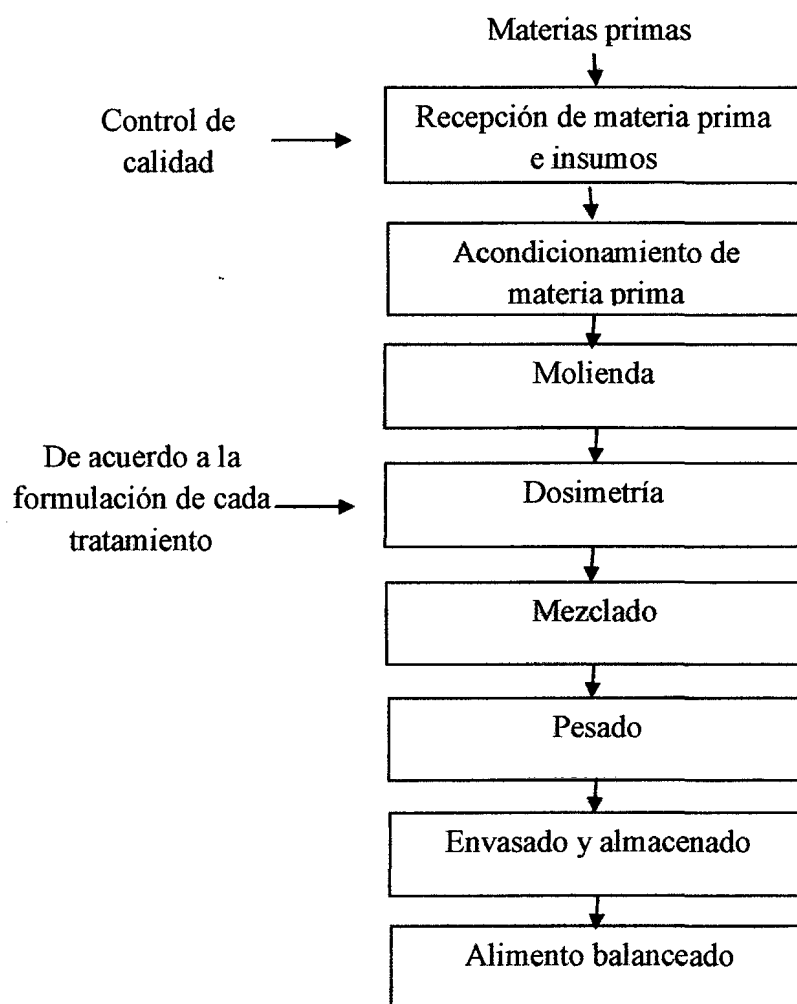


Figura 13: Diagrama de flujo cualitativo de producción del alimento balanceado para cuyes.

3.5.5. Análisis fisicoquímico de los alimentos formulados.

La evaluación fisicoquímica de los cuatro alimentos formulados se realizó siguiendo los pasos descritos en el punto 3.6. Análisis fisicoquímico de la harina de lombriz y levaduras *Saccharomyces cerevisiae*.

3.5.6. Evaluación del alimento balanceado en los cuyes.

La evaluación de los alimentos formulados en los cuyes corresponde a la última etapa de la investigación donde se evaluarán las variables de respuesta (factores de salida), que son: ganancia de peso (g ganados por cuy/día), conversión alimenticia (g ganados por cuy/g consumidos de alimento) y la digestibilidad de materia seca (%).

Para esta etapa de la investigación se utilizaron 48 cuyes de la línea Perú (24 hembras y 24 machos), de 21 días \pm 3 días, adquiridas de la granja del señor Víctor Chávez Huamanñahui ubicado en el Distrito de Tamburco –Provincia de Abancay, en este proceso se cuidó que los cuyes se encuentren con buena salud, tamaño y peso homogéneo; fueron alojados en jaulas diseñadas para tal fin en un número de 6 cuyes por jaula, se les suministró el alimento formulado en un 50% y forraje verde hidropónico de cebada en un 50%, la disponibilidad de agua fue *ad libitum*, los cálculos de las raciones fueron hechas de acuerdo al peso de los cuyes (8% en peso seco de alimento en función del peso vivo del cuy), el sistema de alimentación consistió en concentrado en la mañana 8:00 a.m. y forraje verde hidropónico en la tarde 4:00 p.m., después de una semana de adaptación se evaluaron en los cuyes cada 7 días por un periodo de 35 días, la cantidad de alimento consumido, ganancia de peso, cantidad de eses excretadas por semana.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Producción de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

4.1.1. Producción de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*

Se utilizó jugo de caña de azúcar con 19.5 °Brix y un pH de 5.6, para el proceso de dilución para la primera etapa de producción en sistema Bach, se diluyó un volumen total de 5.00 L, con 4 °Brix, estableciéndose un pH en 5.8.

Entre los azúcares presentes en el jugo de caña, la sacarosa es el azúcar más abundante y representa más del 99% de azúcares (Grisales y Ríos, 2002); Según Ramírez y Pedroza (2001), las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* en la producción de biomasa toleran los valores de pH entre 3 y 6, el pH entre este rango generalmente favorecen el crecimiento y la actividad fermentativa.

Al finalizar la producción en sistema Bach y Bach alimentado la concentración de azúcar (sustrato limitante) descienden a 1°Brix y el pH a 3.8.

Según Grisales y Ríos (2002), el fenómeno del descenso del pH se debe a que se utiliza sacarosa como fuente de carbono, el cual es más sensible al pH que al utilizar glucosa, debido a que la inversión de la sacarosa se acelera a pH bajos.

Los parámetros cinéticos determinados en la etapa Bach para la producción de biomasa de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, usando como sustrato el jugo de caña, se mencionan a continuación:

Velocidad de crecimiento (μ): Al inocular 12.5 g (w/v) de levadura seca a los 5 L de jugo diluido (4 °Brix), hace una concentración de 2.5 g de células de levaduras por litro de cultivo (concentración inicial), de acuerdo a las concentraciones determinadas cada 4 horas por medio de espectrofotometría, se determino que la fase de letargo o ajuste del microorganismo al medio de cultivo, tuvo una duración aproximada de 4 horas; la fase de crecimiento exponencial concluyó aproximadamente a las 16 horas, tomándose otra lectura a los 18 horas el cual es muy bajo a comparación de los periodos anteriores, trabajando a una temperatura ambiente de 22 ± 3 °C, se llego a una concentración máxima de 15.4 g de levaduras por litro de cultivo, del cual se puede determinar que la concentración de células de levaduras se duplico en 2.5 veces en 12 horas, realizándose cada una de las duplicaciones 4.8 horas, de este resultado se tiene que la velocidad de crecimiento de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* en el jugo de caña $\mu = 0.208$ h⁻¹, toda la producción se realizo a condiciones ambientales del laboratorio de Biotecnología, a una temperatura promedio de 18 °C.

Este valor es inferior al citado por Ertola *et al.*, (2008), que da referencia a que las levaduras en general tienen una velocidad de crecimiento de 0.45 h⁻¹, esto cuando las condiciones del sustrato y ambiente son óptimos, tratando este mismo parámetro para las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, Ferrer *et al.*, (2004), determino un valor de $0,0141 \pm 0,0001$ h⁻¹ utilizando como fuente de sustrato bagacillo de caña hidrolizado en condiciones de fermentación de pH de 5 y a una temperatura de 30 °C, mientras que Ramírez y Molina (2005), utilizaron agua de coco como sustrato encontraron una velocidad de crecimiento de 0,38 h⁻¹

fermentando a una temperatura de 28 °C, de estos resultados se puede deducir que el valor determinado en la investigación esta dentro de los rangos para este microorganismo, además de que para determinar la velocidad de crecimiento de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* debe determinarse experimentalmente los parámetros cinéticos para cada fuente de sustrato y las condiciones de fermentación ya que son factores que influyen directamente en su desarrollo.

La cinética de crecimiento de las levaduras *S. cerevisiae* en el jugo de caña de azúcar se muestra en el cuadro 21 y se representa en el grafico 14.

Cuadro 21: Cinética de crecimiento de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* en jugo de caña de azúcar

Tiempo (horas)	Sustrato (g/l)	Biomasa (g/l)
0	40,00	2,50
2	40,00	2,50
4	39,30	2,80
6	37,50	3,53
8	34,00	5,10
10	29,20	7,05
12	22,30	10,02
14	13,76	14,10
16	10,74	15,40
18	10,27	15,60



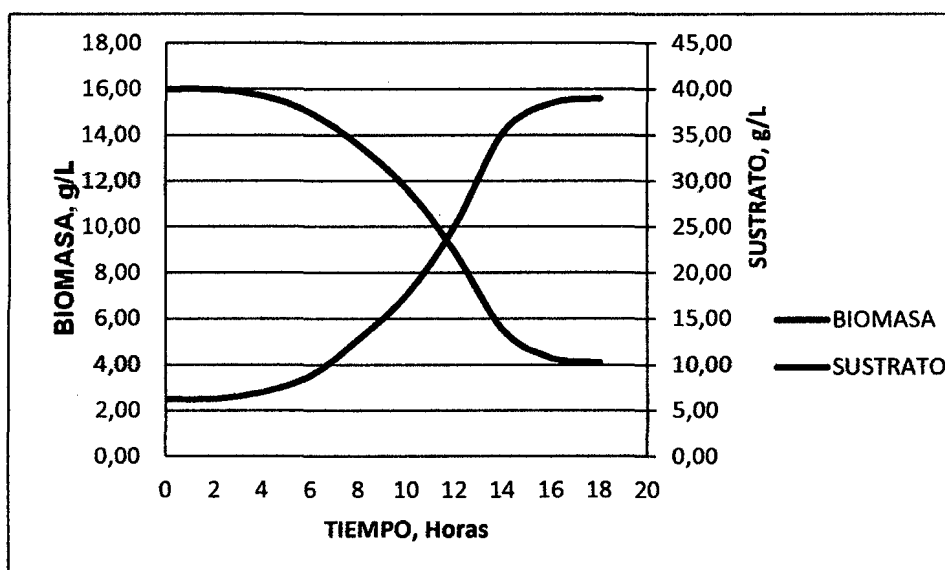


Figura 14: Cinética del crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* y del consumo de sustrato jugo de caña de azúcar

Del gráfico se puede determinar que la curva establecida por el crecimiento de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* utilizando jugo de caña de azúcar como sustrato describe una curva característica para este microorganismo siendo un tiempo aproximado de 4 horas para el tiempo de letargo o ajuste del microorganismo al medio de cultivo el mismo tiempo encontrado por Ramírez y Molina (2005) en agua de coco como sustrato.

- **Conversión a células referidas de nutriente consumido ($Y_{s/x}$):** Partiendo de una concentración inicial de 2.5 g de células de levaduras por litro de cultivo, se llegó a una concentración final de 15.4 g de células de levaduras por litro de cultivo, restando la concentración inicial se produjo 12.9 g de células de levaduras por litro de cultivo.

Por otra parte el jugo de caña diluido a 4 °Brix, ingresa a una concentración de 40 g de azúcares (sustrato) por litro de jugo y termina con 10 g de azúcares por litro de jugo (1.0 °Brix), consumiéndose 30 g de azúcares, realizando la división correspondiente se determina que $Y_{x/s} = 0.43$ g de levaduras / g de sustrato de acuerdo a la ecuación 01 indicada por Ertola *et al.* (2008).

$$Y_{x/s} = \frac{dx}{ds} = \frac{\Delta x}{\Delta s} \dots\dots\dots (01)$$

$$Y_{x/s} = \frac{12.9.g.de.levaduras}{30.g.de.sustrato} = 0.43.g.de.levadura / g.de.sustrato$$

- **Constante de saturación (K_s):** La constante de saturación de sustrato (concentración de sustrato en el biorreactor a la hora de empezar el estado estacionario), tuvo un valor de 10.0 g de sustrato /L de cultivo (1.0 °BRIX).

En el estado estacionario (cultivo continuo) se determinaron los siguientes parámetros cinéticos de crecimiento para la levadura utilizando jugo de caña como sustrato:

- **Flujos Volumétricos de entrada y salida (F_e y F_s):** Los flujos volumétricos de entrada y salida son iguales porque no existe acumulación de volumen solo de biomasa y se determina de acuerdo al volumen del biorreactor (V) y la velocidad de crecimiento de las levaduras (μ) utilizando la siguiente relación:

$$F = \mu.V \dots\dots\dots (02)$$



Trabajando a un volumen constante de 20 L y velocidad de crecimiento de $\mu = 0.208 \text{ h}^{-1}$, se tiene que el flujo volumétrico de entrada y salida es:

$$F = 20L \times 0.208 / h = 4.16L / h$$

- **Concentración de sustrato a la entrada y salida del biorreactor (°Brix) (S_0 , y S):**

Para que la producción en estado estacionario se mantenga con los mismos parámetros de la producción en batch, se tiene que la concentración de biomasa a la salida es de 15.4 g de células por litro de cultivo ($X = 15.4 \text{ g células / L de cultivo}$) y que al final el medio de cultivo queda con 10 g de sustrato por litro de solución ($S = 10 \text{ g sustrato/L cultivo}$), además se calculo que $Y_{x/s} = 0.43 \text{ g de levaduras / g de sustrato}$, con estos datos se calcula la concentración inicial con que debe ingresar el sustrato (S_0) al biorreactor utilizando la ecuación 03:

$$x = Y_{x/s} \cdot (s_0 - s) \dots\dots\dots(03)$$

Despejando S_0 :

$$S_0 = \frac{X}{Y_{x/s}} + S$$

$$S_0 = \frac{15.4 \text{ g células / L cultivo}}{0.43 \text{ g levaduras / g sustrato}} + 10 \text{ g sustrato/L cultivo}$$

$$S_0 = 45.814 \text{ g sustrato/L cultivo}$$

El medio de cultivo debe ingresar al biorreactor con una concentración de 45.814 g de sustrato/L cultivo (4.58 °Brix).



- **Velocidad de dilución (D):**

La velocidad de dilución es igual a la velocidad de crecimiento de la levadura del cual $D = 0.208$ 1/h.

Con estos parámetros se llegó a producir un total de 4200 g de levadura con 18.5 % de humedad (3423 g en base seca), empleándose un tiempo total de 67 horas en estado estacionario (tiempo ideal), cuando se realiza la floculación no se logra separar el total de levaduras, estimándose que el 5% (w/w) se va en el jugo, con esto se produjo un total de 3595 g en base seca en un tiempo de 70.5 horas.

Para producir los 3595 g de biomasa de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* se utilizó 53.6 L de jugo de caña con 19.5 °Brix.

Ramírez y Molina (2005), utilizando agua de coco (*Cocos nucifera*), como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*; en un sistema continuo obtuvieron parámetros cinéticos algunos de ellos semejantes a los encontrados en la investigación, la velocidad específica de crecimiento (μ) es de $0,38$ h⁻¹, la constante de saturación de 1,35 g/L, el rendimiento de 1,68 y la velocidad específica del producto de $0,23$ g/g·h. y una tasa de dilución máxima de $0,19$ h⁻¹.

4.1.2. Producción de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Se llegaron a producir 3154 g de harina de lombriz con una humedad de 9.62% w/w (2850.585 g base seca), a partir de 25000 g de lombrices frescas, el peso de las lombrices se realizó lavadas y oreadas; logrando un rendimiento del 11.40 % w/w en base seca, que concuerda con el obtenido con Curi (2006), que obtuvo un 11.5% w/w.

Al finalizar el proceso de elaboración de la harina de lombriz, se obtuvo un producto homogéneo de color pardo oscuro y olor característico similar al percibido en los productos cárnicos deshidratados.

4.2. Análisis fisicoquímico de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y harina de lombriz roja californiana.

4.2.1. Análisis Proximal de la Harina de Lombriz:

En el análisis fisicoquímico realizado a la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), destaca su alto contenido de proteínas, 63.0 % w/w, que le caracteriza como un producto de alta calidad nutricional y muy atractivo para el uso como suplemento proteico en la formulación de alimentos balanceados. Los resultados del análisis físico químico realizado a la harina de lombriz se muestran en el cuadro 22:

Cuadro 22: Análisis fisicoquímico de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*)

Componente	% (w/w)	Base seca (%)
Humedad	9,62 ± 0.05	0.00
Proteína	63,34 ± 0.34	70,08
Grasa	8,02 ± 0.02	8,87
Fibra	4,37 ± 0.01	4,84
Cenizas	5,21 ± 0.00	5,76
Carbohidratos	9,45 ± 0.03	10,45
Total	100.00	100.00



Otros autores determinaron que el componente mayoritario es la proteína tal como obtuvieron diferentes investigadores como Morón, *et al.*, 2008 (56.25% de proteína), Vielma, y Medina, 2006 citado por Alcelmo, *et al.*, 2010 ($62.3 \pm 0.1\%$ de proteína) y Valenzuela citado por Rocende 2006, ($66.8 \pm 3.2\%$ de proteína).

4.2.2. Análisis Proximal de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*:

En el cuadro 23 se muestra el análisis fisicoquímico realizado a la biomasa de levadura *Saccharomyces cerevisiae* producido en jugo de caña de azúcar en el que resalta su alto contenido de proteínas siendo un producto prometedor para el uso como suplemento proteico en la alimentación animal sea viable como prebiótico y/o como fuente importante de proteínas.

Cuadro 23: Análisis fisicoquímico de la biomasa de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*.

Componente	% (w/w)	Base seca (%)
Humedad	$18,58 \pm 0.01$	0.00
Proteína	$38,72 \pm 0.17$	47,55
Grasa	$0,67 \pm 00$	0,82
Fibra	$2,08 \pm 0.00$	2,55
Cenizas	$6,78 \pm 0.07$	8,33
Carbohidratos	$33,18 \pm 0.03$	40,74
Total	100.000	100.00

Ferrer *et al* (2004); Gutiérrez y Gómez (2008), encontraron valores semejantes en porcentaje de proteínas 47.8% y 45% respectivamente mientras que Vargas y Campos, (2004), determinaron valores ligeramente superior (52.3%) al determinado en la investigación, siendo los resultados obtenidos en base seca semejantes a los encontrados por estos autores.

4.3. Formulación del alimento balanceado

En la formulación del alimento balanceado se utilizaron los dos insumos (fuente de proteína) a evaluar (harina de lombriz y levaduras *Saccharomyces cerevisiae*), acompañado de tres insumos (fuente de fibra y carbohidratos): afrecho de trigo, grano partido de avena forrajera y maíz amarillo duro partido con la siguiente composición química en base húmeda y en base seca:

Cuadro 24: Composición química de insumos en base de 100 g.

INSUMO	Energía (Kcal)	Agua (g)	Proteína (g)	Grasa (g)	Carbh. (g)	Fibra (g)	Cenizas (g)
Harina integral de Maíz Amarillo	315.00	16.10	8.40	1.10	69.40	3.80	1.20
Afrecho de Trigo	384.00	4.00	14.80	3.80	62.60	10.00	4.80
Harina integral de Avena Forrajera	319.80	13.30	10.00	4.80	58.50	10.30	3.10

Fuente: Collazos, *et al.* 1996

Cuadro 25: Composición química en base seca en base de 100 g

INSUMO	Energía (kcal)	Proteína (g)	Grasa (g)	Carbh. (g)	Fibra (g)	Cenizas (g)
Harina integral de Maíz Amarillo	315.00	10.01	1.31	82.72	4.53	1.43
Afrecho de Trigo	384.00	15.42	3.96	65.21	10.42	5.00
Harina integral de Avena Forrajera	319.80	11.53	5.54	67.47	11.88	3.58

Fuente: datos obtenidos a base del cuadro 24

De acuerdo a las necesidades nutricionales del cuy en etapa de crecimiento (cuadro 26), se formulo los cuatro tipos de alimentos utilizando el programa MITIX-2, la formulación de cada uno de los alimentos fue en base de requerimientos de proteínas y fibra que son los mas importantes factores a tomar en cuenta en la alimentación, (cuadro 27).

Cuadro 26: Requerimientos nutricionales del cuy en etapa de crecimiento

Componente	Cantidad	Unidad
Energía	2900	Kcal
Proteína	17	%
Grasa	3	%
Fibra	10	%

Fuente: Vergara, 2008 y Chauca, 1997

Cuadro 27: Formulación de los 04 tipos de alimentos de acuerdo a los tratamientos establecidos.

Ingrediente % (w/w)	Tratamientos			
	T01 5%HL y 5%LSC	T02 2%HL y 5%LSC	T03 5%HL y 2%LSC	T04 2%HL y 2%LSC
Harina de lombriz	5.000	2.000	5.000	2.000
Levadura <i>S. cerevisiae</i>	5.000	5.000	2.000	2.000
Avena grano partido	37.928	5.000	16.375	3.000
Afrecho de trigo	30.268	71.511	55.987	78.000
Maíz amarillo partido	21.804	16.489	20.638	15.000
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00

Donde: HL: Harina de lombriz y LSC: Levaduras *S. cerevisiae*

4.4. Producción del alimento balanceado.

Para la producción del alimento balanceado se empezó calculando la cantidad de alimento necesario para alimentar a los cuyes durante el tiempo de evaluación, para lo cual se consideraron los siguientes aspectos:

- El peso inicial de los cuyes entre una edad de 21 y 30 días es de 400 g en promedio peso obtenido al pesar cuyes de la granja de donde se adquirió los cuyes para la evaluación de una edad de 21 a 30 días.
- La ganancia de peso por cada cuy por día llega a los 15 g por día (Vergara, 2008).

- Con cada tipo de formulación se alimentara a doce cuyes, seis cuyes por cada bloque, (Bloque A: cuyes machos, bloque B: cuyes hembras) siendo dos cuyes por tratamiento con tres repeticiones.
- El tiempo de evaluación mas el tiempo requerido para la adaptación fue de 50 días (35 días de evaluación de ganancia de peso, 4 días de digestibilidad de materia seca y 7 días de adaptación al nuevo alimento).
- Los cuyes en etapa de crecimiento comen hasta un 8% (w/w) en base seca de alimento con respecto a su peso vivo (Chauca, 1997 y Vergara, 2008).
- En un sistema de alimentación mixta, el concentrado se suministra en un 50 % (4 % de su peso vivo en base seca), para los cálculos se trabajara con un 5% de su peso vivo para garantizar que la cantidad de alimento sea el suficiente.

Con estos datos se calcula la cantidad del alimento:

- Peso final estimado al que llegaran los cuyes (Pf):

$Pf = \text{Peso inicial} + \text{ganancia de peso por día} \times \text{numero de días a evaluar.}$

$Pf = 400 \text{ g} + 15 \text{ g/día} \times 50 \text{ días.}$

$Pf = 1150 \text{ g.}$

- El peso para los cálculos se considerara el peso promedio de cada cuy (Pp):

$Pp = (\text{Peso inicial} + \text{peso final})/2$

$Pp = (400 \text{ g} + 1150 \text{ g})/2$

$Pp = 775 \text{ g.}$

- Cantidad de alimento consumido por cuy durante el tiempo de evaluación (Ca):

$Ca = \text{Peso promedio del cuy} \times 5\% \times \text{tiempo de evaluación.}$



$$Ca = 775 \text{ g} \times 0.05 \times 50 \text{ días.}$$

$$Ca = 1937.5 \text{ g.}$$

- Cantidad de alimento a producir de cada tratamiento (Cat):

Cat = cantidad de alimento requerido por cuy x numero de cuyes.

$$Cat = 1937.5 \text{ g} \times 12.$$

$$Cat = 23250 \text{ g.}$$

Cada tipo de formulación (4 tipos de alimento) concentrado se produjo una cantidad de 23250 g, con el cual se alimentara cada uno de los tratamientos por los dos bloques de evaluación.

4.5. Análisis fisicoquímico de los alimentos formulados.

El análisis fisicoquímico realizado a los cuatro tipos de alimento arrojo algunas variaciones con la formulación, esto se debe a que se trabajo con datos bibliográficos de la composición química de los insumos que acompañan a los alimentos a evaluar (afrecho, maíz partido y avena partida), tal como se ve estos alimentos no contienen la misma composición química de la bibliografía, las variaciones encontradas son mínimas pero están dentro de los rangos establecidos.

Los resultados del análisis físico químico realizado a los alimentos producidos se muestran en el cuadro 28 y 29.



Cuadro 28: Análisis fisicoquímico de los alimentos formulados base húmeda

Componente (%)	Tratamiento			
	5 % HL y 5% LSC (X ± S)	2 % HL y 5% LSC (X ± S)	5 % HL y 2% LSC (X ± S)	2 % HL y 2% LSC (X ± S)
Humedad	8,1 ± 0,04	8,0 ± 0,00	6,5 ± 0,03	5,3 ± 0,04
Proteína	15,9 ± 0,13	15,5 ± 0,53	15,8 ± 0,06	14,9 ± 0,07
Grasa	3,0 ± 0,01	2,8 ± 0,09	2,8 ± 0,03	2,6 ± 0,19
Fibra	9,4 ± 0,02	11,6 ± 0,37	10,5 ± 0,14	11,6 ± 0,00
Cenizas	3,2 ± 0,03	3,1 ± 0,04	2,9 ± 0,05	2,8 ± 0,09
Carbohidratos	60,5 ± 0,06	59,1 ± 0,62	61,6 ± 0,24	62,8 ± 0,09
Total	100.000	100.000	100.000	100.000

X: Promedio de 2 repeticiones

S: Desviación estándar

HL: Harina de lombriz

LSC: Levaduras *Saccharomyces cerevisiae*

Garibay *et al.*, (2008) y Tenorio *et al.*, (2008) citado por Vergara (2008), determinaron tomando como base los requerimientos nutricionales del cuy establecido por la National Research Council (1995), donde determina que para los cuyes en etapa de crecimiento el porcentaje de proteínas debe ser del 18% (w/w), trabajaron con diferentes niveles de proteína llegando a los resultados de que la reducción del 18 % (w/w) a 17% (w/w), no afecta el comportamiento productivo de cuyes, los alimentos producidos están dentro de estos parámetros a aceptación del tratamiento 04 (2 % de harina de lombriz y 2% de levaduras *S. cerevisiae*) que arrojó un nivel de proteína inferior (15.76%) .

Cuadro 29: Composición química de los alimentos formulados base seca

Componente (%)	Tratamiento			
	5 % HL y 5% LSC	2 % HL y 5% LSC	5 % HL y 2% LSC	2 % HL y 2% LSC
Humedad	0.00	0.00	0.00	0.00
Proteína	17.34	16.81	16.86	15.76
Grasa	3.23	3.02	2.97	2.71
Fibra	10.18	12.56	11.20	12.27
Cenizas	3.45	3.42	3.09	3.00
Carbohidratos	65.81	64.20	65.88	66.25
Total	100.000	100.000	100.000	100.000

Fuente: Datos obtenidos en base del cuadro 28

HL: Harina de lombriz

LSC: Levaduras *Saccharomyces cerevisiae*

Según Chauca (1997), es imprescindible considerar la calidad de la proteína, por lo que es necesario hacer siempre una ración con insumos alimenticios de fuentes proteicas de origen animal y vegetal. De esta manera se consigue un balance natural de aminoácidos que le permiten un buen desarrollo, en nuestro caso los alimentos formulados provienen de tres reinos (vegetal, animal y fúngico), con esto se garantiza que la proteína presente en el alimento sea de alta calidad y contenga todos los aminoácidos esenciales.

El requerimiento de proteína es realmente el requerimiento de los distintos aminoácidos que la componen. Algunos aminoácidos son sintetizados, mientras



que otros no se sintetizan, entre ellos se encuentra la arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, triptófano, treonina y valina. El NCR (1978) recomienda en niveles de 18 a 20 por ciento de proteína total, debe tener niveles de arginina de 1,26 por ciento, triptófano 0,16 a 0,20 por ciento, cistina (0,36 por ciento) y metionina (0,35 por ciento) con un total de aminoácidos azufrados de 0,71 por ciento. Las necesidades del cuy en términos de energía digestible (ED) es de 3 000-3 250 kcal/kg de MS (Chauca, 1997).

Los porcentajes de fibra de concentrados utilizados para la alimentación de cuyes van de 5 al 18%. Este componente tiene importancia en la composición de las raciones no sólo por la capacidad que tienen los cuyes de digerirla, sino que su inclusión es necesaria para favorecer la digestibilidad de otros nutrientes, ya que retarda el paso del contenido alimenticio a través del tracto digestivo (Revollo, 2003 y Chauca, 1997); asimismo Villafranca (2003) citado por Vergara (2008), determino que los porcentajes de fibra en el rango de 10% al 14% reportan ganancias de peso similares, el nivel de fibra en los cuatro tipos de alimentos formulados son aceptables ya que están dentro de estos rangos.

En función a la grasa el cuy tiene un requerimiento bien definido de grasa o ácidos grasos no saturados. Se afirma que un nivel de 3% es suficiente para lograr un buen crecimiento así como para prevenir problemas de dermatitis, los resultados de la determinación de grasa reportan resultados muy cercanos a este nivel.

4.6. Evaluación del alimento balanceado en los cuyes.

En total la evaluación se realizó en base a 5 cuyes debido a las mortandades existentes en el periodo de adaptación en algunos de los tratamientos.

4.6.1. Ganancia de peso logrado.

La ganancia de peso de los cuyes fue menor a los logrados por dietas comerciales, los primeros días la ganancia de peso fue muy baja, esta situación se deduce al trauma gastrointestinal que sufren los cuyes al ser sometidos a un cambio drástico de la alimentación, en las semanas siguientes la ganancia de peso fue incrementándose paulatinamente hasta llegar a estabilizarse en la quinta y sexta semana como se muestran en los cuadros 30 y 31:

Cuadro 30: Evolución de la ganancia de peso por cuy en g/día logrado por el bloque A (cuyes machos).

Semana	TRATAMIENTOS			
	T01	T02	T03	T04
1	2,51	0,23	3,29	0,96
2	3,51	3,00	3,77	2,07
3	7,26	3,86	4,51	1,68
4	9,34	6,17	7,46	4,04
5	12,20	7,77	10,66	6,21
6	12,43	7,71	10,80	6,50

SIENDO: T01: 5% de HL y 5% de LSC; T02: 2% de HL y 5% de LSC, T03: 5% de HL y 2% de LSC; T04: 2% de HL y 2% de LSC.

DONDE: HL= harina de lombriz y LSC= levadura *S. cerevisiae*.

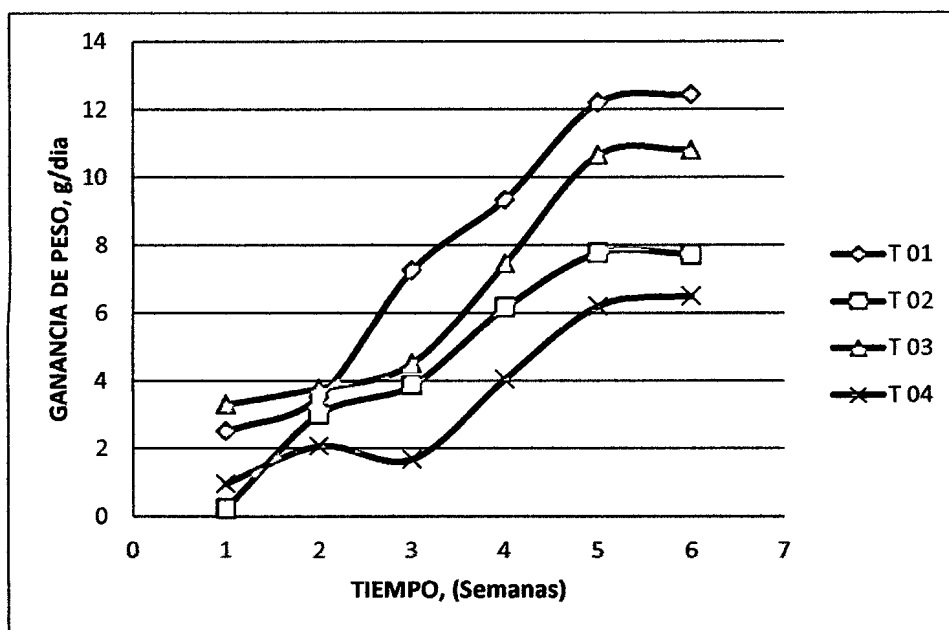


Figura 15: Evolución de ganancia de peso en g/día logrado por los cuyes del bloque A (cuyes machos).

Cuadro 31: Evolución de la ganancia de peso en g/día logrado por el bloque B (cuyes hembras).

Semana	TRATAMIENTOS			
	01	02	03	04
1	2,89	2,29	2,33	1,39
2	3,43	4,77	3,86	2,18
3	4,43	5,43	4,90	3,18
4	6,20	6,17	6,26	4,04
5	10,31	7,54	8,07	5,32
6	10,60	7,46	8,21	5,14

SIENDO: T01: 5% de HL y 5% de LSC; T02: 2% de HL y 5% de LSC, T03: 5% de HL y 2% de LSC; T04: 2% de HL y 2% de LSC.

DONDE: HL= harina de lombriz y LSC= levadura *S. cerevisiae*.

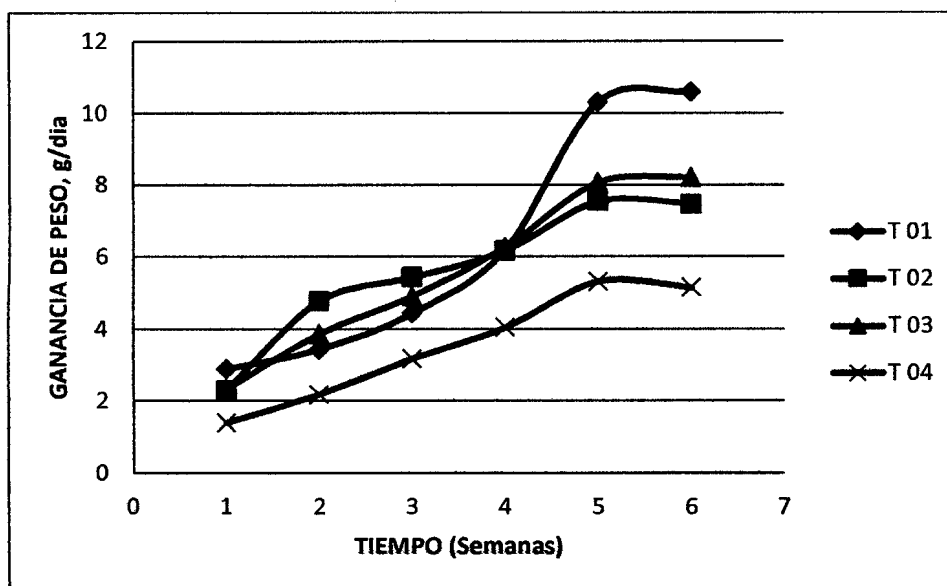


Figura 16: Evolución de ganancia de peso en g/día logrado por los cuyes del bloque B (cuyes hembras).

Los resultados de ganancia de peso se muestran en los cuadros 30, 31 y en las figuras 15 y 16 a los que se le realizaron un análisis de varianza con un nivel de confianza del (0,05) (ANOVAs en los anexos N° 10.1 y N° 10.2) en los que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y luego de realizar una comparación de medias entre los 4 tratamientos cada tratamiento con tres repeticiones, el tratamiento 01 (5 % de harina de lombriz y 5 % de *S. cerevisiae*) y el tratamiento 03 (5 % de harina de lombriz y 2 % de *S. cerevisiae*) mostraron un mejor comportamiento en ganancia de peso, versus el tratamiento 02 (5% de harina de lombriz y 2% de *S. cerevisiae*) y el tratamiento 04 (2 % de harina de lombriz y 2 % de *S. cerevisiae*) que no mostraron un buen comportamiento en ganancia de peso, y al analizar estadísticamente los dos bloques evaluados; no se encontraron diferencias significativas entre bloques de hembras y machos, tal como se puede observar en los ANOVAS en los Anexos 10.3 .

En función de la ganancia de peso logrado por cuyes de la línea Perú, se han realizado diferentes investigaciones como Gómez *et al* (2010), realizaron la evaluación de forraje hidropónico de cebada mas concentrado comercial marca Tomasino “cuyina” en cuyes en etapa de lactancia hasta el periodo de destete de la línea Perú, la evaluación empezó desde el proceso de gestación, administrando cada tipo de alimento en un 50% (alimentación mixta), evaluaron la ganancia de peso durante el periodo de 21 días, logrando un incremento de peso total por cuy de 191.7 g de peso para el tiempo de evaluación, equivalente a una ganancia diaria de 9.13 g de peso vivo por día, los tratamientos 01 de cada bloque superaron en promedio en ganancia de peso por día en la etapa de mayor ganancia de peso (quinta y sexta semana) por lo que se determina que la formulación realizada es mejor que el alimento comercial para los cuyes de la línea Perú.

Formulando un alimento concentrado con 6% de harina de pescado y 6% de harina de lombriz y otro con 12% de harina de lombriz suministrado mas chala como forraje en un 50% a cuyes criollos de edades de 30 días en promedio, se lograron ganancias de peso de 7.1g y 6.8 g de peso vivo por día (Guerrero y Ravillet, 1994), así mismo Escobar y Quijano. (1999), logro ganancias de peso de 10 a 11 gramos por día por cuy en cuyes machos de tres semanas de edad al suministrar concentrado fortificado con harina de sangre mas forraje consistente en chala y trébol rojo; estando los resultados obtenidos semejantes y superiores a los encontrados en las investigaciones.

Con lo que respecta a la utilización de forraje verde hidropónico de cebada como forraje y fuente de vitamina C, se puede citar a Silva y Moreno (1994), que utilizaron la cebada (*Hordeum vulgare*) y maíz (*Zea mays*) germinados en la



alimentación de cuyes para determinar el efecto en el incremento de peso en los cuyes. El trabajo tuvo una duración 12 semanas, usaron 50 cuyes destetados con peso promedio de 290 g, emplearon 5 tratamientos de 10 animales cada uno, divididos en dos repeticiones. Los tratamientos fueron: T1 maíz germinado, T2 cebada y maíz germinado, T3 maíz germinado + balanceado, T4 cebada + maíz germinado + balanceado y T5 maíz chala + balanceado (testigo). Se suministró 200 g/cuy/día de germinado y forraje y alimento balanceado *ad libitum*. La ganancia de peso promedio por cuy g/día fueron: T5 (9.79), T4 (8.77), T3 (6.77), T2 (3.28) y T1 (2.06); Moreno, Carrasco y Pichilingue (1994), utilizaron la cebada (*Hordeum vulgare*) germinada en la alimentación de cuyes machos en crecimiento y engorde, utilizando para tal fin 60 cuyes machos con edades que fluctuaban entre 14 y 21 días de nacidos, durante 12 semanas, formando 5 tratamientos: cebada germinada exclusiva (T1), cebada germinada y agua (T2), cebada y agua con vitamina C (T3), cebada germinada, alimento balanceado y agua con vitamina C (T4) y un tratamiento testigo al que se le suministró alimento balanceado, agua con vitamina C y forraje king grass; Obteniendo ganancias de peso promedio por animal en g/día de 8.19 g/día (T4), 8.04 g/día (T5), 2.55 g/día (T1), 2.30 g/día (T2) y 1.86 g/día (T3).

Los valores obtenidos en ganancia de peso son inferiores a los obtenidos en la investigación encontrándose con el tratamiento 01 (5% de harina de lombriz y 5% de levaduras *S. cerevisiae*) ganancias de peso de 12.43 y de 10.60 g/día el el bloque A (cuyes machos) y bloque B (cuyes hembras) respectivamente.

Igualmente Silva y Moreno (1994) como Moreno, Carrasco y Pichilingue (1994), determinan que los germinados tienen mejores resultados al ser combinados con



concentrados que utilizados como única fuente de alimentación, así mismo en la presente investigación se determino que en los diferentes alimentos formulados mas el forraje hidropónico tubo resultados satisfactorios a comparación a los resultados logrados por otras investigaciones y de productores locales que logran cuyes de un kilo de peso vivo en un tiempo de 90 a 100 días.

4.6.2. Conversión alimenticia

Para determinar la conversión alimenticia (CA) logrado por cada tratamiento se trabajo con los datos obtenidos del periodo de estabilización (5^{ta} y 6^{ta} semana), los resultados obtenidos se muestran en los cuadros 32 y 33.

**Cuadro 32 Conversión alimenticia (consumo de alimento en base seca g/
incremento de peso vivo g) logrado por el bloque A**

Tratamiento	Conversión alimenticia
T01	4,544
T02	6,301
T03	5,029
T04	7,097



Cuadro 33: Conversión alimenticia (consumo de alimento en base seca g/ incremento de peso vivo g) logrado por el bloque B

Tratamiento	Conversión alimenticia
T01	4,899
T02	6,684
T03	6,494
T04	9,520

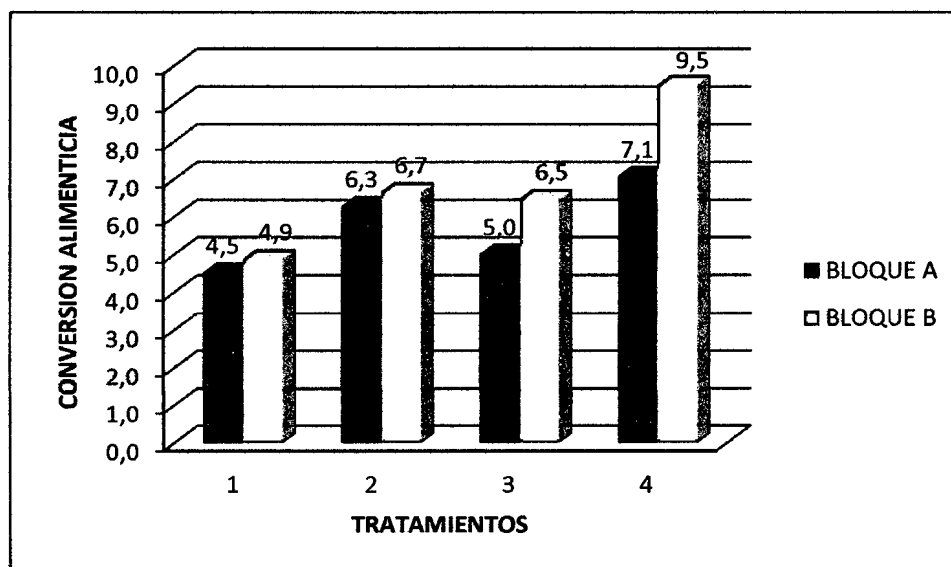


Figura 17: Conversión alimenticia lograda por los cuyes del bloque A y bloque B.

Los resultados de conversión alimenticia se muestran en los cuadros 32, 33 y en la figura 17 a los que se le realizaron un análisis de varianza con un nivel de confianza del (0,05) (ANOVAs en los anexos 11.1 y 11.2) en los que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y luego de realizar una comparación de medias entre los 4 tratamientos, el tratamiento 01 (5 % de harina

de lombriz y 5 % de *S. cerevisiae*) y el tratamiento 03 (5 % de harina de lombriz y 2 % de *S. cerevisiae*) mostraron un mejor comportamiento en conversión alimenticia, versus el tratamiento 02 (2% de harina de lombriz y 5% de *S. cerevisiae*) y el tratamiento 04 (2 % de harina de lombriz y 2 % de *S. cerevisiae*) que no mostro un buen comportamiento en conversión alimenticia, del cual se deduce que la harina de lombriz tiene una alta influencia en la conversión alimenticia de los cuyes en comparación de la levadura, y al analizar estadísticamente los dos bloques evaluados; no se encontraron diferencias significativas entre bloques de hembras y machos, tal como se puede observar en los ANOVAS en los Anexos 11.3 .

Así mismo Gómez *et al.*, (2010), realizaron la evaluación de forraje hidropónico de cebada mas concentrado comercial marca Tomasino “cuyina” en cuyes en etapa de lactancia hasta el periodo de destete de la línea Perú, la evaluación empezó desde el proceso de gestación, administrando cada tipo de alimento en un 50% (alimentación mixta), para el sistema de alimentación mixta aplicada lograron una conversión alimenticia promedio de 5.5 a 1 (5.5 g de alimento consumido / g de peso vivo ganado); En la presente investigación los tratamientos 01 de cada bloque y el tratamiento 03 del bloque A, superaron en promedio la conversión alimenticia lograda en la evaluación realizada con alimento comercial, por lo que se determina que la formulación realizada es mejor que el alimento comercial para los cuyes de la línea Perú.

Formulando un alimento concentrado con 6 % de harina de pescado y 6 % de harina de lombriz y otro con 12 % de harina de lombriz suministrado mas chala

como forraje en un 50% a cuyes criollos de edades de 30 días en promedio, se lograron conversiones alimenticias de 7.08 y 6.92 (Guerrero y Ravillet, 1994).

Carvajal y Vivas (2008), evaluaron una sustitución parcial en un 20, 40 y 60% de forraje por saccharina rustica, logrando conversiones alimenticias de 9.10, 8.21 y 9.27 logrando disminuir el consumo de concentrado y el mismo nivel de productividad que el alimento control.

De acuerdo a la utilización de la cebada germinada como complemento y fuente de vitamina C, Silva y Moreno (1994), utilizaron la cebada (*Hordeum vulgare*) y maíz (*Zea mays*) germinados en la alimentación de cuyes para determinar el efecto en el incremento de peso en los cuyes. El trabajo tuvo una duración 12 semanas, usaron 50 cuyes destetados con peso promedio de 290 g, emplearon 5 tratamientos de 10 animales cada uno, divididos en dos repeticiones. Los tratamientos fueron: T1 maíz germinado, T2 cebada y maíz germinado, T3 maíz germinado + balanceado, T4 cebada + maíz germinado + balanceado y T5 maíz chala + balanceado (testigo). Se suministró 200 g/cuy/día de germinado y forraje y alimento balanceado *ad libitum* obteniendo valores de conversión alimenticia en alimento consumido base seca g/ ganancia de peso vivo en g, de 3.98 (T4), 4.49 (T2), 5.10 (T3), 5.71 (T5) Y 5.71 (T1); Así mismo Moreno, Carrasco y Pichilingue (1994), utilizaron la cebada (*Hordeum vulgare*) germinada en la alimentación de cuyes machos en crecimiento y engorde, utilizando para tal fin 60 cuyes machos con edades que fluctuaban entre 14 y 21 días de nacidos, durante 12 semanas se evaluó el efecto de la cebada germinada en conversión alimenticia formando para tal fin 5 tratamientos: cebada germinada exclusiva (T1), cebada germinada y agua (T2), cebada y agua con vitamina C (T3), cebada germinada,



alimento balanceado y agua con vitamina C (T4) y un tratamiento testigo al que se le suministró alimento balanceado, agua con vitamina C y forraje king grass. Las conversiones alimenticias promedio fueron de 5.86 (T4), 7.65 (T5), 9.36 (T1), 10.67 (T2) y 14.32 (T3). Ruiz, Sarria y Vergara (1995). Realizando la misma investigación llegaron a los resultados de que estadísticamente el T5 se comportó mejor en conversión alimenticia total (4.67) respecto a los demás tratamientos; siendo T2, T3, y T4 iguales entre sí, inferiores a T5 y superiores a T1; los resultados obtenidos en la investigación con el T01 y T03 para el bloque B están dentro de los resultados obtenidos por los investigadores citados.

4.6.3. Digestibilidad

4.6.3.1. Digestibilidad *in vitro* de proteínas

Cuadro 34: Digestibilidad *in vitro* de proteínas

de los alimentos formulados

Tratamientos	% de digestibilidad proteína
T1	76.20
T2	71.70
T3	73.00
T4	68.50



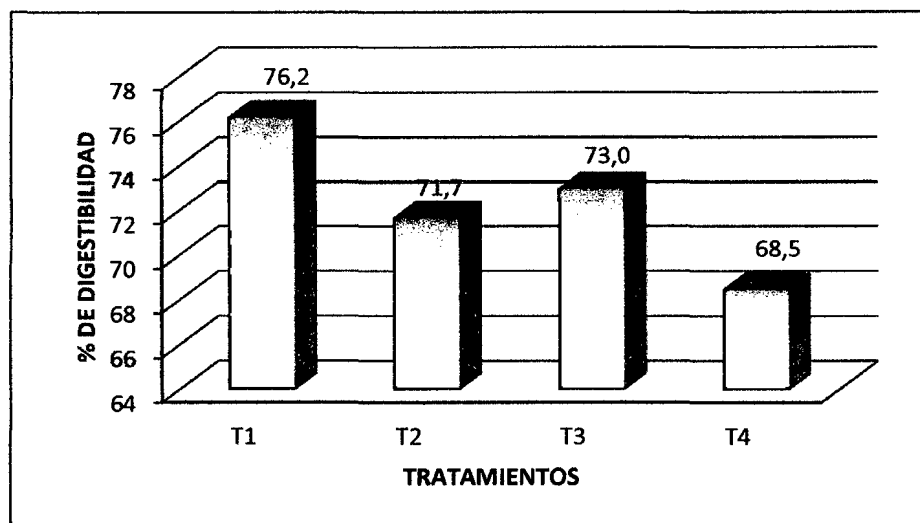


Figura 18: Digestibilidad *in vitro* de los cuatro tipos de alimentos formulados.

El tratamiento 01, es estadísticamente superior a los demás tratamientos tal como lo determina los resultados del análisis estadístico practicado (ANOVA factorial), con un nivel de confianza del 95% y la diferencia de medias, encontrándose diferencias significativas para el tratamiento 01 (5% de harina de lombriz y 5% de *S. cerevisiae*), tal como se observa en el Anexo 12, debiéndose al porcentaje de harina de lombriz y levaduras que contienen altos porcentajes de proteína con una digestibilidad alta.

Arango *et al* (2004), determinó la prueba de digestibilidad en pepsina para la harina obtenida de larvas de *Hermetia illucens* L. (mosca soldado), obteniendo un valor de 81,57%

Siendo las larvas de moscas un producto altamente digestivo y siendo el alimento concentrado formulado una mezcla de productos fibrosos con productos con alto contenido de proteínas se ve que los resultados de digestibilidad encontrada son buenos a comparación de los resultados encontrados en esta investigación,

mientras que para la harina de pescado la digestibilidad llega hasta valores de 92% (Castro y Avila, 1994).

4.6.3.2. Digestibilidad materia seca.

Cuadro 35: Digestibilidad de materia seca logrado por los cuyes machos (bloque A)

Tratamientos	Alimento consumido g (BS)	Eses Excretada g (BS)	Digestibilidad %
T1	1093,6	382,56	65,02
T2	936,16	376,93	59,74
T3	1036	394,39	61,93
T4	676,8	277,76	58,96

Cuadro 36: Digestibilidad de materia seca logrado por los cuyes hembras (bloque B)

Tratamientos	Alimento consumido g (BS)	Eses Excretada g (BS)	Digestibilidad %
T1	974,56	362,16	62,84
T2	972,32	409,12	57,92
T3	1214,72	486,63	59,94
T4	781,76	343,71	56,03

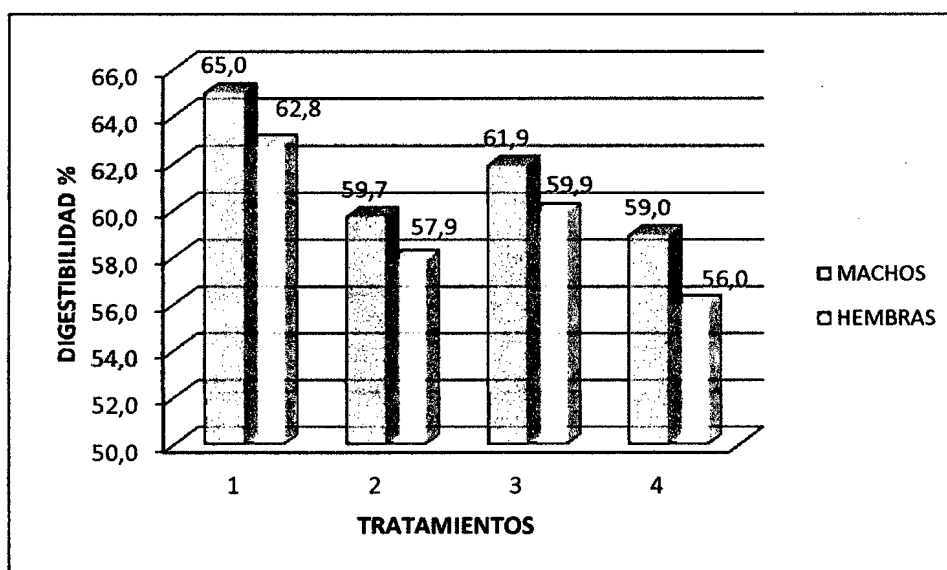


Figura 19: Digestibilidad de materia seca logrado por los cuyes del bloque A y bloque B.

Los resultados de digestibilidad de materia seca se muestran en el cuadros 36 y 37 y en la figura 19 a los que se le realizaron un análisis de varianza con un nivel de confianza del (0,05) (ANOVAS en los anexos 12.1 y 12.2) en los que se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y luego de realizar una comparación de medias entre los 4 tratamientos, el tratamiento 01 (5 % de harina de lombriz y 5 % de *S. cerevisiae*) y el tratamiento 03 (5 % de harina de lombriz y 2 % de *S. cerevisiae*) mostraron un mejor comportamiento en digestibilidad de materia seca, versus el tratamiento 02 (2% de harina de lombriz y 5% de *S. cerevisiae*) y el tratamiento 04 (2 % de harina de lombriz y 2 % de *S. cerevisiae*) que no mostraron un buen comportamiento en digestibilidad de materia seca, y al analizar estadísticamente los dos bloques evaluados; encontrándose diferencias significativas entre bloques de hembras y machos, siendo el bloque de los machos superior en digestibilidad de materia seca que los cuyes hembras, tal como se puede observar en los ANOVAS en los Anexos 12.3 .

Correa *et al* (1994), encontraron resultados de digestibilidad de materia seca para productos energéticos (subproductos de trigo: 70% y cebada grano 83%); para proteicos (pasta de algodón: 40% y torta de soya 75%) y para fibrosos (heno de alfalfa: 62% y maíz chala 59%) utilizando 30 cuyes machos de 1 a 3 meses de edad distribuidos en 6 grupos de 5 cuyes cada uno, realizando una comparación mixta de los tres tipos de alimento, los resultados obtenidos en la investigación son similares a los datos obtenidos; así mismo Zevallos *et al* (1994) realizó la evaluación de digestibilidad de la hoja de Morera utilizando 10 cuyes machos, reportando valores de digestibilidad de materia seca de 69%

Utilizando 15 cuyes machos de 1000 g del tipo 1, evaluaron la digestibilidad de materia seca para la harina integral de soya y gluten de maíz, encontrando valores de 83.70% y de 92.88 % correspondientemente (Zaldivar, 2007), mientras que Garay (2008), encontró valores de digestibilidad de materia seca de 70.57% y de 69.20% para cascara de algodón y para la cascarilla de arroz correspondientemente utilizando 10 cuyes machos de tres meses de edad, los valores reportados en las investigaciones citadas son superiores a los encontrados en la presente investigación debiéndose a que los alimentos evaluados por los dos investigadores son alimentos netamente energéticos y proteicos, mientras que el alimento suministrado a los cuyes en esta investigación fue una mezcla de alimentos proteicos, energéticos y fibrosos.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- La mejor formulación obtenida del alimento balanceado para cuyes en etapa de crecimiento fortificada con levaduras *Saccharomyces cerevisiae*. y harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) fue con un 5 % de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, 5 % de harina de lombriz roja californiana (*E. foetida*), afrecho de trigo 30.268%, maíz amarillo 21.804% y avena grano 37.928%, con el cual se lograron diferencias significativas de acuerdo al análisis estadístico practicado en relación con los demás tipos de alimentos en todas las pruebas determinadas en los cuyes en evaluación en los dos bloques.
- El alimento formulado a base de productos de la región (afrecho de trigo, harina integral de maíz, y de avena), suplementado con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) de acuerdo a los requerimientos nutricionales del cuy en etapa de crecimiento influye positivamente en su desarrollo; existiendo en una diferencia significativa entre los dos insumos evaluados, siendo las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* influyente en el desarrollo de los cuyes en los factores de ganancia de peso, conversión alimenticia y digestibilidad de materia seca que fueron superiores en el tratamiento 01 y 02, que contenía 5% w/w en comparación con el tratamiento 04, que contenía 2% w/w, mientras que la harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es altamente influyente en el desarrollo de los cuyes tal como lo determina los resultados obtenidos en los cuyes alimentados con porcentajes de harina de

lombriz que contenía 5% w/w (tratamiento 01 y 03) que fueron superior en los factores de ganancia de peso, digestibilidad de materia seca y conversión alimenticia en comparación de los tratamientos que contenían 2% w/w (tratamiento 02 y 04), además la harina de lombriz tiene mayor influencia en comparación que la levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, debiéndose a su calidad proteica y su contenido de casi todas las vitaminas y minerales que ayudan a absorber los nutrientes de los demás ingredientes.

- El alimento balanceado formulado para cuyes en etapa de crecimiento fortificada con levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y harina de lombriz en un sistema de alimentación mixta con 50% w/w de forraje hidropónico de cebada, fue superior en el desarrollo de los cuyes tal como se obtuvo en el tratamiento 01 lográndose ganancias de peso de 12.43 g/día en machos y 10.60 g/día en cuyes hembras, conversiones alimenticias en alimento consumido g/ganancia de peso g, de 4.5:1 para machos y 4.9:1 para cuyes hembras y digestibilidad de materia seca de 65,02% para machos y 62,84 % para cuyes hembras, con lo cual se puede lograr cuyes de 1000 g de peso vivo en un periodo de 70 a 75 días en machos y de 80 a 85 días en cuyes hembras que es superior a los obtenidos por los productores de la región que obtienen los mismos resultados de 90 a 100 días.



CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Realizar la evaluación de la influencia en el desarrollo de los cuyes de los dos insumos desde el periodo del nacimiento para no causar problemas de traumas gastrointestinales y obtener resultados más óptimos.
- Realizar la investigación de la harina de lombriz en el procesamiento y su utilización como fuente proteica en la elaboración de diferentes productos para consumo humano.
- Realizar el cambio de la alimentación de los cuyes en forma gradual para no causar traumas gastrointestinales.
- Tener cuidado en mantener la higiene en el galpón de cuyes para evitar la proliferación de enfermedades patógenas además de realizar la evaluación constante de la salud de los cuyes.

BIBLIOGRAFÍA

1. ROSENDE. 2006. Análisis bibliográfico: aspectos del cultivo y procesamiento de salmónidos, basados en la incorporación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Escuela de Recursos Naturales. Concepción – Chile.
2. SOMARRIBA y GUZMAN. 2004. Guía de Lombricultura. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua.
3. DIAZ. 2002. Guía de Lombricultura. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior, Municipio Capital la Rioja. Rioja – Nicaragua.
4. AGUILERA. 2004. Evaluación del efecto de la densidad poblacional inicial y dos ambientes sobre el crecimiento de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en la IX región. Universidad Católica de Temuco. Temuco – Chile.
5. CARRERA. 2007. Estudio de factibilidad para la construcción de un lombricario en el Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha. Escuela Politécnica Nacional de Ciencias.
6. GONZALEZ y URZUA. 2006. Análisis de la factibilidad Técnico – Económica y Ambiental en la utilización del Vericompostaje para la recuperación de Residuos Sólidos Domiciliarios a nivel comunal. Caso Estudio: Comuna de Calera de Tango. Facultad de Ingeniería. Universidad de Santiago de Chile. Chile.
7. CURI. 2006. Determinación biológica de la calidad proteica de la harina de lombriz (*Eisenia Foetida*). E. A. P. de Nutrición - Facultad de Medicina Humana -Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.



8. GIRON. 2005. Estudio de factibilidad de la producción y comercialización del abono humus orgánico producido por la lombriz roja. Facultad de Ingeniería - Universidad de San Carlos de Guatemala- Guatemala.
9. CARTER. 1999. Lombricultura – química industrial II. Escuela de Técnicos José Miguel Carrera - Sede Viña Del Mar. Universidad Técnica Federico Santa María. Viña del Mar- Chile.
10. AYALA y QUINTERO. 2009. Producir y comercializar carne de lombriz roja californiana con el fin de sustituir las demás carnes que se encuentran actualmente en el mercado. INSTITUTO TECNOLÓGICA FITE.
11. PORCEL. 2007. Estudio descriptivo de alergia a larvas de calliphoridae y lombriz de tierra en pescadores de Cáceres. Identificación de especies y caracterización alergénica. Universidad de Alcalá de Henares Madrid – España.
12. GARCÍA. 2009. Diseño de un proceso de lombricomposteo utilizando el método QFD (Quality Function Deployment) para el establecimiento de una planta piloto en la UTM. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México.
13. ALBA, USUBILLAGA y MEDINA. 2008. Perfil electroforético y calidad microbiológica de la harina de lombriz *Eisenia fetida*. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
14. TRAVEZ. 2010. Diseño de una unidad de lavado, secado y molienda para el proceso de obtención de harina de lombriz. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador.

15. BOULOGNE, MÁRQUEZ, GARCÍA, MEDINA y CAYOT. (2008). Optimización de la operación de secado de la carne de lombriz (*Eisenia andrei*) para producir harina destinada al consumo animal. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
16. BASTARDO. 2007. Utilización de proteína no convencional en dietas para iniciador de trucha arco iris, (*Oncorhynchus mykiss*). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Venezuela). Venezuela.
17. ISEA, BLÉ, MEDINA AGUIRRE y BIANCHI. 2008. Estudio de digestibilidad aparente de la harina de lombriz (*Eisenia andrei*) en la alimentación de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Revista Chilena de Nutrición, Vol. 35, Núm. 1. Chile.
18. MORON, DÍAS, BARRERA, GALLARDO y PEÑA. 2008. Efecto de la inclusión de harina de lombriz sobre el rendimiento en canal, en cortes y calidad físico-química de la carne de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*). Universidad del Zulia, Maracaibo. Venezuela.
19. VALDIVIESO. 2006. Obtención y caracterización de cepas de *Saccharomyces Serevisiae* superproductoras de glutatión. Editorial de la Universidad de Granada. España.
20. BUITIAGRO y TENJO. 2007. Obtención de un sustrato fermentable de origen vegetal y su evaluación con células libres de *Saccharomyces cerevisiae*. Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Ciencias. Bogotá - Colombia.

21. GRISALES, RÍOS Y TRIANA. 2009. Diseño de un proceso de producción de etanol anhidro a partir de jugo de caña. Escuela de Ingeniería Química - Universidad del Valle
22. RAMÍREZ y GÓMEZ, 2008. Determinación de proteína total de *Cándida utilis* y *Saccharomyces serevisiae* en bagazo de caña. Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia. Colombia.
23. MENDIETA y PICADO. 2002. Diseño tecnológico de un sistema separador-secador para su utilización en la recuperación de cerveza residual y posterior secado de la levadura sobrante. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.
24. FERRER, DAVALILLO, PÁEZ, CHANDLER y MÁRMOL. 2004. Producción de proteína microbiana a partir de los desechos del procesamiento de la caña de azúcar (bagacillo). Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, La Universidad del Zulia, Venezuela.
25. ERTOLA, MIGNONE y YANTORNO. 2008. Producción industrial de levaduras. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la OEA.
26. FEDLMANN. 2005. Yeast molecular biology- a short compendium On basic features and novel aspects. Adolf-Butenandt-Institute - University of Munich.
27. DURANGO. 2007. Evaluación y escalonamiento de la producción de levaduras nativas tipo *Saccharomyces spp.* A nivel de laboratorio. Escuela de Ingeniería. Universidad EAFIT. Medellín- Colombia.



28. GONZALES. 2004. Utilización de enzimas fibrolíticas en cabras lecheras. Evaluación de su actividad y características fermentativas *in vitro*. Departamento de Ciencia Animal de los Alimentos. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona – España.
29. PAZ. 2010. Diseño integral de biorreactores continuos de tanque agitado aplicados a procesos de fermentación. Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Colombia.
30. PLATA, RICALDE, MELGOZA. 2006. Un cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y la monensina sódica en el comportamiento productivo de ovinoS. Departamento de Producción Agrícola y Animal - Universidad Autónoma Metropolitana. Mexico.
31. RIVAS, DÍAS y HAHN. 2008. Efecto de la suplementación con *Saccharomyces cerevisiae* sobre la producción de leche al inicio de la lactancia en vacas lecheras. Departamento de Producción Animal, Universidad Central de Venezuela.
32. FAJARDO y SARMIENTO. 2007. Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*. Microbiología Industrial – Pontificia- Universidad Javeriana. Bogotá, D.C. Colombia.
33. RAMÍREZ y MOLINA. 2005. Evaluación de parámetros cinéticos para la *Sacharomyces cerevisiae* utilizando agua de coco como sustrato. Costa rica.
34. PERALTA y MIAZZO. 2008. Levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) en la alimentación de pollos de carne - Yeast *Saccharomyces*

- cerevisiae) in feed broiler. Unidad de Investigación Aviar, Depto.de Producción Animal- Universidad Nacional de Río. Córdoba - Argentina.
35. FERNÁNDEZ, DIAZ, ALVARES y HERRERA. 2008 cinética de la fermentación: estudio de dos cepas tequileras. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. México.
36. GRISALES y RÍOS. 2002. Diseño de un proceso de producción de etanol anhidro a partir de jugo de caña. Escuela de Ingeniería Química - Universidad del Valle. Cali - Colombia.
37. VARGAS y CAMPOS. 2004. Valor nutritivo de la levadura de cervecería (*Saccharomyces cerevisiae*) y de sus derivados, extracto y pared celular, en la alimentación aviar. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Departamento de Producción Animal, Cabudare Estado Lara, Venezuela.
38. GUTIÉRREZ y GÓMEZ. 2008. Determinación de proteína total de *Candida utilis* y *Saccharomyces cerevisiae* en bagazo de caña. Revista lasallista de investigación. Corporación universitaria lasallista. Antioquia – Colombia.
39. CHAUCA. 1997. Producción de cuyes (*Cavia porcellus*). Estudio FAO producción y sanidad animal 138. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
40. VERGARA, TORRES y CHAUCA. 2006. Evaluación de dos niveles de energía y proteína en el concentrado de crecimiento para cuyes machos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú.

41. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1995. Nutrient Requirements of laboratory animals. Washington, D.C. Estados Unidos. Fourth Revised Edition.
42. VERGARA. 2008. Avances en alimentación y nutrición de cuyes. Simposio: avances sobre producción de cuyes en el Perú. Universidad Agraria la Molina. Lima – Perú.
43. REVOLLO. 2003. Material de difusión sobre nutrición y alimentación del cuy (*Cavia aperea porcellus*) para estudiantes de pregrado y productores. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba – Bolivia.
44. QUINTANA. 2009. Suplementación de dietas a base de alfalfa verde con harina de cebada más una mezcla mineral y su efecto sobre el rendimiento y eficiencia productiva en cuyes en crecimiento en el Valle del Mantaro. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú.
45. MORENO. 1989. Producción de cuyes. 2da ed. Edit. M.V. Publicaciones. Departamento de Producción Animal. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú.
46. RICO y RIVAS. 2003. Manual sobre el manejo de cuyes. Benson Agriculture and Food Institute Provo, UT, EE.UU.
47. RICO. 1995, Investigaciones en aspectos de nutrición de cuyes en Bolivia. Cochabamba - Bolivia. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Proyecto MEJOCUY.

48. POND y POND. 2006. Introducción a la ciencia animal. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza – España.
49. McDONALD *et al.* 2002. Nutrición animal. Sexta Edición Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España.
50. COLLAZOS, WHITE, VIÑAS y ALVISTUR. 1996. Tablas peruanas de composición de alimentos. Séptima edición. Ministerio de salud. Lima – Perú.
51. FAO. 2001. Forraje Verde Hidropónico: Manual Técnico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
52. ELIZONDO. 2005. Forraje verde hidropónico: Una alternativa para la alimentación animal. Revista ECAG. N°. 35-2005. Costa Rica.
53. ROMERO. 2009. Evaluación de dos niveles de reemplazo de ingredientes en dietas tradicionales por Forraje Hidropónico de Maíz (*Zea mays* L) para cerdos confinados en la fase de crecimiento y acabado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil – Ecuador.
54. VARGAS, 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Universidad de Costa Rica. Cartago - Costa Rica
55. LOPEZ, MURILLO y RODRIGUEZ. 2008. El forraje verde hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. Programa de Agricultura en Zonas Áridas del Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), México.
56. RODRÍGUEZ. 2003. Forraje verde hidropónico. Facultad de Ciencias Químicas Chihuahua. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.



57. INIA. 1994. Proyecto de sistemas de producción de cuyes. Lima – Perú.
58. SILVA y MORENO. 1994. Utilización de la cebada (*Hordeum vulgare*) y maíz (*Zea mays*) germinados en la alimentación de cuyes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
59. GUERRERO y RAVILLET. 1994. Harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como sustituto de harina de pescado en la ración de cuyes criollos. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque – Perú.
60. MORENO, CARRASCO y PICHILINGUE. 1994. utilización de la cebada (*Hordeum vulgare*) germinada en la alimentación de cuyes machos en crecimiento y engorde. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
61. RUIZ, SARRIA y VERGARA. 1995. Evaluación del germinado de cebada suplementado con mezclas alimenticias simples en el engorde de cuyes. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
62. GALLARDO. (2002). Utilización eficiente del afrechillo de trigo para la suplementación de vacas lecheras. INTA
63. FPA CONAMA. 2010. Proyecto: “Aprendiendo y difundiendo tecnologías amigables con el medio ambiente, mejoramos la calidad de vida en Andacollo.” Taller “Uso sustentable del recurso Hídrico”. Chile.
64. GÓMEZ, PINEDA, DURAND y HUAITA. 2010. Influencia de la alimentación con cebada hidropónica en la mortalidad y ganancia de peso vivo en cuyes lactantes en el Distrito de Tamburco – Abancay. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay-Perú.

65. CORREA, HIDALGO, VERGARA y MONTES. 1994. Determinación de la digestibilidad de insumos energéticos proteicos y fibrosos en cuyes. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.
66. ESCOBAR y QUIJANO. 1999. Niveles de harina de sangre en la alimentación de cuyes. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho. Perú.
67. CAMPOS. 2003. Digestibilidad de leguminosas y gramíneas forrajeras en la alimentación de cuyes. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias - Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba – Bolivia.
68. CARVAJAL y VIVAS. 2008. Evaluación del reemplazo parcial del forraje *Axonopus sp* por Saccharina rustica en la alimentación del cuy (*Cavia porcellus*). Universidad del Cauca. Colombia.
69. ZEVALLOS, HIDALGO, MORENO y MONTES. 1994. Evaluación biológica de la hoja de morera mediante pruebas de digestibilidad y crecimiento en cuyes. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.
70. ZALDIVAR. 2007. Digestibilidad y energía digestible de la harina integral de soya y del gluten de maíz en cuyes. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.
71. GARAY. 2008. Digestibilidad y energía digestible de la cascara de algodón y cascarilla de arroz en cuyes. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.
72. AOAC. 1995. Association of Analytical Communities. En análisis proximal.

73. ARANGO; VERGARA y MEJÍA. 2004. Análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *Hermetia illuscens* L (DIPTERA: STRATIOMYIIDAE) en angelópolis-antioquia, Universidad Nacional de Colombia- Medellin - Colombia
74. CASTRO y AVILA. 1994. Control de calidad de insumos y dietas acuícolas. FAO.



ANEXOS



ANEXO N° 01: Determinación de humedad (método AOAC 925.10, 1995)

El método es aplicable a todos los productos alimenticios excepto los que puedan contener como compuestos volátiles distintos al agua o los que son susceptibles a la descomposición a 110 °C como es el caso de vegetales frescos.

Materiales y equipos

Placa petri, estufa y balanza analítica con aproximación de 0.001 g.

Procedimiento:

Pesar las palcas petri todas con tapa y al tarar rotular las palcas con tinta indeleble, luego agregar 2 g de muestra, colocarlos en la estufa de 100 – 110 °C por 5 horas. Por la diferencia de peso se obtiene la humedad de la muestra luego se lleva a porcentaje. La determinación de materia seca se hace por diferencia de peso entre el peso inicial de la muestra (100 %). Y el porcentaje de humedad hallada, obteniéndose de esta manera y en forma directa el porcentaje de materia seca.

Cálculos:

1. Peso de placa petri
2. Peso total = peso de palca + peso de la muestra
3. 3. Peso final = después que sale de la estufa.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso total} - \text{peso final} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

ANEXO N° 02: Determinación de cenizas (método AOAC 923.03, 1995)

Todos los alimentos están compuestos por elementos minerales constituyendo parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos. Las cenizas están constituidas por el residuo orgánico que queda una vez que se ha quemado a 550 – 600 °C la materia orgánica.

Durante la incineración la materia orgánica cambia, así, las sales metálicas de ácidos orgánicos se convierten en óxidos o carbonatos, o reaccionan formando fosfatos, sulfatos o haluros; El azufre y halógenos entre otros elementos pueden perderse por volatilización.

En las cenizas de los vegetales predominan los derivados del potasio y en los animales los del sodio.

El contenido de cenizas puede indicarnos la calidad de un alimento, así por ejemplo, existen valores máximos de cenizas para la gelatina y té. La concentración elevada de cenizas en un alimento sugiere la presencia de adulterantes o contaminantes inorgánicos.

Fundamento:

La muestra molida y seca se pre – calcina en un mechero para carbonizarla y eliminar los compuestos volátiles, enseguida es calcinada (600 °C), eliminando la materia orgánica y quedando el residuo mineral o ceniza.

Materiales:

Balanza analítica, 6 crisoles de porcelana N° 3, pinzas para crisol, mechero, trípode, tela de asbesto, triangulo de porcelana, espátula y desecador.



Procedimiento:

1. Secar en la estufa eléctrica cerca de 10 g de muestra de 100 – 110 °C por 1 a 5 horas.
2. Colocar en la mufla a 550 ó 600 °C, dos crisoles de porcelana previamente marcados, dejarlos allí por cerca de 60 minutos y periodos subsecuentes de 15 minutos (o toda la noche) en el desecador, al final de los cuales el crisol deberá pesarse en la balanza analítica, hasta que mantenga su peso constante (peso de tara).

Para lo cual existe lápices para marcar los crisoles, por lo tanto es recomendable utilizar lápiz 2B carbón y bale roturar en la base de los crisoles en caso de rotular en las partes laterales desaparece el rotulado y no se sabría que tipo de muestra es.

3. En los crisoles tarados, agregar de 1 a 5 g de muestra molida y seca, o bien añadir 10 ml de muestra líquida y evaporar el agua en baño maría o secar en la estufa de convección toda la noche a 70 °C ó durante 2 horas a 100 °C, para que la muestra no salte mucho al incinerarse, por lo tanto existe error. Registrar el peso final (Peso del crisol tarado mas la muestra).
4. Colocar (con pinzas) los crisoles en posición vertical sobre triángulos de porcelana y aplicar la llama oxidante (azul) del mechero. Evitando que arda la muestra, hasta carbonizarla totalmente, esto se logra, cuando la muestra esta completamente negra, se despegas del crisol y no desprende mas humo.
5. Trasladar los crisoles a la mufla (usar pinzas y guantes de asbesto) y dejarlos allí de 1 a 5 horas o toda la noche.

6. Sacar los crisoles de la mufla y pasarlos al desecador de manera indicada en las “notas,” detallados abajo, dejar enfriar y pesar. Este será el peso del crisol más la ceniza.

Cálculos:

$$\% \text{ de ceniza} = \frac{PC \times 100}{P M}$$

- $PM = P_{cM} - T_c$
- $PC = P_{cC} - T_c$

Donde:

- T_c : Peso del crisol tarado (g).
- P_{cM} : Peso del crisol tarado mas la muestra (g).
- P_{cC} : Peso del crisol mas las cenizas (g).
- PM : peso de la muestra (g).
- PC : peso de las cenizas (g)

Notas:

1. Observar que el crisol este en buenas condiciones, que no presente rajaduras, porque si es así habrá error cuando se trata de muestras liquidas.
2. El manejo o traslado de crisoles se realizara empleando pinzas.
3. En las operaciones de enfriado o traslado de crisoles al sacarlos de la estufa o mufla se deberá usar siempre el desecador.
4. Al colocar el crisol o capsula proveniente de la estufa en el desecador, se dejara enfriar por espacio de 15 a 30 minutos antes de pesarlo.
5. Al sacar el crisol, de la mufla, siempre guantes de asbesto, pasar el crisol al desecador, con mucho cuidado, esta a 600 °C y nunca tapar completamente el desecador al colocar el crisol en el, deberá dejarse entre abierto por 15 a 30 minutos y luego taparse por completo, dejar enfriar otros 15 minutos y luego pesar.

ANEXO N° 03: Determinación de proteína (Método AOAC 920.87, 1995)

Introducción

Este es el método de determinación de nitrógeno total, mediante el cual se puede obtener el porcentaje de proteína cruda (total) de una muestra orgánica.

Es un método indirecto ya que se basa en la determinación del nitrógeno amínico o amoniacal como el que se encuentra en la urea, ácido úrico, ácidos nucleídos, fosfolípidos y también en los aminoácidos y proteínas.

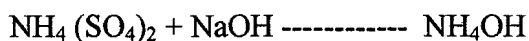
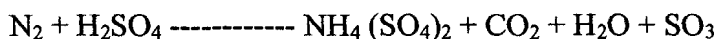
El método está basado en una digestión utilizando ácido sulfúrico, el cual hidroliza la muestra liberándose el nitrógeno amoniacal de los aminoácidos y demás compuestos que la contienen, en seguida se neutraliza la muestra con NaOH, formando hidróxido de amonio y se efectúa una destilación para obtener el amoníaco, el cual se recoge en una solución de ácido bórico (que captura el amonio); este contiene un indicador (Indicador mixto). Finalmente se titula utilizando ácido clorhídrico previamente estandarizado, de esta manera el ácido gastado en la titulación es equivalente al contenido de nitrógeno.

El porcentaje de nitrógeno obtenido, puede transformarse a un porcentaje de proteína cruda, gracias a un factor de conversión. El factor más usado es el de 6.25, este se obtiene del hecho de que a la mayoría de las proteínas tienen un 16% de nitrógeno: ($100/16 = 6.25$, o sea que 100g de muestra el 16 % corresponden al nitrógeno); sin embargo se utilizan otros factores de conversión para proteínas de fuentes específicas.

Pero si el método determina nitrógeno orgánico en general y no solo de proteínas, se debe estar consiente que se esta tolerando un error, al compararlo con otros métodos mas específicos, pero con mayor problema de ejecución, por ejemplo el de Biuret. Se ha visto que el error no es muy grande en la mayoría de los alimentos o materias primas, solo en aquellos que tienen características específicas, por ejemplo la levadura, que tiene muchos ácidos nucleídos, pues el nitrógeno será principalmente de estos y no de la proteína por lo que primero hay que extraer los ácidos y en el residuo determinar la proteína.

Reacciones que se llevan a cabo en al determinación de nitrógeno.

Digestion (1^{ra} face; liberacion de N₂ COMO NH₄⁺



Destilación (2^{ra} face; recoleccion del amonio:



Titulación (3^{ra} face; Cuantificacion de nitrogeno:



Materiales:

- Aparato digestor y destilados kjeldahl.
- Matraz kejeldahl de 800 ml (2).
- Matraz erlenmeyer de 500 ml (2).
- Balanza analítica.



- Probetas de 100 ml (2).
- Probetas de 250 ml.
- Bureta graduada de 25 ml.
- Perlas de vidrio (10 – 12).
- Espátula.
- Caja petri.
- Papel encerado.

Reactivos:

HCL 0.1 N

Colocar en un matraz voluntario de 1000 ml, 500 ml de agua destilada, agregar 8.33 ml de HCL concentrado, agitar y aforar (en seguida se procede a estandarizarlo para obtener el factor).

H₂SO₄ concentrado. Grado analítico.

Mezcla reactiva de selenio: 4g de mezcla.

CuSO₄·5H₂O:K₂SO₄:1g de CuSO₄·H₂O + 6g de K₂SO₄

Zinc metálico en lentejas.

Sulfato de amonio secar el reactivo a 100 – 110 °C, por lo menos 2 horas.

Indicador mixto: Puede ser conseguido en el mercado, o bien, preparado de la siguiente manera: Se disuelven 0.1g de rojo de metileno en 50 ml de etanol, y 0.1g de verde bromocresol en otros 50 ml del mismo alcohol. Posteriormente, preparar



una mezcla con una parte de la solución de rojo de metilo con una parte de solución de verde bromocresol, siendo esta mezcla el indicador mixto.

NaOH al 40%: Disolver 400 g del reactivo en 500 ml de agua destilada en un matraz de adoración de 1000 ml dejar enfriar y aforar.

Acido bórico al 4%: Disolver 40 g de reactivo en 950 ml de agua destilada casi hirviendo, dejarlo enfriar, aforar a 1000 ml con agua hervida y fría.

Método:

Estandarización del HCL:

1. Secar 2 g de sulfato de amonio en al estufa a 100 °C por espacio de 2 horas.
2. Tomar posteriormente exactamente 0.14 g en un papel parafinado ponerlo dentro de un matraz Keldahl, y agregarle 250 ml de agua destilada, 100 ml de hidróxido de sodio al 40 % (por la pared) y 6 perlas de vidrio.
3. Se conecta al destilador del keldahl, y se recogen 150 ml de destilado en 100 ml de acido bórico al 4 % empelando indicador mixto.
4. Se titula con acido clorhídrico a 0.1N.

Cálculos para determinar el factor de HCL.

$$\text{Factor de HCL} = \frac{(28) (0.14) (100)}{(132)(\text{ml de HCL})}$$



Preparación de la muestra:

1. Triturar la muestra en el molino, colocar la harina obtenida en una caja petri sin tapa y dejarla secar en la estufa a 60 – 70 °C por toda la noche ó a 100 °C por lo menso dos horas.
2. Pesar 1 g de la muestra molida y seca, en al balanza analítica sobre un cuadro de papel encerado doblarlo y colocarlo dentro del matraz Kjeldahl, de cada muestra hay que hacer un duplicado, agregue sobre el mismo papel 4 g de mezcla reactiva de selenio (puede utilizarse 1 g de sulfato cúprico y 6 g de sulfato de potasio en lugar de mezcla de selenio).

Proceso de digestión (hidrólisis de la muestra):

1. Agregar al matraz 25 ml de acido sulfúrico concentrado y 6 perlas de vidrio.
2. Encender el extractor de gases del digestor, encienda las hornillas y coloque los matraces Kjeldahl en posición inclinada en el aparato Kjeldahl, digerir por 1 hora, rotando los matraces cada 15 minutos. (la muestra deberá tomar coloración verde).
3. Terminado el tiempo de digestión, apagar la hornilla y dejar encendido los extractores para que sigan sacando los gases por espacio de 30 minutos.

Proceso de destilación (Recolección de amonio)

1. Al matraz previamente enfriado, agregar 250 ml de agua destilada lavando con ella las paredes del matraz, encender la hornilla respectiva, abrir la llave de agua, para que circule por el enfriador o condensador.

2. A parte en un matraz erlenmeyer de 500 ml colocar 100 de ácido bórico al 4% y 6 gotas de indicador mixto. Agítelo y colóquelo en la pared inferior del destilador cuidando que la manguera del refrigerante quede sumergida en el líquido del matraz erlenmeyer.
3. Agregar al matraz Kjeldahl 100 ml de NaOH al 40% y 5 lentejas de zinc inmediatamente ponerlos en la parrilla y ajustar en el cuello del matraz y vuelva a introducir rápidamente. Antes de apagar la llama asegúrese de que la manguera del refrigerante, ya no toque el líquido del matraz erlenmeyer al terminar de destilar (esto para evitar succión).

Nota: agregarlo lentamente por la pared del matraz.

Proceso de titulación (Valoración)

1. Destilados los 150 ml sacar el matraz erlenmeyer, no separearlo totalmente del tubo condensador, luego apagar la hornilla.
2. Titular el destilado con HCL 1 0.1 N estandarizado, agregándolo lentamente hasta que el color verde de la solución cambie a rosa (primer vire), anotando los mililitros de HCL empleados.

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{(\text{ml de HCL empleados})(\text{factor del HCL})}{\text{Gramos de muestra}}$$

% de proteína = (% de nitrógeno) (Factor de conversión específico para el tipo de muestra que se está trabajando).

ANEXO N° 04: Determinación de grasa (método AOAC 920.85, 1995)

El solvente (hexano o éter), extrae el extracto etéreo de la muestra y la deposita en el matraz previamente tarado (pesado) y por diferencia de peso se obtiene la cantidad del extracto etéreo de la muestra.

Reactivos y equipos de laboratorio

Un extractor soxhlet, 250 ml de solvente orgánico (hexano o éter), papel filtro y balón.

Procedimiento:

1. Para la determinación del extracto etéreo por este método se deben de usar muestras deshidratadas en lo posible la muestra debe ser previamente secada a paso constante a 95 – 100 °C, en una estufa por un periodo de 5 horas y enfriadas en una campana que contenga una sustancia deshidratante.
2. Poner a secar en una estufa a 110 °C, el número de balones que se va usar.
3. Luego de una hora, sacar los balones de al estufa y ponerlos a enfriadas en una campana que contenga una sustancia deshidratante.
4. Pesar los balones fríos y también pesar de 3 a 5 g de muestra secada como se indica mas arriba, empaquetarla en un pedazo de papel filtro whatman N°2.
5. Colocar el paquete en el cuerpo del aparato soxhlet y luego agregar hexano destilado hasta que una parte del mismo sea sifonado hacia el balón. Seguidamente conectar al fuente de calor a la cocina eléctrica.

6. El solvente (hexano o éter) al calentarse se evapora (69 °C – 34.6 °C) y asciende a la parte superior del cuerpo. Allí se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al balón por sifón arrastrando consigo el extracto etéreo. El ciclo es cerrado y la velocidad de goteo del hexano debe ser de 45 a 60 gotas por minuto.
7. El proceso dura tres horas. El matraz debe sacarse del aparato cuando contiene poco hexano o éter (momentos antes de que este sea sifoneado desde el cuerpo).
8. Evaporar el hexano remanente en el balón en una estufa y enfriarla en una campana que contenga sustancia deshidratante.

Cálculos:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{\text{peso del balón con EE} - \text{peso del balón vacío} \times 100}{\text{Gramos de muestra}}$$



ANEXO N° 05: Determinación de fibra fruta (método AOAC 991.43, 1995)

La fibra se determina eliminando los carbohidratos solubles por hidrólisis a compuestos más simples (azúcares) mediante la acción de los ácidos y alcalis débiles en caliente, y las cenizas (por diferencia de peso después de la ignición de la materia fibrosa obtenida).

Reactivos y equipos de laboratorio:

Ácido sulfúrico al 1.25 %, hidróxido de sodio al 1.25 %, etanol, agua destilada, vasos de 600 ml, papel filtro, capsula porcelana, bomba de vacío, estufa y cocina eléctrica.

Procedimiento:

Digestión ácida: pesar 5 g de muestra (exenta de grasa) en vaso de 600 ml. Hervir durante 45 minutos con 200 ml de H₂SO₄ al 1.25%. Luego de 30 minutos hervido, filtrar y lavar con agua destilada caliente hasta neutralizar la acidez.

Digestión alcalina: añadir 200 ml de NaOH al 1.25 % y hervirlo por 45 minutos (cuidar durante este tiempo). Filtrar al vacío en una capsula de cerámica porosa, lavando con agua destilada caliente. Luego de poner a la estufa por 2 horas y pesar, este peso se llamará P1, luego se colocará en el mufla para eliminar la materia orgánica y obtener las cenizas, se pesa nuevamente (P2). La cantidad de muestra que se use depende de la naturaleza de ella.

Cálculos:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(P1 - P2) \times 100}{\text{Gramos de muestra}}$$

ANEXO N° 06: Conversión alimenticia

El índice de conversión es un valor que representa la relación entre la cantidad de alimento consumido por el animal y los kilogramos de carne ganados por el animal en un determinado periodo de tiempo.

La metodología a seguir será la siguiente:

- Se alojaran los animales (cuyes de tres semanas de edad de la línea Perú) por cada tratamiento en una jaula especial que permita la recolección de las heces.
- Se suministrara el alimento a evaluar por un periodo de 7 días para que los animales se adapten al nuevo alimento.
- Terminado el periodo de adaptación se pesara los animales en forma individual por cada tratamiento en ayuna de 12 horas.
- Desde ese momento se comenzara con la evaluación de las nuevas formulaciones
- Se suministrara las nuevas formulaciones a los cuyes de acuerdo a su peso vivo siendo el alimento suministrado por día el 8% w/w en base seca, del cual el cincuenta por ciento (50%) representara forraje verde hidropónico y el otro cincuenta por ciento (50%) el alimento concentrado.
- La forma de suministrar el alimento será: Alimento concentrado en la mañana a las 8.00 a.m, y forraje hidropónico y en la noche 6:00 p.m.
- Cada semana (siete días) se evaluara el peso de los cuyes en ayunas de 12 horas.
- El proceso de evaluación durara 35 días con un total de 5 evaluaciones.

- La conversión alimentaria se determinara a partir de la fórmula propuesta por Andrial (2002).

Conversión de la alimentación en peso vivo

$$C = \frac{AC}{\text{Peso final de la etapa} - \text{Peso inicial}}$$

Donde:

- C: Conversión (kg de alimento/ kg de peso ganado)
- AC: Alimento total consumido en la etapa (kg)
- Peso vivo (kg)

Para la recolección de datos se utilizo en siguiente formato mostrado en el cuadro

Nº

Cuadro N°: Consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimentaria de los grupos de cuyes sometidos a la ingesta de alimento balanceado fortificado con harina de lombriz roja californiana y levaduras *Saccharomyces cerevisiae*.

Tratamientos	Consumo de alimento cuy (g)/Semana				Ganancia de alimento cuy (g)/Semana				Conversión alimenticia (ganancia de peso/consumo alimento)				promedio	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1														
2														
3														
4														

ANEXO N° 07. Digestibilidad de materia seca. (DMS)

El DMS se fundamenta en que existe una relación directa para el incremento del peso del animal en función de la calidad de proteína consumida, cuanto el alimento tenga mejor calidad de proteína su organismo absorberá más cantidad.

La metodología a seguida fue:

- Se alojaron los animales (cuyes de tres semanas de edad de la línea Perú) por cada tratamiento en una jaula especial que permita la recolección de las heces.
- Se suministrara el alimento a evaluar por un periodo de 7 días para que los animales se adapten al nuevo alimento.
- Terminado el periodo de adaptación se pesara los animales en forma individual por cada tratamiento en ayuna de 12 horas.
- Desde ese momento se comenzara con la evaluación de las nuevas formulaciones, el proceso de evaluación durara un tiempo de una semana (7 días).
- Se colocara oxido de cromo en un porcentaje del 0.5% del alimento suministrado como marcador, este aditivo no es asimilable por el organismo, su función es teñir el alimento para determinar los tiempos de recolección de las heces.
- Se suministrara las nuevas formulaciones a los cuyes de acuerdo a su peso vivo siendo el alimento suministrado por día el 8% w/w en base seca, del cual el cincuenta por ciento (50%) representara forraje verde hidropónico y el otro cincuenta por ciento (50%) el alimento concentrado.



- La forma de suministrar el alimento será: Alimento concentrado en la mañana a las 8.00 a.m. y forraje hidropónico en la noche a las 6:00 p.m.
- La recolección de las heces se empezara desde el momento que las heces salgan con el colorante (oxido de cromo) y durara hasta que el colorante desaparezca de las heces del animal.
- Después del periodo de evaluación de volverá a pesar los cuyes en ayunas de 12 horas.
- La digestibilidad de materia seca se obtendrá de la relación del alimento total consumido menos el peso de las heces excretadas con respecto al alimento total consumido, los pesos serán expresados en base seca, el cálculo se obtendrá mediante la fórmula:

$$\%DMS = \frac{\text{Alimento consumido (g) GDE} - \text{Heces excretadas (g) GDE}}{\text{Alimento consumido (g) GDE}} \times 100$$

Alimento consumido (g) GDE

Donde:

- GDE: Grupo dieta experimental.

ANEXO N° 08: Diseño experimental de la investigación

BLOQUES	N° de tratamientos	Factores				N° tratamientos	N° de cuyes por ensayo	N° cuyes a evaluar
		Harina de lombriz		Levadura <i>S. cerevisiae</i>				
		Niveles						
		2%	5%	2%	5%			
Bloque A	1	5%		5%		3	2	6
	2	2%		5%		3	2	6
	3	5%		2%		3	2	6
	4	2%		2%		3	2	6
Bloque B	1	5%		5%		3	2	6
	2	2%		5%		3	2	6
	3	5%		2%		3	2	6
	4	2%		2%		3	2	6
TOTAL						24		48

ANEXO N° 09: Ganancia de peso logrado por los cuyes

Cuadro N° 9.1: Evolución de la ganancia de peso en g/día tratamiento 01, bloque A

Semana	Peso g	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/día
0	2086			
1	2174	88	17.6	2.51
2	2297	123	24.6	3.51
3	2551	254	50.8	7.26
4	2878	327	65.4	9.34
5	3305	427	85.4	12.20
6	3740	435	87	12.43

Cuadro N° 9.2: Evolución de la ganancia de peso en g/día tratamiento 02, bloque A

Semana	Peso	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/día
0	2077			
1	2085	8	1.6	0.23
2	2190	105	21	3.00
3	2325	135	27	3.86
4	2541	216	43.2	6.17
5	2813	272	54.4	7.77
6	3083	270	54	7.71

Cuadro N° 9.3: Evolución de la ganancia de peso en g/día tratamiento 03, bloque A

Semana	Peso	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/día
0	2093			
1	2208	115	23	3,29
2	2340	132	26,4	3,77
3	2498	158	31,6	4,51
4	2759	261	52,2	7,46
5	3132	373	74,6	10,66
6	3510	378	75,6	10,80

Cuadro N° 9.4: Evolución de la ganancia de peso en g/día tratamiento 04, bloque A

Semana	Peso	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/día
0	2043			
1	2076	33	6.6	0.94
2	2149	73	14.6	2.09
3	2207	58	11.6	1.66
4	2348	141	28.2	4.03
5	2565	217	43.4	6.20
6	2793	228	45.6	6.51



Cuadro N° 9.5: Evolución de la ganancia de peso en g/día tratamiento 01, bloque B

Semana	Peso	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/día
0	2019			
1	2120	101	20,2	2,89
2	2240	120	24	3,43
3	2395	155	31	4,43
4	2612	217	43,4	6,20
5	2973	361	72,2	10,31
6	3344	371	74,2	10,60

Cuadro N° 9.6: Evolución de la ganancia de peso en g/día, tratamiento 02, bloque B

Semana	Peso	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/día
0	2009			
1	2089	80	16	2,29
2	2256	167	33,4	4,77
3	2446	190	38	5,43
4	2662	216	43,2	6,17
5	2926	264	52,8	7,54
6	3187	261	52,2	7,46

Cuadro N° 9.7: Evolución de la ganancia de peso en g/día, tratamiento 03, bloque B

Semana	Peso	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/dia
0	2030			
1	2112	82	16.4	2.34
2	2247	135	27.0	3.86
3	2418	171	34.2	4.89
4	2638	220	44.0	6.29
5	2920	282	56.4	8.06
6	3207	287	57.4	8.20

Cuadro N° 9.8: Evolución de la ganancia de peso en g/día , tratamiento 04, bloque B

Semana	Peso	Aumento de peso total	Aumento cuy/semana	Peso ganado/dia
0	2015			
1	2064	49	9.8	1.40
2	2140	76	15.2	2.17
3	2251	111	22.2	3.17
4	2437	186	37.2	5.31
5	2623	186	37.2	5.31
6	2803	180	36	5.14



ANEXO 10: ANOVA Factorial – GANANCIA DE PESO

ANEXO N° 10.01: ANOVA Factorial – GANANCIA DE PESO por tratamiento de los alimentos del bloque A.

Variable dependiente: GANANCIA DE PESO

Factores: HARINA DE LOMBRIZ

LEVADURAS *S. cerevisiae*

Número de casos completos: 12

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	67,737	3	22,579	34,210	,000
Intra-grupos	5,280	8	,660		
Total	73,017	11			

Comparaciones de medias

HSD de Tukey

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
4,00	3	6,5333	
2,00	3	7,5000	
3,00	3		10,6667
1,00	3		12,4333
Sig.		,502	,107

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: peso

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	67,737(a)	3	22,579	34,210	,000
Intersección	1034,163	1	1034,163	1566,914	,000
lombriz	61,653	1	61,653	93,414	,000
levaduras	5,603	1	5,603	8,490	,019
lombriz * levaduras	,480	1	,480	,727	,419
Error	5,280	8	,660		
Total	1107,180	12			
Total corregida	73,017	11			

a R cuadrado = ,928 (R cuadrado corregida = ,901)

ANEXO N° 10.02: ANOVA Factorial – GANANCIA DE PESO por tratamiento de los alimentos del bloque B.

Variable dependiente: GANANCIA DE PESO

Factores: HARINA DE LOMBRIZ
LEVADURAS *S. cerevisiae*

Número de casos completos: 12

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	43,403	3	14,468	13,606	,002
Intra-grupos	8,507	8	1,063		
Total	51,909	11			

HSD de Tukey

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
4,00	3	5,3667		
2,00	3	7,3667	7,3667	
3,00	3		8,2333	8,2333
1,00	3			10,6667
Sig.		,160	,738	,078

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Factores inter-sujetos

	N
lombriz 2,00	6
5,00	6
levaduras 2,00	6
5,00	6

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: peso

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	43,403(a)	3	14,468	13,606	,002
Intersección	750,501	1	750,501	705,800	,000
lombriz	28,521	1	28,521	26,822	,001
levaduras	14,741	1	14,741	13,863	,006
lombriz * levaduras	,141	1	,141	,132	,725
Error	8,507	8	1,063		
Total	802,410	12			
Total corregida	51,909	11			

a R cuadrado = ,836 (R cuadrado corregida = ,775)

ANEXO N° 10.03: ANOVA SIMPLE – GANANCIA DE PESO por tratamiento de los alimentos por BLOQUE.

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	11,3437	1	11,3437	2,00	0,1715
Intra grupos	124,926	22	5,67845		
Total (Corr.)	136,27	23			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de GMpeso en dos componentes: Un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 1,99769, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las GMpeso medias de un nivel de BLOQUES a otro para un 95,0%.

ANEXO N° 11: ANOVA Factorial – CONVERSION ALIMENTICIA

ANEXO N° 11.1: ANOVA Factorial – CONVERSION ALIMENTICIA por tratamiento de los alimentos del bloque A.

Variable dependiente: CONVERSION ALIMENTICIA

Factores: HARINA DE LOMBRIZ
LEVADURAS *S. cerevisiae*

Número de casos completos: 12

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	12,793	3	4,264	11,737	,003
Intra-grupos	2,907	8	,363		
Total	15,700	11			

HSD de Tukey

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
1,00	3	4,5333	
3,00	3	5,0333	
2,00	3		6,7667
4,00	3		6,8667
Sig.		,745	,997

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Factores inter-sujetos

	N
lombriz 2,00	6
5,00	6
levaduras 2,00	6
5,00	6

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: peso

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	12,793(a)	3	4,264	11,737	,003
Intersección	403,680	1	403,680	1111,046	,000
lombriz	12,403	1	12,403	34,138	,000
levaduras	,270	1	,270	,743	,414
lombriz * levaduras	,120	1	,120	,330	,581
Error	2,907	8	,363		
Total	419,380	12			
Total corregida	15,700	11			

a R cuadrado = ,815 (R cuadrado corregida = ,745)

ANEXO N° 11.2: ANOVA Factorial – CONVERSION ALIMENTICIA por tratamiento de los alimentos del bloque B.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	23,957	3	7,986	6,466	,016
Intra-grupos	9,880	8	1,235		
Total	33,837	11			

HSD de Tukey

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
1,00	3	4,8000	
3,00	3	6,2667	6,2667
2,00	3	6,9333	6,9333
4,00	3		8,7333
Sig.		,165	,099

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Factores inter-sujetos

	N
lombriz 2,00	6
5,00	6
levaduras 2,00	6
5,00	6

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: peso

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	23,957(a)	3	7,986	6,466	,016
Intersección	536,003	1	536,003	434,011	,000
lombriz	15,870	1	15,870	12,850	,007
levaduras	8,003	1	8,003	6,480	,034
lombriz * levaduras	,083	1	,083	,067	,802
Error	9,880	8	1,235		
Total	569,840	12			
Total corregida	33,837	11			

a R cuadrado = ,708 (R cuadrado corregida = ,599)

ANEXO N° 11.3: ANOVA SIMPLE – CONVERSION ALIMENTICIA por tratamiento de los alimentos por BLOQUE.

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	4,68167	1	4,68167	2,08	0,1634
Intra grupos	49,5367	22	2,25167		
Total (Corr.)	54,2183	23			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de CONVERSION en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 2,0792, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es superior o igual a 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las CONVERSION medias de un nivel de BLOQUES a otro para un 95,0%.



ANEXO N° 12: ANOVA Factorial – DIGESTIBILIDAD DE MATERIA SECA

ANEXO N° 12.1: ANOVA Factorial – DIGESTIBILIDAD DE MATERIA SECA por tratamiento de los alimentos del BLOQUE A.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	66,189	3	22,063	488,029	,000
Intra-grupos	,362	8	,045		
Total	66,551	11			

HSD de Tukey

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05			
		2	3	4	1
4,00	3	58,9667			
2,00	3		59,7333		
3,00	3			61,9333	
1,00	3				65,0167
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

Factores inter-sujetos

	N
lombriz 2,00	6
5,00	6
levaduras 2,00	6
5,00	6

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: peso

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	66,189(a)	3	22,063	488,029	,000
Intersección	45257,942	1	45257,942	1001097,332	,000
lombriz	51,047	1	51,047	1129,147	,000
levaduras	11,117	1	11,117	245,903	,000
lombriz * levaduras	4,025	1	4,025	89,037	,000
Error	,362	8	,045		
Total	45324,493	12			
Total corregida	66,551	11			

a R cuadrado = ,995 (R cuadrado corregida = ,993)

ANEXO N°12.2: NOVA Factorial – DIGESTIBILIDAD DE MATERIA SECA por tratamiento de los alimentos del BLOQUE B.

Variable dependiente: DIGESTIBILIDAD

Factores: HARINA DE LOMBRIZ

LEVADURAS S cereviciae

Número de casos completos: 12

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	73,509	3	24,503	218,938	,000
Intra-grupos	,895	8	,112		
Total	74,404	11			

HSD de Tukey

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05			
		2	3	4	1
4,00	3	56,0300			
2,00	3		57,9200		
3,00	3			59,9433	
1,00	3				62,7033
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Factores inter-sujetos

	N
lombriz 2,00	6
5,00	6
levaduras 2,00	6
5,00	6

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: peso

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	73,509(a)	3	24,503	218,938	,000
Intersección	41983,487	1	41983,487	375131,678	,000
lombriz	56,724	1	56,724	506,841	,000
levaduras	16,217	1	16,217	144,901	,000
lombriz * levaduras	,568	1	,568	5,072	,054
Error	,895	8	,112		
Total	42057,891	12			
Total corregida	74,404	11			

a R cuadrado = ,988 (R cuadrado corregida = ,983)

ANEXO N° 12.3: ANOVA SIMPLE – DIGESTIBILIDAD DE MATERIA SECA por tratamiento de los alimentos por BLOQUE.

Tabla ANOVA para DIGESTIBILIDAD según BLOQUES

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	30,7361	1	30,7361	4,80	0,0394
Intra grupos	140,955	22	6,40702		
Total (Corr.)	171,691.	23			

El StatAdvisor

La tabla ANOVA descompone la varianza de DIGESTIBILIDAD en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de los grupos. El F-ratio, que en este caso es igual a 4,79725, es el cociente de la estimación entre grupos y la estimación dentro de los grupos. Puesto que el p-valor del test F es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las DIGESTIBILIDAD medias de un nivel de BLOQUES a otro para un nivel de confianza del 95,0%.

ANEXO N° 13: ANOVA Factorial – DIGESTIBILIDAD *in vitro* por tratamiento de los alimentos formulados.

Variable dependiente: DIGESTIBILIDAD IN VITRO

Factores: HARINA DE LOMBRIZ

LEVADURAS

Número de casos completos: 12

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	91,380	3	30,460	588,694	,000
Intra-grupos	,414	8	,052		
Total	91,794	11			

HSD de Tukey

tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05			
		2	3	4	1
4,00	3	68,5000			
2,00	3		71,7000		
3,00	3			72,9967	
1,00	3				76,1967
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Factores inter-sujetos

	N
lombriz 2,00	6
5,00	6
levaduras 2,00	6
5,00	6

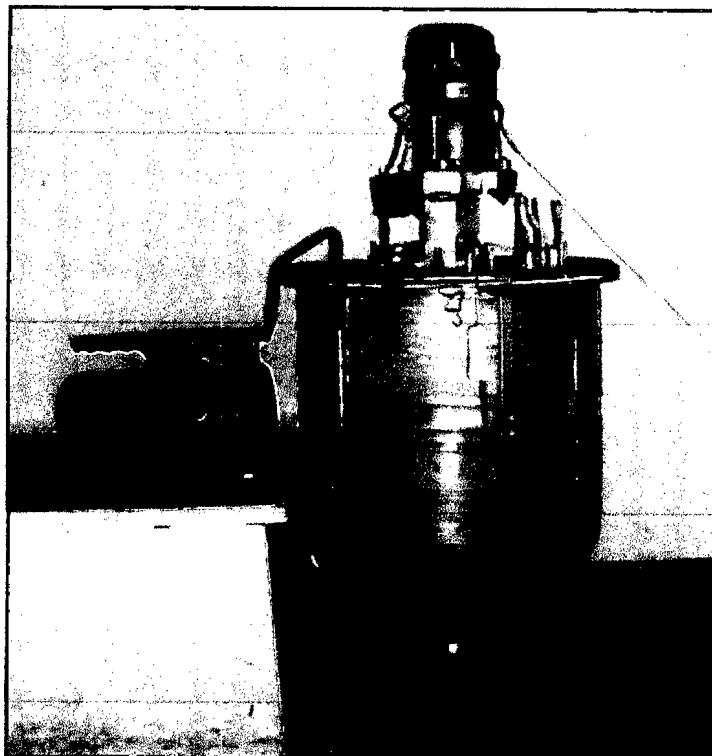
Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: peso

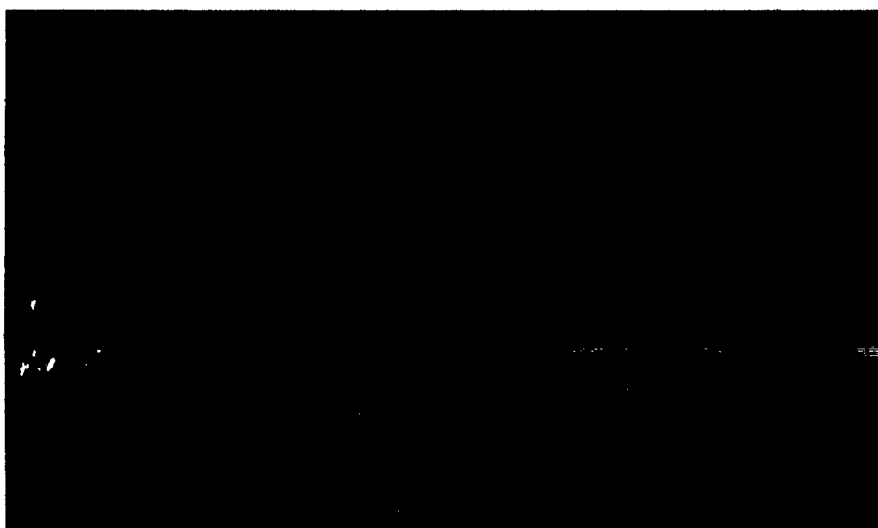
Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	91,380(a)	3	30,460	588,694	,000
Intersección	62811,376	1	62811,376	1213941,879	,000
lombriz	60,660	1	60,660	1172,363	,000
levaduras	30,720	1	30,720	593,719	,000
lombriz * levaduras	,000	1	,000	,000	1,000
Error	,414	8	,052		
Total	62903,170	12			
Total corregida	91,794	11			

a R cuadrado = ,995 (R cuadrado corregida = ,994)

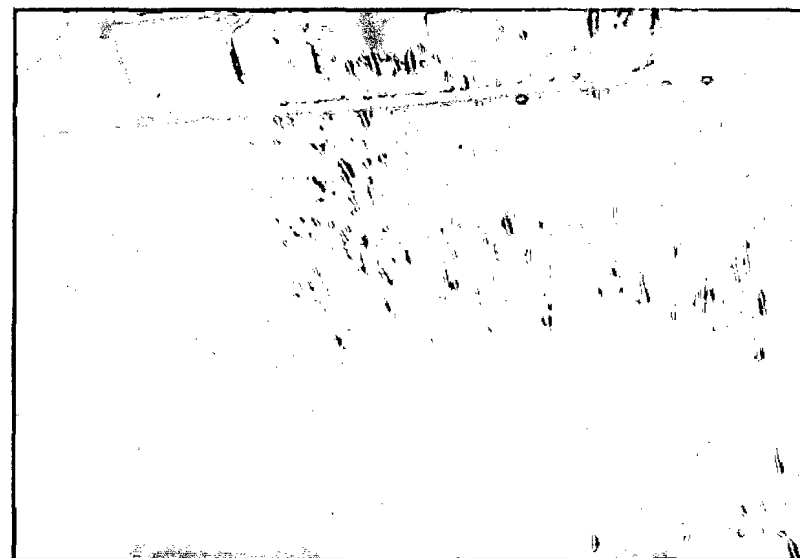
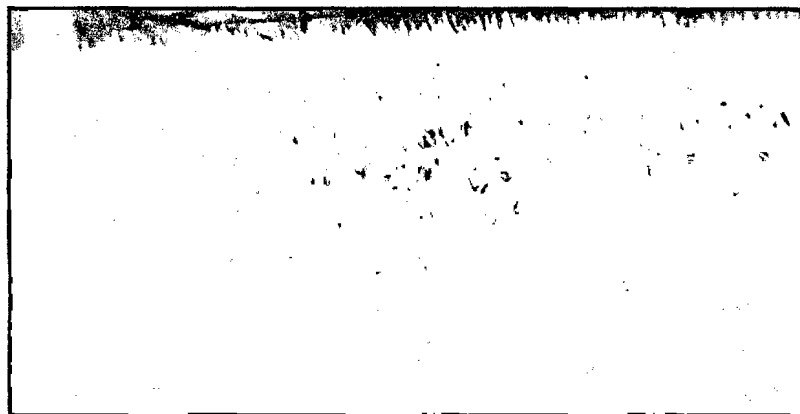
ANEXO N°14: Fotografía de biorreactor y extracto de levaduras



**ANEXO N° 15: Fotografía de instalación experimental de jaulas para la evaluación
y cuyes en proceso de evaluación**



ANEXO N° 16: Fotografía de las diferentes etapas de producción de forraje verde hidropónico



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC	
CÓDIGO	MFN
T IAG 0 2011	BIBLIOTECA CENTRAL
FECHA DE INGRESO:	28 MAR 2012
Nº DE INGRESO:	00251

