

Elaboración de suplementos nutricionales con base en el uso integral de las plantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y batata (*Ipomea batatas* Lam), por medio de extrusión, para la alimentación de animales monogástricos



Elaboración de suplementos nutricionales con base en el uso integral de las plantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y batata (*Ipomoea batatas* Lam), por medio de extrusión, para la alimentación de animales monogástricos

ILEANA ANDREA ORDOÑEZ CAMACHO

TRABAJO DE GRADO

Directores:

Claudia Zuluaga. Ing. Agroindustrial
Universidad San Buenaventura

Jorge Luis Gil Llanos. Zootecnista
Asistente de Investigación Clayuca – CIAT

UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
SANTIAGO DE CALI
2006

Tabla de Contenido

Resumen	1
Introducción	3
1. Justificación	5
2. Objetivos	7
3. Marco conceptual	8
3.1 Yuca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	8
3.1.1 Generalidades	9
3.1.2 Producción mundial de Yuca	11
3.1.3 Producción de yuca en Colombia.	13
3.1.4 Principales variedades de yuca y zonas agroecológicas del cultivo en Colombia	16
3.1.5 Yuca en alimentación animal	18
3.2 Batata (<i>Ipomoea batatas</i> Lam)	20
3.2.1 Generalidades	21
3.2.2 Producción mundial de batata	23
3.2.3 Producción nacional de batata	23

3.2.4	Batata en alimentación animal	25
3.3	Procesamiento de yuca y batata	26
3.4	Valor nutricional de las plantas de yuca y batata	28
3.5	Extrusión	31
3.5.1	Generalidades	32
3.5.2	Ventajas del proceso	38
3.5.3	Clasificación de los parámetros de extrusión	39
3.5.4	Variables que afectan el proceso	40
3.6	La producción de monogástricos en Colombia	42
3.6.1	Piscicultura	43
3.6.2	Porcicultura	44
3.6.3	Avicultura	45
4	Materiales y Métodos	49
4.1	Localización	49
4.2	Materia prima	50
4.2.1	Procedencia	50
4.2.2	Obtención de harinas	50
4.2.3	Acondicionamiento de las harinas	51
4.2.4	Caracterización	52
4.3	Descripción del equipo extrusor utilizado	53
4.4	Tratamientos empleados	55
4.5	Diseño experimental empleado	56

4.6	Variables a evaluar en el proceso	57
4.7	Variables de respuesta del producto terminado	57
4.8	Procedimiento operacional estándar	
	llevado a cabo en la ejecución de los ensayos	58
4.9	Orden de ejecución de los experimentos	61
4.10	Evaluación de los productos obtenidos a nivel	
	de laboratorio	61
4.11	Análisis estadístico	61
4.12	Análisis de laboratorio de los productos	
	seleccionados	61
4.13	Formulación de dietas para tres especies	
	monogástricas	62
4.14	Evaluación en la etapa de levante, en un	
	ciclo de crecimiento biológico en pollos	
	de engorde de los productos obtenidos	62
4.14.1	Elaboración del suplemento empleado	
	y fabricación de dietas	62
4.14.2	Localización	63
4.14.3	Animales	63
4.14.4	Alojamiento y manejo de los animales	63
4.14.5	Tratamientos	65
4.14.6	Diseño experimental empleado	65

4.14.7	Parámetros evaluados	66
5	Resultados y discusión	67
5.1	Caracterización de las materias primas	67
5.1.1	Análisis de granulometría	67
5.1.2	Composición nutricional	69
5.1.3	Análisis de la viscosidad de las materias primas	70
5.1.4	Contenido del ácido cianhídrico del suplemento de yuca antes de ser sometido al proceso de extrusión	71
5.2	Ejecución de las pruebas en el equipo extrusor	72
5.3	Análisis de los datos	73
5.3.1	Análisis de los datos obtenidos de la mezcla de yuca	73
5.3.2	Análisis de los datos obtenidos de las mezclas a partir de batata	76
5.4	Caracterización de los productos extrudidos seleccionados	78
5.4.1	Composición nutricional de los productos extrudidos seleccionados	78

5.4.2	Análisis de viscosidad de los productos extrudidos seleccionados	79
5.4.3	Contenido de ácido cianhídrico del suplemento a partir de yuca después de ser sometido al proceso de extrusión	80
5.5	Costos de producción de los suplementos extrudidos a partir de yuca y batata	81
5.6	Ejecución del ensayo biológico en la fase de levante de un ciclo de crecimiento biológico en pollos de engorde	83
5.7	Dietas formuladas para tres especies de monogástricos	86
5.7.1	Pollo de engorde	86
5.7.2	Cerdos	87
5.7.3	Peces	88
6	Conclusiones	89
7	Recomendaciones	90
	Bibliografía	91
	Glosario	97
	Anexos	98

Lista de Tablas

		Página
Tabla 1.	Producción mundial de Yuca para el 2004.	12
Tabla 2.	Producción de productos básicos en Colombia en 2004.	14
Tabla 3.	Proyección demanda potencial de yuca seca (2004-2010).	24
Tabla 4.	Composición proximal de las plantas de yuca y batata.	29
Tabla 5.	Contenido de energía útil y proteína total en diferentes productos utilizados en alimentación animal.	29
Tabla 6.	Elementos nutritivos de la raíz de yuca en comparación con otros productos alimenticios.	30
Tabla 7.	Factores que influyen los cambios químicos durante la extrusión.	41

Tabla 8.	Comportamiento del pollo de engorde en Colombia.	45
Tabla 9.	Producción avícola nacional, años 2004-2005.	46
Tabla 10.	Participación del alimento en los costos de producción de aves.	47
Tabla 11.	Orden de ejecución de las pruebas experimentales.	60
Tabla 12.	Composición nutricional de las materias primas.	69
Tabla 13.	Comparación de los valores de proteína y energía de las mezclas originales a partir de yuca y batata y el grano de maíz.	70
Tabla 14.	Resultados de los viscoamilogramas de las materias primas (10%).	70
Tabla 15.	Composición nutricional de los productos extrudidos seleccionados.	78
Tabla 16.	Resultados de los viscoamilogramas de los suplementos extrudidos seleccionados(10%)	79

Tabla 17.	Descripción de los costos de producción de los suplementos extrudidos a partir de yuca y batata.	83
Tabla 18.	Costos variables y beneficio neto	84
Tabla 19.	Promedio de los datos obtenidos durante el desarrollo de la fase experimental.	85
Tabla 20.	Dietas para pollo de engorde con inclusión de suplemento nutricional	86
Tabla 21.	Dietas cerdos en fase engorde con inclusión de suplemento nutricional	87
Tabla 22.	Dietas tilapia roja con inclusión de suplemento nutricional	88

Lista de Figuras

		Página
Figura 1.	Principales zonas productoras de yuca en Colombia.	17
Figura 2	Esquema general de un equipo de extrusión.	35
Figura 3	Esquema interno de un barril de un equipo de extrusión.	36
Figura 4.	Esquema de un sistema cortador interno.	37
Figura 5.	Descripción del equipo utilizado en el desarrollo de las pruebas.	54
Figura 6	Tratamientos empleados para la evaluación de las variables en el equipo.	57
Figura 7.	Características del galpón empleado	65

Figura 8.	Análisis granulométrico de la mezcla a partir de yuca	69
Figura 9.	Análisis granulométrico de la mezcla a partir de batata	69
Figura 10.	Viscosidad de las materias primas	72
Figura 11.	Viscosidad de productos extrudidos	81

Lista de Cuadros

		Página
Cuadro 1	Proyección demanda potencial de yuca seca (2004-2010)	15
Cuadro 2.	Modelo operacional estándar (Pruebas a escala de laboratorio)	60
Cuadro 3.	Promedios obtenidos de la evaluación del suplemento a partir de yuca.	74
Cuadro 4.	Promedio de valores obtenidos para ISA, IAA e IEEA para los casos 1 y 2 en yuca	75
Cuadro 5.	Promedio de valores obtenidos para ISA, IAA e IEEA para los casos 1 y 2 en batata	76
Cuadro 6.	Promedio de valores obtenidos para ISA, IAA e IEEA para los casos 1 y 2 en batata	77

Lista de Anexos

		Página
Anexo 1.	Determinación de los índices de Absorción de agua (IAA) y solubilidad en agua (ISA) como indicadores del grado de gelatinización de los almidones.	97
Anexo 2.	Análisis completo de los datos evaluados y las tablas estadísticas de los datos obtenidos en la ejecución de los ensayos en el equipo.	100
Anexo 3.	Análisis completo de los datos evaluados y las tablas estadísticas de los datos obtenidos en la evaluación de los productos en pollos de engorde.	112

Resumen

La yuca y la batata han sido empleadas como ingredientes en la formulación de raciones para animales, realizándoles un procesamiento simple que incluye la mayoría de las veces el secado. Las inclusiones de estas materias primas en dietas para monogástricos, van en niveles desde los 20 hasta el 50%, arrojando resultados positivos en rendimientos productivos y su consecuente ahorro económico.

Este trabajo de investigación se realizó con el propósito de desarrollar suplementos alimenticios a partir del uso integral de las plantas de yuca y batata, por medio de la tecnología de extrusión, para ser usados en alimentación de animales monogástricos.

Las materias primas empleadas fueron harinas de yuca y batata en una proporción de 75% raíz y 25% follaje. Las variedades de yuca utilizadas fueron HMC-1 (ICA Armenia o ICA p-13) para la raíz y M COL 1505 (Verdecita) para el follaje y la variedad de batata fue Tainung 66.

Para este trabajo se definieron las condiciones de operación de un equipo extrusor que permitiera realizar modificaciones a nivel de velocidad del tornillo (RPM) y temperatura al final del barril de extrusión, además de identificar la línea de proceso para la fabricación del suplemento.

Para la obtención del suplemento se planteó un modelo estadístico de bloques completamente al azar con 16 tratamientos, en donde se evaluaron la humedad de las materias primas a la entrada del equipo, las revoluciones por minuto del

tornillo extrusor y la temperatura final del proceso (parámetros operacionales), esta evaluación se determinó gracias una variable dada por el equipo durante el desarrollo del proceso (IEEA-Índice de Energía Específica Aplicada) y dos variables propias de los productos obtenidos (ISA-Índice de Solubilidad en Agua; IAA-Índice de Absorción de Agua), estas variables fueron analizadas por medio de la herramienta estadística SAS. Cuando se presentaron diferencias estadísticas, se empleo el Test de rangos múltiples de Ryan-Einot-Gabriel-Welsch.

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza para escoger dos suplementos uno con base en yuca y otro con base en batata, obteniendo las siguientes condiciones para la mezcla a partir de yuca: 300 RPM, 25% humedad inicial, 60-70° C temperatura final y las condiciones para la mezcla a partir de batata: 300 RPM, 25% humedad inicial y 80-90° C temperatura final.

Con el fin de evaluar los suplementos seleccionados a nivel de animales, se planteó un ensayo con 120 pollos de engorde, en el cual se incluyeron los suplementos a razón de un 40% del total de la dieta. La evaluación se realizó para la fase inicial y las variables analizadas fueron consumo de alimento, incremento de peso y conversión alimenticia. Para el análisis de los datos se empleó un diseño completamente aleatorizado con 4 tratamientos y tres réplicas por tratamiento.

Los resultados obtenidos indicaron diferencias significativas para la variable consumo, encontrándose los mejores consumos en las dietas donde se empleó el suplemento extrudido.

Introducción

La creciente demanda de alimentos balanceados para animales (ABA), que existe en el país genera la necesidad de desarrollar nuevos productos a partir de diferentes materias primas que ayuden a soportar su continuo incremento. Los sectores avícola, porcícola y ganadero de Colombia han presentado tasas de crecimiento positivas durante la última década. La mayor parte de las materias primas utilizadas por el sector de ABA, es importada y sus precios están determinados por la oferta y la demanda mundial, ocasionando en algunos casos la caída de los precios de las cosechas internas y un desequilibrio económico en donde los mas afectados son los productores nacionales.

Hoy en día la mayor demanda de alimentos para los animales se satisface en una alta proporción con granos y diversas fuentes de proteína. Sin embargo, los países en desarrollo no cuentan con suficientes recursos de producción para satisfacer dicha demanda, y han tenido que recurrir a importaciones cada vez mayores que afectan desfavorablemente sus economías. Por otra parte, los granos siguen siendo vitales para la alimentación humana en el Tercer mundo, lo que origina una competencia entre la producción para este propósito y la destinada a la alimentación animal. Adicionalmente los cereales requieren, en general suelos relativamente fértiles y condiciones climáticas favorables o riego para su producción. Todo lo anterior indica la conveniencia de buscar otras alternativas para satisfacer las necesidades, mediante productos que se puedan producir en condiciones marginales. Una de tales alternativas es la yuca. (Buitrago, J.A. 1990).

La yuca es un cultivo ampliamente desarrollado en el país, principalmente por pequeños agricultores, sus características nutricionales se basan en los

carbohidratos presentes en las raíces y en el contenido de proteína del follaje. Por otro lado, la batata es un cultivo que además de presentar un aporte importante de almidón en sus tubérculos, algunas variedades contienen carotenos que pueden ser usados como pigmentantes naturales y una fuente de pro-vitamina A.

El desarrollo y uso de suplementos nutricionales para animales, en donde se puedan emplear las plantas de yuca y batata de forma integral aportando energía de sus raíces y proteína de su follaje, aplicando tecnologías como la extrusión, permitiría implementar una propuesta de reconstrucción de lo productivo, entendida como un proceso dinámico donde todos sus componentes tienen una relación con los agricultores y como una alternativa sostenible a la crisis de alimentaria que se presenta en nuestro país.

El presente trabajo busca evaluar la factibilidad técnica y económica de producir estos suplementos nutricionales para la alimentación de animales monogástricos.

1. Justificación

El alto costo de los alimentos balanceados para animales en Colombia (+60% de los costos totales) es una de las principales limitantes para los productores, por esto se hace necesario identificar nuevas alternativas de materias primas para la fabricación de los alimentos que ayuden a desarrollar sistemas rentables y sostenibles.

La yuca por ser un cultivo tropical con excelentes rendimientos, con el que se pueden obtener cosechas promedio de 25 toneladas de raíces frescas (yuca - raíz) y hasta 120 toneladas de follaje fresco por hectárea año en cultivos de yuca (forrajera). Estas producciones pueden proporcionar 30.906 Megacalorías de Energía Metabolizable y 6.000 kilogramos de proteína cruda por hectárea año (Clayuca, 2001), esto representa un gran potencial para ser empleada como materia prima de alto valor en la elaboración de alimentos balanceados. Sus propiedades de elevado contenido de almidones (de fácil degradación para monogástricos y de poder aglutinante útil para la formación de pelets) sumado al aporte proteico que brindan las hojas, le permiten a la yuca convertirse en un ingrediente en la alimentación animal.

Por otra parte, la batata o camote es el séptimo cultivo alimenticio más importante del mundo en términos de producción. Es un cultivo muy interesante convirtiéndose en una buena alternativa de diversificación alimenticia para los pequeños productores. reporta producciones de 41.08 t/ha de raíces frescas por ciclo (ciclo comercial de 4 meses) y un rendimiento de 44. 48 t/ha de follaje fresco para el mismo periodo.(Cadavid. Et. al, 2004)

Una de las principales limitantes en la utilización de yuca y batata en alimentación animal, es el corto periodo de vida en fresco, esto se conoce como deterioro fisiológico y se hace notar con solo unas pocas horas después de ser cosechadas. Por esto, es necesario trabajar con procesos que prolonguen el tiempo de vida útil de las plantas o directamente con harinas de raíces y harina de hojas, en el desarrollo de nuevos productos que satisfagan las necesidades nutricionales de los animales.

De otra forma, la evolución del tipo de dietas empleadas en la alimentación animal ha sido muy importante habiendo iniciado en forma de harinas, dietas peletizadas y húmedas. Ahora los procesos de extrusión, son cada vez mas empleados en la elaboración de alimentos balanceados para animales y se ha convertido en un símbolo de calidad en la preparación del alimento. Los materiales integrales de yuca y batata han sido poco estudiados para este fin y no se conocen los cambios físicos y químicos que puede sufrir al ser sometidos a un proceso de extrusión.

La yuca y la batata muestran grandes posibilidades para ser procesadas, la transformación de estos productos estimulará el desarrollo de nuevos mercados, los cuales generaran ingresos y nuevos empleos en diferentes regiones del país, mediante la integración del campo con los procesos agroindustriales generando un mayor valor agregado.

Por estas razones el presente trabajo pretende proporcionar información sobre el proceso de extrusión del material integral (raíces y hojas) de las plantas de yuca y batata en la obtención de un suplemento nutricional para la alimentación de monogástricos.

1 Objetivos

General:

Elaborar suplementos nutricionales con base en el uso integral de las plantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y batata (*Ipomea batatas* Lam), por medio de extrusión, para la alimentación de animales monogástricos.

Específicos:

Definir las condiciones de operación de un equipo de extrusión, y la línea de proceso para la fabricación del suplemento

Obtener dos suplementos nutricionales uno con base en la planta integral de yuca y otro con base en la planta integral de batata

Formular dietas para tres especies monogástricas (cuatro para aves, dos para cerdos y dos para peces) con la inclusión de los suplementos obtenidos.

Evaluar técnica y económicamente la inclusión del suplemento, en la fase de levante, dentro de un ciclo de crecimiento biológico en pollos de engorde.

3. Marco conceptual

3.1 Yuca (*Manihot esculenta* Crantz)



Cultura Mochica del Perú, 1300 años
Fuente. Museo Guano en Lima.

3.1.1 Generalidades

La yuca es originaria de América del sur, fue domesticada hace unos 5000 años y cultivada extensivamente desde entonces en zonas tropicales y subtropicales del continente. (Latitudes menores a los 30°) que van desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm (Cock, sf.).

La distribución de esta planta a otros continentes se inició después del descubrimiento de América. Los portugueses la llevaron desde Brasil a las costas occidentales de África en el siglo XI; posteriormente a finales del siglo XVIII la introdujeron por Madagascar y luego por la costa oriental. El hecho de que la introducción al África haya sido por ambas costas, explica la existencia de la amplia dispersión de esta especie en el continente Africano. (Cock, sf.)

Actualmente la yuca se ha constituido en un cultivo de gran importancia en todas las regiones tropicales del mundo, tanto por el consumo de raíces frescas, es decir como cultivo de subsistencia, como por su uso agroindustrial (Domínguez, et. al sf.) Es la cuarta fuente energética de importancia producida y consumida en los trópicos (Cock, sf.) y junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz constituyen las Fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo.

Es una planta de porte arbustivo con una altura que varía entre 1 y 5 metros; existen variedades amargas y dulces, según su contenido de ácido cianhídrico (HCN). Se extiende por muchas zonas tropicales, en especial en zonas de suelos de mala calidad, ácidos e infértiles; Comúnmente se conoce como yuca, mandioca, cassava, manioc, manioca y tapioca. (adaptado de Cadavid 2004, citado por Gil, 2005)

Además del valor económico que brindan los productos y subproductos que se obtienen de la yuca, este cultivo ofrece otras reconocidas ventajas: tolerancia a sequía, capacidad de producir en suelos degradados, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a suelos ácidos (predominantes en la mayoría de las sabanas tropicales del mundo), así como flexibilidad en cuanto al momento de la plantación y la cosecha (Cadavid, 2005)

Un factor limitante del uso de yuca en forma fresca son los principios antinutricionales conocidos como glucósidos cianogénicos (Linamarina y Lotaustralina), los tejidos de la planta contienen diferentes concentraciones de estos glucósidos que al hidrolizarse mediante la acción de la enzima linamaraasa (glucosidasa) dan origen al ácido cianhídrico libre.

Se considera que el ácido cianhídrico libre es el que produce efectos tóxicos en el organismo del animal, mientras que el ácido cianhídrico ligado (en los glucósidos cianogénicos) no lo hace, a menos que sea hidrolizado para desarrollar su efecto tóxico. (Buitrago, 1990).

Para eliminar total o parcialmente el contenido de ácido cianhídrico de la yuca se puede utilizar varios métodos de procesamiento como la deshidratación artificial de la raíz o por efecto de la radiación solar y la cocción en agua.

La deshidratación natural por acción de los rayos solares es quizás el sistema mas seguro para destruir el ácido cianhídrico libre. Este hecho se debe por una parte a que el ácido se volatiliza fácilmente con las temperaturas solares y la acción del viento, y por otra parte a que las temperaturas no son suficientemente altas para desactivar la acción de la linamarasa; así se puede continuar la transformación de glucósidos en ácido cianhídrico para su posterior eliminación. (Buitrago, 1990)

La utilización de la yuca como pienso, en la forma de comprimidos y gránulos secos, se concentra en América Latina y el Caribe, en Nigeria (África), en China (Asia) y la UE. En 2003, la utilización mundial de forrajes se cifra en 54,5 millones de toneladas, alrededor de un 4 por ciento más que el año anterior. El incremento se debió a las novedades registradas en la UE, en China y en otros países asiáticos, principalmente Vietnam y Malasia, donde la escasez de suministros de cereales forrajeros y el consiguiente aumento de los precios con respecto a los de los sucedáneos de cereales, fomentaron una utilización mayor de yuca como pienso. (FAO, 2004)

La yuca es uno de los tubérculos que desempeña un rol importante como fuente de alimento para los países de las regiones tropicales de África, Latinoamérica y el Caribe. La producción mundial de este tubérculo habrá de continuar incrementándose como una alternativa de alimentación a bajo costo para la población de estas regiones. (FAO, 2004)

3.1.2 Producción mundial de Yuca

La producción mundial de yuca estimada por la FAO para el 2004, se ilustra en la Tabla 1. La utilización mundial de la yuca destinada al consumo humano (la mayor parte se consume en el África subsahariana en la forma de raíces frescas y productos elaborados), se estimó en 104 millones de toneladas en 2003, aproximadamente 2 millones de toneladas más que en 2002. (FAO, 2004)

Tabla 1. Producción mundial de Yuca para el 2004

País Productor	Producción (TM)	Nota
Nigeria	33,379,000	F
Brasil	24,230,332	
Tailandia	20,400,000	
Indonesia	19,196,950	
Republica Democrática del Congo	14,950,500	
Ghana	9,828,000	
India	7,100,000	F
Republica Unida de Tanzania	6,890,000	F
Mozambique	6,149,897	F
Angola	5,600,000	F
Uganda	5,400,000	F
Viet Nam	5,370,000	F
Benin	4,000,000	F
Paraguay	3,900,000	F
China	3,900,000	F
Malawi	2,559,319	
Madagascar	2,366,935	F
Colombia	2,218,112	
Camerún	1,950,000	F
Côte d'Ivoire	1,700,000	F

F = Estimación de la FAO; TM: Tonelada Métrica

Fuente FAOSTAT (FAO Statistical Databases)

Nota: una tonelada métrica de yuca tiene el mismo precio independientemente del país donde fue producido ("precios internacionales", se derivan usando una fórmula Geary-Khamis para el sector agrícola) (FAO Statistical Databases)

3.1.3 Producción de yuca en Colombia

En Colombia la yuca es considerada un cultivo de pequeña escala sembrado por pequeños agricultores que genera alrededor de 100.000 empleos directos. Es un cultivo típico de economía campesina, el cual presenta en promedio un área sembrada por finca entre 1- 5 hectáreas, tiene una oferta atomizada y sistemas de producción atrasados, aunque actualmente, se han incorporado sistemas mecanizados para hacer más eficientes las labores de siembra y cosecha. Gran parte de su producción se orienta hacia el mercado en fresco, es decir, que de la producción total alrededor del 65 – 70 % se vende en forma de raíces frescas para consumo humano (Acosta, 2004 en: Acevedo, 2005)

El cultivo de la yuca en Colombia está principalmente en manos de pequeños agricultores y el procesamiento se realiza de forma artesanal, con secado en patios de cemento, con lonas o plásticos; las unidades típicas de producción y procesamiento son a pequeña escala y requieren relativamente pocos insumos de capital, pero son altamente intensivas en cuanto al uso de mano de obra; esto es a menudo deseable, sobretodo en comunidades rurales con altos niveles de desempleo. (Buitrago, 1990)

Siendo un cultivo típico de economía campesina, no sólo es disperso, lo que genera una oferta atomizada, sino que presenta niveles de tecnificación bajos. Sin embargo, el rendimiento promedio del cultivo ha crecido (25 t/ha), jalonado sobre todo por la producción en la Costa Atlántica. Allí ha aumentado la utilización del producto para la producción de alimentos balanceados para animales, la industria de almidones y otros procesados de yuca. (Espinal, et al.2005)

La Tabla 2 muestra la producción de productos básicos en Colombia, la yuca para el año 2004 ocupó el sexto renglón dentro de la producción de los veinte productos básicos de la agricultura nacional.

Tabla 2. Producción de productos básicos en Colombia en 2004

Producto Básico	Producción (TM)	Nota
Caña de azúcar	37.100.000	F
Leche vaca, fresca, entera.	6.090.000	*
Papa	2.959.380	
Plátano	2.950.000	F
Arroz en Cáscara	2.663.239	
Yuca	2.218.112	
Bananos	1.550.000	F
Maíz	1.458.434	
Fruta tropical fresca	1.120.000	F
Carne Vacuna Indígena	689.850	F
Café verde	678.000	*
Carne de Pollo Indígena	635.000	F
Aceite de Palma	600.000	
Cebollas secas	595.000	F
Piñas	390.000	F
Tomates	370.000	F
Huevos de Gallina	335.000	F
Ñame	324.554	
Coles	305.000	F
Naranjas	305.000	F

F = Estimación de la FAO * = Cifra extraoficial; TM: Tonelada Métrica

Fuente FAOSTAT (FAO Statistical Databases)

Datos del año 2000 indican que la yuca la producen en 25 departamentos en el país y es el tubérculo de mayor dispersión geográfica. Bolívar es el principal productor, con el 14% de la producción nacional en el año 2000 (24.310 hectáreas cosechadas y 235.508 toneladas), le siguen Santander con 10% de la producción; Sucre (9%); Córdoba (9%) y Antioquia (7%).(Espinal, et. Al, 2005)

La yuca es uno de los cultivos de importancia económica para miles de familias en Colombia, el cual ha crecido cerca de 25.240 hectáreas para el 2004¹, que anualmente producen 530.040 toneladas frescas de yuca, de las cuales cerca de 205.000 toneladas de raíces frescas se usan para producir alimentos balanceados. (Gil, 2005)

El cuadro 1 muestra la demanda potencial de yuca seca para el año 2010.

Cuadro 1 Proyección demanda potencial de yuca seca (2004-2010)

Año	Consumo estimado de Maíz amarillo (Toneladas)	Demanda potencial de yuca seca (Toneladas)	
		Sustitución	
		30%	50%
2004	2.166.983	650.095	1.083.491
2005	2.440.652	732.196	1.220.326
2006	2.748.883	824.665	1.374.442
2007	3.096.041	928.812	1.548.021
2008	3.487.042	1.046.113	1.743.521
2009	3.927.422	1.178.227	1.963.711
2010	4.423.418	1.327.025	2.211.709

Fuente: Pérez, 2005

¹ Programa de yuca, mejoramiento de yuca. CIAT 2004

Se calcula que esta demanda puede llegar a 2.2 millones de toneladas, basándose en sustituciones de 30 y 50% de yuca en lugar de maíz amarillo, que con una tasa de crecimiento promedio anual en el consumo de 8.1% durante los últimos 10 años, es de esperar que los requerimientos de la industria nacional superen en el 2010 los 4.4 millones de toneladas.

3.1.4 Principales variedades de yuca y zonas agroecológicas del cultivo en Colombia (CLAYUCA, 2004)

CIAT, CLAYUCA y el ICA ofrecen variedades mejoradas a través del Proyecto de Mejoramiento de Yuca del CIAT², que desarrolla germoplasma promisorio ampliamente evaluado para su liberación en diferentes zonas del país.

Según sea la zona agroecológica del país se tienen diferentes variedades de yuca adaptadas a estas: En la Figura 3 se pueden apreciar las zonas productoras de yuca en Colombia, que son:

Zona 1 (Costa Atlántica)

Las variedades cultivadas son principalmente clones regionales como la Venezolana (MCol 2215), Mona Blanca y variedades mejoradas como: Verdecita (MCol 1505), ICA Negrita (CM 3306-4), ICA Costeña (CG 1141-1), MTai 8, Corpoica Sucreña (CM 3355-6), Corpoica Caribeña (SGB 775-2).

Zona 2 (Llanos Orientales) y Zona 3 (Bosque húmedo tropical)

Requiere clones resistentes a enfermedades (superalargamiento y bacteriosis), tales como: ICA-Catumare (CM 523-7) e ICA-Cebucán (MCol 2277-2), Corpoica Reina (CM 6740-7), Brasileira (MCol 2737) y Corpoica Vergara (CM 6438-14).

²Para mayor información: "Proyecto yuca, mejoramiento de yuca – CIAT" Tel. 57 (2) 4450000

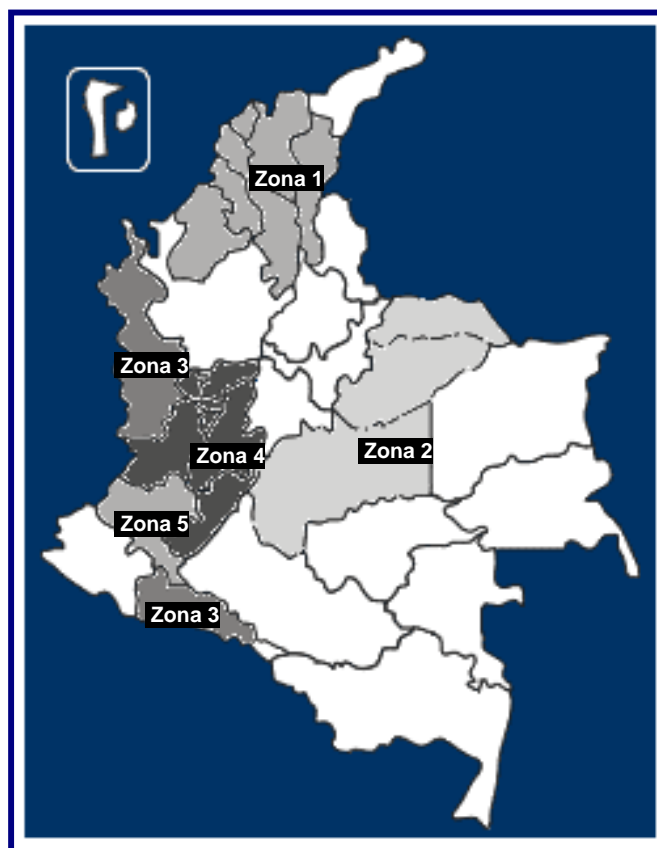
Zona 4 (Valles interandinos)

Las variedades empleadas son: MCol 2066 (Chirosa Gallinaza), en Quindío y Viejo Caldas; HMC 1 o ICA Armenia (Manihoica P-13), ICA Catumare (CM 523-7).

Zona 5 (áreas templadas, especialmente, la región del Cauca)

Esta zona está ocupada por la variedad regional Algodona (MCol 1522). Para la región de Mondomo se han detectado dos clones promisorios: CG 402-11 y SG 427-87. Para las zonas más altas (Popayán, Cajibío) se han observado como promisorios los siguientes clones: MCol 2261 (clon local llevado al área de La Cumbre - Valle del Cauca), CG 402-11, SG 427-87, SM524-1.

Figura 1. Principales zonas productoras de yuca en Colombia.



Fuente: Clayuca, 2004

3.1.5 Yuca en la alimentación animal

Las investigaciones adelantadas en Colombia por el Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT y el Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca – CLAYUCA, enfocadas a la búsqueda de sustitutos a los granos (principalmente maíz), que constituyen las materias primas de los alimentos balanceados, arrojan resultados muy alentadores.

En peces se han empleado formulas con niveles de inclusión de harina de yuca que está en el orden de 15, 30, 45 y 60% suministradas a grupos de *Oreochromis nilóticos*, hubo una tendencia de mejor crecimiento y utilización de alimentos con una creciente incorporación de yuca en la dieta. (Wee, K.L.; NG, L.T. 1986)

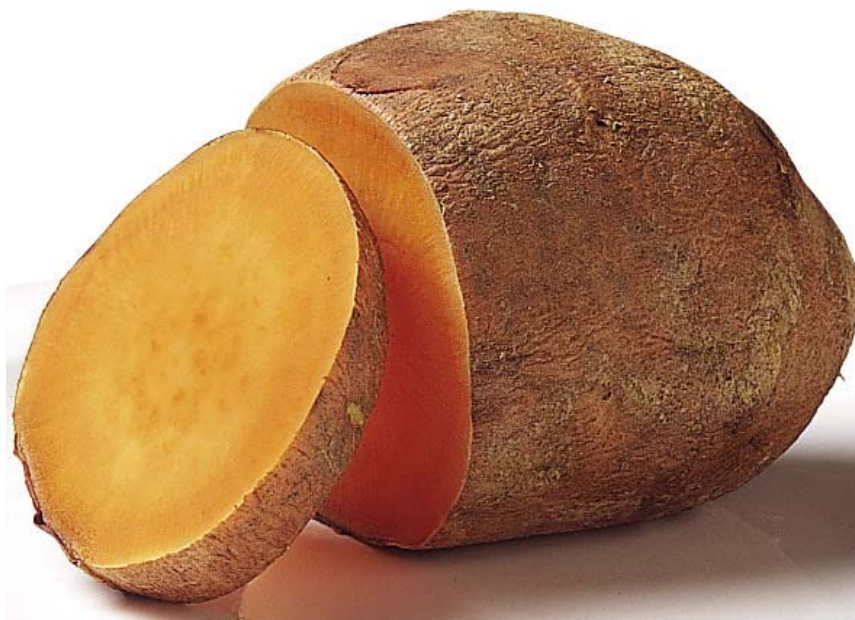
Según Ayerbe 2002, la utilización de harina de raíces de yuca en niveles de hasta un 48% del total de la dieta en mezcla con otros ingredientes (soya integral, torta de soya) constituye una alternativa para alimentación de cerdos en la fase de acabado y se observa una disminución en los costos de producción al elaborar la dieta, lo que se refleja en el kilogramo de cerdo producido.

Los niveles de harina de yuca en las raciones para cerdos en la etapa de acabado incluirán niveles de harina de yuca del orden de 30 – 40%, como sustituto total de los granos de cereales y torta de soya como única fuente proteica. La diferencia entre la adición de las cantidades de harina de yuca y torta de soya y la cantidad de dieta total, esta representada por los suplementos de minerales y vitaminas requeridos para cubrir las necesidades e estos nutrientes. (Gómez et al. 1979)

En la etapa de iniciación de los cerdos la alimentación juega un papel importante además, de ser uno de los renglones más costosos en la producción porcina. El uso de yuca para estas etapas no ha sido desarrollado ampliamente, con lo que se prevé que la harina de yuca puede llegar a ser una fuente importante de almidones para el desarrollo de los lechones donde tradicionalmente, el maíz constituye el mayor ingrediente en la dieta de la iniciación de los cerdos, los carbohidratos provenientes de él constituyen del 50 – 60% de la dieta. (Campabadal, 2001)

Según Buitrago. Et. al (2001) se han evaluado dietas para pollos de engorde, elaboradas con harina de yuca (raíces y hojas) y soya integral, se compararon con una ración comercial basada en maíz y soya integral. En el caso de las raciones con harina de yuca, se tuvo la oportunidad de comparar el efecto de harina deshidratada al sol con harinas deshidratadas en equipos disponibles comercialmente. Todos los grupos que consumieron harina de yuca y soya integral tuvieron un rendimiento en peso y conversión alimenticia igual o superior al grupo testigo del maíz y soya integral, este efecto se ve tanto en iniciación como en finalización. El consumo de alimento no se afectó en los tratamientos con niveles altos de harina de yuca. Los índices de mortalidad en todos los tratamientos no fueron influenciados por el tipo de dieta suministrada. Los grupos con dietas a base de harina de raíces, se caracterizaron por una pobre pigmentación de piel, picos y patas durante todo el tiempo, sin embargo el grupo con harina de raíces complementado con harina de hojas, mostró una pigmentación igual a la del grupo testigo con maíz amarillo.

3,2 La batata (*Ipomoea batatas* Lam)



Raíz de batata (*Ipomoea batatas* Lam)

Fuente: Clayuca 2005

3.2.1 Generalidades

La batata boniato o camote como se le conoce en algunos países de América latina, es originaria de la zona tropical (México y América Central), se ha cultivado desde tiempos remotos. Desde esta región, fue llevada a las Antillas y al Pacífico Sur y luego a la gran mayoría de las zonas tropicales del mundo. Es una raíz con un elevado contenido de almidón (de un 60% a 70%) y algunas variedades contienen carotenos que pueden ser usados como pigmentantes naturales. En la actualidad, se cultiva en 82 países en desarrollo. Es el séptimo cultivo alimenticio más importante del mundo en términos de producción. China es el primer productor, con más de 121 millones de toneladas (el 92% de la producción mundial), y un rendimiento de 17 t/ha. En América Latina, se destacan en su producción Brasil, Argentina, Perú, Haití y Cuba; en este último es considerado un cultivo de primera necesidad; además, es una buena alternativa de diversificación alimenticia para los pequeños productores, así como también al explotar su potencial de industrialización podría llegarse a producir a gran escala, gracias a su adaptabilidad a los campos de productores marginados, quienes utilizan pocos insumos y de bajo costo. (Cadavid, et al. 2004)

Diversos atributos de la batata cuentan para su prominencia y reciente resurgimiento del interés en el cultivo. Este soporta condiciones extremas como vientos huracanados y sequías, lo cual pocos cultivos pueden tolerar, cubre rápidamente la superficie, reduciendo la necesidad de herbicidas y el uso de funguicidas y herbicidas es relativamente bajo. (Contreras, V. 1993)

La importancia de la batata como alimento para animales está relacionada directamente con la riqueza energética de sus raíces y los niveles de proteína presentes en el follaje, proporciona además, carotenos que pueden ser usados

como pigmentantes naturales superando ampliamente las características nutricionales de los granos de cereales utilizados normalmente en programas de alimentación animal. (Cadavid, et al. 2004)

Es un cultivo aparentemente libre de factores antinutricionales, altamente rendidor, con producciones entre 10 y 50 t/ha y un rendimiento nacional promedio entre 6.200 y 6.800 t, destinadas para consumo humano. De este rubro se puede aprovechar la raíz y el follaje. Es fácilmente digestible, rico en carbohidratos solubles y contiene vitaminas en cantidades suficientes para cubrir parcialmente los requerimientos nutricionales de los cerdos. Se considera uno de los cultivos energéticos más completos. Además, se pueden obtener dos ciclos por año, es de fácil propagación y se adapta a diferentes ecosistemas. Posee un contenido de proteína en la raíz de 2,8 a 9%, dependiendo de la variedad y de 17% en el follaje. El valor energético está entre 3.160 y 3.220 kcal/kg de MS, equivalente a 90 - 96% de lo aportado por la yuca y el sorgo, respectivamente. Un contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) de 88,6%; 3,2% de fibra cruda; 3,5% de ceniza y 0,04% de fósforo disponible. (Argenti y Espinoza. 1999)

La batata es un alimento de alta energía. Sus raíces tienen un contenido de carbohidratos totales de 25-30%, de los cuales el 98% es considerado fácilmente digestible, provee un estimado de 113 cal/100 g, mientras que la papa provee 75 cal/100 g. A pesar de esta diferencia calórica, la papa puede elevar el contenido de azúcar en la sangre más que la batata. El camote es una fuente excelente de carotenoides de pro-vitamina A y de vitamina C (20-30 mg/100 g), potasio (200-300 mg/100 g), hierro (0,8 mg/100 g) y calcio (11 mg./100 g). El contenido de aminoácidos es relativamente bien balanceado, con un mayor porcentaje de lisina que el arroz o el trigo, pero un contenido un tanto limitado de leucina. Sin embargo, similar a la mayoría de otras raíces almidonosas y cultivos de tubérculos, la batata tiene relativamente bajo contenido de proteínas, con un rango entre

2,5 y 7,5% del peso seco, dependiendo del genotipo. Una combinación de leguminosas y batata podría combatir la malnutrición proteica-calórica en algunas áreas. (Contreras, V. 1993)

3.2.2 Producción mundial de Batata

Su uso como alimento ha declinado en algunos países a medida que se han incrementado otros consumidores. Por ejemplo, en Taiwán y Japón la batata para uso industrial y alimentación animal tiene mayor mercado que aquellas vendidas para consumo humano. En la Tabla 3, se indica la producción mundial estimada por la FAO para el año 2004.

La batata ha sido de primera importancia en la dieta de muchas sociedades. Las dietas varían tremendamente a nivel mundial de una región productora a otra. Los montañeses en Papúa, Nueva Guinea confían a la batata el 60-90% de sus requerimientos de energía y el principal recurso de proteína. La República Popular China produce cerca del 75% de la producción mundial de batata, siendo el segundo cultivo después del arroz en ese país. En general, constituye un cultivo alimenticio importante en muchos países del trópico. En los Estados Unidos se produce para consumo como un suplemento vegetal y en muchas regiones está asociado estrictamente con fiestas religiosas. (Contreras, V. 1993)

3.2.3 Producción Nacional de batata

No hay datos disponibles sobre la cantidad de batata que se produce en Colombia. Es un cultivo de “pan coger” que se conoce en todo el territorio nacional, algunos cabildos indígenas como el de Páez, Nasa se han reunido en el programa Tierra dentro - Wala para la recuperación de algunas especies que se habían dejado de producir como la batata. Hasta la fecha solamente existen dos

entidades una de ellas es CLAYUCA³ con 21 clones provenientes del Centro Internacional de la Papa – CIP – Perú. La otra entidad es la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA es el ente encargado del manejo regional de este cultivo.

Tabla 3. Producción de batata en el mundo para el 2004

País Productor	Producción (TM)	Nota
China	106.000.000	F
Uganda	2.600.000	F
Nigeria	2.150.000	F
Indonesia	1.859.744	
Vietnam	1.600.000	F
República Unida de Tanzania	950.000	F
Japón	920.000	F
Rwanda	908.306	
India	900.000	F
Burundi	834.394	
Estados Unidos de América	720.900	F
Filipinas	530.000	F
Papua Nueva Guinea	520.000	F
Kenya	520.000	F
Madagascar	509.175	F
Brasil	495.000	F
Cuba	490.000	F
Angora	430.000	F
República Popular Democrática de Corea	350.000	F
Etiopía	340.000	F

F = Estimación de la FAO ; * = Cifra extraoficial; TM: Tonelada Métrica

Fuente FAOSTAT (FAO Statistical Databases)

³ para mayor información visitar la página web www.clayuca.org

3.2.4 Batata en alimentación animal

Las raíces y parte aérea de la batata, son buenos materiales para la alimentación animal. Las raíces proveen almidón y energía, y el follaje, provee proteína y fibra. Generalmente las raíces son empleadas en la alimentación de cerdos, mientras que el follaje sirve para la alimentación de diferentes especies animales, incluyendo cerdos, ganado bovino, aves y cabras. (Van de Fliert, sf)

En investigaciones realizadas por la Universidad Central de Venezuela, y el INIA, se determinó que es posible sustituir los cereales en mas de 50% con harina de batata, y que dietas basadas en raíz y follaje de batata exclusivamente, no son adecuadas para cerdos en engorde. Sin embargo, con niveles de reemplazo de 15% en la dieta convencional por raíz y forraje de batata, se obtienen ganancias y conversiones de alimento adecuadas.

Por otra parte, se ha encontrado un ahorro de 40% en gastos de alimentación, con respecto al uso del alimento comercial, al emplear un suplemento proteico enriquecido con vitaminas y minerales, mas batata fresca picada para animales jóvenes, y entera para cerdos en desarrollo o adultos. (Argenti y Espinoza. 1999)

Estudios realizados por Vlainic et al (2003), encontraron que al reemplazar en forma total el maíz por harina de raíces de batata, los pesos corporales finales y la conversión alimenticia, son menores en las aves que consumieron batata que en la dieta del maíz, pero el consumo de alimento es similar. Por este motivo, recomiendan que los niveles de reemplazo deben estar entre 25 y 75% para que no se afecte la ganancia de peso y el peso final de los animales.

3.3 Procesamiento de yuca y batata

Tanto la batata como la yuca (hojas y raíces) son productos perecederos, que necesariamente deben recibir un procesamiento poscosecha para conservarlos, evitando así un deterioro fisiológico que afecte sus condiciones nutricionales. El procesamiento mas empleado para estos productos es el secado en forma natural. El secado se debe realizar para eliminar la mayor parte de humedad que contienen cuando están frescas, y obtener un producto que se pueda almacenar por períodos largos sin problemas.

Datos suministrados por el área de sistemas de procesamiento de yuca y batata en Clayuca (2005), presentan diferentes niveles de agua en las raíces de yuca y batata, esto depende de factores como la variedad y época de cosecha como los principales. Los niveles de agua están entre 60 –75% para raíces y entre 70 –80% en el follaje.

Una vez cosechadas las raíces se deben llevar rápidamente a la planta para que sean procesadas cuanto antes; raíces con más de 48 horas de cosechadas se deterioran rápidamente. Las operaciones poscosecha que se deben realizar a las raíces y hojas de yuca y batata para ser utilizadas en alimentación animal son:

Lavado

Para eliminar impurezas y tierra adherida después de la cosecha. Para esta labor se pueden emplear lavadoras de yuca o cilindros rotatorios que sacuden el exceso de suelo. La parte aérea no es necesario lavarla, ya que no tiene un contacto directo con el suelo.

Picado o trozado

Para obtener trozos, pedazos o astillas y facilitar el secado, exponiendo al aire la mayor superficie del material (raíces y/o hojas), labor que se puede realizar utilizando una máquina picadora de yuca, pica pastos o machetes.

Secado

El secado puede hacerse mediante métodos naturales o artificiales, difieren unos de otros no solo en la tecnología empleada sino también en su costo. En el secado natural se aprovecha la radiación solar y del calor latente de las corrientes de aire circundante, lo que restringe su uso a las épocas del año en que no hay lluvias; el secado artificial se hace con otro tipo de energía, como la de los combustibles fósiles o la de los residuos agrícolas y no depende de las condiciones climáticas. La importancia del secado en el caso de las raíces y hojas de yuca es la eliminación de cianuro.

La duración del secado depende del método que se utilice, logrando ser mas eficiente el secado artificial (1 hora) que el natural (en promedio de 3 días), se obtiene finalmente un producto estable con 10-13% de humedad, los trozos secos pueden ser molidos para ser transformados en harina.

A pesar de su limitación a las épocas del año, el secado por medio de energía solar es generalmente, un método económico y muy útil en los sitios en que las otras fuentes de energía son escasas o muy costosas, es un proceso simple y fácil de realizar por los agricultores que encuentran la oportunidad de consolidar grupos asociativos y cooperativos orientados hacia una explotación integral del cultivo (producción, procesamiento y comercialización).

Los productos secos y molidos proporcionan ventajas frente a los frescos como por ejemplo:

- Aumento de la vida útil
- Es más fácil su manipulación y transporte
- Las harinas son más digestibles que los trozos frescos
- Se disminuyen los riesgos de contaminación o pérdida por factores biológicos o microbiológicos
- Tiene fácil aplicación en procesos de transformación

3.4 Valor nutricional de las plantas de yuca y batata

Las plantas de yuca y batata presentan características nutricionales similares, el almidón, es el principal nutriente aprovechado por los animales en forma de energía y su contenido oscila entre un 70 y 80% del total de materia seca presente en las raíces; el nivel de fibra cruda presenta pequeñas variaciones según la edad de las plantas y la variedad, en las raíces el contenido de fibra no sobrepasa valores de 6%, mientras que en el follaje este valor oscila entre un 15 a 25%, dependiendo de la variedad y la edad del cultivo. Los nutrientes grasos se encuentran en concentraciones mínimas; el contenido de proteína en las raíces es mínimo, pero en el follaje este porcentaje se encuentra comprendido entre un 14 a un 22%. En la Tabla 4 se relaciona en forma detallada la composición proximal de los materiales de yuca y batata tanto en las raíces como en la parte aérea.

En la Tabla 5. Buitrago, 1990. Hace una comparación del contenido de materia seca y del aporte energético y proteico de los materiales de yuca y batata con respecto a otras materias primas empleadas en la elaboración de alimentos para animales y en la Tabla 6 se puede observar una comparación de los elementos nutritivos de la raíz de yuca, con otros productos alimentarios, realizada por la FAO para el 2004.

Tabla 4. Composición proximal de las plantas de yuca y batata

%	Yuca		Batata	
	Forraje	Raíz	Forraje	Raíz
Proteína	18.94	2.64	15.14	4.02
E.ET	5.87	0.77	5.25	1.59
FC	23.95	3.94	23.59	5.06
Carbohidratos	41.29	89.29	29.09	72.01
Ceniza	9.96	3.36	14.93	5.31
Fósforo	0.11	0.28	0.42	0.27
Calcio	0.15	1.68	1.20	0.11

Fuente: Clayuca 2005

Tabla 5. Contenido de energía útil y proteína total en diferentes productos utilizados en alimentación animal.

Producto	Materia Seca (%)	Energía		Proteína (g/k)
		Metabolizable Aves (Mcal/kg)	Digestible Cerdos (Mcal/kg)	
Raíz fresca de yuca	35	1.20	1.30	12
Harina de raíces de yuca	90	3.10	3.40	34
Follaje fresco de yuca	28	0.34	0.36	65
Harina de follaje de yuca	90	1.10	1.20	220
Batata fresca	30	1.03	1.05	17
Harina de batata	90	3.08	3.15	51
Papa fresca	23	0.80	0.85	21
Harina de papa	90	2.90	3.30	82
Banano fresco	20	0.65	0.75	10
Harina de banano	90	2.85	3.30	45
Sorgo	90	3.25	3.30	87
Maíz	90	3.40	3.45	95
Arroz	90	3.15	3.40	80
Fríjol soya)	90	3.45	4.02	380

Fuente: adaptada de Buitrago, 1990

Tabla 6 Elementos nutritivos de la raíz de yuca en comparación con otros productos alimenticios

	Calorías por100g	Proteínas	Grasa	COH	Ceniza	Humedad	Fibra
	Porcentaje %						
Tubérculos de yuca (pelados)	127	0,8-1,0	0,2-0,5	32	0,3-0,5	65	0,8
Harina de tapioca	307	0,5-0,7	0,2	85	0,3	15	0,5
Batatas	89	2,1	0,1	20	1,0	77	0,7
Harina de batata	331	-	0,3	82	0,3	15	0,4
Arroz sin cáscara	347	8,0	2,5	73	1,5	15	0,7- 1,0

Fuente: FAO, 2004

Si bien las raíces de la yuca son una excelente fuente de calorías, carecen de proteínas y vitaminas. Pero las hojas de la yuca contienen abundantes vitaminas A y B y pueden ser parte importante de un régimen alimenticio nutritivo y bien equilibrado.

3.5 Extrusión:



Equipo de extrusión de doble tornillo

Fuente: UIUC, 2005

3.5.1 Generalidades

La extrusión es un proceso dentro del cual los almidones son gelatinizados y las proteínas son desnaturalizadas mediante el uso de calor, presión y tensión mecánica, este proceso de cocción se realiza a temperaturas elevadas durante periodos cortos de tiempo, es un método que permite convertir eficientemente formulaciones de cereales y tortas proteínicas crudas en alimentos nutritivos tanto para consumo humano como animal. Debido a que los equipos de extrusión procesan una gran variedad de materias primas, generalmente harinas de granos crudas, que pueden mezclarse para obtener raciones nutricionalmente balanceadas, este proceso es usado hoy en día ampliamente para la elaboración de diferentes alimentos y piensos.

La extrusión de las mezclas de alimentos puede definirse como el proceso por medio del cual los ingredientes, previamente humedecidos, son sometidos a cocción por aplicación de alta temperatura (hasta 250 °C), por un breve período de tiempo (1 a 1.5 minutos) o bien, bajo la acción de intensa fricción y contacto de la mezcla con camisas térmicas. Además, las mezclas están sometidas a elevada presión para luego sufrir una repentina descompresión, lo que permite la expansión del vapor de agua, originándose un pelet liviano y expandido. (harper, 1981; Cheftel, 1986; Botting, 1991; NRC, 1981; citados por Pokniak, 1999)

Durante el proceso de extrusión se efectúan una serie de operaciones unitarias como cocción, formación, texturización y deshidratación.

Para Riaz, (2000). La presión generada dentro del equipo de extrusión causa que el producto se mueva como un líquido en un flujo laminar a través de una resistencia; la presión y el flujo son causados generalmente por tornillos que no

solo movilizan el producto sino que también mezclan los materiales generando y transfiriendo calor, texturizando y homogenizando. Las condiciones generadas por un extrusor brindan el desempeño de muchas funciones que le permiten ser usados para un amplio rango de comidas, alimentos y aplicaciones industriales, algunas de estas funciones son:

- Aglomeración: Los ingredientes pueden ser compactados y aglomerados en piezas discretas
- Deshidratación: Durante un proceso normal de extrusión puede ocurrir una pérdida de humedad de 4 a 5%.
- Expansión: La densidad del producto puede ser controlada por las condiciones y las configuraciones de operación del extrusor.
- Gelatinización: El proceso de cocción por extrusión mejora la gelatinización de los almidones.
- Homogenización: Un extrusor puede homogenizar reestructurando ingredientes no atractivos, en formas más aceptables.
- Mezclado: Existe una amplia variedad de tornillos disponibles y pueden generar la cantidad deseada de mezclado en el barril del extrusor.
- Pasteurización y esterilización: Los ingredientes pueden ser pasteurizados o esterilizados usando tecnología de extrusión para diferentes aplicaciones.
- Desnaturalización de las proteínas: Las proteínas de los animales y de las plantas pueden ser desnaturalizadas mediante cocción por extrusión.
- Moldeado: Un extrusor puede hacer cualquier producto de la forma deseada cambiando el dado al final del barril de extrusión.
- Cizallar: Una configuración especial al interior del barril de extrusión puede crear la cizalla deseada para un producto en particular.
- Alteración de la textura: Las texturas físicas y químicas pueden ser alteradas en el sistema de extrusión.

- Cocción térmica: El efecto de cocción deseado puede ser alcanzado en el extrusor.
- Unificación de materiales: Diferentes líneas de ingredientes pueden ser combinadas en un producto para producir características especiales usando un extrusor.

Los extrusores son de gran importancia en la industria de los alimentos ya que son usados para cocinar y texturizar toneladas de cereales, pastas y cualquier alimento que se quiera cocer y formar.

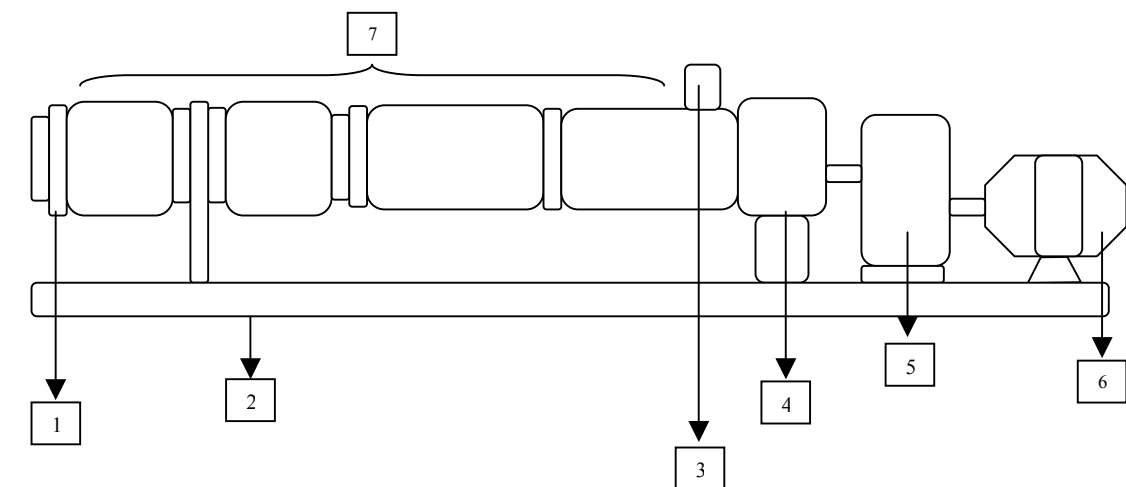
En la industria alimenticia de hoy el termino extrusor típicamente hace referencia a una máquina con características de tornillos de Arquímedes (Un tornillo suspendido que rota y encaja perfectamente en un cilindro en donde se mezcla un fluido) que continuamente procesan un producto. Los extrusores pueden ser diseñados para incluir varias operaciones de mezclado, homogenización, cocción, enfriamiento, moldeado, cortado y llenado.

Los dos tipos de extrusores que existen y son usados en la industria alimenticia son de un solo tornillo o con dos tornillos gemelos. El extrusor de tornillos gemelos en la industria produce alimentos con mejor control de calidad y un gran rango de condiciones de operación, entre sus ventajas se cuenta que son capaces de procesar materiales muy viscosos, manejan un amplio rango de granulometrías, minimizan las pulsaciones en el flujo y son mas fáciles de escalar, pero estos equipos son los más caros en el mercado.

El equipo de extrusión básico como se puede observar en la figura 2 consiste en un tornillo o tornillos rotando en un barril al cual encajan casi exactos, son movilizadas por un motor de transmisión con la capacidad de reducir o variar la velocidad; el producto emerge por un dado con uno a mas orificios del tamaño

adecuado para cada aplicación en particular, al otro extremo del barril hay una chumacera principal que da soporte al tornillo y un orificio en el barril (cuello de alimentación) a través del cual el producto se alimenta al tornillo, el ensamble total se mantiene en una alineación rígida por medio de una base firme. (Miller, sf.)

Figura 2. Esquema general de un equipo de extrusión

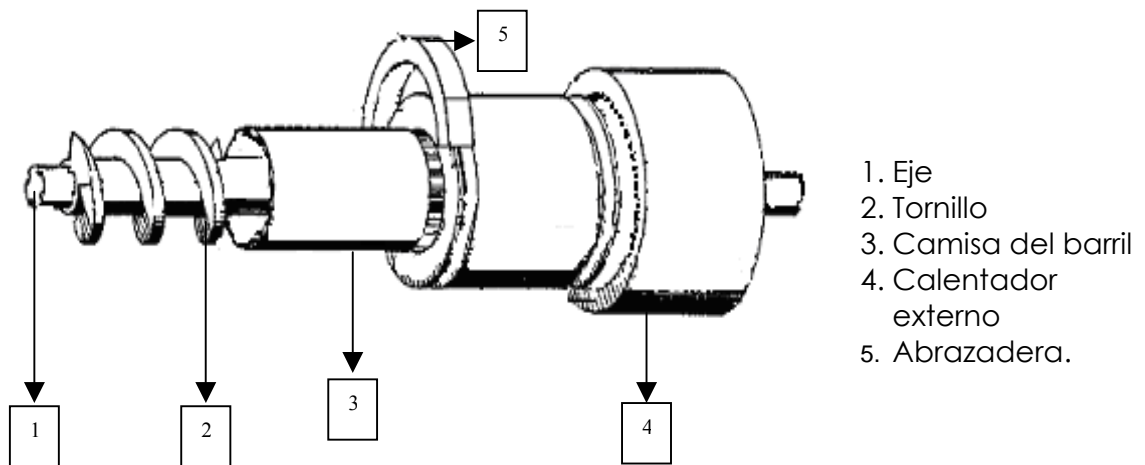


- | | |
|---------------------------|---------------|
| 1. Dado | 5. Trasmisión |
| 2. Base | 6. Motor |
| 3. Cuello de alimentación | 7. Barril |
| 4. Chumacera | |

Fuente: Miller, sf.

El tornillo como se puede ver en la figura 3 está montado sobre un eje, el barril puede tener una cubierta reemplazable, puede ser liso o con ranuras, los segmentos del barril están unidos entre sí con abrazaderas o con pernos para asegurarlo. La rotación del tornillo y la generación de presión fuerzan al tornillo hacia atrás, esta fuerza debe ser opuesta por una chumacera que esta separada del producto por medio de un sello para evitar la abrasión del mismo. (Miller, sf.)

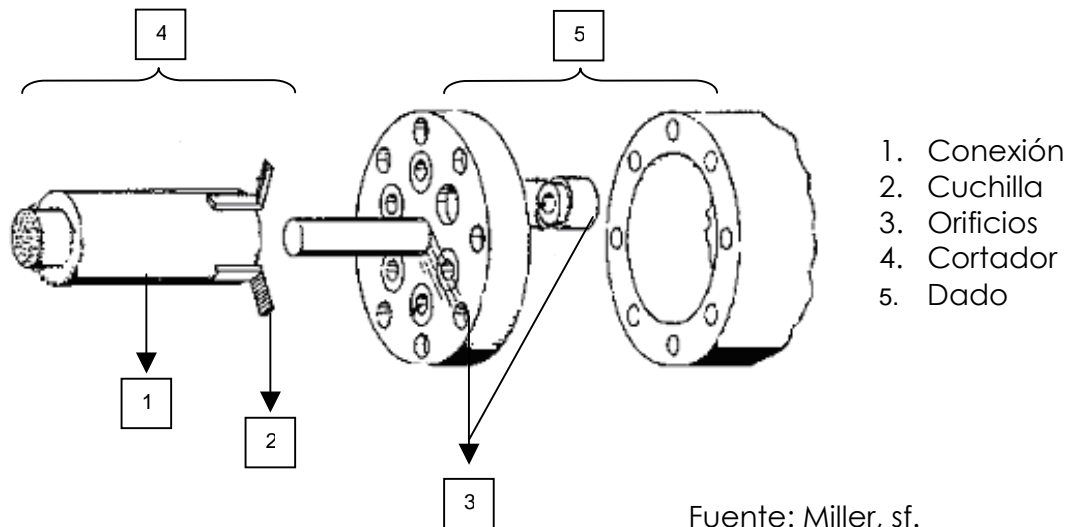
Figura 3. Esquema interno de un barril de un equipo de extrusión.



Fuente: Miller, sf.

Al otro extremo se encuentra un dado ensamblado que normalmente está sujeto al barril, la presión que lleva el tornillo es obstruida por el dado y el producto es liberado por unos orificios, en algunos casos este producto se parte en pedazos por medio de un cortador que tiene unas cuchillas las cuales pasan por una cara del dado como se puede ver en la Figura 4, estas cuchillas deben estar sostenidas rígidamente cerca de los dados. (Miller, sf.)

Figura 4. Esquema de un sistema cortador interno.



Existen otras unidades alrededor del equipo extrusor, necesarias en algunos casos para poder crear un proceso de producción continuo, como un protector para el cortador, un pre-cocinador o acondicionador de la materia prima, una alimentador en seco y una corriente de vapor (si es el caso de extrusión con vapor), se debe usar una corriente de vapor separada de la líquida para controlar la humedad en el extrusor. (Miller, Robert, sf.)

La mayoría de los productos que salen del extrusor, necesitan seguir una serie de procesos complementarios antes de convertirse en productos terminados, las operaciones que generalmente van aliadas al proceso son el formado el cortado en el dado no tiene la configuración final deseada y el secado en donde se involucra el desarrollo de la textura deseada del producto final.

3.5.2 Ventajas del proceso:

Las principales ventajas de la tecnología de extrusión, comparadas con los métodos de procesamiento tradicionales de alimentos basados en Smith (1969), incluyen lo siguiente:

- **Adaptabilidad:** La producción de una amplia producción de productos es factible, cambiando la menor cantidad de ingredientes y las condiciones de operabilidad del extrusor. El proceso de extrusión es sobresalientemente adaptable en acomodar la demanda del consumidor para nuevos productos.
- **Alta productividad y control automatizado:** Un extrusor provee altos y continuos niveles de procesamiento y puede ser totalmente automatizado.
- **Alta calidad en el producto:** Ya que la extrusión es un proceso de calentamiento (alta temperatura / corto tiempo), minimiza la degradación de los nutrientes de la comida, al tiempo que mejora la digestibilidad de las proteínas (por desnaturalización) y almidones (por gelatinización). La cocción por extrusión a altas temperaturas también destruye componentes antinutricionales.
- **No genera efluentes:** Esta es una muy importante ventaja para la industria de comida y alimentos, ya que las regulaciones ambientales son costosas. La extrusión produce muy poco o ningún desperdicio. Características del producto: Una variedad de formas, texturas, colores y apariencias pueden ser producidas, lo cual no es fácilmente factible usando otros métodos de producción.

- Eficiencia de la energía: Los extrusores operan con relativamente baja humedad cuando están cocinando productos alimenticios, por lo tanto es requerido menos re-secado.
- Nuevos alimentos: La extrusión puede modificar proteínas animales y vegetales, almidón, y otros materiales alimenticios para producir una variedad de nuevos y únicos productos snack.
- Uso como un reactor continuo: Los extrusores están siendo usados en varios países, para desactivar las aflatoxinas y para destruir componentes tóxicos y alergénicos en algunas materias primas.

3.5.3 Clasificación de los parámetros de extrusión

Para Ramírez (1997), los parámetros de proceso corresponden a las variables de extrusión, las cuales controlan la energía ejercida en el proceso. La introducción de energía específica, caracterizada por los parámetros del sistema, es responsable por los cambios de estructura del almidón. Estas alteraciones estructurales del almidón influyen las características finales del producto extrudido.

El mismo autor manifiesta que un grado determinado de transformación del producto puede ser obtenido a través de varios conjuntos de parámetros de proceso; de esta forma un valor que refleja la transformación del producto sería muy valioso. Este valor cuantificaría la noción de severidad de tratamiento: Cuanto mayor la severidad, mas el producto es transformado. La mayoría de los autores que trabajaron en este aspecto, usando extrusores de rosca única y doble, propusieron que la energía adicionada al producto fuera ese criterio, esa energía es separada en energía mecánica (ejercida por el motor) y energía térmica (que viene del sistema de calentamiento).

____ Así, es posible conocer el efecto de los parámetros de extrusión (diámetro de matriz, temperatura del barril y el contenido de humedad) en la energía mecánica específica ejercida en el sistema, y también el efecto de la energía en la solubilidad del almidón extrudido.

3.5.4 Variables que afectan el proceso

El tipo de extrusor usado afecta las reacciones químicas. Los extrusores mas grandes tienen barriles de mayor tamaño y tiempos de residencia mas prolongados que los modelos a escala piloto o de laboratorio, estos últimos requieren menos materias primas debido a su capacidad de carga, ofreciendo una ventaja definitiva para estudios preliminares usando ingredientes disponibles solo en pequeñas cantidades.

Las variaciones causadas por la composición de la materia prima y el procesamiento de esta son parámetros de medida importantes en las evaluaciones experimentales (Riaz,; 2000)

Existen otros factores descritos en la Tabla 7 que influyen la viscosidad del alimento al interior del barril, el tiempo de permanencia del material en el extrusor, y la cizalla aplicada.

Durante la cocción por extrusión el almidón que presenta inicialmente una forma granular, es progresivamente comprimido y transformado en un material denso, sólido y compacto, desapareciendo su estructura cristalina y granular; la destrucción de esta estructura puede ser parcial o completa dependiendo de las variables de extrusión, tal como el grado de humedad de la materia prima y la relación de amilosa/amilopectina del almidón en uso. Con almidones de tubérculos como batata y yuca, los cuales son prácticamente exentos de lípidos

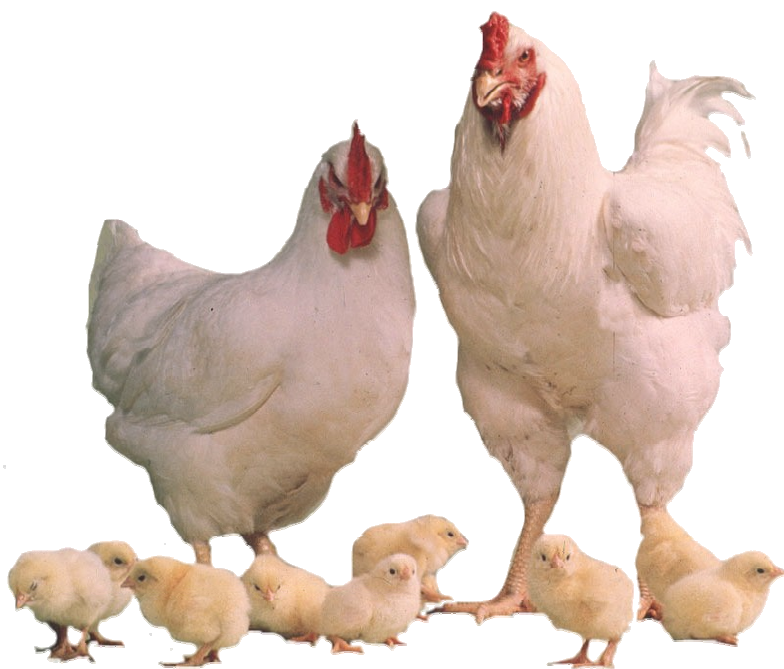
(< 0.1%), la reducción de la cristalinidad fue observada a temperaturas tan bajas como 70°C. A temperaturas mayores la estructura fue completamente destruida. (Ramírez Ascheri, José Luis. 1997)

Tabla 7. Factores que influyen los cambios químicos durante la extrusión.

Factor	
Primario	Secundario
Temperatura del barril	Temperatura del producto
Geometría del dado	Presión
Modelo del extrusor	Energía Mecánica Específica
Composición del alimento	
Humedad del alimento	
Tamaño de partícula del alimento	
Configuración del tornillo	
Velocidad del tornillo	

Fuente: (Riaz, Mian N; 2000)

3.6 La producción de monogástricos en Colombia



Fuente: FENAVI-FONAV 2006

3.6.1 Piscicultura

La cadena piscícola en Colombia tiene una ubicación geográfica básicamente en las regiones de Huila, Tolima, Valle del Cauca, Eje Cafetero, Llanos Orientales, Boyacá, Cundinamarca y Santanderes. El aporte de la acuicultura a la producción pesquera nacional supera el 27% de la producción total, siendo los productos de acuicultura más importantes en su orden: la Tilapia (95% Tilapia roja: *Oreochromis* sp.), las Cachamas (*Piaractus brachipomus* y *Colossoma macropomun*), los camarones de cultivo (*Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris*) y la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) (Castillo, LF.s.f.)

Después de Brasil, Colombia ocupa el segundo lugar en la producción de tilapia en Latinoamérica siendo el Huila el departamento con mayor producción de tilapia roja, cuenta con 38 productores y un estimado de 4300 toneladas para el año 1999 (Espinal, CF; Martines, H; González, .2005).

La inclusión de tilapia roja en Colombia ha tenido un largo periodo de adaptación y mejoramiento genético, los paquetes tecnológicos que se han desarrollado generalmente van dirigidos hacia la obtención de nuevas y mejores especies y se ha dejado a un lado un renglón importante en cuanto al sistema de producción, que es la alimentación, la mayor limitante que se ha presentado en este campo es la falta de equipos sofisticados y materias primas alternativas que generen alimentos balanceados con las propiedades físicas y nutricionales específicas para las especies a un costo razonable.

3.6.2 Porcicultura

La porcicultura en Colombia tiene un amplio potencial de expansión, las cifras que presenta la asociación Colombiana de Porcicultores – ACP - Fondo Nacional de la Porcicultura – FNP en su informe de gestión del 2003 nos dan datos de producción nacional de carne de cerdo en toneladas de 109.508 y 115.685 para los años 2002 y 2003 respectivamente, lo que indica un crecimiento del 5,6% (ACP-FNP 2004)

La mayor concentración de los costos de producción del sector porcícola se encuentran en el alimento con un 80% del total de los costos, porcentaje que nos invita a tomar decisiones bajo parámetros de eficiencia en la estructura productiva, todo con el fin de lograr el máximo beneficio económico para el porcicultor. De otro lado se hace necesaria la asociatividad de los productores de carne de cerdo, con el fin de formar estructuras de producción mas sólidas, incluyendo la producción de alimento dentro de la granja como alternativa, el uso de subproductos o la maquila del alimento. Estas alternativas pueden ser analizadas para lograr un equilibrio en la estructura de costos de producción y en última instancia lograr la viabilidad financiera del negocio. Hasta Noviembre de 2003 las importaciones de maíz amarillo empleado en porcicultura estaban en 337.000 toneladas a un precio promedio por tonelada de US\$128 (ACP-FNP 2004)

3.6.3 Avicultura

La avicultura se desarrolla, generalmente, mediante tres sistemas de producción: pollo de engorde, ponedoras de huevos y reproductoras y/o incubación de pollitos. De estas actividades la de mayor participación es el pollo de engorde ya que cuenta con el 49.1% de la población avícola del país; en segundo lugar se encuentran las ponedoras que representan el 45.2% y por ultimo las reproductoras que son el 5,68% (Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural - MADR, 2002)

Desde 1950 la avicultura se ha desarrollado como una actividad de explotación comercial. Desde 1991 se ha logrado crecimientos de 6.95% en la producción de pollo de engorde y de 4.46% en huevo promedio anual hasta 2004, gracias al mejoramiento de sus practicas productivas. Esto se refleja en el incremento de peso del animal y la disminución de la conversión del alimento, conllevando a una reducción de la edad de sacrificio, como lo muestra la tabla 8. Este progreso ha permitido un aumento en su eficiencia y al mismo tiempo ha otorgado a la industria de balanceados el escenario pertinente para su crecimiento (Espinal, 2005)

Tabla 8. Comportamiento del pollo de engorde en Colombia

Año	Peso Corporal (g)	Consumo de alimento (g)	Conversión de alimento	Edad días al sacrificio
1980	1.8	4.1	2.30	49
1989	1.9	4.0	2.15	45
1995	1.9	3.9	2.05	44
2000	2.0	4.0	1.99	43
2005	2.0	3.6	1.80	40

Fuente: ANDI – Cámara de Alimentos Balanceados

En Colombia para el año 2002, según datos del primer Censo Nacional de Avicultura Industrial, están establecidas 2.996 granjas avícolas de tipo comercial, 1.870 de las cuales están dedicadas al engorde de pollo, 961 a la producción de huevo de mesa, y 165 a reproductoras; respectivamente, dichos establecimientos cuentan con 9.441, 17.410 y 3.806 galpones.

El desarrollo avícola en los últimos años ha registrado tasas de expansión que superan el crecimiento de la economía, con una tendencia expansiva aun en los periodos de contracción del sistema económico en conjunto. Desde 1990 al 2004, la tasa de crecimiento acumulada del producto interno bruto (PIB) fue de 45.3% (con un promedio de 2.71%), en tanto que para la avicultura fue de 122.5%, para un promedio año de 5.88%. No existe por lo demás, un renglón con mayor potencialidad productiva en el contexto agropecuario nacional. (Rios, 2005)

Al finalizar el primer semestre del año 2005, según datos reportados por FENAVI-FONAV la avicultura registró un crecimiento de 5.5%, al pasar de 572.137 toneladas de proteína del 2004 a 603.521 en el 2005, con una producción promedio mensual de 100.587; esto es 5.231 toneladas más que en el 2004 y 9.618 más que en el 2003 como se puede ver en la Tabla 9.

Tabla 9. Producción avícola nacional, años 2004-2005

Mes	Producción Avícola (toneladas)		Variación 05/04 (%)
	2004	2005	
Enero	94.250	98.988	5.0
Febrero	94.521	99.609	5.4
Marzo	92.326	97.638	5.8
Abril	96.140	100.844	4.9
Mayo	98.470	100.808	2.4
Junio	96.430	105.434	9.3
Total	572.137	603.321	5.5
Variación (%)	4.8	5.5	
Promedio	95.356	100.553	5.5
Mínimo	92.326	97.638	5.8
Máximo	98.470	105.434	7.1

Fuente: Fenavi - Fonav

El valor de la producción avícola supera los US \$ 1.400 millones, y desde 1999 esta industria ocupa el segundo lugar dentro de los renglones de la economía nacional, después de las ganaderías de carne y leche, luego de desplazar al café al tercer puesto. Mas de 240 mil personas derivan su sustento de esta cadena, conformada por la incubación, la producción de pollo y huevo, la agricultura de la soya, el maíz, el sorgo, la yuca y el sector de los alimentos balanceados entre otros. (Fenavi, 2004)

Del valor de la producción bruta generada de la avicultura, cerca del 50% corresponde al consumo realizado de alimentos balanceados. Se estima que del alimento elaborado para aves, el 47% es destinado a la alimentación para ponedoras y el restante 53% es utilizado para pollos de engorde. (Espinal, 2005)

Tabla 10. Participación del alimento en los costos de producción de aves.

Sistema de Producción	2001	2005
Pollo de engorde	69.3%	67.63%
Polla liviana	65.09%	58.30%
Polla semipesado	66.40%	60.31%
Gallina liviana Huevo blanco	68.33%	70.09%

Fuente: ANDI – Cámara de Alimentos Balanceados

Por todo lo anterior, la producción de alimentos balanceados en Colombia ha experimentado un crecimiento muy dinámico durante las dos ultimas décadas, como consecuencia de la creciente demanda, en promedio las tasas de crecimiento anual han sido cerca del 5%; en el periodo de 1990 a 2000 el tamaño del mercado se incrementó en un 50%. (CLAYUCA.2001.)

Estas tasas se ven reflejadas en las cifras dadas por Fenavi (Avicultores, agosto 2005) en donde se muestra una tendencia creciente de movilización de alimentos balanceados para animales (ABA) en los departamentos de Santander y del Valle del Cauca, (principales departamentos en producción avícola a nivel nacional) en el año 2001 fueron movilizadas 53.217 ton de ABA en Santander y 75.67 ton en el valle del cauca, destinadas a la alimentación del subsector pollo, 7.554 ton en Santander y 17.116 ton en el Valle del Cauca destinadas para la alimentación del subsector huevo.

Durante el primer trimestre del 2005, las importaciones de maíz amarillo totalizaron 1.337.887 toneladas, mientras que en el mismo periodo del 2004 esta cifra se ubicó en 1.144.434, lo que implica un crecimiento de 16.9%. (FENAVI, 2005)

El cultivo de la yuca y otras materias primas tropicales como la batata, tienen un gran potencial para ser producidas y utilizadas en Colombia en condiciones competitivas, como una materia prima tropical que atienda la creciente demanda por parte del sector de alimentos balanceados para animales; factores como las tasas positivas de crecimiento del sector avícola, y la baja productividad de la producción nacional de cereales, crean una excelente oportunidad para las materias primas de origen tropical sean utilizadas en forma intensiva en los programas de nutrición animal que se utilizan actualmente en el país.

4. Materiales y Métodos

Durante el desarrollo del proyecto se llevó un orden lógico y secuencial de cada una de las etapas de ejecución descritas en este capítulo; en la primera etapa se exponen las actividades necesarias para la elaboración del suplemento, los equipos utilizados y las condiciones bajo las cuales fue posible la realización de los ensayos experimentales, en la segunda etapa, los productos obtenidos fueron evaluados física y mecánicamente para determinar su potencial al ser incluidos en dietas para monogástricos y finalmente en la última etapa se describen las actividades llevadas a cabo dentro del estudio de factibilidad técnica y económica al incluir los suplementos en la fase de levante de un ciclo de crecimiento biológico de pollo de engorde.

4.1 Localización:

Las actividades realizadas durante la ejecución de este estudio, fueron desarrolladas en la planta de procesamiento de yuca, del Consorcio Latinoamericano y del Caribe para el Desarrollo y la Investigación de la Yuca (Clayuca), ubicado en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en Palmira, Valle del Cauca.

Este centro de investigación tiene una latitud 3° 32'N y una longitud 76° 27'O, se encuentra a una altura de 1.001 m.s.n.m y una temperatura promedio de 23 °C.

La evaluación con los animales, se realizó en el municipio de Villa Rica (Cauca), vereda Juan Ignacio, las coordenadas son 3° 10`N de latitud y 76° 27`O de longitud y una temperatura promedio de 23° C.

4.2. Materia prima

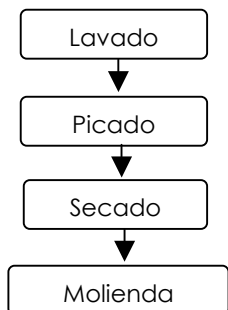
4.2.1 Procedencia

Toda la materia prima utilizada para el desarrollo de los ensayos, fue cosechada de los cultivos de Clayuca, ubicados en los lotes de CIAT. En este estudio fueron utilizadas para el caso de yuca las variedades HMC-1 (ICA Armenia o ICA p-13) para la raíz y M COL 1505 (Verdecita) para el follaje (yuca forrajera), Para el caso de batata la variedad utilizada fue Tainung 66; los cultivos se seleccionaron debido a su disponibilidad física y de información recopilada en investigaciones previas realizadas por CLAYUCA-CIAT.

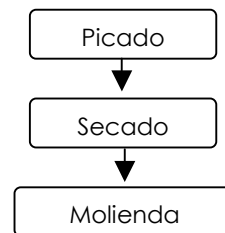
4.2.2 Obtención de harinas

Para la obtención de las harinas, se procesaron las raíces y el follaje de ambas plantas por igual, se trabajó bajo la tecnología desarrollada por el departamento de poscosecha en CLAYUCA, los pasos a seguir fueron los siguientes:

Para las raíces:



Para el follaje:



El lavado se hizo en una lavadora mecánica diseñada en CIAT, con capacidad de 2 t / hora. Consta de una estructura general de soporte, dos tolvas de descargue, un tanque de lavado movido por una transmisión de poleas, un eje, una relación de piñones y cadena y finalmente una unión cardánica al tanque de lavado.

Para el picado, se empleo una picadora mecánica marca Nogueira, modelo Sertaneja Master, diseñada para picar palma, yuca, banano, y en general diversos tipos de forrajes, tiene una capacidad de 1.5 t / hora; trozos obtenidos, se secaron en horno a una temperatura de 60° C por un periodo de tiempo de 24 horas. Finalmente se realizo una molienda en un molino de martillos, con una criba de ½ pulgada.

4.2.3 Acondicionamiento de las harinas

Una vez obtenidas las harinas se acondicionaron las mezclas de yuca y batata, cada cultivo por separado en una relación de 75% de raíces y 25% de follaje, para ser utilizadas durante la ejecución de las pruebas en el equipo. Esta proporción fue seleccionada con base en investigaciones realizadas por entidades como Clayuca, el CIP y FONIAP, en donde los niveles de inclusión en dietas para animales monogástricos abarcan rangos que van desde 10% hasta un 50% del total de la dieta para el caso de raíces y los niveles de inclusión de follaje van hasta un 15%, presentándose algunas limitaciones, dependiendo de la especie monogástrica y la edad o etapa de producción.

Al hacer la relación de la inclusión del suplemento en un 40% (10% de follaje; 30% de raíces) del total de las dietas, se tuvo en cuenta no sobrepasar los límites establecidos por las investigaciones previas, en los contenidos de harinas de raíz y

folllaje de yuca y batata. Se encontró que en una mezcla de 75% de raíz con 25% de follaje, se logra simular el aporte energético y proteico del grano de maíz.

Fue necesario acondicionar las mezclas hasta lograr los niveles de humedad planteados en el diseño experimental (25-35%). Las mezclas originalmente tenían 10.6% de humedad para el caso de yuca y 10.3% de humedad para el caso de batata, para lograr esto, se utilizó la siguiente formula:

$$W_f H_2O = \frac{[(W_i * H_f) - (W_i * H_i)]}{(1 - H_f)}$$

Donde:

W_i = Peso inicial de la muestra

$W_f H_2O$ = Peso final de agua que se necesita adicionar

H_i = Humedad inicial de la muestra

H_f = Humedad final de la muestra (Humedad a la que quiero llegar)

La cantidad de mezcla que se utilizó para cada ensayo en el quipo extrusor fue de 200 gramos, cada muestra fue acondicionada con 24 horas de anticipación y almacenada en bolsas de polietileno en un cuarto frío a 5° C. Esto se realizó para facilitar la dispersión de agua en todo el material. Antes de cada prueba experimental, el material acondicionado y almacenado a 5° C se dejó a temperatura ambiente por un lapso de 30 minutos.

4.2.4 Caracterización

Para hacer la caracterización de las materias primas se hicieron los siguientes análisis:

- Análisis proximal (Wendee – Van Soest)
- Contenido de ácido cianhídrico (HCN) (Solamente a la mezcla a partir de yuca)
- Viscosidad

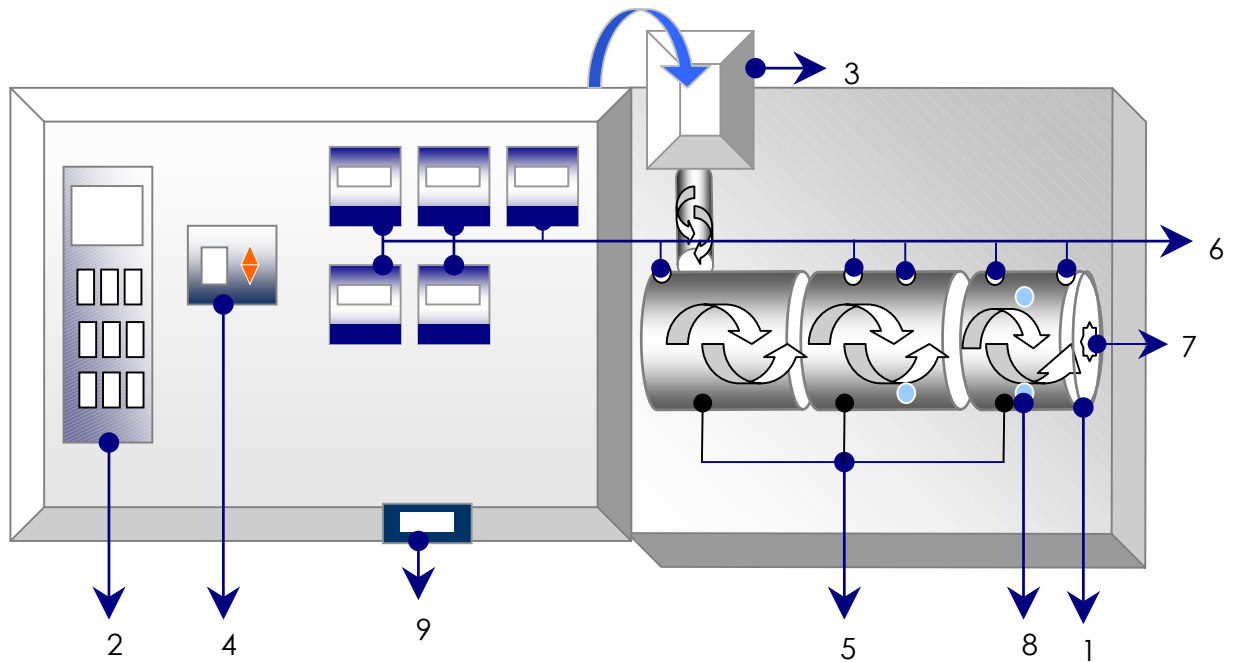
La toma de muestras para la evaluación nutricional se realizó de la siguiente manera. Se extendió sobre un plástico negro el material (mezclas elaboradas) y se trazó una X sobre el mismo, se tomaron 5 sub-muestras, una para cada extremo y otra del centro, se mezclaron hasta homogenizar y se envió al laboratorio 500 gramos de cada mezcla.

Igualmente se determinó la granulometría de las mezclas tamizando 100 gramos de muestra durante 20 minutos, utilizando un juego de tamices Tyler que se agitaron mecánicamente en un Ro - Tap, las especificaciones de los tamices son 30, 40, 50 y 100. Este análisis describe el tamaño de las partículas de cada tipo de mezcla utilizada durante la ejecución de las pruebas de extrusión.

4.3 Descripción del equipo extrusor utilizado

Los ensayos se realizaron en un extrusor de tornillo simple a escala de laboratorio, este equipo fue construido en el laboratorio de procesos de manufactura de la Universidad del Valle en 1994 y mejorado por estudiantes de pregrado de Ingeniería química y profesionales del departamento de Investigación y Desarrollo de Industrias del Maíz S.A. Las partes que constituyen el equipo se pueden observar en la Figura 5 y están descritas a continuación:

Figura 5. Descripción del equipo utilizado en el desarrollo de las pruebas



Fuente: La autora.

1. Tornillo con diámetro de 2.5 cm, longitud de 39 cm y relación de compresión de 3:1.
2. Variador ToyoDenki modelo VF61-3R722, que permite programar las principales variables dentro del proceso.
3. Tolva de alimentación de tornillo simple con motor de 0.4 Hp.
4. Variador electrónico de frecuencia y paletas para el mezclado de las materias primas.
5. Barril del extrusor, compuesto por tres secciones, la primera sección permite la entrada de la alimentación, la segunda sección es una camisa para la circulación de agua de enfriamiento y la tercera sección tiene otra camisa de circulación de agua y una pequeña resistencia eléctrica para asegurar la cocción del material antes de atravesar el dado.

6. Cinco termocuplas tipo J que permiten obtener el perfil de temperatura en cada ensayo; los sensores de temperatura del equipo están distribuidos dentro del barril del extrusor de la siguiente manera: uno en la sección de alimentación, dos en la primera camisa de refrigeración, uno en la camisa adicional de refrigeración y el ultimo esta ubicado en donde se encuentra la resistencia.
7. Dado con orificio central de 4.5 mm de diámetro.
8. Sistema de refrigeración con agua.
9. Controlador, indicador de temperatura en la resistencia.

Todo el sistema está soportado por estructuras metálicas.

4.4 Tratamientos empleados

Los tratamientos empleados para la evaluación de los parámetros de operación del equipo, se ilustran en la figura 6, fueron seleccionados, con base en ensayos preliminares realizados en el mismo.

Dado que este es un trabajo básicamente exploratorio, los valores asignados para cada variable, estuvieron comprendidos entre un nivel alto y un nivel bajo, establecidos de acuerdo a las características del equipo y al comportamiento de los materiales en el desarrollo de las pruebas preliminares, finalmente se seleccionaron ocho tratamientos para ser evaluados, conformados de la siguiente manera:

Figura 6. Tratamientos empleados para la evaluación de las variables en el equipo.

Cultivo	Humedad de la mezcla	Velocidad de giro del tornillo (RPM)	Temperatura al final del barril	Cultivo	Humedad de la mezcla	Velocidad de giro del tornillo (RPM)	Temperatura al final del barril
Y U C A	25 %	300	60-70° C	B A T A T A	25 %	300	60-70° C
			80-90° C				80-90° C
		400	60-70° C			400	60-70° C
	35 %	300	80-90° C		35 %	300	80-90° C
			60-70° C				60-70° C
		400	80-90° C			400	80-90° C

4.5 Diseño experimental empleado:

El diseño experimental corresponde a un modelo de bloques aleatorizados completamente al azar, con un, el arreglo factorial de: $2^3 * 2 * 2 = 32$ ensayos. (8 tratamientos, 2 bloques y una replica). El Modelo matemático empleado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \epsilon_{ij}, \text{ donde,}$$

Y_{ij} = Medición de la variable de respuesta en el tratamiento i repetición j.

μ = Efecto principal de la media

β_i = Efecto del bloque i

τ_i = Efecto del tratamiento i (i = 1, 2 ó 3)

ϵ_{ij} = Error experimental para el tratamiento i repetición j

4.6 Variables a evaluar en el proceso

- Materia prima
- Humedad de la mezcla al entrar en el extruder
- Temperatura final del proceso
- Velocidad de giro del tornillo extrusor

Se conoce que la humedad de alimentación, la velocidad de rotación del tornillo y la temperatura final del barril son variables que afectan significativamente las características de desempeño del extrusor y las propiedades de los productos extrudidos. (Badrei y Mellowes, 1991)

4.7 Variables de respuesta del producto terminado

- Índice de energía aplicada (IEEA)
- Índice de Solubilidad en agua (ISA)
- Índice de Absorción de agua (IAA)

El equipo extrusor cuenta con un variador Toyo Denki, que permite observar varios parámetros eléctricos tales como el voltaje y el amperaje entregado al motor del tornillo; estos parámetros fueron utilizados para calcular un indicador de la energía específica aplicada al material en cada prueba (EEA), este parámetro permite estudiar efectos sobre el proceso de extrusión, indica la energía necesaria para cizallar una cantidad de material, en un tiempo determinado dentro del equipo. (Ocoró, 2005)

El calculo se realizó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$EEA (W.h/Kg) = ((V) * (A)) / m (Kg/h)) * \sqrt{3}$$

Donde:

W = Watt; h = Hora; m = Flujo másico; V = Voltio; A = Amperio.

La ecuación anterior proviene de la expresión para el calculo de la potencia de motores trifásicos, bajo la suposición de que el calculo de potencia no cambia con el tiempo y equivale a la unidad ($\cos \phi = 1$). Los valores de voltaje y amperaje, son los leídos durante cada prueba; el flujo másico en cada prueba, se determinó por duplicado, pesando la cantidad de producto recogido en la descarga del extrusor en 30 segundos. Este peso fue ajustado a peso seco después de conocer la humedad de los productos. (Ocoró, 2005)

4.8 Procedimiento operacional llevado a cabo en la ejecución de los ensayos:

Para llevar un orden lógico dentro de la ejecución de los ensayos, se desarrolló un modelo de operación estándar que se puede observar en el cuadro 2, adaptado a las condiciones de operación del equipo empleado, con esto se garantiza un alto nivel de confianza y se minimizan las posibles causas de error.

4.9 Orden de ejecución de los experimentos

El orden de ejecución de las pruebas experimentales en el equipo fue asignado completamente al azar. Para lograr este orden, se colocaron en una bolsa los números de las pruebas y se sacaron uno a uno; en la Tabla 11 se indica la forma en que quedaron asignadas las pruebas con cada una de las variables evaluadas.

Cuadro 2. Modelo operacional estándar (Pruebas a escala de laboratorio)

Actividad	Descripción	Observaciones
Selección de herramientas	Destornilladores de pala y estrella, llave boca fija 9/16.	Son empleadas para armar y desarmar el equipo después de ser utilizado.
Selección de implementos de seguridad.	Guantes de protección contra el calor, mascarillas para el polvo, zapatos cerrados.	En este proceso, el principal factor de riesgo son las altas temperaturas que se manejan dentro del proceso.
Ajuste de variables	Ajustar el perfil de temperatura deseado, las RPM del tornillo extrusor, y la frecuencia de alimentación en el tablero de control.	
Alimentación de materias primas húmedas (40%)	Adicionar lentamente las materias primas.	Esta actividad se realiza con el fin de acondicionar el equipo, a las características propias de cada muestra, y permite mantener un proceso continuo durante la ejecución de cada prueba.
Alimentación de materias primas con la humedad requerida (25/35%)	Adicionar lentamente las materias primas a la humedad requerida en el ensayo.	Después de que se estabilice el proceso con las harinas húmedas, se comienza a alimentar las materias primas que se van a evaluar, esto garantiza un proceso continuo.
Toma de datos	Durante el transcurso de la prueba se toman los datos necesarios para el análisis de las variables (amperaje, voltaje, troqué, flujo másico)	La recolección de los datos se realiza cada minuto.
Recolección de producto obtenido.	Se realiza manualmente, al final del barril	Es recomendable tener un recipiente para facilitar esta operación.
Apagar el equipo	En el tablero de control se reduce poco a poco el giro del tornillo hasta detenerlo, se retira el dado y se pone a girar de nuevo el tornillo para expulsar el material que queda dentro del barril, finalmente se desconecta la resistencia y se desarma el equipo.	El tornillo se debe parar lentamente, de lo contrario se puede desajustar del eje y el equipo presentará problemas en los ensayos posteriores.
Limpieza del equipo.	Se debe retirar el exceso de material con abundante agua en cada una de las piezas del equipo.	
Armazón del equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Insertar cada una de las partes del barril. • Armar el dado • Fijar las mangueras 	Las mangueras deben quedar perfectamente ajustadas, de lo contrario el agua no circulara por las chaquetas del barril y se producirán fugas constantes por las válvulas.

Fuente: La autora.

Tabla 11. Orden de ejecución de las pruebas experimentales.

Prueba	Cultivo	Temperatura °C	Revoluciones (rpm)	Humedad (% BH)
1	Yuca	60-70	300	25
11	Batata	60-70	400	25
14	Batata	80-90	300	35
16	Batata	80-90	400	35
8	Yuca	80-90	400	35
7	Yuca	80-90	400	25
5	Yuca	80-90	300	25
9	Batata	60-70	300	25
10	Batata	60-70	300	35
2	Yuca	60-70	300	35
15	Batata	80-90	400	25
3	Yuca	60-70	400	25
13	Batata	80-90	300	25
4	Yuca	60-70	400	35
12	Batata	60-70	400	35
6	Yuca	80-90	300	35
3'	Yuca	60-70	400	25
7'	Yuca	80-90	400	25
14'	Batata	80-90	300	35
5'	Yuca	80-90	300	25
2'	Yuca	60-70	300	35
1'	Yuca	60-70	300	25
11'	Batata	60-70	400	25
9'	Batata	60-70	300	25
15'	Batata	80-90	400	25
4'	Yuca	60-70	400	35
12'	Batata	60-70	400	35
6'	Yuca	80-90	300	35
16'	Batata	80-90	400	35
10'	Batata	60-70	300	35
3'	Yuca	60-70	400	25
8'	Yuca	80-90	400	35

4.10 Evaluación de los productos obtenidos a nivel de laboratorio

La evaluación de las características de los productos obtenidos de forma cuantitativa, se desarrollo en el laboratorio de mejoramiento de yuca del CIAT, mediante la determinación del índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA).

El método empleado para determinar ISA e IAA es una adaptación de la técnica de Anderson, para medir el grado de gelatinización de almidón de maíz, aplicada en las harinas de yuca con base en los índices de solubilidad y absorción de agua. (Hernández, Jimena. 2005). El protocolo fue desarrollado en el laboratorio de mejoramiento de yuca de CIAT y esta descrito en el Anexo 1.

4.11 Análisis estadístico

Con ayuda de la herramienta estadística SAS (nivel de confianza de 95%) fue seleccionado un tratamiento de cada mezcla, es decir un tratamiento a partir de la mezcla yuca y un producto a partir de la mezcla batata, cada tratamiento indica las condiciones de operación optimas para elaborar el suplemento nutricional en un equipo de extrusión.

4.12 Análisis de laboratorio de los productos seleccionados

Con los resultados obtenidos del análisis de varianza de las variables estudiadas, fueron seleccionados dos productos, uno de cada cultivo. A cada producto se le realizó un análisis proximal (Wendee – Van Soest) en el laboratorio de servicios analíticos de CIAT, para determinar las características nutricionales, después de ser sometidos al proceso de extrusión, Adicionalmente se realizó un análisis de

ácido cianhídrico (HCN) para las muestras obtenidas de la mezcla a base de yuca y de viscosidad para ambos casos (yuca y batata), estos análisis fueron desarrollados en el laboratorio de mejoramiento de yuca de CIAT.

4.13 Formulación de dietas para tres especies monogástricas

Con base en el suplemento obtenido, se formularon dietas para aves, cerdos y peces. Teniendo en cuenta que el suplemento hace parte del 40% del total de los ingredientes empleados. Para el balance de las dietas se utilizó un programa desarrollado en Clayuca por el Zootecnista Jorge Luis Gil, las dietas fueron elaboradas de forma isoproteicas e isoenergéticas teniendo en cuenta de suplir los requerimientos de los animales para cada una de sus fases. En la preparación y mezcla se emplearon los equipos disponibles en la bodega de yuca adscrita a Clayuca.

4.14 Evaluación en la etapa de levante, en un ciclo de crecimiento biológico en pollos de engorde de los productos obtenidos

4.14.1 Elaboración del suplemento empleado y fabricación de las dietas.

Debido a las características del equipo utilizado para el desarrollo de las pruebas experimentales descritas con anterioridad, fue imposible producir la cantidad necesaria para la evaluación de los productos a nivel de campo, en el mismo; por esta razón se empleó un equipo diseñado y fabricado en el país, ubicado en las instalaciones de la empresa Pampa LTDA, en la ciudad de Cali⁴ en donde se realizó un escalamiento en producción, bajo los parámetros seleccionados durante el análisis estadístico de los datos.

⁴ Contacto: Ing. Químico. Carlos Chávez. Teléfono: 6632002 – 01 Ext. 18 Cali (valle del Cauca)

Después de elaborar los suplementos, fue necesario realizar una molienda, para disminuir el tamaño de partículas; posteriormente se fabricó el alimento balanceado para cada uno de los tratamientos del ensayo necesarios en la evaluación de los productos.

4.14.2 Localización

Siguiendo la idea principal que enmarca el proyecto, se decidió trabajar con un pequeño productor (Fermín Escobar) del municipio de Villa Rica, vereda Juan Ignacio (Cauca)

4.14.3 Animales

Teniendo en cuenta que se deben comparar los parámetros de comportamiento frente a los diferentes productos suministrados, se compraron 120 pollos de un día, de la línea Coob, provenientes de la incubadora INVERAGRO (Tolima).

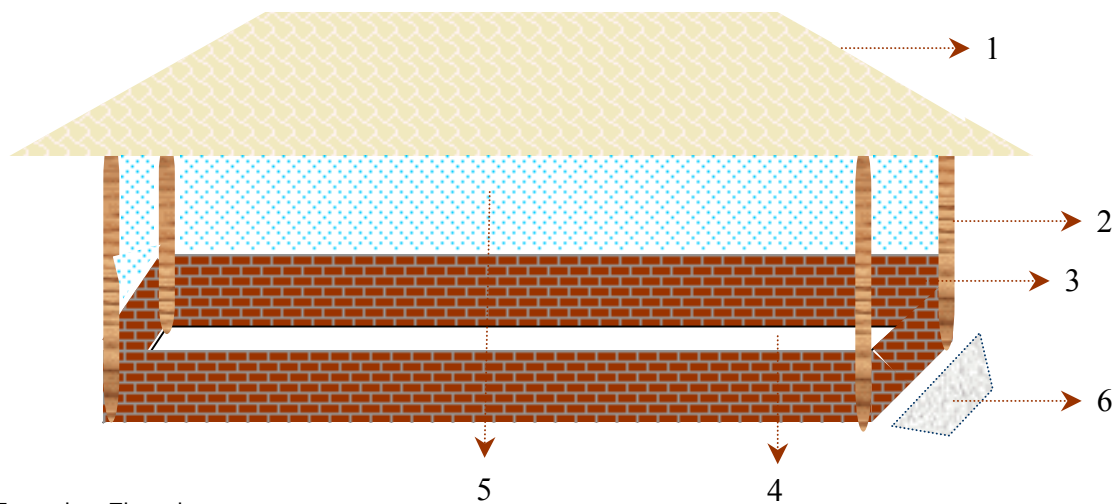
4.12.4 Alojamiento y manejo de los animales

Los animales fueron alojados en un galpón de ladrillo descrito en la figura 7 con cortinas laterales para el manejo de la ventilación, dividido en 12 cubículos cada uno de 1 m², con malla de polietileno y pvc, sobre piso de cemento, con cama de viruta, con una densidad de 10 animales por cubículo, cada división fue dotada con un comedero de tolva, un bebedero de guadua y un bombillo para calefacción de 100 voltios.

Al galpón antes de la llegada de los animales se le realizaron labores de limpieza y desinfección de pisos, paredes y equipos con una solución de hipoclorito de sodio al 10%.

Se siguió un plan de vacunación, siguiendo los parámetros empleados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), se empleó la vacuna contra New Castle (cepa B1) a los 21 días de edad de los animales, su aplicación se hizo de forma ocular.

Figura 7. Características del galpón empleado.



Fuente: El autor

- 1 El techo: A dos aguas, para evitar humedad por lluvias y para proporcionar sombra. Como aislante tiene tejas de barro que ayudan a reducir la temperatura interna del galpón.
- 2 Toda la estructura del galpón esta sujeta sobre columnas de guadua, reforzadas con cemento.
- 3 Las paredes: A lo largo del galpón, está construida una hilera de paredes de ladrillo, de 40 cm de alto.
- 4 El piso: Es de cemento, garantiza buenas condiciones de higiene ya que facilita las labores de limpieza y desinfección.

- 5 La malla: Inmediatamente después de las paredes de ladrillo va sujeta la malla de gallinero, esta permite una adecuada ventilación.
- 6 Caja de desinfección: A la entrada del galpón se utiliza cal para desinfectar el calzado.

4.12.5 Tratamientos

Los tratamientos evaluados durante la evaluación de los productos fueron:

- 1: Alimento balanceado con inclusión de suplemento a base de yuca sin extrudisar.
- 2: Alimento balanceado con inclusión de suplemento a base de yuca extrudida.
- 3: Alimento balanceado con inclusión de suplemento a base de batata sin extrudisar.
- 4: Alimento balanceado con inclusión de suplemento a base de batata extrudida.

4.12.6 Diseño experimental empleado

En el desarrollo de este ensayo se empleó un diseño experimental que corresponde a un modelo completamente aleatorizado, con 4 tratamientos y 3 replicas por tratamiento.

El Modelo matemático empleado es: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$, donde

Y_{ij} = Medición de la variable de respuesta en el tratamiento i repetición j .

μ = Efecto principal de la media

τ_i = Efecto del tratamiento i ($i = 1, 2, 3$ ó 4)

ϵ_{ij} = Error experimental para el tratamiento i repetición j

El periodo experimental estuvo comprendido del día 1 al día 21 de edad de los animales, durante los cuales el suministro de alimento fue en forma de harina y se hizo a voluntad para todos los tratamientos.

4.12.7 Parámetros evaluados

Los parámetros medidos dentro del desarrollo de esta fase fueron:

- Consumo de alimento: Para calcular el consumo de alimento, se tuvo en cuenta la cantidad de alimento suministrado en Kilogramos y se restó el peso del alimento sobrante.
- Aumento de peso: Los animales se pesaron para cada uno de los tratamientos al inicio del experimento y luego se realizaron pesajes cada 10 días para obtener el incremento de peso durante la fase de levante. Por diferencia de peso se determinó el aumento de peso.
- Conversión alimenticia (CA): Los valores de conversión alimenticia para cada tratamiento y repeticiones, fueron determinados teniendo en cuenta el consumo de alimento y el aumento de peso empleando la siguiente formula: $CA = \text{Consumo de alimento} / \text{Aumento de peso}$

5. Resultados y discusión

En este capítulo se dan a conocer los resultados de la caracterización de las materias primas que fueron sometidas al proceso de extrusión, se discuten aspectos con relación al desempeño del equipo durante el desarrollo de los ensayos y se presentan los resultados de la evaluación de los productos obtenidos a partir de la variación de la temperatura del barril, la humedad de la mezcla al inicio del proceso y la velocidad de giro del tornillo extrusor.

Adicionalmente se analizan los valores de significancia obtenidos del análisis estadístico y se comparan los parámetros medidos en la evaluación biológica, durante la fase de levante de un ciclo de crecimiento biológico de pollos de engorde.

5.1 Caracterización de las materias primas

5.1.1 Análisis de granulometría

Para la obtención de las harinas, se procedió a moler los trozos (secos) de raíces y el forraje seco de yuca y batata en un molino de martillos con una criba de ½ pulgada, se realizó la mezcla con una proporción de 75% de raíces y 25% de forraje; luego se determinó el tamaño de las partículas de cada mezcla ya que esta característica influye directamente en el comportamiento de los materiales dentro del equipo de extrusión.

El comportamiento de la mezcla a partir de yuca en las diferentes mallas indica que esta harina se compone en un alto porcentaje de partículas menores a 32

MESH ya que como se puede observar en la figura 8 hay una menor retención en la malla Tyler #30. Al comparar la retención de la harina de batata sobre esta misma malla, como se puede ver en la figura 9 se puede deducir que esta mezcla tiene un mayor tamaño en las partículas que la de yuca, lo que indica que es una harina más gruesa.

Figura 8. Análisis granulométrico de la mezcla a partir de yuca

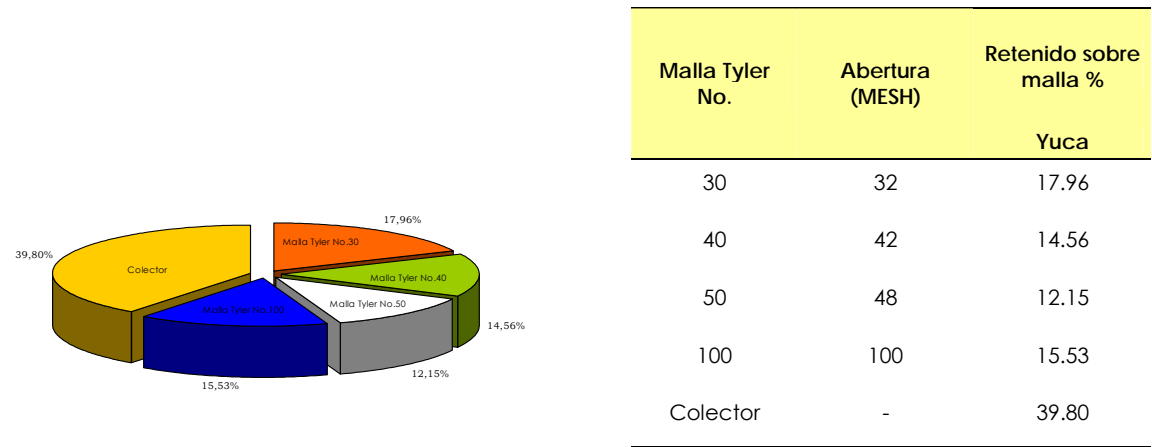
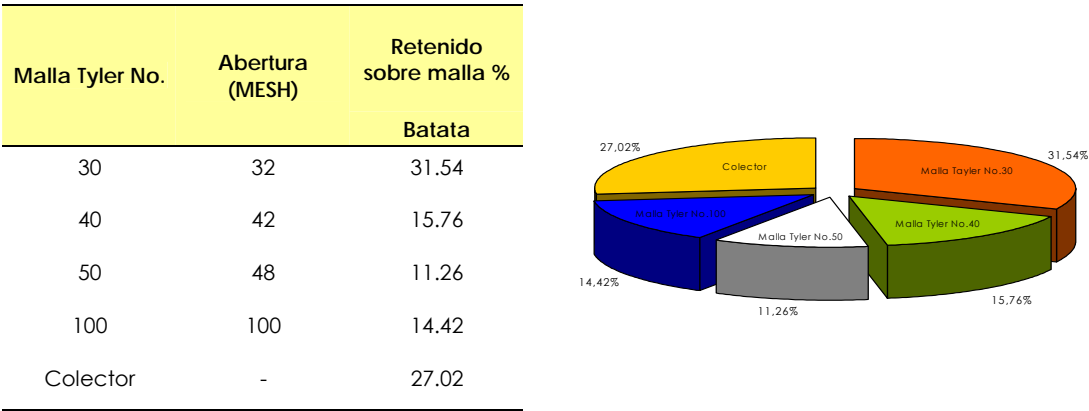


Figura 9. Análisis granulométrico de la mezcla a partir de batata



5.1.2 Composición nutricional

Para conocer la composición nutricional de las materias primas, se envió una muestra de cada una al laboratorio de Servicios Analíticos (CIAT) y se solicitó un análisis proximal que involucró: Contenido de proteína, cenizas, extracto etéreo (E.ET), fibra detergente ácida (FAD), fibra cruda (FC), fibra detergente neutra (FDN) y lignina. Además, de estas determinaciones se analizó para cada una de las muestras los valores de humedad.

Tabla 12. Composición nutricional de las materias primas.

Descripción	Humedad (%)	Proteína (g/kg)	Cenizas (g/kg)	E.ET. (g/kg)	FAD (g/kg)	FC (g/kg)	FND (g/kg)	Lignina (g/kg)
Mezclas de harinas de raíz y hoja de yuca	10.60	75.40	42.38	17.59	175.76	192.96	270.63	61.97
Mezclas de harinas de raíz y hoja de batata	10.31	71.70	95.67	11.20	116.95	160.74	330.09	23.59

Fuente: Laboratorio de Servicios analíticos de CIAT

Como se puede ver en la Tabla 12, los niveles de proteína son muy similares (7.54 - 7.17 %), pero se encuentran diferencias en el contenido de fibra, especialmente en FDN (27,06 – 33, 0 %) esto se puede dar debido a que la batata tiene un mayor contenido de fibra en sus raíces y el follaje tiene una mayor presencia de tallo que de hoja como tal.

Cuando se realizaron las mezclas se simuló el contenido del maíz; en la Tabla 13, se hace la comparación del contenido de proteína y el aporte de energía de las mezclas utilizadas en el desarrollo de las pruebas, con los del maíz.

Tabla13. Comparación de los valores de proteína y energía de las mezclas originales a partir de yuca y batata y el grano de maíz.

	Mezcla a partir de Yuca	Mezcla a partir de Batata	Maíz*
Proteína (%)	7.54	7.14	8.5
Energía (Mcal/Kg)	3.4	3.3	3.45

* Datos publicados por Campabadal, 2001

5.1.3 Análisis de la viscosidad de las materias primas

Se tomó una muestra de 100 gramos de cada materia prima utilizada y se envió al laboratorio de mejoramiento de yuca para determinar la viscosidad. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 14 y se grafican en la Figura 10.

Tabla 14. Resultados de los viscoamilogramas de las materias primas (10%)

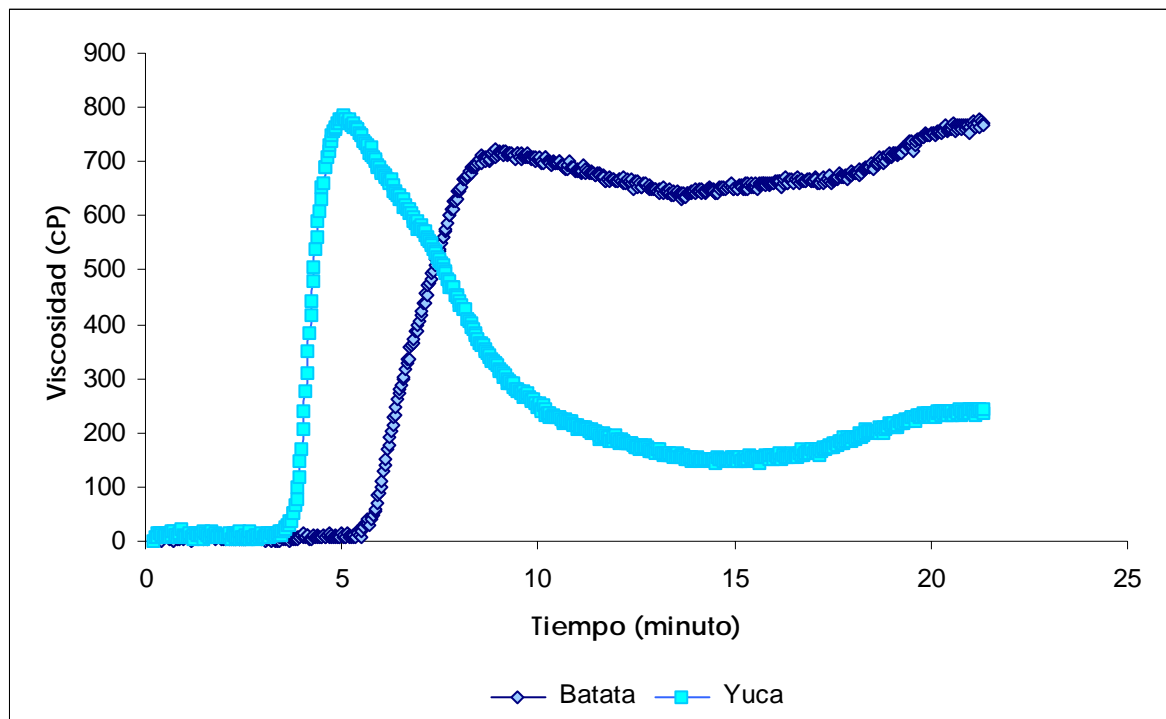
Muestra	Temperatura de gelatinización (° C)	Viscosidad máxima (cP)	Inestabilidad del gel (cP)	Índice de gelificación (cP)
Yuca	63.90	784	611	47
Batata	76.05	723	63	63

Fuente: Laboratorio de mejoramiento de yuca – CIAT

Como se puede observar en la Figura 14, después de que los productos alcanzan la temperatura de gelatinización, la viscosidad en el caso de yuca cae drásticamente, debido al rompimiento de los gránulos de almidón, después de esta caída el valor de viscosidad se estabiliza, en el caso de batata el gel es más

estable y no se presenta una disminución tan pronunciada en la viscosidad de la pasta, para ambos casos la curva muestra una estabilidad constante después del enfriamiento, con una leve tendencia al aumento, esto indica que los geles tienen una alta capacidad de formar pastas espesas.

Figura 10. Viscosidad de las materias primas (10%)



Fuente: Laboratorio de mejoramiento de yuca – CIAT

5.1.4 Contenido de ácido cianhídrico del suplemento a partir de yuca antes de ser sometido al proceso de extrusión:

Solamente se analizó el suplemento de yuca debido a la no presencia de este factor en la batata. El cianuro total presente en las muestras provenientes de la mezcla de 75% raíces y 25% de follaje de yuca, tiene un valor de 108 ppm con 33 ppm de cianuro libre.

5.2 Ejecución de las pruebas en el equipo extrusor

Las pruebas se realizaron de acuerdo al procedimiento operacional descrito en el capítulo anterior.

Al inicio de cada uno de los tratamientos, el equipo fue alimentado con 100 gramos de material con una humedad de 40%, a una velocidad de 68 gramos por minuto aproximadamente; este paso se realizó como una fase de acondicionamiento, así se garantizó un óptimo funcionamiento del equipo evitando posibles atascamientos durante el desarrollo de la prueba.

El material resultante de esta fase de acondicionamiento, se presentó como una tira continua, sin expansión, la temperatura dentro del barril de extrusión se mantuvo por debajo de la indicada, esto se debe a que la humedad reduce la viscosidad de la masa fundida y no se genera la fuerza necesaria para producir o mantener calor dentro del equipo.

La disminución en la viscosidad produce una disminución en el esfuerzo del motor y en la energía mecánica específica introducida, resultando en una baja temperatura del producto (Moraru y Kokini, en Ocoro, 2005).

Los valores de voltaje y amperaje obtenidos durante la ejecución de las pruebas experimentales fueron constantes y se mantuvieron por el orden de 35-40 voltios y 10-11 amperios respectivamente para las mezclas utilizadas en el acondicionamiento del equipo, estos valores cambian dependiendo de las condiciones de cada materia prima y la variable por la cual se vieron más afectados fue el valor asignado a las revoluciones de giro del tornillo extrusor, ya que a 300 RPM los valores obtenidos son 40-45 voltios; 11.5 -12 amperios y a 400 RPM los valores están en los rangos de 50-55 voltios y 11.5-12 amperios

respectivamente, presentándose una leve modificación en el voltaje y manteniendo constante el amperaje. Esto indica que evidentemente se presentó un mayor esfuerzo en el motor del equipo, al procesar los materiales con contenido de humedad de 25 y 35% ya que a diferencia de los materiales con 40% de humedad, los valores de voltaje y amperaje fueron más bajos.

Las características funcionales de los almidones pueden ser alteradas por las condiciones de extrusión, dependiendo de los parámetros operacionales del proceso (contenido de humedad inicial, temperatura del extrusor, rotación del tornillo, diámetro del dado, flujo del producto y configuración del tornillo), de los parámetros del sistema (tasa de alimentación, temperatura del producto, tiempo de residencia y presión del sistema) y los parámetros estructurales (ligados a materia prima). Estas variables son responsables de la degradación estructural del almidón, de la cual depende, entre otros factores el comportamiento de solubilidad y viscosidad del producto extrudido. (Ramírez Ascheri, José Luis. 1997)

Estas alteraciones, se ven reflejadas en los datos obtenidos después de analizar las características de los productos, siguiendo la metodología anteriormente planteada; se obtuvieron valores para los índices de solubilidad en agua (ISA), absorción de agua (IAA) y energía específica aplicada (IEEA),

5.3 Análisis de los datos

El documento con el análisis completo de los datos evaluados y las tablas estadísticas descriptivas se encuentra en el anexo 2.

5.3.1 Análisis de los datos obtenidos de las mezclas a partir de yuca

Como se ilustra en el cuadro 3, los productos obtenidos a partir de yuca presentan valores de alta significancia ($p \leq 0.01$) en ISA cuando interactúan las

variables Temperatura * Humedad inicial del producto; en IAA cuando interactúan las variables Revoluciones Por Minuto (RPM) * Humedad inicial del producto; y en IEEA cuando interactúan las variables Revoluciones por minuto (RPM) * Humedad inicial del producto.

Cuadro 3. Promedios obtenidos de la evaluación del suplemento a partir de yuca.

° C	RPM	ISA			
		H ° 25%		H ° 35%	
60-70	300	33.15	A	24.20	B
	400	34.60		24.36	
80-90	300	19.16	BC	19.85	C
	400	23.49		19.16	

° C	RPM	IAA			
		H ° 25%		H ° 35%	
60-70	300	4.84	A	3.42	C
	400	4.82	AB	4.11	CB
80-90	300	5.24	A	3.84	C
	400	4.66	AB	4.18	CB

° C	RPM	IEEA (w*h/kg)			
		H ° 25%		H ° 35%	
60-70	300	292.59	CB	260.17	C
	400	345.99	B	403.59	A
80-90	300	288.74	CB	227.04	C
	400	354.02	B	438.19	A

*Valores con igual letra no presentan diferencias altamente significativas.

Al realizar la prueba de rangos múltiples, se encontró que las alternativas disponibles para la selección de las condiciones de operación, para desarrollar el producto a partir de yuca son:

- 60-70° C / 300 RPM / 25% de humedad inicial = Caso 1
- 60-70° C / 400 RPM / 25% de humedad inicial = Caso 2
- 60-70° C / 300 RPM / 35% de humedad inicial = Caso 3

Con base en los resultados obtenidos de los promedios de las variables se seleccionaron 3 casos, como se indican en el Cuadro 4. Se llevó a escala piloto el caso 1.

Cuadro 4. Promedio de valores obtenidos para ISA, IAA e IEEA para los casos 1 y 2 en yuca.

Caso	ISA	IAA	IEEA (w*h/kg)
1	33.15	4.84	292.59
2	34.60	4.82	345.99
3	24.20	3.42	260.17

5.3.2 Análisis de los datos obtenidos de las mezclas a partir de batata

Para los productos obtenidos a partir de batata como se ilustra en el Cuadro 5, se presentan valores de alta significancia ($p \leq 0.01$) en ISA cuando interactúan las variables temperatura * RPM * Humedad inicial del producto.

Cuadro 5. Promedios obtenidos de la evaluación del suplemento a partir de batata.

° C	RPM	ISA			
		H ° 25%		H ° 35%	
60-70	300	24.94	BAC	23.65	BAC
	400	20.40	BAC	17.48	C
80-90	300	29.74	A	18.43	BC
	400	20.69	BAC	28.17	BA

° C	RPM	IAA			
		H ° 25%		H ° 35%	
60-70	300	3.60	-	3.80	-
	400	4.19	-	3.81	-
80-90	300	5.10	-	4.21	-
	400	5.38	-	4.50	-

° C	RPM	IEEA (w*h/kg)			
		H ° 25%		H ° 35%	
60-70	300	347.60	-	333.76	-
	400	428.13	-	451.51	-
80-90	300	335.27	-	294.08	-
	400	402.46	-	475.60	-

*Valores con igual letra no presentan diferencias altamente significativas.

Con los resultados arrojados se seleccionó una combinación de variables para desarrollar el suplemento a partir de batata, se encontraron dos alternativas:

- 80-90° C / 300 RPM / 25% de humedad inicial = Caso 1
- 80-90° C / 400 RPM / 35% de humedad inicial = Caso 2

Teniendo en cuenta que, a pesar de no presentar diferencias significativas, el IAA (Índice de Absorción de Agua) y el IEEA (Índice de Energía Específica Aplicada) son importantes en la decisión final de la selección de variables. Se decidió realizar un análisis de los efectos para las alternativas encontradas y, con base en los promedios de los datos ilustrados en el cuadro 6, se llevó a escala piloto el caso 1.

Cuadro 6. Promedio de valores obtenidos para ISA, IAA e IEEA para los casos 1 y 2 en batata

Caso	ISA	IAA	IEEA (w*h/kg)
1	29.74	5.10	335.27
2	28.17	4.50	475.60

5.4 Caracterización de los productos extrudidos seleccionados

5.4.1 Composición nutricional de los productos extrudidos seleccionados.

Los análisis realizados fueron: Contenido de proteína, cenizas, extracto etéreo (E.ET), fibra detergente ácida (FAD), fibra cruda (FC), fibra detergente neutra (FDN) y lignina. Estos análisis se desarrollaron en el laboratorio de servicios analíticos de CIAT.

Se hicieron análisis a los materiales obtenidos en los ensayos realizados en el equipo a escala de laboratorio instalado en CIAT y también a los materiales resultantes de la extrusión realizada a escala piloto en el equipo ubicado en “La Pampa S.A.”

Tabla 15. Composición química de los productos extrudidos seleccionados

Descripción	Hº (%)	Proteína (g/kg)	E.ET. (g/kg)	FAD (g/kg)	FC (g/kg)	FND (g/kg)	Lignina (g/kg)	Cen (g/kg)
Batata La Pampa S.A)	6.8	58.08	4.60	141.20	160.40	501.00	28.80	77.00
Yuca (La Pampa S.A)	7.0	51.45	5.60	140.00	170.80	427.20	33.80	40.40
Yuca (CIAT)	7.16	61.67	8.80	169.60	211.40	671.00	53.40	38.40
Batata (CIAT)	7.46	65.68	5.00	134.60	160.20	355.60	23.20	94.00

Fuente: Laboratorio de Servicios Analíticos de CIAT.

Al comparar los valores de las Tablas 15 y 12, se presentaron diferencias nutricionales en los resultados encontrados, al someter a extrusión los materiales de yuca y batata, se presenta una disminución en el contenido de humeado, esto permite una mayor concentración de los nutrientes, también se presentan

cambios en la proteína (disminución), en el contenido de lípidos (disminución), y de fibra, especialmente FDN (aumento).

Según Campabadal, 2001, al combinar el proceso de cocción y la fricción mecánica producida, se mejora la gelatinización de los almidones y la desnaturalización de las proteínas, produciéndose una mejora en la digestibilidad de la energía de las materias primas.

Herkelman et. al (1990) en Campabadal, 2001 encontraron que al extrudir maíz, no se mejora la utilización del nitrógeno o de la lisina, pero que ese maíz contiene un mayor nivel de energía digestible y Metabolizable que un maíz molido. También se encontró que el sorgo extrudido no tiene ningún efecto sobre la ganancia de peso de los animales (cerdos), pero sí mejora la conversión alimenticia de los cerdos en engorde, en un 5%. Este aumento en la conversión se ve acompañado de un incremento entre un 8 y un 23% en la digestibilidad de la materia seca y de la proteína respectivamente.

5.4.2 Análisis de la viscosidad de los productos extrudidos seleccionados.

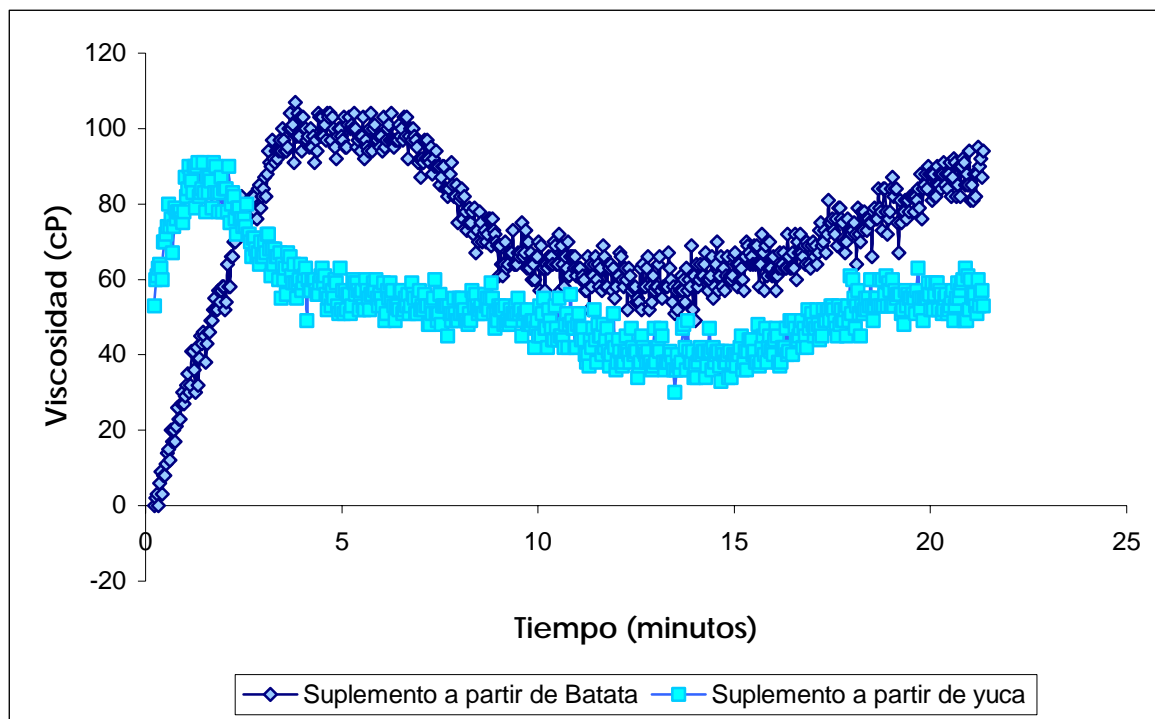
Se tomó una muestra de 100 gramos de cada materia prima utilizada y se envió al laboratorio de mejoramiento de yuca para determinar la viscosidad. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 16 y se grafican en la Figura 15.

Tabla 16. Resultados de los viscoamilogramas de los suplementos extrudidos seleccionados(10%)

Muestra	Temperatura de gelatinización (° C)	Viscosidad máxima (cP)	Inestabilidad del gel (cP)	Índice de gelificación (cP)
Yuca	-	91	49	15
Batata	-	104	40	17

Como se puede observar en la Figura 11 después de someter las materias primas al proceso de extrusión, la viscosidad de los geles disminuye drásticamente, esto se debe a la precocción generada en el equipo, los gránulos de almidón se gelatinizaron y perdieron su forma estructural original.

Figura 11. Viscosidad de productos extrudidos (10%)



Fuente: Laboratorio de mejoramiento de yuca – CIAT

5.4.3 Contenido de ácido cianhídrico del suplemento a partir de yuca antes de ser sometido al proceso de extrusión:

El cianuro total presente en las muestras provenientes del suplemento extrudizado a partir de la mezcla de 75% raíces y 25% de follaje de yuca, presento un valor de 104 ppm con 36 ppm de cianuro libre. Estos resultados no están muy alejados de los niveles permitidos por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), que en la Norma Técnica NTC 3258 del 2001

recomiendan niveles máximos de cianuro total en la yuca seca y en los subproductos destinados a la alimentación animal, sea de 100 ppm.

5.5 Costos de Producción de los suplementos extrudidos a partir de yuca y batata:

Se calcularon los costos de producción teniendo como base un equipo de extrusión con una capacidad de 70 kilogramos por hora, con un motor de 8 caballos de fuerza para el tornillo extrusor y otro de 0.5 caballos de fuerza para la alimentación. El costo de un equipo con estas características diseñado y fabricado en Colombia tiene un valor de \$60,000,000⁵

Para el manejo del equipo se necesita un operario bajo las siguientes condiciones laborales:

- Horas trabajadas por día = 8
- Días trabajados en la semana = 6
- Numero de semanas por mes = 4.33
- Total de horas al mes = 208
- Meses trabajados en un año = 11
- Salario Mínimo Legal Vigente (2006) \$408.000

Por lo cual el costo de mano de obra es de:

$(\$408,000 * 1.5 \text{ prestaciones laborales}) / 26 \text{ días-mes} = \$23,538.46 \text{ pesos / día.}$

Los costos por energía eléctrica están determinados por la energía (kwh) requerida por la planta, se tiene como base el precio de un kwh para estrato 3, cuyo valor es \$202.64.⁶

⁵ Información suministrada en Noviembre de 2005 por SANDHERZ INGENIERÍA LTDA. Teléfono (1) 4210731. Bogotá

⁶ Precio de referencia estrato 3 Empresas Municipales de Cali. 2006

La potencia requerida por el motor del tornillo es de 6.4 Kw (8hp) y la potencia requerida por el motor de la alimentación es de 0.4 Kw, con esto se puede decir que se necesitan 6.8 Kw por hora y el valor del costo de energía es de:

$$(\$202.64 \text{ pesos/Kwh}) * (6.8 \text{ Kw}) * (8 \text{ horas}) = \$11,023.62 \text{ pesos / día.}$$

El costo por mantenimiento corresponde al 4% anual sobre la inversión inicial de la planta y para este caso en particular es de:

$$(\$60,000,000 \text{ pesos} * 0.04) / (11 \text{ meses} * 26 \text{ días / mes}) = \$8,391.61 \text{ pesos / día}$$

Los costos por depreciación del equipo, fueron calculados teniendo en cuenta que la vida útil de equipo sea aproximadamente 10 años, con esto el costo de la depreciación es de:

$$\$60,000,000 \text{ pesos / 10 años} = 6,000,000 \text{ pesos / año}$$

$$\$6,000,000 / (12 \text{ meses} * 30 \text{ días}) = 16,667 \text{ pesos / día}$$

Con una producción de 70 k/h * 8 h/día se obtienen al final 560 k/día de producto procesado en el equipo a un costo de 157,080 pesos / día (280.5 pesos/k * 560 k/día). Las materias primas (mezcla de raíces y follaje de batata y yuca) tienen un costo de \$280.5 kilo (basado en información suministrada por Clayuca, 2006. Donde, el costo de un kilo de harina de raíces es de \$ 324 y, el costo de un kilo de harina de follaje es de \$150)

Con base en lo anteriormente expuesto, un kilogramo de suplemento nutricional a base de los materiales integrales de yuca y batata tendría un costo de \$384.96, como lo indica la Tabla 17.

Según datos reportados por FENVI-FONAV (promedio Ene-Nov, 2005), los costos de elaboración del suplemento, equivalen aproximadamente al 90% del costo del

maíz importado (\$432.014); y al 79% del costo del maíz producido en el país (\$489.128).

Tabla 17. Descripción de los costos de producción de los suplementos extrudidos a partir de yuca y batata.

items	Pesos / día
Mano de obra	23,538.46
Energía	11,023.62
Mantenimiento	8,391.61
Depreciación	16,667.00
Materia prima	157,080.00
Costo producción	216,700.69
Producción día	560 kilos
Costo suplemento (costo producción / producción día)	\$ 386.97/ kilo

5.6 Ejecución del ensayo biológico en la fase de levante de un ciclo de crecimiento biológico en pollos de engorde.

El documento con el análisis completo de los datos evaluados y las tablas estadísticas descriptivas se encuentra en el Anexo 3.

En la Tabla 18 se indican los costos variables y el beneficio neto encontrado en la fase de inicio con la inclusión de los suplementos extrudidos y sin extrudisar. Se tuvo en cuenta el peso final de los animales, el consumo de alimento y el costo por animal en un mercado rural.

Tabla 18. Costos variables y beneficio neto

Parámetros	Yuca sin extrudir	Yuca extrudida	Batata sin extrudir	Batata extrudida
Peso inicial (g)	48.70	46.99	48.77	45.78
Peso final (g)	298.08	336.31	299.00	350.92
Precio (450 g)	\$ 2000.00	\$ 2000.00	\$ 2000.00	\$ 2000.00
Beneficio Bruto campo (\$/kg)	1324.80	1493.22	1327.56	1558.08
Costos variables				
Consumo de alimento (g)	356.12	561.31	508.97	595.26
Costo kg alimento	\$ 695.59	\$ 918.38	\$ 897.72	\$ 920.51
Costo total alimento	\$ 318.94	\$ 515.50	\$ 456.91	\$ 547.94
Beneficio Neto	\$ 1004.54	\$ 977.72	\$ 670.65	\$ 1010.14

Como se muestra en la Tabla 19, para consumo se presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos. En el caso de CA las diferencias son levemente significativas y por ello la comparación múltiple usando el criterio de diferencia mínima significativa se realizó con un nivel de significancia de ($p \leq 0.10$). La variable peso no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 19. Promedio de los datos obtenidos durante el desarrollo de la fase experimental

Variables	Tratamiento			
	Yuca sin extrudisar	Yuca extrudida	Batata sin extrudisar	Batata extrudida
Peso inicial (g)	48.70	46.99	48.77	45.78
Peso final (g)	298.08	336.31	299.00	350.92
Ganancia de peso (g)	249.37	289.32	250.27	305.14
Consumo de alimento (g)	356.12 C	561.32 BA	508.97 B	595.26 A
CA	1.23 B	1.68 A	1.71 A	1.72 A

* Los valores con igual letra, no presentan diferencias altamente significativas.

Los mejores pesos (336.31 g y 350.92 g) y consumos (561.32 g y 595.26 g) alcanzados en este ensayo, se encontraron en los tratamientos donde se incluyó el suplemento extrudido de yuca y batata. Esto se puede dar porque después del proceso de extrusión, se reduce el nivel de finos o polvosidad, se da un incremento en la palatabilidad del producto y mejora la digestibilidad como lo manifiesta Campabadal (2001). A pesar que los pesos finales y los consumos de alimento fueron inferiores a los datos reportados por Vargas y Villegas (2005), quienes encontraron consumos de 944 g y pesos de 555 g para pollos alimentados con inclusiones del 50% de batata en la dieta para la fase de cría (de 1 a 21 días de edad) no se puede mencionar una responsabilidad directa a que el tipo de procesamiento influya sobre la ganancia de peso, mas bien, se debe tener en cuenta la calidad de las materias primas, que en el caso de este ensayo fueron adquiridas en locales comerciales en la ciudad de Palmira, donde no garantizan una optima calidad en el producto.

5.7 Dietas formuladas para tres especies de monogástricos.

5.7.1 Pollo de engorde

En la Tabla 20, se indican las materias primas utilizadas en la formulación de las dietas para pollo de engorde en la etapa de iniciación y de finalización con la inclusión de un suplemento nutricional con base en el uso integral de las plantas de yuca y batata.

Tabla 20. Dietas para pollo de engorde con inclusión de suplemento nutricional

Ingredientes	Cantidad en %			
	Fase de inicio		Fase de finalización	
Suplemento de yuca	40.00	----	40.00	----
Suplemento de batata	----	40.00	----	40.00
Torta de soya	14.09	14.35	----	12.32
Soya extruida	34.95	35.59	45.92	30.55
Sorgo (millo)	5.00	5.00	10.00	10.00
Fosfato bicálcico	0.77	1.27	0.35	0.74
Carbonato de calcio	0.45	0.36	0.31	0.29
Bicarbonato de soda	0.28	0.34	0.19	0.19
Aceite de palma	3.35	1.53	2.59	4.98
DL Metionina	0.22	0.29	0.11	0.23
L Lisina	0.21	0.29	0.08	0.19
Sal	0.37	0.33	0.33	0.33
Premezcla inicio	0.15	0.15	0.11	0.11
Relleno inactivo	0.15	0.51	-----	0.04
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: CLAYUCA 2006

5.7.2 Cerdos

En la Tabla 21, se indican las materias primas utilizadas en la formulación de las dietas para cerdos en la fase de engorde con la inclusión de un suplemento nutricional con base en el uso integral de las plantas de yuca y batata.

Tabla 21. Dietas para cerdos en la fase de engorde con inclusión de suplemento nutricional

Ingredientes	Cantidad en %	
Maíz amarillo	15.00	15.00
Suplemento de yuca	40.00	0.00
Suplemento de batata	0.00	40.00
Soya extruida	20.45	20.55
Salvado de arroz	5.00	5.00
Sorgo (millo)	15.00	15.00
Fosfato bicálcico	1.37	0.97
Carbonato de calcio	0.07	0.00
Aceite de palma	2.51	2.92
DL Metionina	0.03	0.03
Sal	0.31	0.31
Premezcla vitaminas	0.25	0.25
Total	100.00	100.00

Fuente: CLAYUCA 2006

5.7.3 Peces

En la Tabla 22, se indican las materias primas utilizadas en la formulación de las dietas para peces (tilapia roja) para un peso de 70 g hasta el peso de salida al mercado (350g – 450 g), con la inclusión de un suplemento nutricional con base en el uso integral de las plantas de yuca y batata.

Tabla 22. Dietas para tilapia roja con la inclusión de suplemento nutricional

Ingrediente	Cantidad en %	
maíz amarillo	5.10	5.14
Suplemento de yuca	40.00	0.00
Suplemento de batata	0.00	40.00
torta de soya	25.00	27.31
soya extruida	18.04	18.27
Harina de pescado	9.74	8.50
aceite de palma	1.51	0.00
DL-Metionina	0.03	0.10
L-Lisina	0.11	0.22
sal	0.27	0.27
premezcla Vitaminas y minerales	0.20	0.20

Fuente: CLAYUCA 2006

6. Conclusiones

- ☑ Es factible elaborar suplementos nutricionales para animales monogástricos, con el uso integral de las harinas de yuca y batata por medio de la tecnología de extrusión.
- ☑ Las condiciones de operación utilizadas [para yuca: 300 RPM; 60-70° C; 25% H₂O / para batata: 300 RPM; 80-90° C; 25% H₂O] y las características del equipo empleado, permitieron obtener un suplemento con mejores condiciones nutricionales y de palatabilidad.
- ☑ El proceso de extrusión genera cambios estructurales en el almidón de las harinas integrales de yuca y batata, esto se evidencio en la disminución de la viscosidad de los geles formados por los suplementos extrudidos.
- ☑ Cuando se incluyen suplementos nutricionales extrudidos en dietas de inicio para pollo de engorde y se comparan con un suplemento sin extrudir, se mejoran los consumos en las dietas con inclusión de los suplementos extrudidos.
- ☑ Es posible formular dietas para aves, cerdos y peces con suplementos nutricionales extrudidos a partir del uso integral de yuca y batata con un 40% de inclusión en el total de los ingredientes.

7. Recomendaciones

- Continuar desarrollando nuevos productos por medio de la tecnología de extrusión, aprovechando la gran versatilidad que brinda esta operación.
- Realizar pruebas de digestibilidad in vivo a los suplementos nutricionales obtenidos.
- Evaluar los suplementos obtenidos, en las diferentes especies monogástricas, para cada una de las fases productivas.

Bibliografía

Amontaldo, Ál (Compilador). La yuca frente al hambre del mundo tropical. Universidad central de Venezuela. Anauco ediciones, C.A. Caracas, Venezuela. 1996 570p

Acevedo, AF. Estudio del proceso de obtención de hojuelas precocidas de yuca utilizando la tecnología de secado – cocción en un secador de rodillos. Trabajo de grado.(Ingeniero Agroindustrial) Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 2005. 97p.

Argenti, P; Espinoza, F. 1999. Alimentación alternativa de cerdos. FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Instituto de Investigaciones Zootécnicas. Maracay. [citado en dic 2005] Disponible en:
<http://www.fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fd61/alimen.html>

Ayerbe, A. Efecto en el rendimiento productivo de cerdos en la etapa de acabado por el reemplazo del total del maíz por harina de yuca en la dieta. Trabajo de grado.(Ingeniero Agroindustrial) Universidad de San Buenaventura. Santiago de Cali – Colombia. 2002.

Badrei y Mellowes. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. En: Journal of food science. Vol 56, No.5. 1991. 1337p

Bolhuis, En Asociación Americana de Soya. Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales. 2001 México. 1954. 280p

Buitrago,J.A. La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 1990. 446p

Buitrago,J.A; Gil, J L;Ospina, B. La yuca en la alimentación avícola. Cuaderno avícola #14. FENAVI – FONAV. Bogota. 2001

Cadavid, L.F.. Producción de yuca. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 2005. 44p

Cadavid, LF; Alban, A; Gil, JL. 2004. Yuca y batata, una alianza de grandes proyecciones. Boletín electrónico de CLAYUCA, *clayucanet* [en línea][citado junio 20 de 2005] Disponible en:

http://www.clayuca.org/clayucanet/noticia_batata.htm

Campabadal, C. Y Navarro, H. Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales. Asociación Americana de Soya, México. México. 2001.280p

Castillo Campo, LF. La importancia de la tilapia roja en el desarrollo de la piscicultura en Colombia. [en línea]. Asociación Red Cauca [citado mayo 10 de 2005] Disponible en:

<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/new/TilapiaColombia.pdf>

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) CLAYUCA (Consortio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca) La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Compilado y dirigido por Bernardo Ospina y Hernán Cevallos. Cali, Colombia. 2002. 586p.

CLAYUCA. Promoción del uso de la yuca en las industrias de producción animal y de alimentos balanceados de América latina y el caribe. Cali, Colombia. 2001. 68p.

Cock, J. En YUCA: Investigación Producción y Utilización, Documento de trabajo # 50. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. s.f 656p

Contreras, Vicente R. 1993. La Batata, importancia y utilización. FONAIAP. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Táchira-Venezuela [citado Enero 15 2006] Disponible en:

<http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/fdivul/fd44/texto/batata.htm>

Espinal, CF; Martines, H; González, .2005. La cadena de la piscicultura en Colombia.[en línea] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocalendas, Colombia [citado mayo 20 de 2005] Disponible en:

http://www.agrocalendas.gov.co/piscicultura/documentos/caracterizacion_piscicultura.pdf

Espinal, CF; Martines, H; González, .2005. La agroindustria de alimentos balanceados para animales en Colombia. Documento de trabajo No.83.[en línea] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocalendas, Colombia [citado enero 22 de 2006] Disponible en:

http://www.agrocalendas.gov.co/documentos/agroindustria/agroindustria_alimentosbalanceados.pdf

FAO, Junio de 2004. Perspectivas alimentarias No.2; Deposito de documentos de la FAO. Departamento Económico y Social (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación– FAO). [citado enero 21 de 2006] Disponible en:

http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/007/J2518s/j2518s10.htm

FAO Statistical Databases, Disponible en: <http://faostat.fao.org/>

Gil, JL. Manual de cerdos “La yuca en la alimentación porcina”. Documento sin publicar. Clayuca. Palmira, Colombia. 2005.

Gómez, G., Santos y Valdivieso, M. Yuca: Investigación y producción, utilización. Centro internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Documento de trabajo No. 50. Cali, Colombia. 1979 . 656 p.

Hernández, Jimena A. Estudio comparativo de elaboración de croquetas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) mediante el método convencional e industrial y un método que incluye la producción de una harina precocida. Palmira, 2005. 122p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroindustrial) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingenierías.

Jones, Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales. México. En Asociación Americana de Soya. 1962. 280p

Leonard A Maynard, John K Lousil. Animal Nutrition. Mc Graw Hill.. New York. 1969. 638p

Miller, Robert. Sf. Operaciones Unitarias en procesos de extrusión. Aurburn, NY. [citado octubre 20 de 2005] Disponible en:
www.aces.uiuc.edu/asamex/m-extrusion.html

Ocoro, María Urany. Extrusión termoplástica de harina de yuca: Efectos de la variedad y de la presencia de cáscara en la harina. Santiago de Cali, 2005 75p. Trabajo de grado (Ingeniero químico) Universidad del Valle. Facultad de Ingenierías.

Pokniak, J; Cornejo, S; Galleguillos, C; Larraín CC; Battaglia, J. Efectos de la extrusión o peletización de la dieta de engorda sobre la respuesta productiva de la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) tamaño plato. Departamento de Fomento de la Producción Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Casilla 2, correo 15, Santiago, Chile. 1999.

Ramírez Ascheri, José Luís. Extrusão termoplástica de amidos e produtos amiláceos. Embrapa. Brazil. 1997. 43p.

Riaz, Mian N, Ph.D. Extruders in food applications. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania. 2000. 221p

Rios Franco, Carlos Andres, Los POT en las industrias del pollo y del huevo. Crecimiento avícola, desarrollo territorial. FENAVI-FONAV, Bogota, Agosto de 2005. 5p.

Smith, O.B. "History and status of specific protein – rich foods: Extrusion – processed cereal foods" en: Protein – enriched cereal foods for world needs. M. Milner, Ed. American Association of cereal chemists, St. Paul, MN, 1969 p. 140-153

Van de Fliert, sf. Farmer field school for integrated crop management of sweetpotato. Field guides and technical manual. Part III 96p.

Vargas y Villegas. Evaluación del uso de la harina de batata (*Ipomoea batatas* Lam) y de harina de yuca (*Manihot sculenta* Crantz) en dietas para pollos de engorde de 1 a 42 días de edad. Palmira, 2005. 64p. Trabajo de grado (Zootecnista) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias.

Vlainic, R; Ciriaco, P; Fernandez, M; Gomez, C; Reinoso, D. Utilización de harina de raíces de camote en reemplazo parcial del maíz en la alimentación de pollos de engorde. Departamento de nutrición y programa de investigación en aves. UNALM. Lima, Peru. 2003

Wee, K.L.; NG, L.T. Use of cassava as an energy source in a pelleted feed for the tilapia, *Oreochromis niloticus* L. Aquaculture and fisheries management 1986. 156p

Glosario

ABA: Alimento Balanceado para Animales

ACP: Asociación Colombiana de Porcicultores de Colombia

CA: Conversión alimenticia

CIP: Centro Internacional de la Papa

Chumacera: Tejuelo, cojinete del eje de una máquina.

CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical

Clayuca: Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca.

E.ET: Extracto etéreo.

FC: Fibra cruda.

FDN: Fibra detergente neutra

FDA: Fibra detergente ácida.

FENAVI: Federación Nacional de Avicultores de Colombia.

FNP: Fondo Nacional de la Porcicultura de Colombia

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

INIA: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas de Venezuela, antiguo

FONIAP: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela.

MADR: Ministerio de Desarrollo y Desarrollo Rural de Colombia.

Yuca forrajera: Cultivo de yuca dedicado exclusivamente a la producción de material aéreo, hojas y tallos de la parte superior de la planta.

Anexos

Anexo 1.

Determinación de los índices de Absorción de agua (IAA) y solubilidad en agua (ISA) como indicadores del grado de gelatinización de los almidones.

Materiales y equipos.

- a. Balanza analítica
- b. Vidrios reloj
- c. Espátula
- d. Beaker de 50 ml.
- e. Magnetos
- f. Plancha de agitación
- g. Cronómetro
- h. Tubos para centrífuga
- i. Centrífuga
- j. Cajas Petri
- k. Horno

Preparación de la muestra:

- a. Determinar el porcentaje de materia seca de la muestra
- b. Tamizar la muestra con el tamiz de 100 MESH de la serie Tyler (partículas de menos de 150 micras). Solo utilice el material del fondo de los tamices.

La normalización del tamaño de partícula de la muestra garantiza la eliminación de discrepancias en los resultados entre repeticiones, ocasionados por tamaños de partículas muy variables y que pueden afectar la solubilización del almidón de la muestra e agua.

Procedimiento.

- a. Pesar 2.5 gramos (peso seco) de harina
- b. Suspender y mezclar la muestra en 50 gramos de agua destilada en un beaker de 100 ml.
- c. Agitar la mezcla en la plancha de agitación utilizando un magneto por 30 minutos a 700 rpm por minuto.
- d. Obtener 2 alícuotas de 10 gramos por cada muestra obtenida del paso anterior, adicionándolas a los tubos para centrífuga (pesados previamente)

- e. Centrifugue a 3000 gX (5020 rpm) por 15 minutos.
- f. Decante el sobrenadante en cajas petri pesadas previamente, secar hasta peso constante a 110 Celsius en estufa y pese.
- g. Pese la gel retenida en los tubos.

Los valores de los pesos del material seco en las cajas petri y el gel de los tubos se emplean para conocer la cantidad de agua retenida y absorbida por los gránulos de almidón. Estos parámetros permiten calcular el IAA y el ISA.

Cálculos:

- $IAA = \text{peso (g) del gel} / \text{peso (g) muestra (peso real)}$
- $ISA = \text{peso (g) sólido seco} / \text{peso (g) muestra (peso real)}$

Anexo 2.

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS) ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE VARIABLES

The UNIVARIATE Procedure
Variable: ISA

Moments

N	64	Sum Weights	64
Mean	23.8411719	Sum Observations	1525.835
Std Deviation	6.14655632	Variance	37.7801546
Skewness	0.55106681	Kurtosis	-0.2919467
Uncorrected SS	38757.8442	Corrected SS	2380.14974
Coeff Variation	25.7812676	Std Error Mean	0.76831954

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	23.84117	Std Deviation	6.14656
Median	23.10000	Variance	37.78015
Mode	25.20000	Range	23.83500
		Interquartile Range	7.77000

Tests for Location: Mu0=0

Test	-Statistic-	-----p Value-----	
Student's t	t 31.03028	Pr > t	<.0001
Sign	M 32	Pr >= M	<.0001
Signed Rank	S 1040	Pr >= S	<.0001

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.957229	Pr < W	0.0263
Kolmogorov-Smirnov	D 0.085433	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.094022	Pr > W-Sq	0.1356
Anderson-Darling	A-Sq 0.6937	Pr > A-Sq	0.0706

Quantiles (Definition 5)

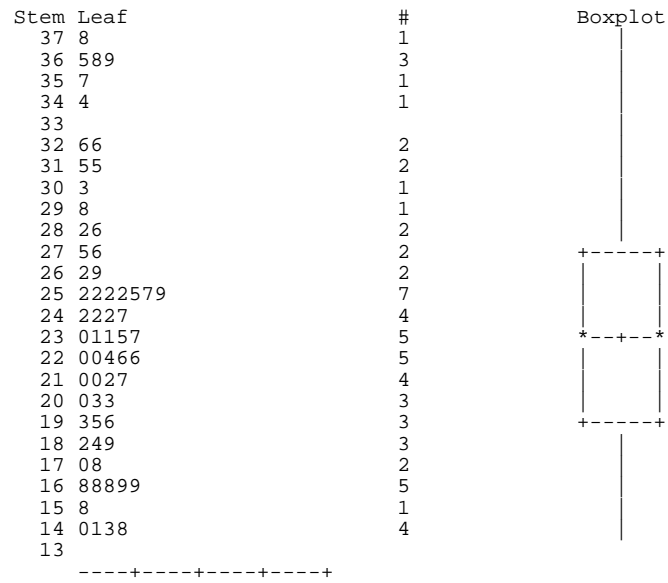
Quantile	Estimate
100% Max	37.800
99%	37.800
95%	36.540
90%	32.550
75% Q3	27.195
50% Median	23.100
25% Q1	19.425
10%	16.800
5%	14.805
1%	13.965
0% Min	13.965

Extreme Observations

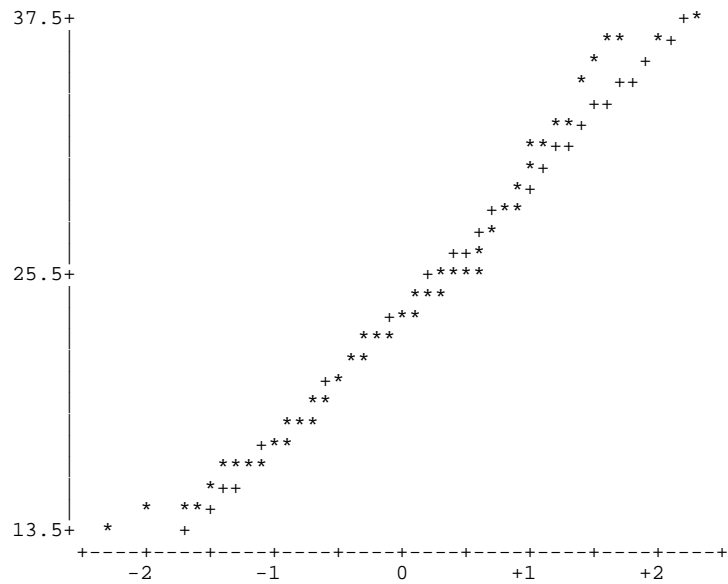
-----Lowest-----		-----Highest-----	
Value	Obs	Value	Obs
13.965	58	35.700	3
14.070	56	36.540	10
14.280	57	36.750	4
14.805	55	36.855	52
15.750	13	37.800	9

ANALISIS DE DATOS PARA (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE VARIABLES

The UNIVARIATE Procedure
Variable: ISA



Normal Probability Plot



ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE VARIABLES

The UNIVARIATE Procedure
Variable: IAA

Moments

N	64	Sum Weights	64
Mean	4.35523438	Sum Observations	278.735
Std Deviation	0.84695673	Variance	0.71733571
Skewness	-0.3232395	Kurtosis	-0.4328825
Uncorrected SS	1259.1484	Corrected SS	45.1921495
Coeff Variation	19.4468692	Std Error Mean	0.10586959

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	4.355234	Std Deviation	0.84696
Median	4.382000	Variance	0.71734
Mode	4.961000	Range	3.78000
		Interquartile Range	1.13950

Tests for Location: Mu0=0

Test	-Statistic-	-----p Value-----	
Student's t	t 41.13773	Pr > t	<.0001
Sign	M 32	Pr >= M	<.0001
Signed Rank	S 1040	Pr >= S	<.0001

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.978162	Pr < W	0.3145
Kolmogorov-Smirnov	D 0.100241	Pr > D	0.1084
Cramer-von Mises	W-Sq 0.09276	Pr > W-Sq	0.1404
Anderson-Darling	A-Sq 0.519853	Pr > A-Sq	0.1882

Quantiles (Definition 5)

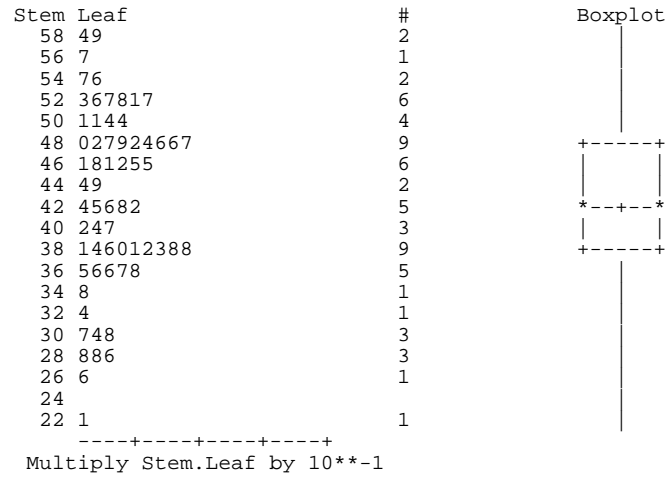
Quantile	Estimate
100% Max	5.9860
99%	5.9860
95%	5.5650
90%	5.3080
75% Q3	4.9640
50% Median	4.3820
25% Q1	3.8245
10%	3.1360
5%	2.8820
1%	2.2060
0% Min	2.2060

Extreme Observations

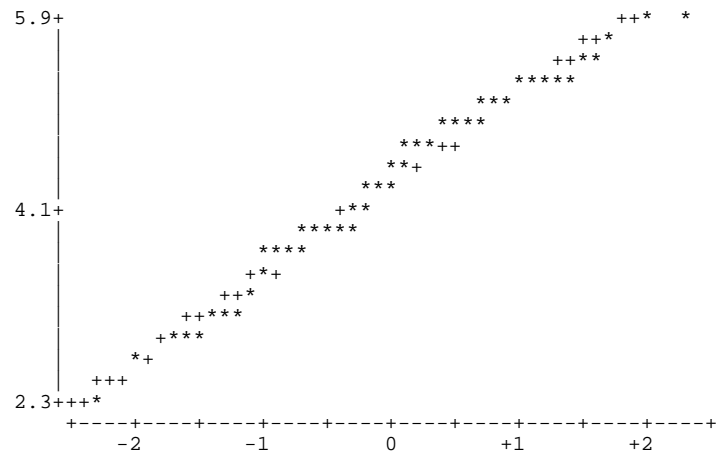
-----Lowest-----		-----Highest-----	
Value	Obs	Value	Obs
2.206	34	5.474	57
2.655	33	5.565	19
2.875	56	5.671	58
2.882	55	5.943	54
2.961	6	5.986	10

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE VARIABLES

The UNIVARIATE Procedure
Variable: IAA



Normal Probability Plot



ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE VARIABLES

The UNIVARIATE Procedure
Variable: IEAA

Moments

N	32	Sum Weights	32
Mean	354.920781	Sum Observations	11357.465
Std Deviation	79.0808573	Variance	6253.782
Skewness	-0.115875	Kurtosis	-0.6237171
Uncorrected SS	4224867.59	Corrected SS	193867.242
Coeff Variation	22.2812699	Std Error Mean	13.9796526

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	354.9208	Std Deviation	79.08086
Median	359.8185	Variance	6254
Mode	.	Range	297.02600
		Interquartile Range	119.75500

Tests for Location: Mu0=0

Test	-Statistic-	-----p Value-----	
Student's t	t 25.38838	Pr > t	<.0001
Sign	M 16	Pr >= M	<.0001
Signed Rank	S 264	Pr >= S	<.0001

Tests for Normality

Test	--Statistic--	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.976317	Pr < W	0.6877
Kolmogorov-Smirnov	D 0.086549	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.031111	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq 0.220952	Pr > A-Sq	>0.2500

Quantiles (Definition 5)

Quantile	Estimate
100% Max	501.797
99%	501.797
95%	479.606
90%	449.411
75% Q3	424.916
50% Median	359.819
25% Q1	305.161
10%	249.299
5%	205.318
1%	204.771
0% Min	204.771

Extreme Observations

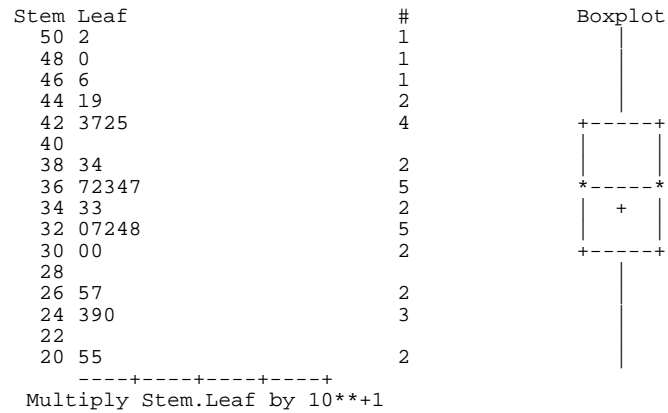
-----Lowest-----		-----Highest-----	
Value	Obs	Value	Obs
204.771	21	441.225	29
205.318	55	449.411	63
243.142	7	476.179	47
249.299	23	479.606	43
250.194	17	501.797	61

Missing Values

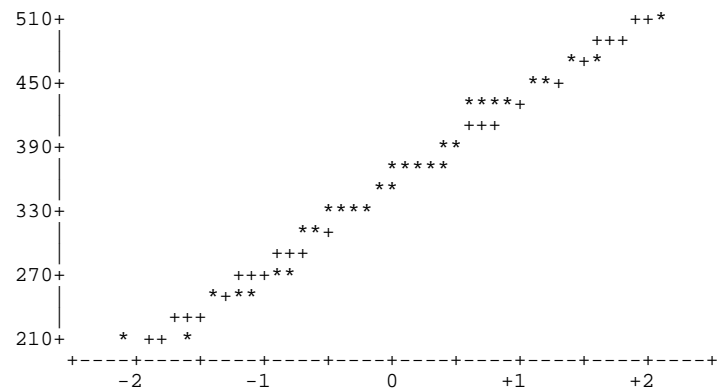
		-----Percent Of-----	
Missing Value	Count	All Obs	Missing Obs
.	32	50.00	100.00

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE LA DISTRIBUCION DE VARIABLES

The UNIVARIATE Procedure
Variable: IEEA



Normal Probability Plot



ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
TABLA DE ESTADISTICAS DESCRIPTIVAS

Cultivo Batata

		ISA											
		Humedad								GLOBAL			
		25%				35%							
		Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV
Temp 60-70	RPM												
	300	24.94	6.93	1.32	10.6	23.65	0.55	0.37	3.1	24.29	3.68	0.68	7.9
	400	20.40	15.83	1.99	19.5	17.48	0.56	0.37	4.3	18.94	9.46	1.09	16.2
	GLOBAL	22.67	15.65	1.40	17.5	20.56	11.37	1.19	16.4	21.62	13.79	0.93	17.2
80-90	RPM												
	300	29.74	31.28	2.80	18.8	18.43	21.63	2.33	25.2	24.08	59.25	2.72	32.0
	400	20.69	58.10	3.81	36.9	28.17	38.50	3.10	22.0	24.43	57.39	2.68	31.0
	GLOBAL	25.21	61.74	2.78	31.2	23.30	52.87	2.57	31.2	24.26	54.46	1.84	30.4
GLOBAL	RPM												
	300	27.34	22.97	1.69	17.5	21.04	17.30	1.47	19.8	24.19	29.38	1.36	22.4
	400	20.54	31.71	1.99	27.4	22.82	49.39	2.48	30.8	21.68	39.24	1.57	28.9
	GLOBAL	23.94	37.84	1.54	25.7	21.93	31.97	1.41	25.8	22.94	34.82	1.04	25.7

Cultivo Batata

		IAA											
		Humedad								GLOBAL			
		25%				35%							
		Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV
Temp 60-70	RPM												
	300	3.60	1.89	0.69	38.2	3.80	0.73	0.43	22.6	3.70	1.14	0.38	28.8
	400	4.19	0.26	0.26	12.2	3.81	0.01	0.05	2.4	4.00	0.16	0.14	9.9
	GLOBAL	3.90	1.02	0.36	25.9	3.80	0.32	0.20	14.8	3.85	0.63	0.20	20.6
80-90	RPM												
	300	5.10	0.07	0.13	5.2	4.21	2.47	0.79	37.3	4.65	1.32	0.41	24.6
	400	5.38	0.06	0.12	4.5	4.50	0.18	0.21	9.4	4.94	0.32	0.20	11.5
	GLOBAL	5.24	0.08	0.10	5.3	4.36	1.16	0.38	24.7	4.80	0.79	0.22	18.5
GLOBAL	RPM												
	300	4.35	1.48	0.43	28.0	4.00	1.42	0.42	29.8	4.18	1.39	0.29	28.2
	400	4.78	0.54	0.26	15.4	4.15	0.22	0.17	11.2	4.47	0.46	0.17	15.2
	GLOBAL	4.57	0.99	0.25	21.8	4.08	0.77	0.22	21.5	4.32	0.92	0.17	22.1

Cultivo Batata

		IEEA											
		Humedad								GLOBAL			
		25%				35%							
		Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV
Temp 60-70	RPM												
	300	347.60	49.38	4.97	2.0	333.76	2219.2	33.31	14.1	340.68	820.10	14.32	8.4
	400	428.13	5299.7	51.48	17.0	451.51	1216.9	24.67	7.7	439.82	2354.4	24.26	11.0
	GLOBAL	387.87	3944.6	31.40	16.2	392.63	5767.6	37.97	19.3	390.25	4168.9	22.83	16.5
80-90	RPM												
	300	335.27	17.36	2.95	1.2	294.08	15758	88.76	42.7	314.68	5823.9	38.16	24.3
	400	402.46	1706.8	29.21	10.3	475.60	1372.1	26.19	7.8	439.03	2809.7	26.50	12.1
	GLOBAL	368.86	2079.6	22.80	12.4	384.84	16693	64.60	33.6	376.85	8118.5	31.86	23.9
GLOBAL	RPM												
	300	341.44	72.95	4.27	2.5	313.92	6517.1	40.36	25.7	327.68	3040.6	19.50	16.8
	400	415.29	2555.1	25.27	12.2	463.56	1056.5	16.25	7.0	439.43	2213.4	16.63	10.7
	GLOBAL	378.36	2684.9	18.32	13.7	388.74	9643.5	34.72	25.3	383.55	5782.0	19.01	19.8

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
TABLA DE ESTADISTICAS DESCRIPTIVAS

Cultivo Yuca

		ISA											
		Humedad								GLOBAL			
		25%				35%							
		Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV
Temp 60-70	RPM												
	300	33.15	12.81	1.79	10.8	24.20	3.98	1.00	8.2	28.68	30.09	1.94	19.1
	400	34.60	9.27	1.52	8.8	24.36	34.57	2.94	24.1	29.48	48.73	2.47	23.7
	GLOBAL	33.88	10.06	1.12	9.4	24.28	16.53	1.44	16.7	29.08	36.95	1.52	20.9
80-90	RPM												
	300	19.16	0.77	0.44	4.6	19.85	0.11	0.17	1.7	19.50	0.51	0.25	3.7
	400	23.49	5.40	1.16	9.9	19.16	7.63	1.38	14.4	21.33	10.94	1.17	15.5
	GLOBAL	21.33	8.00	1.00	13.3	19.50	3.45	0.66	9.5	20.42	6.23	0.62	12.2
GLOBAL	RPM												
	300	26.16	61.75	2.78	30.0	22.02	7.18	0.95	12.2	24.09	36.72	1.51	25.2
	400	29.05	41.51	2.28	22.2	21.76	25.80	1.80	23.3	25.40	45.56	1.69	26.6
	GLOBAL	27.60	50.41	1.78	25.7	21.89	15.41	0.98	17.9	24.75	40.26	1.12	25.6

Cultivo Yuca

		IAA											
		Humedad								GLOBAL			
		25%				35%							
		Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV
Temp 60-70	RPM												
	300	4.84	0.02	0.08	3.2	3.42	0.17	0.21	12.2	4.13	0.66	0.29	19.7
	400	4.82	0.66	0.41	16.9	4.11	0.19	0.22	10.6	4.46	0.51	0.25	16.0
	GLOBAL	4.83	0.29	0.19	11.2	3.76	0.29	0.19	14.4	4.30	0.58	0.19	17.7
80-90	RPM												
	300	5.24	0.10	0.16	5.9	3.84	0.25	0.25	13.1	4.54	0.71	0.30	18.5
	400	4.66	0.36	0.30	12.9	4.18	0.41	0.32	15.4	4.42	0.40	0.22	14.3
	GLOBAL	4.95	0.29	0.19	10.9	4.01	0.32	0.20	14.1	4.48	0.52	0.18	16.1
GLOBAL	RPM												
	300	5.04	0.10	0.11	6.2	3.63	0.23	0.17	13.3	4.34	0.68	0.21	19.1
	400	4.74	0.45	0.24	14.1	4.14	0.26	0.18	12.3	4.44	0.42	0.16	14.7
	GLOBAL	4.89	0.28	0.13	10.8	3.89	0.30	0.14	14.1	4.39	0.54	0.13	16.7

Cultivo Yuca

		IEEA											
		Humedad								GLOBAL			
		25%				35%							
		Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV	Mean	Var	StdErr	CV
Temp 60-70	RPM												
	300	292.59	598.03	17.29	8.4	260.17	580.14	17.03	9.3	276.38	742.89	13.63	9.9
	400	345.99	1337.2	25.86	10.6	403.59	752.06	19.39	6.8	374.79	1802.6	21.23	11.3
	GLOBAL	319.29	1595.7	19.97	12.5	331.88	7300.6	42.72	25.7	325.59	3858.0	21.96	19.1
80-90	RPM												
	300	288.74	2971.0	38.54	18.9	227.04	991.37	22.26	13.9	257.89	2589.8	25.45	19.7
	400	354.02	811.20	20.14	8.0	438.19	18.43	3.04	1.0	396.10	2638.2	25.68	13.0
	GLOBAL	321.38	2681.3	25.89	16.1	332.61	15199	61.64	37.1	326.99	7698.9	31.02	26.8
GLOBAL	RPM												
	300	290.66	1194.6	17.28	11.9	243.60	889.89	14.92	12.2	267.13	1526.0	13.81	14.6
	400	350.00	737.61	13.58	7.8	420.89	655.76	12.80	6.1	385.45	2032.9	15.94	11.7
	GLOBAL	320.33	1834.2	15.14	13.4	332.25	9642.7	34.72	29.6	326.29	5393.8	18.36	22.5

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE VARIANZA PARA CADA CULTIVO

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
Temp	2	60-70 80-90
RPM	2	300 400
Humedad	2	25% 35%

Data for Analysis of ISA IAA

Number of Observations Read	32
Number of Observations Used	32

Data for Analysis of IEAA

Number of Observations Read	32
Number of Observations Used	16

NOTE: Variables in each group are consistent with respect to the presence or absence of missing values.

----- Cultivo=Batata -----

Dependent Variable: ISA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	559.349180	79.907026	3.69	0.0076
Error	24	520.181494	21.674229		
Corrected Total	31	1079.530674			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ISA Mean
0.518141	20.29879	4.655559	22.93516

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Temp	1	55.7436008	55.7436008	2.57	0.1219
RPM	1	50.3380695	50.3380695	2.32	0.1406
Temp*RPM	1	64.9657508	64.9657508	3.00	0.0962
Humedad	1	32.3107508	32.3107508	1.49	0.2340
Temp*Humedad	1	0.0698445	0.0698445	0.00	0.9552
RPM*Humedad	1	147.2542508	147.2542508	6.79	0.0155
Temp*RPM*Humedad	1	208.6669133	208.6669133	9.63	0.0049

Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Multiple Range Test for ISA

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	24
Error Mean Square	21.67423

Number of Means	2	3	4	5	6	7	8
Critical Range	8.8625621	9.6665326	10.101162	10.390785	10.603557	10.603557	10.90275

Means with the same letter are not significantly different.

REGWQ Grouping	Mean	N	TemxRPMxHum
A	29.741	4	80-90/300/25%
A			
B	28.166	4	80-90/400/35%
B			
B	24.938	4	60-70/300/25%
B			
B	23.651	4	60-70/300/35%
B			
B	20.685	4	80-90/400/25%
B			
B	20.396	4	60-70/400/25%
B			
B	18.428	4	80-90/300/35%
B			
B	17.476	4	60-70/400/35%
B			

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE VARIANZA PARA CADA CULTIVO

----- Cultivo=Batata -----

Dependent Variable: IAA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	11.36566588	1.62366655	2.29	0.0618
Error	24	17.03418800	0.70975783		
Corrected Total	31	28.39985388			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	IAA Mean
0.400202	19.48840	0.842471	4.322938

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Temp	1	7.20860450	7.20860450	10.16	0.0040
RPM	1	0.67919512	0.67919512	0.96	0.3377
Temp*RPM	1	0.00020000	0.00020000	0.00	0.9867
Humedad	1	1.90710450	1.90710450	2.69	0.1142
Temp*Humedad	1	1.24583113	1.24583113	1.76	0.1977
RPM*Humedad	1	0.15624050	0.15624050	0.22	0.6432
Temp*RPM*Humedad	1	0.16849012	0.16849012	0.24	0.6305

Dependent Variable: IEEA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	59090.10264	8441.44323	2.44	0.1170
Error	8	27639.49175	3454.93647		
Corrected Total	15	86729.59439			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	IEEA Mean
0.681314	15.32485	58.77871	383.5517

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Temp	1	717.85145	717.85145	0.21	0.6606
RPM	1	49951.46775	49951.46775	14.46	0.0052
Temp*RPM	1	635.73319	635.73319	0.18	0.6793
Humedad	1	430.44838	430.44838	0.12	0.7332
Temp*Humedad	1	125.68092	125.68092	0.04	0.8535
RPM*Humedad	1	5742.72207	5742.72207	1.66	0.2333
Temp*RPM*Humedad	1	1486.19888	1486.19888	0.43	0.5303

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE VARIANZA PARA CADA CULTIVO

----- Cultivo=Yuca -----

Dependent Variable: ISA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	1024.502259	146.357466	15.71	<.0001
Error	24	223.581488	9.315895		
Corrected Total	31	1248.083747			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ISA Mean
0.820860	12.33350	3.052195	24.74719

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Temp	1	600.3112500	600.3112500	64.44	<.0001
RPM	1	13.7812500	13.7812500	1.48	0.2357
Temp*RPM	1	2.0961281	2.0961281	0.23	0.6395
Humedad	1	260.7757031	260.7757031	27.99	<.0001
Temp*Humedad	1	120.7458000	120.7458000	12.96	0.0014
RPM*Humedad	1	19.8450000	19.8450000	2.13	0.1574
Temp*RPM*Humedad	1	6.9471281	6.9471281	0.75	0.3964

Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Multiple Range Test for ISA

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	24
Error Mean Square	9.315895

Number of Means	2	3	4
Critical Range	3.6399232	3.811104	4.2099082

Means with the same letter are not significantly different.

REGWQ Grouping	Mean	N	TempxHum
A	33.876	8	60-70/25%
B	24.281	8	60-70/35%
B			
B	21.328	8	80-90/25%
C			
C			
C	19.504	8	80-90/35%

Dependent Variable: IAA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	10.20202922	1.45743275	5.36	0.0009
Error	24	6.52350875	0.27181286		
Corrected Total	31	16.72553797			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	IAA Mean
0.609967	11.88269	0.521357	4.387531

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Temp	1	0.27176878	0.27176878	1.00	0.3273
RPM	1	0.08809503	0.08809503	0.32	0.5744
Temp*RPM	1	0.42067378	0.42067378	1.55	0.2255
Humedad	1	8.04506328	8.04506328	29.60	<.0001
Temp*Humedad	1	0.03118753	0.03118753	0.11	0.7378
RPM*Humedad	1	1.32397128	1.32397128	4.87	0.0371
Temp*RPM*Humedad	1	0.02126953	0.02126953	0.08	0.7821

ANALISIS DE DATOS (CLILEAN.SAS)
ANALISIS DE VARIANZA PARA CADA CULTIVO

----- Cultivo=Yuca -----

Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Multiple Range Test for IAA

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 24
Error Mean Square 0.271813

Number of Means 2 3 4
Critical Range 0.6217488 0.6509888 0.71911

Means with the same letter are not significantly different.

REGWQ Grouping	Mean	N	RPMx Hume
A	5.0399	8	300/25%
A			
B A	4.7380	8	400/25%
B			
B	4.1420	8	400/35%
C			
C	3.6303	8	300/35%

----- Cultivo=Yuca -----

Dependent Variable: IEEA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	72846.87273	10406.69610	10.33	0.0019
Error	8	8059.45347	1007.43168		
Corrected Total	15	80906.32620			

R-Square 0.900385
Coeff Var 9.727566
Root MSE 31.74006
IEEA Mean 326.2899

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Temp	1	7.94394	7.94394	0.01	0.9314
RPM	1	55993.52027	55993.52027	55.58	<.0001
Temp*RPM	1	1584.47783	1584.47783	1.57	0.2452
Humedad	1	567.98806	567.98806	0.56	0.4742
Temp*Humedad	1	1.85641	1.85641	0.00	0.9668
RPM*Humedad	1	13911.14097	13911.14097	13.81	0.0059
Temp*RPM*Humedad	1	779.94526	779.94526	0.77	0.4046

Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Multiple Range Test for IEEA

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 8
Error Mean Square 1007.432

Number of Means 2 3 4
Critical Range 61.564686 64.130903 71.872177

Means with the same letter are not significantly different.

REGWQ Grouping	Mean	N	RPMx Hume
A	420.89	4	400/35%
B	350.00	4	400/25%
B			
C B	290.66	4	300/25%
C			
C	243.60	4	300/35%

Anexo 3.

ANALISIS DE DATOS CONSUMO ANIMAL (CLCONANI.SAS) TABLA DE PROMEDIOS

	Consumo					Peso				
	N	Mean	Var	StdErr	CV	N	Mean	Var	StdErr	CV
Trat										
Batata extrudida	3	595.259	1023.03	18.466	5.4	3	350.923	3551.76	34.408	17.0
Batata sin extrudisar	3	508.967	596.423	14.100	4.8	3	299.000	594.750	14.080	8.2
Yuca extrudida	3	561.319	2396.71	28.265	8.7	3	336.313	2250.49	27.389	14.1
Yuca sin Extrudisar	3	356.125	1389.27	21.520	10.5	3	298.083	3094.15	32.115	18.7
GLOBAL	12	505.417	10118.4	29.038	19.9	12	321.080	2309.04	13.872	15.0

	CA				
	N	Mean	Var	StdErr	CV
Trat					
Batata extrudida	3	1.720	0.048	0.127	12.7
Batata sin extrudisar	3	1.708	0.014	0.069	7.0
Yuca extrudida	3	1.679	0.016	0.072	7.5
Yuca sin Extrudisar	3	1.235	0.104	0.186	26.1
GLOBAL	12	1.585	0.078	0.081	17.6

ANALISIS DE VARIANZA

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
Trat Extrudisar	4	Batata extrudida Batata sin extrudisar Yuca extrudida Yuca sin

Number of Observations Read 12

Dependent Variable: Consumo

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	100492.0278	33497.3426	24.79	0.0002
Error	8	10810.8646	1351.3581		
Corrected Total	11	111302.8924			

R-Square Coeff Var Root MSE Consumo Mean
0.902870 7.273359 36.76082 505.4174

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	3	100492.0278	33497.3426	24.79	0.0002

ANALISIS DE DATOS CONSUMO ANIMAL (CLCONANI.SAS)
ANALISIS DE VARIANZA

Dependent Variable: Peso

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	6417.15620	2139.05207	0.90	0.4817
Error	8	18982.29720	2372.78715		
Corrected Total	11	25399.45340			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Peso Mean
0.252649	15.17107	48.71126	321.0800

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	3	6417.156200	2139.052067	0.90	0.4817

Dependent Variable: CA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	3	0.49471092	0.16490364	3.63	0.0642
Error	8	0.36325000	0.04540625		
Corrected Total	11	0.85796092			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	CA Mean
0.576612	13.44047	0.213087	1.585417

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	3	0.49471092	0.16490364	3.63	0.0642

ANALISIS DE DATOS CONSUMO ANIMAL (CLCONANI.SAS)
ANALISIS DE VARIANZA

t Tests (LSD) for Consumo

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

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	8
Error Mean Square	1351.358
Critical Value of t	2.30600
Least Significant Difference	69.215

Means with the same letter are not significantly different.

t Grouping	Mean	N	Trat
A	595.26	3	Batata extrudida
A			
B	561.32	3	Yuca extrudida
B			
B	508.97	3	Batata sin extrudisar
C	356.13	3	Yuca sin Extrudisar

Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Multiple Range Test for Consumo

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	8
Error Mean Square	1351.358

Number of Means	2	3	4
Critical Range	82.333856	85.765799	96.118634

Means with the same letter are not significantly different.

REGWQ Grouping	Mean	N	Trat
A	595.26	3	Batata extrudida
A			
B	561.32	3	Yuca extrudida
B			
B	508.97	3	Batata sin extrudisar
C	356.13	3	Yuca sin Extrudisar

ANALISIS DE DATOS CONSUMO ANIMAL (CLCONANI.SAS)
ANALISIS DE VARIANZA

t Tests (LSD) for CA

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

Alpha	0.1
Error Degrees of Freedom	8
Error Mean Square	0.045406
Critical Value of t	1.85955
Least Significant Difference	0.3235

Means with the same letter are not significantly different.

t Grouping	Mean	N	Trat
A	1.7200	3	Batata extrudida
A			
A	1.7077	3	Batata sin extrudisar
A			
A	1.6793	3	Yuca extrudida
B	1.2347	3	Yuca sin Extrudisar

Ryan-Einot-Gabriel-Welsch Multiple Range Test for CA

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate.

Alpha	0.1
Error Degrees of Freedom	8
Error Mean Square	0.045406

Number of Means	2	3	4
Critical Range	0.3983103	0.4150823	0.4716985

Means with the same letter are not significantly different.

REGWQ Grouping	Mean	N	Trat
A	1.7200	3	Batata extrudida
A			
A	1.7077	3	Batata sin extrudisar
A			
A	1.6793	3	Yuca extrudida
B	1.2347	3	Yuca sin Extrudisar