

01673
1



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION**

**CARACTERIZACION NUTRICIONAL DE LOS SOLUBLES
RESIDUALES DE LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO
EN DIETAS PARA OVINOS ESTABILADOS.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN PRODUCCION
ANIMAL: NUTRICION
P R E S E N T A :
JESUS MANUEL CORTEZ SANCHEZ**

**DIRECTORES DE TESIS: QFB MSc ZOILA IRMA TEJADA CASTAÑEDA
MVZ MC JESUS SORIANO TORRES
COASESOR: MVZ MC ANTONIO DIAZ CRUZ**

MEXICO, D. F.

2003



A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS HIJOS:

ISAAC

BELEN

SAMUEL

Por ser el motor que da fuerza a
mi vida, día tras día.

Gracias infinitas te doy por
cada momento y día de mi
vida, gracias por tu amor y
bondad, gracias por que a
pesar de mis errores,
siempre estas a mi lado,
gracias por ser mi padre,
hermano, confidente y amigo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo, especialmente:

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado la beca para la realización de mis estudios.

A mi segunda casa, la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme ser parte de ella y darme las facilidades para desarrollarme como profesional.

Al CENID-Microbiología de la SAGARPA, por haberme abierto las puertas cuanto pense que estas estaban cerradas, mil gracias pues por ustedes pude realizar este trabajo.

A la planta MEXAMA, por permitir la recolección del producto y todas sus finas atenciones para conmigo.

A DEGUSSA Alemania y Centro de Control Agroindustrial por su apoyo en la realización de algunos análisis de laboratorio.

A la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal (AMENA) por darme de su tiempo para la realización de esta investigación.

Al departamento de Micotoxinas del CENID-Microbiología y a todo su personal.

A los departamentos de Nutrición Animal y Bioquímica, Farmacología y Fisiología de la FMVZ / UNAM por permitirme realizar parte de los análisis del presente estudio.

A mis asesores Dr. Jesús Soriano y Dra. Irma Tejada, gracias por estar siempre dispuestos a ayudarme y por compartir sus conocimientos, experiencias y amistad conmigo. Pero sobre todo gracias por insistir una y otra vez en la culminación del presente y por haberme acogido cuando estaba derrotado.

A mi jurado por todos y cada uno de sus comentarios tan valiosos que hicieron en la revisión del presente.

Al personal del US Grains Council, por enseñarme a entender la cara amarga de la vida, gracias por todos sus consejos y por el apoyo siempre brindado, y sobre todo gracias por ser mis amigos.

A Socorro Correa por apoyarme siempre

A la señora Aurelia Cruz, por su amistad y su desinteresado apoyo en todo momento.

A Carolina por sufrir a la par conmigo todo el trayecto para la realización del presente, gracias Caro por estar ahí cuando más lo necesite.

Finalmente quiero agradecer a todos aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo, pero que por el momento escapan de mi mente

C

I N D I C E

	Pagina
Indice de cuadros	III
Indice de figuras	V
Resumen	VII
Abstract	VIII
Introducción	1
Revisión de literatura	3
a) Ingredientes no comunes	3
b) Subproductos agroindustriales	3
c) Los cítricos y sus subproductos	5
d) Características generales de los hongos	8
e) El genero <i>Aspergillus</i>	12
d) Clasificación	14
e) Los hongos como beneficio	14
f) Estructuras somáticas	15
g) Productos de biosíntesis	18
h) Producción de ácido cítrico	18
i) Microbiología del ácido cítrico	19
j) Cultivo sumergido	21
k) Caracterización de los alimentos	26
l) Pruebas analíticas	26
m) Prueba de crecimiento	27
n) Composición corporal	27
ñ) SRPAC como recurso para la alimentación animal	28
Justificación	32
Objetivos	33
a) Objetivos específicos	33
Hipótesis	35
Material y métodos	36
a) Obtención de los SRPAC	36
b) Pruebas analíticas	36

PAGINACIÓN DISCONTINUA

c) Análisis químico proximal	37
d) Fracción de minerales y metales pesados	37
e) Fracciones de fibra	38
f) Acidez	38
g) Azúcares	38
h) Digestibilidad <i>in-vitro</i>	38
i) Aminograma	39
j) Diseño experimental	39
k) Digestibilidad	39
l) Diseño experimental	40
m) Periodo de adaptación	40
n) Prueba de comportamiento productivo	41
ñ) Diseño experimental	45
o) Evaluación de la composición de la canal	45
 Resultados y discusión	 47
a) Humedad	47
b) Proteína cruda	48
c) Extracto etéreo	49
d) Cenizas	49
e) Fracción mineral	57
f) Metales pesados	62
g) Fracciones de fibra	63
h) Acidez	67
i) Azucares	67
j) Aminoácidos totales	68
k) Digestibilidad <i>in vitro</i> y por recolección total de heces	70
l) Consumo de alimento	73
m) Ganancia diaria de peso	73
n) Mediciones post mortem	84

INDICE DE CUADROS

Cuadro Número		Página
1	Composición de las dietas experimentales	43
2	Análisis calculado y evaluado de las dietas experimentales	43
3	Composición de la premezcla mineral por kg	44
4	composición de la premezcla vitamínica por kg	45
5	Análisis químico proximal de los SRPAC (base húmeda)	51
6	Análisis químico proximal de los SRPAC (base seca)	52
7	Contenido de minerales presentes en los SRPAC (%BS)	59
7a	Diferencias estructurales entre los hongos, bacteria, plantas y animales	64
8	Fracciones de fibra de los SRPAC	65
9	Contenido (%) de aminoácidos totales en los SRPAC en comparación con sorgo, pasta de soya y alfalfa	68
10	Efecto del nivel de inclusión de los SRPAC, sobre el consumo diario promedio de materia seca en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados	80
11	Efecto del nivel de inclusión de los SRPAC, sobre la ganancia diaria de peso en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados	81

12	Efecto del nivel de inclusión de los SRPAC, sobre conversión alimenticia en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados	82
13	Efecto del nivel de inclusión de los SRPAC, sobre la eficiencia alimenticia en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados	83
14	Rendimiento en canal de borregos alimentados con diferentes niveles de SRPAC	85
15	Efecto de la inclusión de SRPAC en peso de la canal caliente y fría en borregos	86
	Conclusiones	87
	Literatura citada	89
	Apéndice	103

INDICE DE FIGURAS

Figura Número		Página
1	Diagrama de flujo para la industria de cítricos	6
2	Formación de hifas verdaderas	11
3	Pseudohifas	12
4	Reproducción en <i>Aspergillus niger</i>	16
5	Estructuras de los <i>Aspergillus</i>	17
6	Diagrama simplificado del proceso de producción de ácido cítrico por cultivo sumergido a partir de melazas	25
7	Concentración de materia seca y humedad en los SRPAC	53
8	Concentración de proteína cruda en los SRPAC	54
9	Concentración de extracto etéreo en los SRPAC	55
10	Contenido de cenizas en los SRPAC	56
11	Contenido de calcio, fósforo y magnesio (%) en los SRPAC	60
12	Contenido de Sodio, Potasio y cloro en los SRPAC	61
13	Representación química del <i>Aspergillus niger</i>	66
14	<i>Aspergillus niger</i>	69
15	Digestibilidad por recolección total de heces	72

16	Consumo de alimento (BS) de ovinos estabulados y alimentados con dietas adicionadas con SRPAC	75
17	Ganancia diaria de peso (por etapas) de ovinos estabulados y alimentados con dietas adicionadas con SRPAC	76
18	Ganancia diaria de peso (acumulada) de ovinos estabulados y alimentados con SRPAC	77
19	Eficiencia alimenticia de ovinos estabulados y alimentados con dietas adicionadas con SRPAC	78
20	Conversión alimenticia de ovinos estabulados y alimentados con SRPAC	79

R E S U M E N

Caracterización Nutricional de los Residuales Solubles de la Producción de Acido Cítrico en Dietas para Ovinos Estabulados.

Autor: **Jesús Manuel Cortéz Sánchez**; Directores de tesis: MSC. Zoila Irma Tejada Castañeda, MC Jesús Soriano Torres, Asesor: Antonio Díaz Cruz.

El objetivo del presente estudio consistió en determinar el potencial nutritivo de los residuales solubles de la producción de ácido cítrico (SRPAC), a través de las siguientes pruebas: Análisis químico pròximal (AQP), fracción mineral (Ca, P, Mg, Na, K, Cl y S), metales pesados (Cr, Cd, y Pb), fracciones de fibra, acidez, azúcares totales, aminograma y digestibilidad *In vitro*. Posteriormente se evaluaron como parte de una dieta en pruebas de digestibilidad aparente y de comportamiento en piso, finalizando con una evaluación de canal. Los RSPAC fueron recolectados de la planta MEXAMA, ubicada en la zona industrial de CIVAC en Jiutepec Morelos, tomando 50 muestras de fechas y lotes distintos, sometiéndolas a desecación en estufa de aire forzado a 50° C, para obtener la materia seca (MS), a la cual se le corrieron las pruebas antes citadas. Los resultados fueron: MS 17.07%, proteína cruda (PC) 2.16%, extracto etéreo (EE) 0.55%, cenizas (Cen) 0.16%, para el AQP., siendo significativa ($P < 0.05$) la fracción de Cen. La fracción mineral fue significativa ($P < 0.05$) para Ca y Na con 0.285% +/- 0.070 y 0.054% +/- 0.016 respectivamente, comportándose de manera similar el Cr, que tuvo variación altamente significativa. Las fracciones de fibra resultaron significativas para fibra detergente ácida (FAD) 68.47% +/- 4.87 y hemicelulosa, siendo mas marcada la diferencia en esta última con 12.10% +/- 2.12. No se detecto azúcares y la acidez (2.66) se mantuvo constante. Los SRPAC contienen todos los aminoácidos esenciales en baja cantidad: Lis 0.53%, Treo 0.59%, Iso 0.45%, Trip 0.19%, Val 1.04%, Leu 0.73, Arg 0.74%, Met 0.29% y Cist 0.20% en comparación con soya, pero superiores en comparación con sorgo, con excepción de leucina. Los SRPAC tienen 78% de digestibilidad *In vitro* ($P > 0.05$). Para la digestibilidad aparente se utilizaron 16 ovinos Dorset x Merino, (machos, peso inicial de 23 +/- 3kg) en cuatro tratamientos (0%, 15%, 30% y 45% de RSPAC en la dieta) con cuatro repeticiones por tratamiento en un diseño completamente al azar. No se encontró diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$), no obstante la inclusión del 15% de SRPAC presento una digestibilidad del 90.98%. En la prueba en piso se utilizaron 24 ovinos hembras Dorset x Merino, distribuidos al azar a cuatro tratamientos, para evaluar niveles de SRPAC (0%, 15%, 30%, y 45%) a una dieta isoproteica e isocalorica. La inclusión de SRPAC no mejoro consumo de alimento, ni ganancia diaria de peso; sin embargo, la conversión alimenticia favoreció al 15% de RSPAC, necesitando de 1kg. para 0.233kg. de PV teniendo una diferencia superior de 9.87, 4.72 y 16.30 para T1, T3 y T4 respectivamente Sin embargo no hubo efecto significativo por la inclusión de SRPAC. Se concluye que los SRPAC tienen un perfil nutritivo que varia en función del lote y hora de muestreo, que representa una fuente alterna de proteína y energía de bajo costo.

ABSTRACT

Nutritional characterization of soluble residuals from the production of citric acid in diets for confined sheep. Author: Jesús Manuel Cortéz Sánchez; Thesis Chairperson and Members: Zoila Irma Tejada Castañeda, M.S., Jesús Soriano Torres, M.S.; advisor: Antonio Díaz Cruz.

The objective of the present study consisted in determining the nutritional potential of soluble residuals originating from the production of citric acid (SRPAC), through the following assays: proximal chemical analysis (AQP), mineral fraction (Ca, P, Mg, Na, K, Cl and S), heavy metals (Cr, Cd and Pb), fiber fractions, acidity, total sugars, amino acid profile and *in vitro* digestibility. In addition, solubles were also evaluated as part of a diet with apparent digestibility trials and under farm conditions, including carcass evaluation. RSPAC were collected from the MEXAMA plant, located in the CIVAC industrial area of Jiutepec, Morelos, Mexico. A total of 50 samples were collected from different dates and batches. Samples were subjected to dehydration in a forced air muffler at 50°C, thus obtaining the dry matter (DM) content. The above mentioned assays were run on the dry samples, obtaining the following AQP results: 17.07% DM, 2.16% crude protein (CP), 0.55% ether extract (EE), 0.16% ash (Cen). Cen fraction was significant ($P < 0.05$). Mineral fraction was also significant ($P < 0.05$) for Ca and Na with 0.285% \pm 0.070, and 0.054% \pm 0.016, respectively. Cr also performed in a similar pattern, with a reported highly significant variation. Fiber fractions were also significant, such as acid detergent fiber (ADF) with 68.47% \pm 4.87, as well as hemicellulose, the latter with a much more pronounced difference at 12.10% \pm 2.12. No sugars were detected and acidity (2.66) was kept constant. RSPAC contain all essential amino acids in low concentrations: 0.53% Lys, 0.59% Thr, 0.45% Iso, 0.19% Trp, 1.04% Val, 0.73% Leu, 0.74% Arg, 0.29% Met, and 0.20% Cys, as compared to soybean meal. However, values are higher than sorghum, except for leucine. RSPAC have a 78% *in vitro* digestibility. Sixteen Dorset x Merino male sheep were used to determine apparent digestibility, with an initial weight of 23 \pm 3 kg, randomly allocated to 4 treatments (0%, 15%, 30%, and 45% RSPAC diet inclusion rate), with 4 replicates per treatment, in a completely randomized design. No statistical differences were found between treatments ($P < 0.05$). However, the 15% RSPAC inclusion rate showed a 90.98% digestibility. A total of 24 female Dorset x Merino sheep were used, in the field trial. Animals were randomly distributed to 4 treatments to evaluate different RSPAC inclusion rates (0%, 15%, 30%, and 45%) in an isocaloric and isoproteic diet. RSPAC inclusion rate did not improve neither feed consumption, nor daily weight gain. Nevertheless, the best feed conversion was obtained at 15% RSPAC inclusion rate. That is, only 1 kg was needed to obtain 0.233 kg of live weight, with a superior difference of 9.87, 4.72, and 16.30 for treatments 1, 3, and 4, respectively. However, there was no significant effect found for RSPAC inclusion rate in the ration. It is concluded that RSPAC has a nutritional profile that varies from batch to batch, and with sampling time, representing an alternative low-cost protein and energy source.

I. INTRODUCCION

La demanda de productos de origen animal aumenta en una proporción mayor que su oferta, debido a una deficiente y heterogénea estructura productiva con un desarrollo en extremo irregular, que no permite programar en forma eficiente un volumen de producción acorde con la demanda nacional.

La creciente demanda de carne de ovino y la mayor necesidad de abastecer al mercado nacional con productos de superior calidad, ha traído como consecuencia el interés del productor de corderos por diversificar su explotación o bien iniciar engordas en corral. Sin embargo, en nuestro país la ganadería ovina conserva su carácter rústico extensivo y de baja adopción de tecnología en 90 % de las unidades productivas comunales o ejidales; la producción de carne es un proceso lento y no redituable ya que los borregos alcanzan el peso al sacrificio (30-40 kg) entre uno y dos años de edad, debido a las grandes deficiencias en su alimentación (Wilson, 1987).

La situación actual del mercado hace que la producción de carne tenga mayor importancia que la producción de lana, por lo que se ha considerado que la engorda de corderos se realice en praderas cultivadas con elevada producción de forraje de buena calidad nutritiva (González, 1992) o bien, en confinamiento alimentando a los animales con granos, pastas de oleaginosas, forrajes frescos y henificados u otros subproductos (Cuéllar, 1993). Sin embargo, el alto precio de éstos hace del sistema en confinamiento una práctica no rentable en la mayoría de los casos lo que obliga a buscar formas de producir a costos más bajos con un doble propósito, permitir ingresos adicionales a

los núcleos rurales y ofrecer precios más bajos a los consumidores (Alonso et al., 1989).

Los ingredientes no convencionales son recursos con un elevado potencial para su empleo en la alimentación animal (SARH, 1988), aunque su uso en la alimentación de rumiantes es muy reducido debido a dificultades en el manejo, recolección, transporte, almacenamiento y su composición química que en gran medida determina su calidad nutricional (Castañeda y Monroy, 1984).

La búsqueda de nuevas fuentes de alimentos para los sistemas de producción animal y las distintas especies animales, ha sido estudiado durante la última década, por las grandes organizaciones mundiales de alimentos y por pequeños grupos de investigadores de países en desarrollo.

Estos estudios se han enfocado a conocer el origen de los recursos, su producción en distintos ecosistemas, composición química y valor nutritivo, factores que afectan su digestibilidad, biodisponibilidad de los nutrimentos, y su posible aprovechamiento en la alimentación animal.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar nutricionalmente un subproducto de desecho, de la industria productora de ácido cítrico, como posible alternativa en la alimentación de ovinos estabulados.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Ingredientes no comunes.

Existen ingredientes no comunes que se han utilizado en la alimentación animal por muchos años, como suplemento de la dieta básica de forrajes para proveer la materia seca y nutrientes necesarios para el animal. Además, es una forma económica y práctica de utilizar su biomasa, evitando su descarga al ambiente.

La poca disponibilidad de tecnología impide la utilización de la mayoría de los recursos no comunes, y constituye una principal limitante para su uso más amplio en la alimentación de animales domésticos (Bressani, 1992).

Para estudios el grupo de ingredientes no comunes se puede dividir en cuatro categorías:

- 1) Subproductos agroindustriales
- 2) Leguminosas de grano - no usuales o no comunes
- 3) Frutos y cortezas de arboles
- 4) Subproductos de fermentación

Para efectos del presente estudio únicamente se hará mención al primer grupo.

2.2 Subproductos agroindustriales

Los subproductos agroindustriales son ricos en energía y bajos en proteína, tienen una alta densidad energética y valores relativamente altos en fibra; aquí se incluye granos

completos no demandados para no rumiantes, los desechos de la molienda de granos, cáscara y pulpa de cítricos, plátano, piña, mandioca (yuca), subproductos de la caña de azúcar, de café y otros (Shultz, 1995).

Los ingredientes húmedos están limitados por su contenido de agua y susceptibilidad a la fermentación en un clima cálido. Dentro de éstos se incluye el suero de leche, bagazo de cervecera, desechos de frutas, vegetales y los solubles residuales de la producción del ácido cítrico, y otros. Debido a diferencias en materia seca (MS), se requieren cerca de 12 L de suero para igualar el valor de un kg de maíz (FAO, 1976).

Cuando las distancias de transportación son cortas, los subproductos agroindustriales parcialmente deshidratados son excelentes alimentos de bajo costo, pero no lo son cuando la distancia es larga. Los subproductos de los cítricos son una fuente importante de nutrimentos para los rumiantes, ya que se producen en grandes cantidades y la recolección suele coincidir con la temporada seca; además, parece obvio el potencial que representan para la ganadería nacional (Gohl, 1973). Los subproductos agroindustriales pueden representar hasta 50 % de la dieta para vacas lecheras altas productoras, mientras que pueden ser sólo 10 % para animales en pastoreo (Shultz, 1995).

Al utilizar los subproductos agroindustriales de manera económica y práctica, se puede reducir los costos de producción hasta en 40 %. En cada caso la porción tosca de la ración ofrece cierta cantidad de MS, proteína, energía,

vitaminas y minerales, que puede amortizar los costos de producción; sin embargo, es necesario un análisis preciso de esta fracción para una mejor selección del subproducto (Frank; 1977; Méndez, 1990; Alonso et al., 1989).

2.2.1 Los cítricos y sus subproductos.

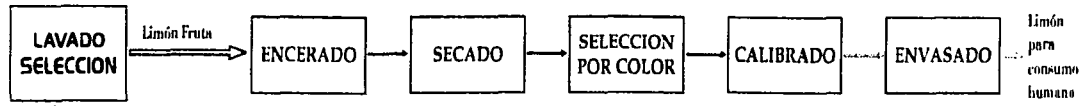
Las especies de cítricos de mayor importancia en México son la naranja dulce (*Citrus sinensis*), limón mexicano (*Citrus aurantifolia*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) (Ramírez, 1982; Claverón, 1984)).

México aporta 5 % de la producción mundial de cítricos, genera 1.4 % de la exportación de fruta fresca e industrializada y 2.5 % de la producción. En el país los cítricos ocupan 226,000 ha que representan 30 % de la superficie dedicada al cultivo de frutales (INEGI, 1991). Del total producido en México, aproximadamente 60 % es destinado a consumo fresco y el resto es industrializado de la manera que se muestra en la figura 1 (Fideicomiso del limón, 1985).

Los productos obtenidos de su industrialización son los siguientes:

a) Aceites esenciales destilados los cuales se utilizan en la elaboración de refrescos embotellados, saborizantes, y aditivos que imprimen aromas a lociones, etc.

b) Aceites esenciales desterpentados que se usan en la elaboración de saborizantes.



PROCESO NO. 2

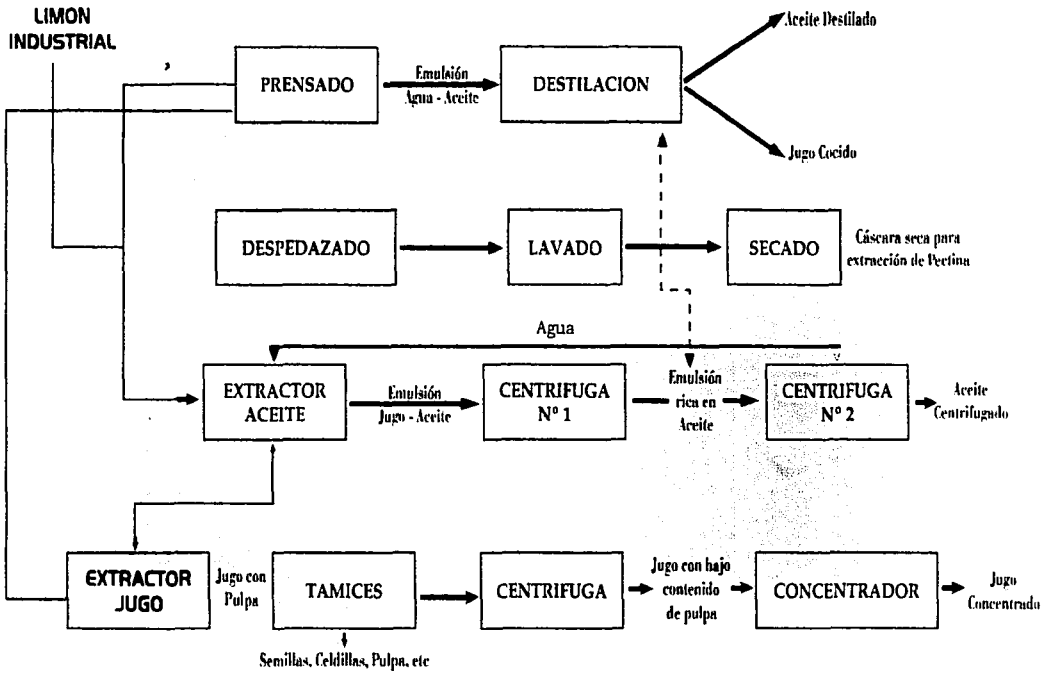


FIG. 1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA INDUSTRIA DE CITRICOS

c) Jugo simple, jugo concentrado y jugo en polvo que se emplea como sustituto en la elaboración de preparados para limonadas, jaleas y para balancear la acidez de los jugos enlatados.

d) Cáscara deshidratada que se utiliza como materia prima para la extracción de citrato de sodio, ácido cítrico, y pectina que pueden generar líquidos azucarados y se utilizan en la industria farmacéutica.

e) Pulpa fresca y deshidratada.

El insumo principal de las 53 plantas procesadoras de cítricos en México, es fruta de desecho posterior a la selección y fruta recogida del suelo en huertos. Debido a esto, gran parte de los subproductos generados de la industrialización de los cítricos, se obtienen sin su utilización, lo que se logra usando varias especies de hongos o bacterias (Bu'Lock y Kristiansen, 1991).

Éstas son usadas en procesos industriales para obtener ácidos orgánicos como cítrico, glucónico e itacónico (Joklik et al., 1991), además de la producción de metabolitos secundarios como agentes anti-bacterianos, transformación de esteroides, producción de enzimas extracelulares como amilasas, pectinas y proteasas, usadas en la industria panadera y en la extracción de jugo de frutas (Miall, 1977; Davis, 1990).

2.3 Características generales de los hongos.

Los hongos son organismos eucariontes, con núcleos bien organizados, cuya membrana nuclear está bien definida. Existen dos tipos de células fúngicas. Primero las somáticas, que contienen núcleos muy pequeños y su proceso de división es por mitosis ordinaria, en las hifas septadas se observa generalmente un núcleo por cada célula; en las no septadas o cenocíticas, los núcleos se encuentran en el citoplasma distribuidos más o menos uniformemente (Herrera y Ulloa, 1990).

El segundo tipo de células son las reproductoras, que contienen núcleos mucho más grandes y su división celular es por meiosis, observándose inclusive husos cromáticos y placas metafásicas no muy diferentes a las que se presentan en las células filogenéticamente más evolucionadas; los hongos casi siempre son pluricelulares, pero también hay unicelulares como las levaduras (Burnett, 1976; Rhodes y Fletcher, 1969).

Al igual que otros eucariontes, los hongos poseen mitocondrias y sistema endomembranoso (retículo endoplásmico y aparato de Golgi). La membrana celular basal está bien organizada y contiene gran cantidad de esteroides, propiedad que los hace muy diferentes, de aquí el mecanismo de acción de algunos fungistatos como los polienos e imidazoles que bloquean su formación y, por tanto, dejan membranas defectuosas (Louisot, 1977).

La pared celular básicamente está formada por quitina (N-acetil glucosamina), celulosa, glucanos y mananos, que dan

rigidez a la pared celular y son importantes en la taxonomía y propiedades antigénicas. La pared celular fúngica es diferente a la de otros organismos; así las bacterias están formadas por derivados N-acetil murámico y N-acetil neuramínico, los vegetales por celulosa y derivados, y los insectos y crustáceos por quitina.

Los hongos no poseen cloroplastos y no son fotosintéticos; su nutrición es por absorción de sustancias orgánicas simples o elaboradas, y es de dos maneras: como saprofitos cuando toman sus nutrientes de materias orgánicas muertas o en descomposición, y como parásitos cuando se nutren de materia viva, inclusive hay algunos que llegan a ser parásitos facultativos u obligados. Por esta propiedad los hongos son heterotrofos, por que no pueden manufacturar sus propios nutrientes y sus fuentes primordiales son bióxido de carbono, agua, sales de nitrógeno y de carbohidratos, sobre todo glucosa, sacarosa y maltosa, además de minerales esenciales (Muller).

Los hongos pueden sintetizar vitaminas necesarias para su crecimiento y producción; sin embargo, hay especies que llegan a ser deficientes en éstas y las requieren del medio externo, sobre todo con tiamina y biotina. Además pueden almacenar ácidos grasos, acil-gliceroles y glucógeno en vacuolas (Griffin, 1981).

Existen condiciones óptimas de crecimiento para cada especie, la mayoría de los hongos crece entre 0 y 55 °C con un intervalo entre 20 y 30 °C; a diferencia de las bacterias, los

hongos son acidófilos y su pH óptimo es 5.6; para la mayoría la luz no es vital, pero para muchas especies tiene una función importante en la esporulación. La mayoría de los hongos macroscópicos y microscópicos están formados por estructuras filamentosas, su unidad funcional se denomina hifa o filamento, y al conjunto de ellas se le llama **MICELIO** o talo (Hernández, 1995).

Por su origen las hifas se dividen en dos:

a) Hifas verdaderas, son propias de los hongos filamentosos y se forman a partir de la germinación de una conidia o espora (figura 2).

b) Pseudohifas las que son propias de los hongos levaduriformes y se forman a partir de gemaciones (blastosporas); éstas no se desprenden de la célula madre y posteriormente sufren elongaciones, hasta dar origen a una estructura similar a la hifa verdadera, regularmente se forman cuando el medio nutricional es pobre o tenso, por ejemplo al parasitar (figura 3).

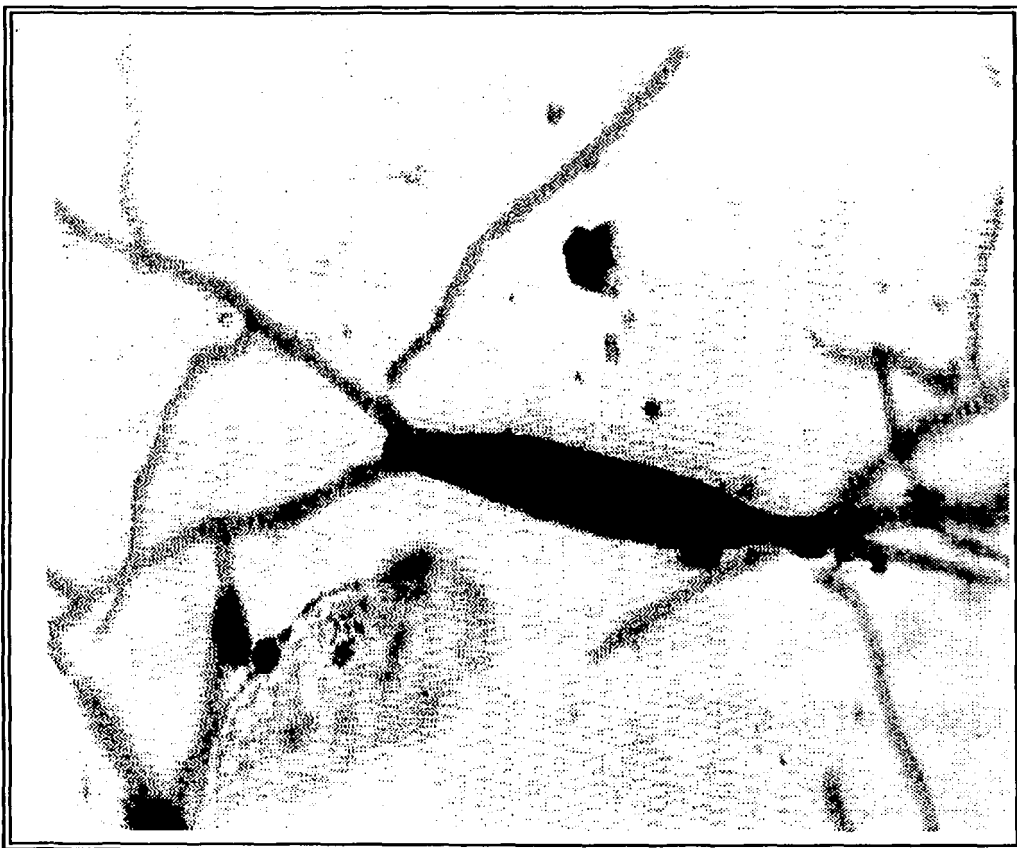


Figura 2. **Formación de hifas verdaderas**
(Herrera y Ulloa, 1990)



Figura 3. **Pseudohifas** (Herrera y Ulloa, 1990)

2.4 El genero *Aspergillus*.

El género *Aspergillus* se encuentra desde las regiones árticas hasta el ecuador. El aire parece tener conidias de estos organismos, lo cual se puede comprobar exponiendo al aire una caja de Petri con el medio de cultivo apropiado. En el suelo es factible encontrar dichas esporas, aunque nadie ha

determinado con certeza si tienen una función importante en su ecología. Sin embargo, en el medio ambiente se puede encontrar poco más de 30 especies de *Aspergillus sp* (Vanden et al., 1988).

Los hongos de este género son los más omnívoros conocidos, pueden utilizar como alimento una enorme variedad de sustancias debido al gran número de enzimas que pueden producir para degradarlas. Es fácil encontrar un substrato con algo de materia orgánica y poca humedad donde puede crecer *Aspergillus sp*; de ahí su alto grado como contaminante. Este hongo afecta la vida cotidiana en una gran diversidad de formas, frecuentemente se le encuentra en productos alimenticios como frutas, pan, nueces, queso, mantequilla, etc. En microbiología causa considerables problemas como contaminante común en cultivos de bacterias o de otros hongos. En climas tropicales la gente tiene que mantener su guardarropa tan seco como sea posible para prevenir que ropa y zapatos sean cubiertos por un espeso crecimiento de *Aspergillus sp*. (Smith, 1994; Wilson, 1980). Los requisitos principales que deben tener los substratos para desarrollar estos hongos, son la presencia de algún tipo de materia orgánica y un poco de humedad; así pueden crecer casi en cualquier sustancia (Bauer, 1978; Alexupulos, 1962; Thom y Rapper, 1945; Smith, 1994).

2.4.1 Clasificación

Phylum (División)-----Tallophyta
Subphylum-----Eumycetes
Clase-----Ascomycetes
Orden-----Moniliales
Familia-----Eurotitiaceae
Género-----Aspergillus

(García, 1982)

2.4.2 Los hongos como beneficio

Desde el descubrimiento de la penicilina se ha recibido beneficios de los hongos y se ha desarrollado una gran industria para el descubrimiento, investigación, separación y comercialización de nuevos antibióticos como, por ejemplo, Fumigalina de *Aspergillus niger*. Los hongos forman una serie de metabolitos intermedios o finales. Debido a su gran actividad enzimática el género *Aspergillus*, es utilizado en procesos bio-sintéticos para la elaboración comercial de productos que abarcan desde ácidos orgánicos hasta enzimas, antibióticos y alimentos fermentados de varias clases (Otmer, 1979).

El ácido cítrico y glucónico son sintetizados en escala industrial utilizando cultivos seleccionados de *Aspergillus niger*, comúnmente llamados "hongos negros". Estos hongos filamentosos pueden ser afectados por factores extrínsecos como temperatura, pH y composición de los gases, los que poseen una profunda influencia sobre su crecimiento y biosíntesis de micotoxinas. La actividad del agua puede afectar la germinación (Burnett, 1976; Griffffin, 1981;

Hernández, 1995).

Aspergillus niger crece normalmente en temperaturas entre 15 y 30 °C; sin embargo, algunas cepas pueden crecer a temperaturas más altas o sobrevivir a 4 °C. Los niveles de pH son difíciles de controlar, ya que el crecimiento fúngico lo afecta, aunque para *A. niger* esto no es problema dado que puede crecer en un intervalo de 1.5 a 9.8 (Hernández, 1995; Vanden y Mackenzie, 1988; Otmer, 1979).

2.4.3 Estructuras somáticas.

El micelio de *A. niger* es parecido al de muchos otros hongos. Las hifas son bien desarrolladas, profusamente ramificadas, septadas, y hialinas; sus células son como regla, multinucleadas. Mientras permanece joven y vigoroso, el micelio produce abundantes conidiosporas. Estas no están organizadas de modo alguno, simplemente surgen de la hifa (Herrera y Ulloa, 1990; Griffin, 1981). Las células de la hifa que se ramifican para dar lugar al conidióforo se llaman en conjunto, célula basal. Los conidióforos son largos, rectos y terminan en el bulbo o vesícula (Thom y Rapper, 1945). A medida que se desarrolla la vesícula, se produce un gran número de esterigmas sobre toda su superficie, cubriéndola completamente. De acuerdo a la superficie, se pueden producir una o dos capas de esterigmas (figuras 4 y 5) Kappor, 1982.

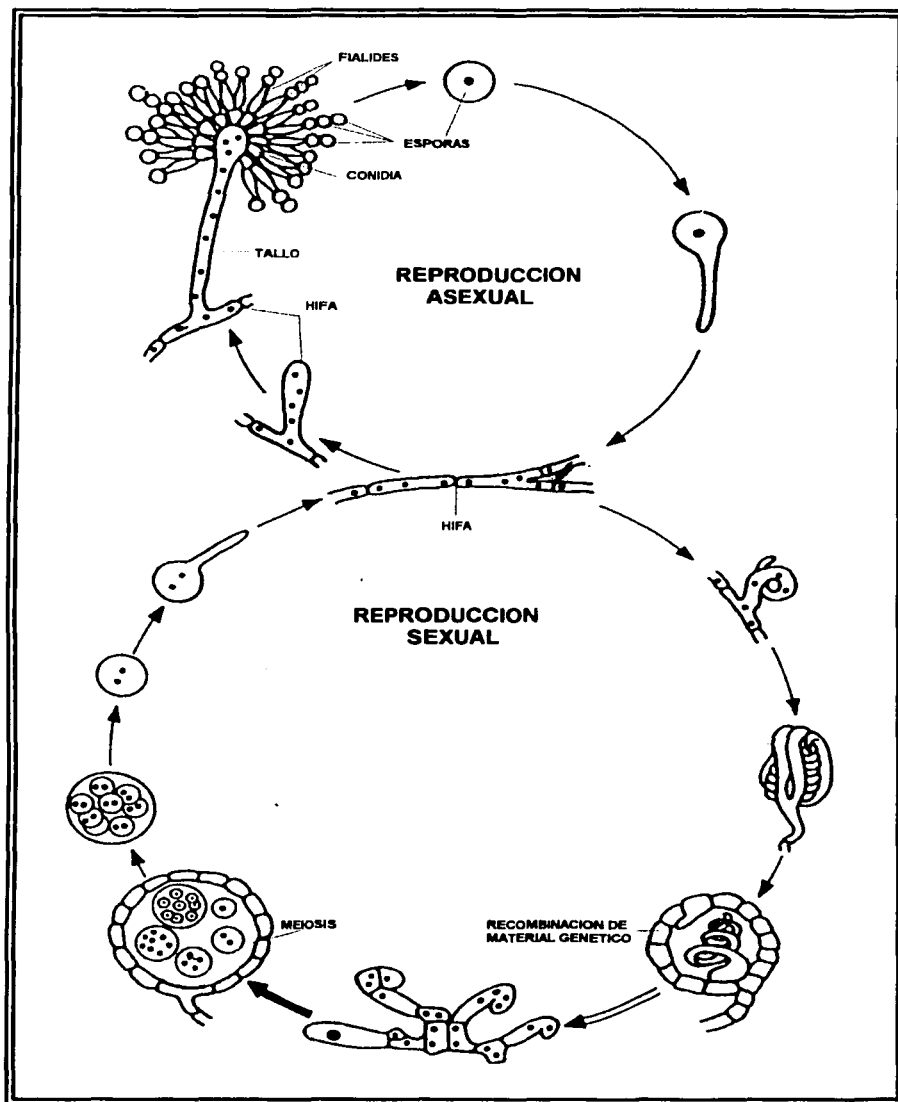


Figura 4. Reproducción en *Aspergillus niger*

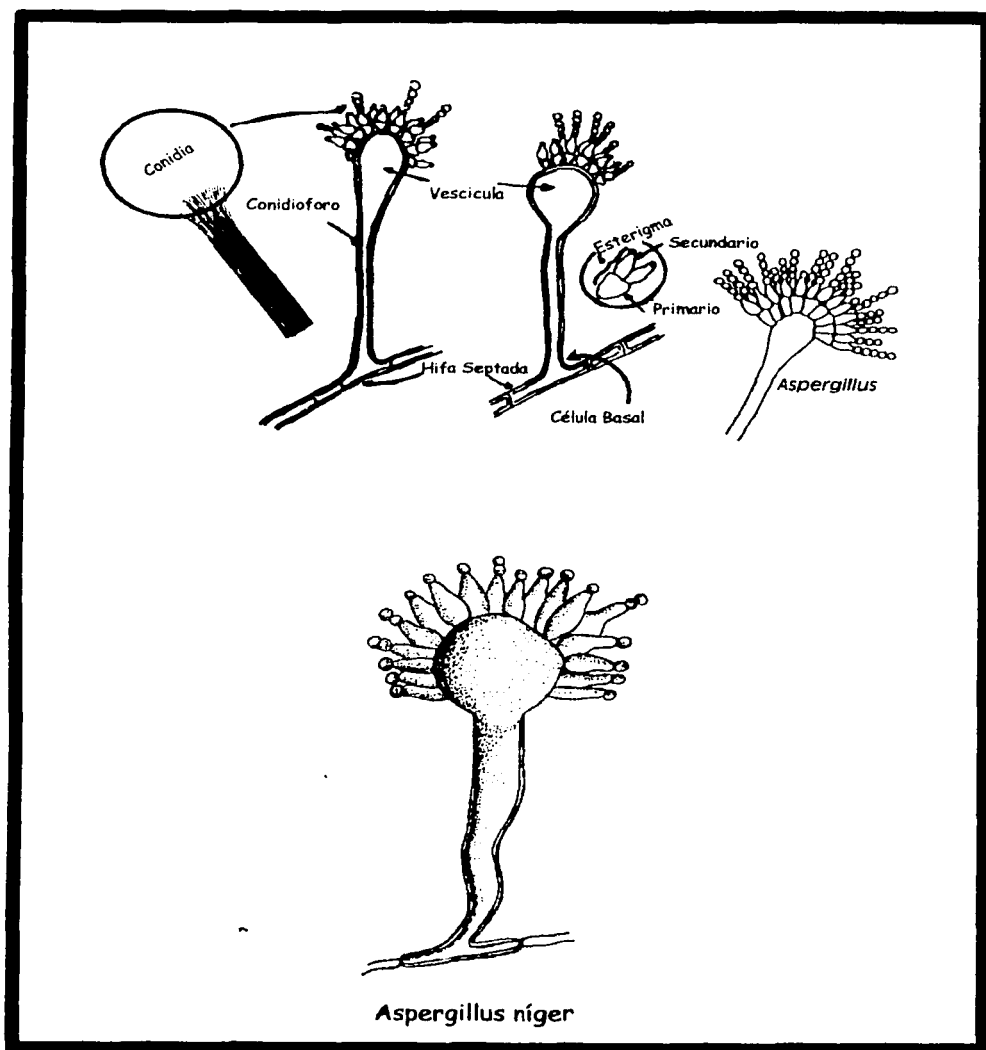


Figura 5. **Estructuras del Aspergillus**

Thom y Raper (1945) designan al esterigma de la primera capa como primario y al superior, secundario. Cuando hay dos capas de esterigmas, el secundario es naturalmente del que emanan las conidias. El esterigma que sostiene las conidias primaria y secundaria tiene forma de botella.

A causa de la abundante producción de conidióforos y conidias su color predomina en las colonias: negro, café, amarillo, verde, etc. (Garibay et al., 1993) dependiendo del medio de cultivo y de la especie en estudio. La producción de pigmentos en *Aspergillus* está influida por la presencia o ausencia de trazas de ciertos elementos. Tan sensitivos son estos hongos que *Aspergillus niger* se usa para detectar cobre en suelos en cantidades demasiado pequeñas, por métodos químicos (Burnett, 1976).

2.4.4 Productos de biosíntesis.

Aspergillus niger es capaz de producir una gran cantidad de enzimas: α -amilasa, γ -amilasa, aminoglucosidasa, catalasa, celulasa, α -galactosidasa, β -galactosidasa, β -glucanasa, glucosa oxidasa, hemicelulasa, lípasa, pectinasa, proteasa ácida, tanasa, xilanasa, y fitasa. Por tanto, sus productos de fermentación son variados y entre los industrialmente aprovechables se encuentran los ácidos orgánicos (principalmente cítrico), esteroides, la enzima glucosa oxidasa, etc. (Solís, 1988; Rivero, 1963; Best y Hernández, 1978).

2.5 Producción de ácido cítrico

El ácido cítrico es el producto comercial que más se obtiene vía sintética por medio de hongos filamentosos. El

mercado mundial anual del ácido cítrico es 300 millones de t, lo que representa 445 mil millones de dólares y sigue creciendo. Una gran parte se produce en Estados Unidos y Europa, pero la mayor planta productora de ácido cítrico en Latinoamérica se encuentra en el Estado de Morelos, México.

Del total producido, 70 % es consumido por la industria de alimentos y bebidas, 18 % va a la industria farmacéutica y 12 % a otros usos. Su empleo en alimentos representa 55 a 75 % del mercado total de acidulantes, contra 20 a 25 % cubierto por el ácido fosfórico, principalmente en bebidas de cola, y 5 % que corresponde al ácido málico (Eveleigh, 1981).

2.5.1 Microbiología del ácido cítrico

Varios microorganismos han sido descritos como productores de ácido cítrico predominando *Aspergillus niger* o sus mutantes. El ácido cítrico se aisló por primera vez a partir de jugo de limón y fue cristalizado por Scheele en 1874. Se encuentra como componente natural de frutas cítricas, piñas, peras, duraznos, higos, etc. El extracto de estos productos se conoce como "ácido cítrico natural" para diferenciarlo del "ácido cítrico de fermentación".

Wehlmer, en 1883, fue el primero en describir al ácido cítrico como un producto de fermentación de hongos que designó como *Citromyces pfefferianus* y *Citromyces glaber* (clasificados después como *Penicillium*); estos producían ácido cítrico a partir de soluciones donde se ponía sacarosa y carbonato de calcio como nutrientes. Más tarde, Wehlmer descubrió la producción de ácido cítrico por *Penicillium lateum* y *Mucor*

piriformis. El ácido cítrico se acumula cuando el medio de cultivo es deficiente en nutrientes esenciales (Molliard, 1903); por ejemplo, en un cultivo de *A. niger* con deficiencias de fosfatos, durante la fermentación se incrementaba la concentración de ácido cítrico, su presencia se hacía más notable y se economizaba la manufactura del ácido.

Para el primer proceso exitoso de producción comercial se usó el método de cultivo en superficie a través de un filtrado, partiendo de un cultivo de *A. niger*, estableciendo un factor común y esencial en los métodos consecutivos, que consistió en el uso de un filtrado (extracto) apropiado para aumentar el potencial del cultivo (Currie, 1917). Las prácticas modernas involucran el uso de extractos especiales, en los cuales las características más deseables son acentuadas a través de la mutación y técnicas de hibridación.

Repler (1967) demostró que un gran número de especies puede producir ácido cítrico; algunas producen pequeñas cantidades, otras producen sustancias indeseables que debido a sus características inestables en cultivo, no satisfacen los requerimientos para su uso industrial y, por tanto, la selección de la cepa es de gran importancia.

Aspergillus niger, *A. clavatus*, *Penicillium luteum*, *P. citrinum*, *Paecilomyces divaricatum*, *Mucor pisiformis*, *Ustilina vulgaris*, y otras especies de *Mucor* se han usado para producir ácido cítrico a escala comercial; sin embargo, sólo cepas de *A. niger* tienen importancia industrial y dan mejores resultados (Owen, 1991). Muchos de estos hongos producen

buenos rendimientos, poseen características bioquímicas uniformes, son fácilmente cultivables y originan cantidades mínimas de productos indeseables.

Actualmente son dos los métodos para el cultivo de *A. niger* y la producción de ácido cítrico vía fermentación de melaza de maíz (Owen, 1991; Kristiansen y Sinclair, 1979). En el método de cultivo en superficie, el microorganismo crece en la superficie, en recipientes de aluminio o fierro estériles. En el proceso de cultivo sumergido, la solución se coloca dentro de grandes tanques y el organismo crece suspendido en la solución. En el presente estudio sólo se mencionará al último tipo de cultivo (Badui, 1990).

2.5.2 Cultivo sumergido.

Para los cultivos sumergidos, el cultivo Stock es un medio nutritivo sólido inoculado con esporas de *A. niger* en un cultivo de agar inclinado, y se incuba 4 a 14 d a 25 °C, tiempo durante el cual se presenta la esporulación. El cultivo esporulado es suspendido en agua y usado para inocular 60,566.4 L de melaza decationizada (Shu y Johnson, 1987).

La solución decationizada de jarabe depurado de azúcar contiene aproximadamente 30 % de azúcar, un pH menor a 2, glucosa o sacarosa usadas como fuente de carbohidratos; además se adiciona sulfato de magnesio ($MgSO_4 + 7H_2O$) al 1 % y fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4) de 0.05 a 0.2 % como fuente de minerales. La fuente de carbohidratos puede ser refinada o cruda y diluida 20 a 25 % en su concentración de azúcar, para evitar la formación de otros ácidos además del cítrico. En

este proceso se usa amonio para ajustar el pH inicial entre 2 y 4. El jarabe y el amonio pueden ser consumidos durante la fermentación. El pH no se eleva a más de 3.5 con el amonio después del tercer día de fermentación, por lo que el ácido oxálico y glucónico no se producen ni contaminan el producto, dando como resultado cultivos con fermentación mayor de ácido cítrico más fácilmente recuperable.

Iones de cobre (Cu) y zinc (Zn) son adicionados inicialmente, la cantidad requerida depende del grado de pureza de la fuente inicial de carbohidratos y de la eficiencia en la remoción de hierro (Fe) y manganeso (Mn) en la etapa de decationización (Sánchez-Marroquín et al., 1970).

La concentración de Cu varía entre 0.1 y 50 ppm. La combinación de pH bajo y sensibilidad extrema al Fe, hace imposible el uso de recipientes de Fe en esta fermentación a menos que se aplique un revestimiento previo, por lo cual se usan contenedores de vidrio o plástico. Si hay corrosión durante la fermentación se presenta un aumento en el contenido de Fe y Mn en la solución fermentada, dando como resultado un bajo contenido de ácido cítrico. La restricción de fosfatos no es necesaria en la fermentación sumergida y la concentración usual está entre 0.1-0.3 % de KH_2PO_4 .

El aire es suministrado a través de la solución en un nivel de 0.5-1.5 vol/vol x min. La agitación mecánica puede aplicarse, pero no es esencial; no obstante puede presentarse una cantidad considerable de espuma, por lo que deben suministrarse agentes que lo eviten del día 5-14 de la

fermentación a 27-33 °C (Grupta y Moheshewari,1985). Durante los primeros 3 d se presenta el mayor incremento de micelio, caracterizado por abundantes clamidiosporas, así como delgados y cortos brazos de germinación, distribuidos uniformemente en la solución.

Al hacer la recuperación se agrega a la solución cal viva para que al unirse al ácido oxálico se precipite junto con el micelio, separándose con un filtro, y permitiendo así la obtención del ácido cítrico puro. Para su purificación la solución tiene que ser filtrada para evitar la presencia de los restos de las sustancias antiespumantes del micelio y del ácido oxálico.

El citrato de calcio se precipita por adición de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que debe ser bajo en magnesio (Mg) altamente soluble. El citrato de calcio puede ser filtrado por cualquier tipo de filtro convencional; el filtrado se coloca en un tanque abierto, donde se trata con ácido sulfúrico para que precipite el calcio (Ca). La solución diluida que contiene el ácido cítrico es purificada con un tratamiento de carbón activado por medio de calor, posteriormente es lavada con ácido clorhídrico y desmineralizada, pasando sucesivamente a través de capas de resina de intercambio catiónico y aniónico.

La solución purificada y diluida de ácido cítrico es evaporada en un granulador rotatorio al vacío o en un evaporador cristalizador rotatorio. Cualquiera de los dos tipos de cristales pueden formarse, ya sea el anhídrido o el

monohidratado, dependiendo de si la temperatura es mayor o menor a la transición de 36.6 °C. Los cristales son removidos por centrifugación y una fracción predeterminada de la solución madre y el agua de lavado regresan al evaporador, los restos de la solución son regresados al flujo de recuperación en un punto inmediatamente anterior a la calcificación, o anterior a la de coloración (Banik, 1975; Clark, 1962; Prescott y Duna, 1959).

El ácido cítrico obtenido puede requerir recristalización. En el proceso "Usines de Meye" de extracción de ácido cítrico, la solución fermentada es extraída a contracorriente con una mezcla de 100 partes de 3-n-butilfosfato y 3-5 partes de n-butil acetato o metil-isobutilcetona a 10 - 13 °C, los solventes son extraídos con 70 a 95 % de agua (Smith, 1994; Mexama, Prescott y Duna, 1959) (figura 6).

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la industria productora de ácido cítrico es la eliminación de los solubles residuales de la producción del ácido cítrico (SRPAC). La producción de SRPAC es aproximadamente 29 t en una planta que obtiene 70 t de ácido cítrico diariamente (Mexama). Estos SRPAC contienen, en promedio, 82.93 % de agua (Cortéz et al., 1999), por lo que es difícil conservarlo por un tiempo prolongado, y es desechado en praderas y sistemas de drenaje o ríos, provocando un desequilibrio ecológico. No obstante es un subproducto que garantiza disponibilidad y alternativa constante, con la posibilidad de ser utilizado en la alimentación animal.

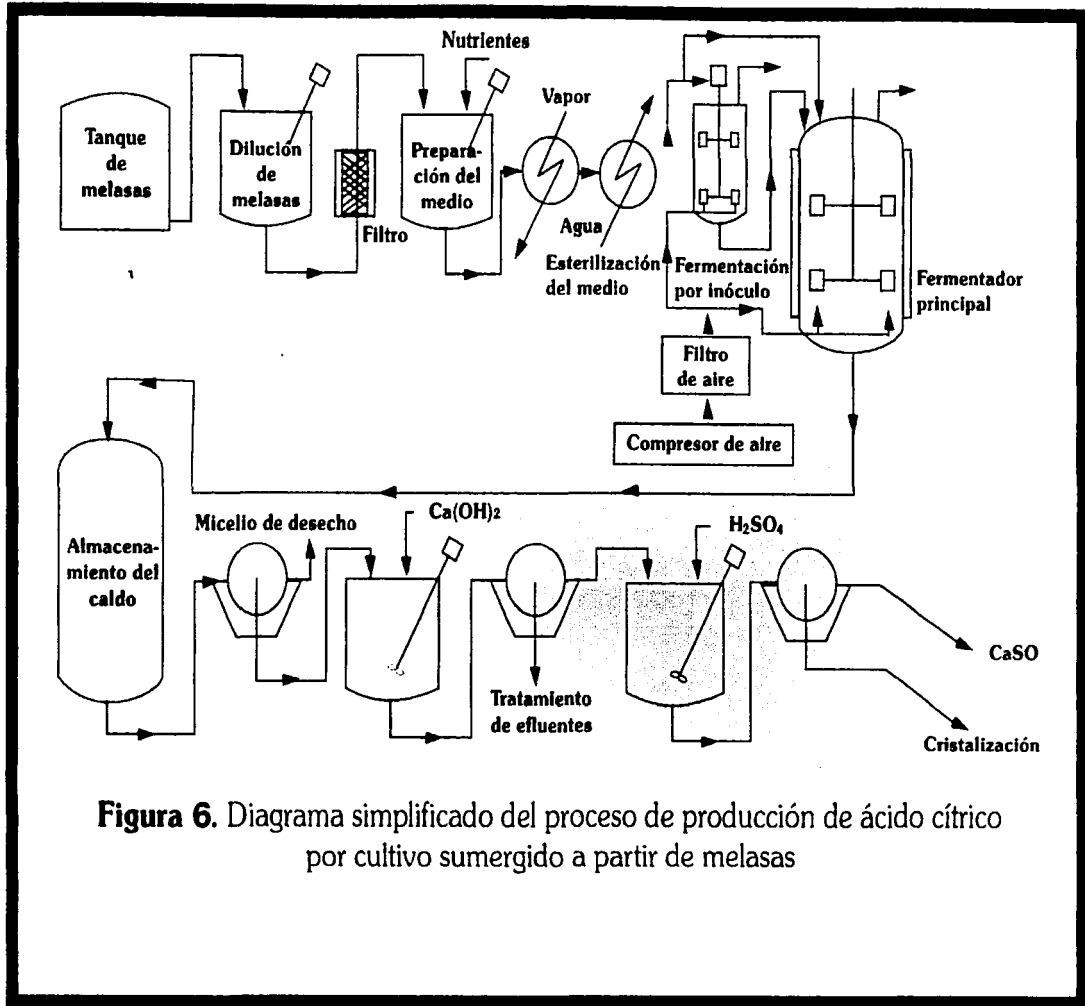


Figura 6. Diagrama simplificado del proceso de producción de ácido cítrico por cultivo sumergido a partir de melazas

2.6 Caracterización de los alimentos

El conocimiento y la comprensión de lo que es un nutrimento es indispensable para evaluar alimentos o para definir las necesidades alimenticias en el desarrollo de los animales. Los métodos que se utilicen para la evaluación de un alimento dependerán de la especie animal en estudio, dado que la utilización de nutrimentos que provienen de cierta clase de alimentos pueden provocar alteraciones en el aparato digestivo del animal. Por lo cual previamente se deben contemplar las características particulares de cada alimento, considerando para ello la especie animal en estudio (Harris, 1980; Orozco, 1985; Bateman, 1970).

2.6.1 Pruebas analíticas

El conocimiento de la composición química de los alimentos permite su utilización en forma racional, así como incorporar como alimentos, subproductos desconocidos o aquellos que en condiciones naturales son tóxicos, pero que mediante ciertos procesos pueden ser usados con confianza (Tejada et al., 1980). El análisis también evalúa cuales requerimientos nutricionales de los animales se cubren, con lo que se puede evitar deficiencias o excesos de nutrimentos perjudiciales para los mismos. Las pruebas de digestibilidad se utilizan para determinar la proporción de nutrimentos que se encuentran en un alimento o dieta y que pueden absorberse o no en el aparato digestivo, siendo las heces una ruta importante de excreción para algunos elementos minerales y para compuestos nitrogenados y lípidos que provienen tanto del organismo como de los residuos alimenticios (Tilley y Terry, 1963).

2.6.2 Pruebas de crecimiento.

El crecimiento se define, en forma simple, como el aumento de tamaño y peso. Un aumento de tamaño posee muchas implicaciones e involucra un cambio en la forma, proporción y distribución de los tejidos. El proceso de crecimiento va relacionado con una acumulación de tejido graso y una retención de nitrógeno y agua. Está regido por fenómenos de multiplicación, engrandecimiento y diferenciación de los tejidos bajo el control de las leyes fisiológicas que varían por factores de orden genético o ambiental, alimentación, efecto materno y medio ambiente, entre otros. El crecimiento representa un efecto de la diferencia entre lo que construye (anabolismo) y lo que destruye (catabolismo).

2.6.3 Composición corporal

La composición corporal de los ovinos difiere entre raza (Fahmy, 1985; Mc Clelland et al., 1976) edad (Ono et al., 1984), sexo (Butler-Hogg y Braun, 1986), el plan nutricional (Moody et al., 1980; Patrice et al., 1984; Romano et al., 1983), y el ambiente físico (Romano et al., 1985).

En las especies domésticas después de que el animal llega al estado adulto, se incrementa significativamente el porcentaje de tejido adiposo en su organismo, debido a un incremento de la actividad lipogénica enzimática, y a una disminución del porcentaje de agua en el organismo. Los cambios que sufre la composición corporal con la edad están determinados por la madurez relativa que posee cada tejido corporal, entendiéndose como madurez la velocidad con que un tejido alcanza la mayor proporción que representa su

participación dentro de los componentes corporales de un animal en estado adulto (Farnworth y Kranner, 1987).

Desde un punto de vista productivo, se considera la canal de un animal como la unidad estructural y a tres de sus componentes principales: músculo, hueso y grasa, como estimadores de su calidad. Existe una serie de factores que al incidir sobre el animal en pie, afectan en forma determinante las características de la canal; de este modo el manejo y el tipo de alimentación que van en función de la zona ecológica y el nivel socioeconómico en una determinada región, afectan una importante característica cuantitativa de la canal: el peso.

La raza (Fahmy, 1985; Mc Clelland et al., 1976; De Lucas y Arbiza, 1996a) y el sexo (Butler-Hogg, 1986) influyen en la composición corporal, pero la alimentación tiene una función fundamental en la curva de crecimiento (Moody et al, 1980; Patrice et al., 1984); si el nivel nutricional es alto, el crecimiento es rápido y el animal alcanza un peso al sacrificio a una edad temprana. Una reducción del nivel alimenticio causará una baja en la curva de crecimiento y una diferencia en su composición corporal, por tal motivo la composición de un animal, además de depender de su peso al sacrificio, también depende de la forma como alcanzó ese peso (Arbiza y De Lucas, 1996b).

2.7 SRPAC como recurso para la alimentación animal.

Los SRPAC están compuestos en mayor proporción por agua y micelio de *Aspergillus*, el cual es utilizado para la producción del ácido cítrico vía fermentación de melaza de

maíz. Senei y Eltan (1977a) alimentaron vacas con una dieta con paja de trigo (25 %), concentrado (75 %), y un suplemento (0, 15, y 25 %) de micelio de *A. niger*. No observaron diferencias en el consumo de alimento (6.56, 6.81, 6.9 kg/animal/d, respectivamente), pero la mayor ganancia de peso (802 g/d) y la mejor conversión alimenticia la obtuvieron en las vacas que consumieron la dieta con 25 % del micelio. En otro estudio (Senei y Eltan, 1977b), se midió la digestibilidad de la MS y de los nutrimentos del micelio, durante cuatro periodos (10 d cada uno) con borregos Merino; en el primer y tercer periodo sólo se dio forraje y en los otros dos la dieta tuvo 25 y 40 % de micelio. No hubo diferencias en la digestibilidad de la MS, pero sí para proteína cuya digestibilidad fue mayor cuando se dio 25 % de micelio.

En becerros destetados a los seis meses de edad, un grupo recibió un concentrado con 0.5 % del micelio de *Aspergillus niger* en sustitución de igual cantidad de semilla de girasol; esos animales presentaron 10 % más de ganancia de peso, mayor digestibilidad y consumo de alimento (Vladimirov y K'Snedelchev, 1977). Guerra et al. (1983) trataron desperdicios de piña con suero, adicionando sales minerales e inoculado con *A. niger*, *Microthecium*, *Verrucaria* y *Trichodrema viridae*; encontraron que *A. niger* fue el hongo más eficiente para el enriquecimiento de la proteína de los desperdicios de piña cuando no se proporcionó sales minerales y suero.

Rajagopal (1977) estudió olote de maíz tratado y sin tratar, como fuente de carbohidratos para la producción de

proteína a través de la fermentación. Encontró que *A. niger* produjo más proteína a partir de la conversión de los sólidos totales del medio, cuando el olote de maíz estaba hidrolizado y menor cuando los medios estaban sin hidrolizar; concluyó que la proteína obtenida a partir de fermentaciones microbianas de hongos puede ser buena fuente para alimentación animal.

En rumiantes de la zona de Morelos se ha encontrado respuestas satisfactorias en ganancia de peso y digestibilidad de los nutrimentos en dietas con 25 % de inclusión de subproductos de cítricos, no encontrando efectos adversos; sin embargo, estos resultados no se han publicado.

El contenido de MS y proteína cruda (PC) de *A. niger* es inferior a la levadura de cerveza, soya, sorgo, y alfalfa: 18.6, 93.0, 89.0, 92.0, y 20.9 % MS, y 3.09, 44.4, 44.8, 9.3, y 17.5 % PC, respectivamente. La proteína de *A. niger* contiene todos los aminoácidos esenciales, aunque en baja cantidad, con relación a los demás ingredientes excepto lisina, el cual es similar al del sorgo, 0.21, 3.23, 2.92, 0.21, y 0.73 %; sin embargo superior en valina, 1.63, 2.32, 2.34, 0.53 y 0.89 % con relación al sorgo y alfalfa (Barraza y Cervantes, 1990). Estos mismos investigadores estudiaron la adición de micelio de *A. niger* (15, 30, 45 y 60 %) a dietas para borregos; el consumo aumentó con 15, 30 y 45 % pero no con 60 %, lo que probablemente se deba al contenido de humedad del alimento que provoca un efecto de llenado del rumen.

Terberos alimentados con SRPAC superaron en variables productivas a los que no lo consumieron, con una dieta con

base en pasto elefante (Guerra et al., 1983). Ostrenko y Saltykova (1977) alimentaron vacas de tres y cuatro meses de gestación con una dieta testigo con base en paja, ensilado de maíz, harina de maíz, harina de trigo y melaza, comparándola con una dieta, en la cual el micelio sustituyó a la harina de trigo. No encontraron efectos adversos en el desarrollo fetal, aunque se observó una disminución en la producción de la leche después del parto. Stoikov (1974) en dietas para borregos observó una mayor digestión de la MS, PC y ELN, mas no así para lípidos y FC

De la información consultada se puede concluir que los SRPAC pueden ser un recurso para la industria productora de carne de ovino, ya que es un subproducto disponible y de bajo costo.

III. JUSTIFICACIÓN

México tiene una dependencia alta del exterior en adquirir ingredientes para la formulación de alimentos balanceados; sin embargo, los subproductos agro-industriales, especialmente los solubles residuales de la producción de ácido cítrico representan una alternativa de alimentación para rumiantes.

Por lo anterior se considera necesario conocer su calidad y probar diferentes niveles de solubles residuales de la producción del ácido cítrico en pruebas de productividad en borregos, ya que debido a las limitaciones nutricionales de este ingrediente es necesario conocer la mejor opción para su uso eficiente.

IV. OBJETIVOS

Determinar el potencial nutritivo de los solubles residuales de la producción del ácido cítrico en dietas para ovinos estabulados.

4.1 Objetivos específicos

Caracterización nutricional de los solubles residuales de la producción del ácido cítrico a través de las siguientes pruebas analíticas.

4.1.1 Análisis químico proximal (MS, PC, EE, CEN)

4.1.2 Análisis de calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cloro (Cl), azufre (S)

4.1.3 Metales pesados: Plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr)

4.1.4 Fracciones de fibra

4.1.5 Acidez

4.1.6 Azúcares totales

4.1.7 Aminograma

4.1.8 Digestibilidad *in vitro* (Tilley y Terry, 1963)

4.2 Determinación de la digestibilidad aparente de los SRPAC como parte de una dieta isoproteica e isocalórica con diferentes porcentajes de inclusión en dietas para ovinos

4.3 Evaluación de las variables productivas (consumo de alimento, ganancia diaria de peso, conversión y eficiencia alimenticia) por medio de una prueba de comportamiento con ovinos estabulados, que reciben diferentes niveles de inclusión de SRPAC

4.4 Evaluación de la calidad de la canal.

V. HIPÓTESIS

Los solubles residuales de la producción de ácido cítrico a partir de la fermentación de miel de maíz tienen un perfil nutritivo constante y aceptable, que permite usarlos como suplemento en dietas para borregos estabulados, mejorando las variables productivas.

VI. MATERIAL Y METODOS

El presente trabajo forma parte de la línea de investigación del proyecto MICOTOXINAS, del Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Microbiología Veterinaria del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (CENID - Microbiología / INIFAP / SAGARPA) con sede en la ciudad de México.

6.1 Obtención de los SRPAC

La recolección de los SRPAC se realizó en la planta MEXAMA, ubicada en la zona industrial de CIVAC en Jiutepec, Morelos.

6.2 Pruebas analíticas (caracterización de los SRPAC).

Se tomaron 50 muestras (1 kg base húmeda, BH) aleatorias de SRPAC a diferentes tiempos, mediante cinco submuestreos de diez muestras cada uno, en fechas y lotes distintos, con la finalidad de obtener una muestra homogénea y representativa del subproducto por analizar (Snedecor y Cochran, 1980; Steel y Torrie, 1981).

Inmediatamente después de la recolección, las muestras se almacenaron en frascos de nalgeno boca ancha y se enviaron al CENID-Microbiología del INIFAP/SAGARPA en México, D.F.

Para su estudio las muestras fueron divididas en cinco grupos, tomando como base el lote y la fecha de muestreo. A su ingreso al laboratorio, se sometieron a desecación en estufa

de aire forzado a 50 °C para determinar la humedad total (Tejada, 1992).

Las muestras secas se molieron en un molino de cuchillas (Thomas-Wiley) con criba de 2 mm, se colocaron en bolsas de polietileno selladas, y se realizaron los siguientes análisis, por triplicado.

6.2.1 Análisis químico proximal (AQP).

Se realizó en las instalaciones del CENID-Microbiología. En cada muestra se determinó el AQP (Tejada, 1992): humedad, proteína cruda (N x 6.25), extracto etéreo, cenizas; reportando el resultado tanto en base húmeda (BH) y base seca (BS).

6.2.2 Fracción mineral y metales pesados

Se realizaron en la Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia en los Departamentos de Fisiología y Nutrición Animal; y en el CENID-Microbiología, según A.O.A.C. (1990).

Para la fracción mineral y de metales pesados el trabajo se dividió en varios grupos de acuerdo con el método para su determinación, el cual varió dependiendo de las características de los minerales en estudio:

Para la determinación de Ca y Cl, se utilizaron las técnicas por titulación volumétrica (AOAC 927.02 y 939.10). Para P el método colorimétrico (AOAC 965.17); K y Na por flamometría (AOAC 965.30 y 966.16); para S el método gravimétrico (AOAC, 980.02); y Cu, Fe, Zn, Mn, Mg, Cd, Pb, y Cr

por espectrofotometría de absorción atómica (AOAC 965.09).

6.2.3 Fracciones de fibra

Los análisis se realizaron en la Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia en el Departamento de Nutrición Animal. En cada muestra se hizo el análisis de fracciones de fibra (Van Soest et al., 1991), el cual se basa en la eliminación del contenido celular así como de las sustancias pécticas de las células vegetales con una solución detergente neutro

6.2.4 Acidez

Se realizó en el CENID-Microbiología siguiendo el método volumétrico Food Chemicals Codex (1972).

6.2.5 Azúcares

Se determinaron en el Laboratorio Centro de Control Agroindustrial, siguiendo el método volumétrico NOM 086-SSA1, 1996; AOAC, 923.09 para azúcares reductores totales.

6.2.6 Digestibilidad *in-vitro*

Se realizó en el Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. Se utilizó la técnica de Tilley and Terry (1963) por triplicado, la digestión anaerobia por 48 h de las muestras de SRPAC con líquido ruminal y posteriormente se digirió con pepsina por 48 h. La diferencia entre la MS y el residuo no digerido se consideró como la MS digerida (MSD).

6.2.7 Aminograma

Se utilizó el método HPLC determinado por cortesía de Degussa Hüls Alemania

6.2.8 Diseño experimental

Para la caracterización nutricional de los SRPAC, en cada fracción y para cada semana, se calculó la media, desviación estándar y coeficiente de variación de: HUM, MS, PC, CEN, EE, minerales, metales pesados, fracciones de fibra, acidez, digestibilidad *in vitro*, y azúcares reductores totales.

La comparación entre semanas se evaluó mediante un análisis de varianza, para cada variable; para la comparación entre medias se utilizó la prueba de Tukey con una significancia de 0.05.

6.3 Digestibilidad aparente *in vivo* de una dieta para ovinos adicionada con SRPAC.

6.3.1 Digestibilidad

Se realizó en las instalaciones del CENID-Microbiología INIFAP/SAGARPA ubicado en la Carretera México-Toluca km 15.5, colonia Palo alto, Delegación Cuajimalpa México, D.F. Localizado a 19°19' de latitud norte y 99°18' de longitud oeste, con un clima Cb' (w₂) (w)g (García, 1979).

Se utilizaron 16 borregos Dorset x Merino machos enteros, con peso inicial de 23 +/- 3 kg asignados al azar en cuatro tratamientos (cuatro borregos por tratamiento). Previamente se les aplicó vitamina A, D, y E intramuscularmente; fueron

pesados, desparasitados internamente y colocados en jaulas metabólicas al azar, equipadas con comederos y bebederos individuales.

6.3.2 Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento; se evaluó mediante un análisis de varianza y la diferencia entre medias con una prueba de Tukey.

6.3.3 Período de adaptación.

Se dio un periodo de 10 d de adaptación a las jaulas metabólicas, bolsas recolectoras de heces, y a las dietas. Hubo 7 d de experimentación en los cuales se peso el alimento ofrecido y el sobrante por jaula, y se hizo la recolección diaria de heces las cuales fueron conservadas en congelación, lo mismo que el alimento rechazado, hasta su análisis.

En el presente trabajo se utilizó el método de la recolección total de heces (Rodríguez, 1980), para el cual se siguió el programa siguiente.

Del día 0 al día 7 pesaje de alimento ofrecido.

Del día 2 al día 8 pesaje y muestreo de los rechazos.

Del día 3 al día 9 pesaje y muestreo de las heces.

El consumo de alimento se ajustó al 90 % de lo observado en el periodo de adaptación de la dieta, con la finalidad de evitar el exceso de rechazos o selección de alimento.

El alimento se ofreció a las 8:30 y el agua de beber a voluntad. El alimento se formuló de acuerdo con las recomendaciones del NRC para ovinos (1985). Las dietas experimentales se analizaron según Tejada (1992) (cuadro 1).

Las heces recogidas diariamente por cada animal se pesaron, anotando la cantidad total y por cuarteo se realizó un muestreo que consistió en tomar 10 % de la producción diaria. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado a 50 °C; posteriormente se analizaron y se procedió al cálculo de la digestibilidad aplicando las siguientes fórmulas:

a) Coeficiente de digestibilidad (CD) de la MS (CDMS):

$$CD MS = \left[\frac{[MS consumida] - [MS excretada]}{MS consumida} \right] \times [100]$$

b) Coeficiente de digestibilidad de un nutriente (CDN)

$$CDN = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{kg nutriente} \\ \text{Consumido} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{kg nutriente} \\ \text{excretado} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} \text{kg del nutriente} \\ \text{excretado} \end{array} \right]} \times 100$$

6.4 Prueba de comportamiento productivo

Se realizó en las instalaciones del CENID-Microbiología, del INIFAP / SAGARPA en la ciudad de México, D.F. Se utilizaron 24 ovinos hembras Dorset x Merino, con un peso inicial de 23 +/- 3 kg en promedio, distribuidas al azar por peso a cuatro tratamientos con seis repeticiones cada uno.

Las ovejas permanecieron estabuladas 75 d, en corrales con piso de cemento, parcialmente techados y provistos con comederos, bebederos y saladeros. De los 75 días de estabulación, 15 d se utilizaron para adaptar las ovejas al corral y a la dieta en estudio; los 60 d correspondieron al periodo experimental.

Todas las ovejas fueron desparasitadas internamente con Hepadex 10 % 1 mL / 10 kg y vitaminados con Bay vac 7 (IM) 2.5 mL / animal. Ambos tratamientos se repitieron a los diez días.

Las ovejas se distribuyeron en los corrales y tratamientos en un arreglo completamente al azar, con la finalidad de probar diferentes niveles de SRPAC, como parte de una dieta isoproteica e isocalórica con rastrojo de maíz, pasta de soya, maíz molido, SRPAC y aceite, según los requerimientos nutricionales (NRC, 1985) para ovinos (Cuadros 1 y 2).

Los ingredientes utilizados para elaborar las dietas pertenecieron a un mismo lote para evitar otros factores de variación. Además de la dieta se proporcionó a libre acceso una premezcla de sales minerales y de vitaminas, cuya composición se presenta en los cuadros 3 y 4.

El peso de las ovejas se tomó al inicio del periodo experimental y cada 14 días, previo ayuno de 24 h. El consumo de alimento se registró diariamente pesando lo ofrecido y el sobrante por corral.

Cuadro 1 Composición de las dietas experimentales.

Ingrediente	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Maiz molido	61.08%	45.87%	32.56%	17.35%
Pasta de soya	23.91%	22.13%	20.43%	18.65%
Rastrojo de maiz	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%
SRPAC	0.00%	15.00%	30.00%	45.00%
Aceite	0.00%	2.00%	2.00%	4.00%

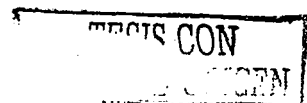
Cuadro 2 Análisis calculado (C) y evaluado (E) de las dietas experimentales.

Nutriente	TRATAMIENTO 1		TRATAMIENTO 2		TRATAMIENTO 3		TRATAMIENTO 4	
	C	E	C	E	C	E	C	E
Proteína cruda	16.69	16.59	16.70	16.61	16.69	16.57	16.69	16.61
Mcal EM/kg MS	3.00	2.96	3.01	2.97	2.995	2.957	2.995	2.965

Cuadro 3. Composición de la premezcla mineral por kg*

Fósforo	80.00 g	Ortofosfato mono di calcico
Calcio	80.00 g	Carbonato de calcio
Manganeso	30.00 g	Oxido de magnesio
Azufre	17.00 g	Sulfato de potasio
Sodio	144.00 g	Cloruro de sodio
Potasio	40.00 g	Sulfato de potasio
Hierro	0.50 g	Sulfato ferroso
Magnesio	3.00 g	Sulfato de manganeso
Zinc	2.125 g	Sulfato de zinc
Cobre	0.075 g	Sulfato cúprico
Yodo	0.022 g	Etilen diamin dihidroyoduro
Cobalto	0.01 g	Carbonato de cobalto
Excipiente cbp	1000.00 g	Bentonita

*BASF Mexicana



Cuadro 4 Composición de la premezcla vitamínica por kg*

Vitamina A	32,000,000.00 UI
Vitamina D ₃	6,000,000 UI
Vitamina E	60.00 g
Vitamina K	8.00 g
Vitamina B1	4.00 g
Vitamina B2	16.00 g
Ácido pantoténico	32.00 g
Ácido nicotínico	80.00 g
Vitamina B6	6.00 g
Vitamina B12	72.00 g
Biotina	250.00 mg
Excipiente c.b.p.	1,000.00 g

* *Basf Mexicana*

6.4.2 Diseño experimental

Para los promedios de ganancia diaria de peso y para un diseño completamente al azar se utilizó un análisis de covarianza, donde se incluyó el efecto del tratamiento y el peso inicial como covariable; las diferencias entre medias se compararon mediante una prueba de Tukey. Para consumo de alimento y conversión alimenticia se realizó un análisis de varianza para medir efecto del tratamiento, analizando la comparación entre medias mediante una prueba de Tukey.

6.5 Evaluación de la composición corporal.

Las ovejas se sacrificaron al final del periodo experimental, con la finalidad de conocer la composición

corporal, registrando el peso de las canales y vísceras. El rendimiento de la canal se determinó por la diferencia entre el peso vivo (PV) al sacrificio y la suma del peso de la piel, cabeza, patas, vísceras (higado, corazón, riñones, pulmón, rumen, retículo, omaso, abomaso e intestinos), grasa perirrenal, grasa abdominal y sangre, según Boggs y Merkel (1981).

El rendimiento en canal se calculó con base a la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{(\text{Peso vivo al sacrificio}) - (\text{Peso de la canal al aire})}{\text{Peso vivo al sacrificio}} \right) \times 100$$

El sacrificio se realizó por el método de degüello después de la insensibilización del animal con pistola de embolo oculto, posterior a un ayuno de 18 h, cortando la cabeza a la altura de la articulación occipito-atlantoidea. Se quitó la cabeza, las patas, la piel y los órganos de las cavidades torácica, abdominal y pélvica, pesando cada parte por separado, para determinar el peso vivo vacío al momento del sacrificio. Después se pesó la canal caliente en la cual se incluyó los riñones y la grasa perirrenal; se refrigeró a 2-3 °C durante 24 h, y se pesó nuevamente para determinar el peso de la canal en frío.

VII. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Caracterización nutricional de los SRPAC

7.1.1 Humedad

Como se puede observar en los cuadros 5 y 6, la humedad (Hum) en los SRPAC fue 82.93 % ± 0.89 , siendo mayor o menor en algunos casos a lo reportado por Elthan 1977^a, Guerra et al (1983), Rejagopal (1977), Barraza y Cervantes (1990), Ostrenko y Saltykova (1977), entre otros. Ello podría deberse a diferencias en el método usado para la determinación o el número de muestras analizadas. Por diferencia, la cantidad total de MS fue 17.07 % ± 0.89 . Para ambas fracciones no hubo diferencias ($p > 0.05$) dentro y entre semanas, demostrando que los SRPAC son constantes en los límites de este estudio en MS y Hum, independientemente del lote y fecha de muestreo, como se aprecia en la figura 7.

La humedad constante revela que las fermentaciones fueron adecuadas, ya que para lograr una buena producción de ácido cítrico, el contenido de agua en la espora se puede reducir hasta en 5 % sin que por ello perezca ésta. Se considera como un estadio de reposo, el cual antes de su germinación requerirá una incorporación cuantiosa de agua, dado que si el contenido de ésta desciende por debajo de cierto límite, la actividad vital del hongo se inhibe y cesa por completo, teniendo como consecuencia una baja producción de ácido cítrico. Ello explica que una significancia en el contenido de humedad demostraría problemas en la producción, lo que explica por qué el factor humedad es tan alto en el micelio y, más aún, por qué es constante.

7.1.2 Proteína cruda

El contenido de PC resultó homogéneo dentro de la semana y entre semanas (figura 8), teniendo como valor promedio 2.15 % \pm 0.29 con respecto a la media en BH, y 12.65 % \pm 1.25 en BS. No hubo diferencia ($P > 0.05$) entre semanas.

En PC se observó una tendencia similar a la obtenida con la humedad, no concordando con lo reportado Elthan 1977^a, Guerra et al (1983), Rejagopal (1977), Barraza y Cervantes (1990), Ostrenko y Saltykova (1977). El contenido de PC no varió de una muestra a otra, debido a que a un cultivo de *Aspergillus niger* se le proporciona combinaciones nitrogenadas orgánicas o inorgánicas. Por tanto, estos hongos son capaces, al igual que los vegetales superiores, de sintetizar a partir de material inorgánico o de combinaciones nitrogenadas, una serie de sustancias imprescindibles para la vida.

Las fuentes de nitrógeno orgánico pueden servir como fuentes de carbono o de nitrógeno, pero desde luego se origina un crecimiento mayor cuando se encuentra presente azúcar u otras combinaciones parecidas de carbono. Estas sustancias son proporcionadas al microorganismo mediante un substrato nutritivo el cual es preparado en el laboratorio. La combinación nitrogenada precisa se determina por la capacidad de la cepa, logrando así su crecimiento.

Es importante mencionar que del total del nitrógeno reportado en BS, 82.92 % es proteína digestible, con 83.0 % de digestibilidad en promedio.

7.1.3 Extracto etéreo

Se encontró que los SRPAC tienen un contenido muy bajo de EE y no es significativo ($P > 0.05$). Esto obedece a que la grasa en los *Aspergillus* se encuentra normalmente en el citoplasma, variando su cantidad con la edad de la célula y composición del medio de crecimiento. Es decir, las gotas de aceite o grasa se encuentran con frecuencia en células viejas y mal nutridas, o en células que han sido demasiado expuestas al aire. El citoplasma ocupa en las células jóvenes todo el espacio celular, mientras que en las viejas forma vacuolas rodeadas por una membrana semipermeable, mismas que se van llenando de grasa conforme la edad avanza, lo cual explica el bajo contenido de EE en los SRPAC. El micelio recolectado se considera joven, debido a su edad.

Los SRPAC tienen un contenido bajo en vitaminas liposolubles y pigmentos, que son arrastrados con la grasa en la determinación de EE, una explicación adicional para su bajo contenido de EE. Además, la energía obtenida por *Aspergillus* en su mayoría es mediante fermentación, debiendo transformar una mayor cantidad de hidratos de carbono, relacionando su producción con la edad del micelio, lo que explica por qué la concentración de EE no fue significativa entre semanas de muestreo (cuadros 5 y 6). Además, el medio de crecimiento es controlado en el laboratorio, ofreciendo substratos magros que contienen azúcares o soluciones de sales minerales más azúcar, limitando al máximo la presencia de grasa (figura 9).

7.1.4 Cenizas

El total de materia inorgánica (cenizas) fue diferente ($P < 0.05$) en cada muestreo (cuadro 5, 6; figura 10). Esto se

debe principalmente a que las cenizas de la hifa más las conidias de *A. niger* representan 3.13 % de la sustancia seca y consisten principalmente de fosfato potásico; la hifa sola no representa más que 1.84 % de las cenizas (Hasen, 1959).

Con la incineración desaparece el C, H, O y N, quedando las sustancias minerales en forma de óxidos y sales de varios elementos, de los cuales K, Ca, Mg, S, P y Fe se encuentran con mayor frecuencia; con la excepción del Ca, ellos son imprescindibles para el crecimiento del microorganismo. No obstante, la cantidad de minerales que se adiciona durante el proceso de fermentación, está en función del ritmo y días de crecimiento del hongo el cual no siempre es constante, lo que explica la variación entre muestras.

El contenido de materia inorgánica presente en los SRPAC, varía de acuerdo con la cantidad que se adiciona por lote; por ello, las Cen son significativas ($p < 0.05$). La comparación entre medias demostró que hay variabilidad entre semanas para la fracción mencionada, lo que indica que el nivel de cenizas no es constante.

Cuadro 5. Análisis químico proximal de los solubles residuales de la producción de ácido cítrico (base húmeda).

Fracción	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Humedad	82.70 ^a	1.13	82.42 ^a	0.68	83.33 ^a	0.59	83.39 ^a	0.83	82.92 ^a	1.25
Materia seca	17.30 ^a	1.13	17.58 ^a	0.68	16.67 ^a	0.59	16.61 ^a	0.83	17.08 ^a	1.25
Proteína cruda	2.11 ^a	0.15	2.19 ^a	0.08	2.23 ^a	0.30	2.14 ^a	0.50	2.12 ^a	0.40
Extracto etéreo	0.47 ^a	0.23	0.51 ^a	0.36	0.48 ^a	0.14	0.71 ^a	0.26	0.56 ^a	0.31
Cenizas	0.20 ^a	0.07	0.19 ^a	0.05	0.12 ^b	0.03	0.13 ^b	0.03	0.15 ^b	0.04

Nota: Los datos corresponden al promedio de 10 muestras por semana.

\bar{x} = Promedio

S = Desviación estándar

^{abc} = Diferencias significativas

Medias con letra diferente son diferentes (P<0.05)

Cuadro 6. Análisis químico proximal de los solubles residuales de la producción de ácido cítrico (base seca).

Fracción	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Humedad	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Materia seca	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00
Proteína cruda	12.19 ^a	0.14	12.45 ^a	0.50	13.37 ^a	1.34	12.88 ^a	2.43	12.41 ^a	1.84
Extracto etéreo	2.71 ^a	1.35	2.90 ^a	1.94	2.88 ^a	0.84	4.27 ^a	1.74	2.28 ^a	2.05
Cenizas	1.15 ^a	0.35	1.08 ^a	0.26	0.72 ^b	0.15	0.78 ^b	0.19	0.88 ^b	0.21

Nota: Los datos corresponden al promedio de 10 muestras por semana.

\bar{x} = Promedio

S = Desviación estándar

abc = Diferencias significativas

Medias con letra diferente son diferentes (P<0.05)

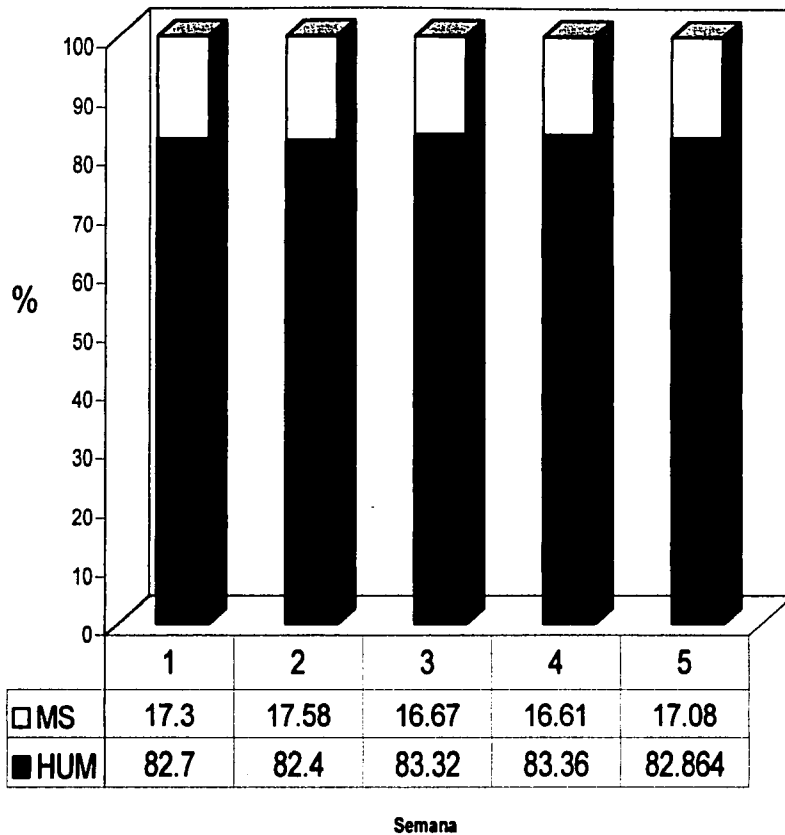


Figura 7. Concentración de materia seca y humedad en los solubles residuales de la producción de ácido cítrico

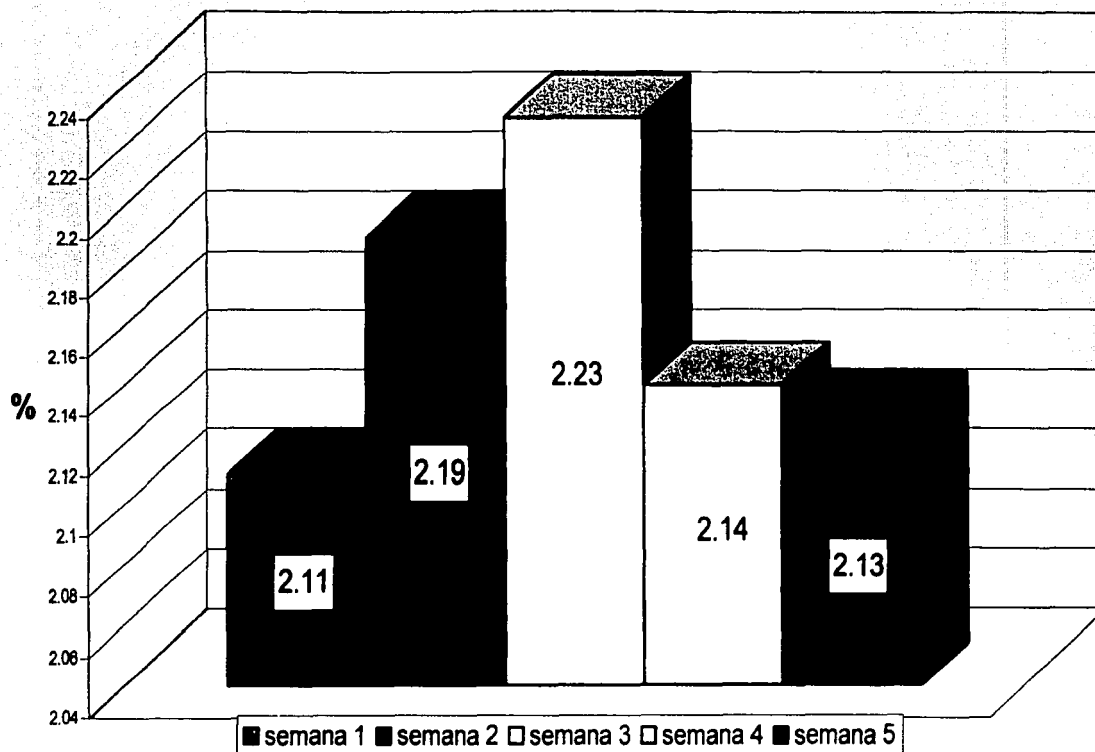


Figura 8. Concentración de proteína cruda en los solubles residuales de la producción de ácido cítrico.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

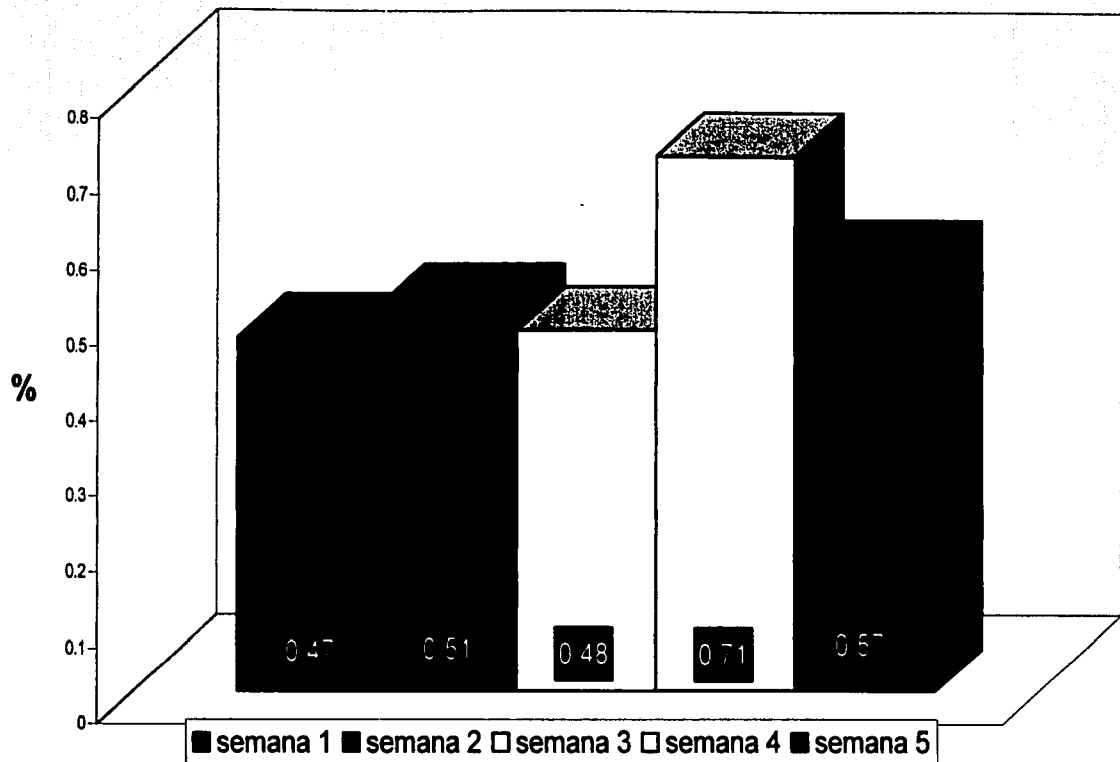


Figura 9. Concentración de extracto etéreo en los solubles residuales de la producción del ácido cítrico

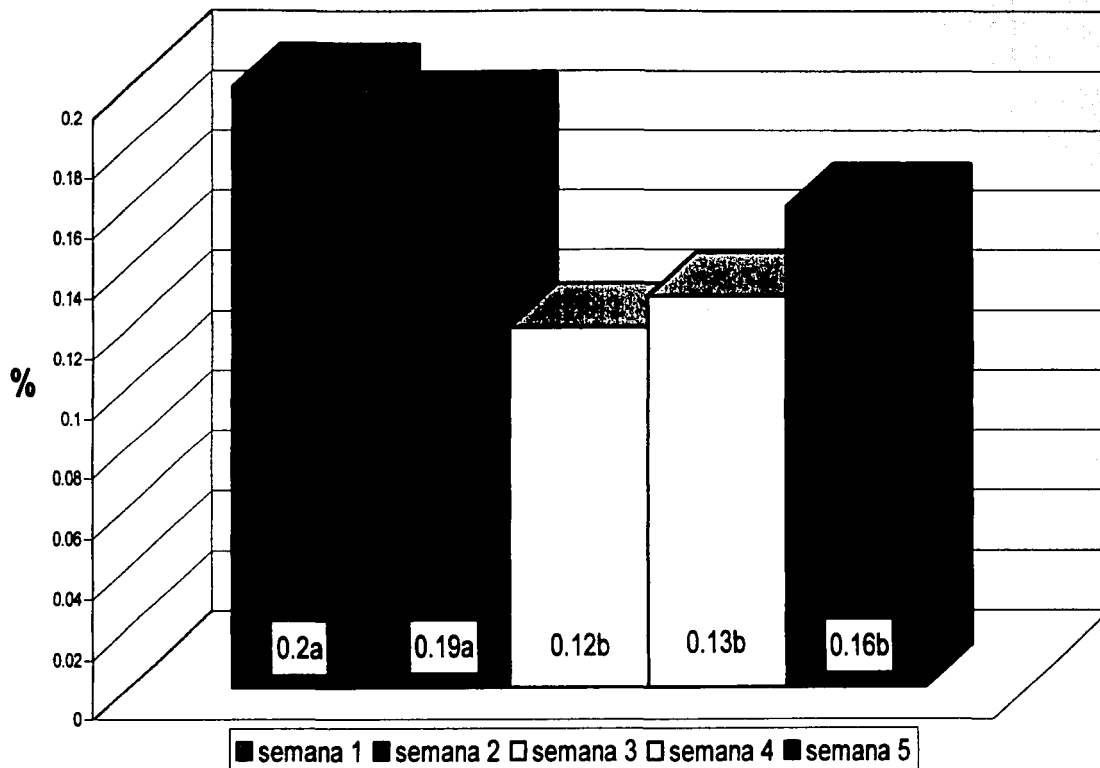


Figura 10. Contenido de cenizas en los solubles residuales de la producción de ácido cítrico

7.2 Fracción mineral

El contenido de Ca (cuadro 7) es diferente ($P < 0.05$). El hecho de que Ca sea uno de los elementos mayoritarios en todas las semanas de muestreo, se debe principalmente a que éste es precipitado como CaCO_3 en la extracción del ácido cítrico, dado que el hongo puede vivir sin este elemento. Sin embargo, siempre está presente en las cenizas como resultado del proceso de separación (figura 11).

La cantidad de fósforo fue constante durante las cinco semanas de muestreo, pero no fue significativa ($P > 0.05$) la variación entre semanas. La concentración de este mineral fue muy semejante al comportamiento que tuvo la proteína cruda. Se podría comentar que la concentración de proteína/fósforo en los SRPAC tiene una relación estrecha, debido a que *Aspergillus niger* utiliza el fósforo para la formación de sustancias proteicas, como nucleoproteínas, fosfoproteidos y fosfátidos; por consiguiente se afectan las dos.

La concentración de Mg y S no resultó diferente ($P > 0.05$) entre semanas. El primero de ellos es utilizado por el hongo para la formación de determinadas proteínas, pero sobre todo en la formación de conidias, teniendo una función importante en los procesos de fermentación. El S sólo es utilizado, al igual que el P, en la formación de proteínas (figura 11).

Para los minerales electrolíticos sólo se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en la concentración de Na, debido a que dentro del proceso de crecimiento del hongo se adiciona nitrato de sodio (NaNO_3) como nutriente; su adición está

determinada por el ritmo de crecimiento del hongo, el cual no siempre es constante. En cuanto a K y Cl, no se detectó variabilidad entre semanas, y el contenido promedio fue 0.538 +/- 0.016 y 0.373 +/- 0.043, respectivamente. El K puede ser substituido por rubidio y cesio, lo cual no siempre es recomendable dado que la producción de ácido disminuye; el K es utilizado por el hongo para la formación de paraesporas e interviene en la formación de protoplasma (figura 12).

En cuanto al contenido de microminerales, no se encontró diferencias ($P > 0.05$) para ninguno de ellos. No se observó contenido alguno de Cu y Fe en ninguna muestra, sin embargo el Fe es imprescindible para el desarrollo de los hongos, aunque se desconoce su mecanismo de acción y la razón por la cual no se detectó. No obstante, es necesaria la adición de 200 $\mu\text{cg/L}$ de substrato, lo cual es una cantidad muy pequeña y difícil de determinar (200 ng/mL). El Cu se necesita como estimulante para el crecimiento del hongo adicionando 40 a 180 $\mu\text{cg/L}$ de sustrato, tomado como microdosis, ya que cantidades mayores a estos límites son tóxicas para el hongo. Se podría decir que el hecho de no encontrar ninguno de estos minerales en el producto se debe, posiblemente, a que fueron metabolizados por el hongo o la sensibilidad del método de análisis no fue suficiente para detectarlos.

El contenido de Ca en los SRPAC es 0.28 % mismo que, comparado con los requerimientos nutricionales del ovino, se encuentra por debajo de su necesidad; por tanto, se debe dar un suplemento de Ca en la dieta.

Cuadro 7. Contenido de minerales presentes en los solubles residuales de la producción de ácido cítrico (%BS).

Mineral	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Calcio	0.328 ^a	0.070	0.256 ^b	0.051	0.228 ^b	0.084	0.308 ^a	0.068	0.305 ^a	0.080
Fósforo	0.897 ^a	0.017	0.900 ^a	0.016	0.901 ^a	0.007	0.899 ^a	0.014	0.901 ^a	0.007
Magnesio	0.006 ^a	0.003	0.006 ^a	0.002	0.007 ^a	0.001	0.007 ^a	0.003	0.007 ^a	0.003
Azufre	0.031 ^a	0.007	0.029 ^a	0.017	0.032 ^a	0.011	0.055 ^a	0.0018	0.035 ^a	0.014
Sodio	0.055 ^a	0.019	0.044 ^a	0.016	0.060 ^b	0.014	0.061 ^b	0.020	0.049 ^a	0.014
Potasio	0.351 ^a	0.027	0.373 ^a	0.023	0.378 ^a	0.059	0.385 ^a	0.061	0.407 ^a	0.047
Cloro	0.056 ^a	0.012	0.060 ^a	0.008	0.061 ^a	0.007	0.061 ^a	0.007	0.060 ^a	0.008

Nota : Los datos corresponden al promedio de 10 muestras por semana; no se reporta Cu, Mn, Fe y Zn debido a que no se encontraron en la muestra.

\bar{x} = Promedio

S = Desviación estándar

^{ab} = Diferencias significativas

Medias con letra diferente son diferentes (P<0.05)

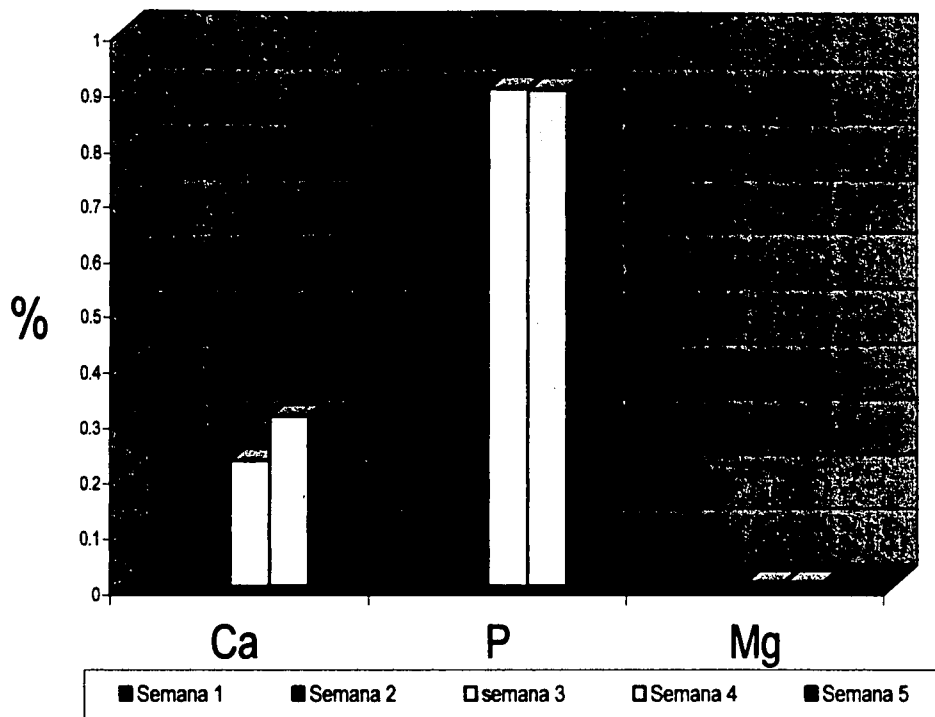


Figura 11. Contenido de calcio, fósforo y magnesio (%) en los solubles residuales de la producción del ácido cítrico

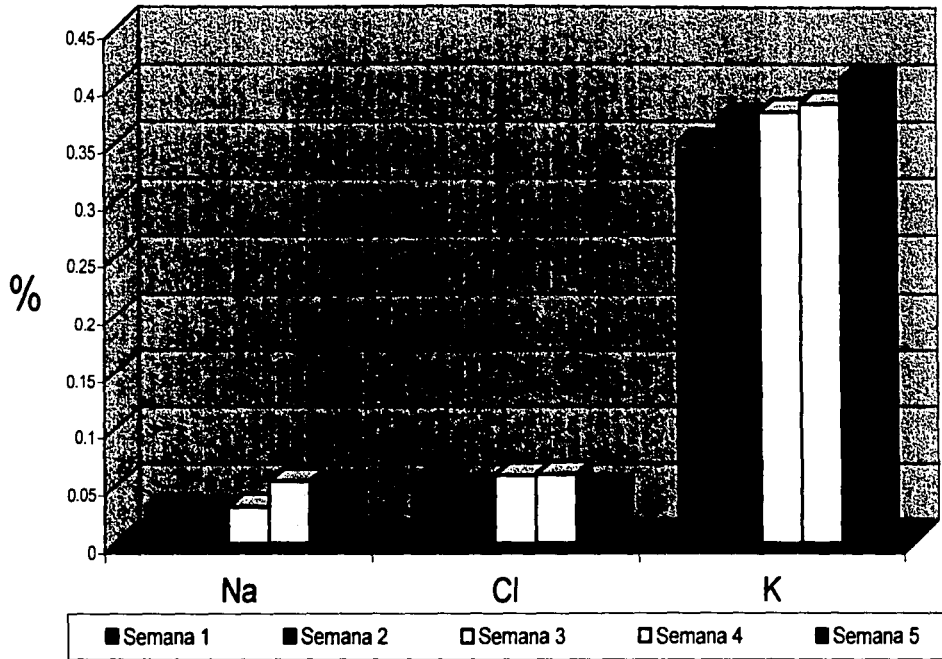


Figura 12. Contenido de sodio, potasio y cloro en los solubles residuales de la producción del ácido cítrico (%).

7.3 Metales pesados

En cuanto a metales pesados, no se detectaron concentraciones de Pb y Cd en ninguna de las 150 determinaciones de SRPAC ($P > 0.05$). Sin embargo, el contenido de Cr fue muy inestable o variable dentro de cada semana y entre semanas, su concentración varió de 0 a 8.5 ppm.

La variación en la concentración de Cr fue diferente ($P < 0.05$) entre semanas: $1.9^a \pm 1.81$, $3.05^b \pm 2.3$, $4.65^c \pm 2.16$, $1.80^a \pm 1.73$, $2.6^a \pm 1.07$ ppm para la semana 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente; dentro de la semana, la desviación estándar fue amplia, como se puede observar. Se desconoce el origen del Cr presente en las muestras, debido a que en el proceso de producción se asegura que el Cr no interviene. No obstante, la muestra pudo ser contaminada durante el proceso de recolección y envío al laboratorio, o por el agua utilizada en la fermentación.

7.4 Fracciones de fibra

Del total de fracciones de fibra (cuadro 8), sólo resultaron significativas entre semanas ($P < 0.05$) las concentraciones de FAD y hemicelulosa, siendo más marcada la diferencia en el segundo caso. El tratamiento alcalino no removió con eficiencia el citoplasma, si no que removió los componentes de la pared celular. No obstante el medio ácido detergente removió la quitina, la cual es soluble en medios ligeramente ácidos.

En los SRPAC la pared de la hifa se encuentra formada por quitina y algunas hemicelulosas. La celulosa sólo está presente en algunos grupos de hongos.

Todos los hongos poseen paredes celulares compuestas de quitina, que se encuentra mayoritariamente en el septo que divide la célula madre de la hija, además de la pared celular y membrana. El contenido de quitina y hemicelulosa varían dependiendo del desarrollo del micelio (hifas), por lo cual se puede decir que la distribución de polisacáridos en la pared no es uniforme entre un grupo de hongos (figuras 13 y 14). En la pared celular de los hongos raras veces se encuentra celulosa, a diferencia de los vegetales superiores, lo que explica el contenido de hemicelulosa en los SRPAC, que presentó la mayor variación entre semanas, dado que éste es afectado por el estadio de crecimiento del hongo.

Estos compuestos presentes en la pared celular, le permiten al micelio en su desarrollo, llegar a formar grandes cuerpos fructíferos, tales como los pedos o cuscos de lobo.

Cuadro 7a. Diferencias estructurales entre los hongos, bacterias, plantas y animales

Estructura	Hongos	Bacterias	Plantas	Animales
Núcleo	Si	No	Si	Si
Cromosoma	Varios	Uno	Varios	Varios
Membrana nuclear	Si	No	Si	Si
Reticulo endoplasmico	Si	No	Si	Si
Mitocodrias	Si	No	Si	Si
Cloroplastos	No	No	Si	No
Clorofila	No	Algunas	Si	No
Ribosomas	80 S	70 S	80 S	80 S
Esteroles de membrana	Ergosterol	No	Si	Colesterol
Pared celular	Quitina, Glucanos, Mananos	Mureína	Celulosa	No
Cápsula	Algunos	Algunas	No	No

Cuadro 8. Fracciones de fibra en los solubles residuales de la producción de ácido cítrico

Fracción	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
Paredes celulares	81.12 ^a	4.77	81.45 ^a	5.93	81.52 ^a	5.23	82.23 ^a	5.25	78.81 ^a	4.30
Contenido celular	18.88 ^a	4.77	18.55 ^a	5.93	18.48 ^a	5.23	17.77 ^a	5.25	21.19 ^a	4.30
% FAD	70.02 ^a	5.75	64.29 ^b	5.07	71.00 ^a	3.25	67.49 ^b	5.82	69.53 ^a	4.45
% Lignina	8.48 ^a	1.97	8.31 ^a	3.06	9.61 ^a	0.71	8.52 ^a	2.43	8.52 ^a	1.59
% Celulosa	26.24 ^a	3.57	26.19 ^a	1.63	29.09 ^a	1.19	26.19 ^a	3.29	27.42 ^a	1.86
% Hemicelulosa	11.09 ^a	0.49	17.13 ^b	2.32	10.49 ^a	2.32	14.71 ^b	3.68	9.25 ^a	1.80

Nota : Los datos corresponden al promedio de 10 muestras por semana.

\bar{x} = Promedio

S = Desviación estándar

^a_b = Diferencias significativas

Medias con letra diferente son diferentes (P<0.05)

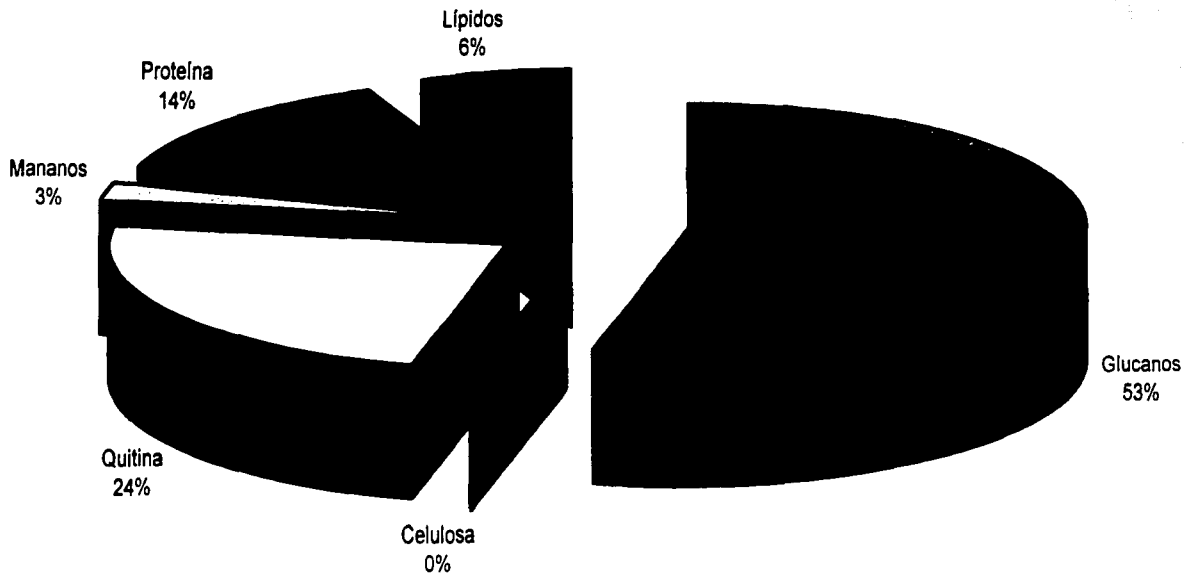


Figura 13. Representación química de *Aspergillus niger*

7.5 Acidez

La acidez total fue 2.64 ± 0.008 para la 1^a, 2^a, y 5^a semana, y 2.73 ± 0.003 , 2.67 ± 0.009 para la 3^a y 4^a semanas, manteniéndose constante durante las cinco semanas de muestreo ($P > 0.05$).

El grado de acidez en el subproducto podría afectar el medio ruminal. Sin embargo, el rumen es una cámara de fermentación predominantemente anaerobia, con un pH variable entre 5.5 y 7 de acuerdo al tipo de alimento que el animal esté consumiendo y al momento en que se mida. En ruminantes adultos, la población de protozoarios desaparece si el pH es inferior a 5.5, situación característica en animales que padecen acidosis. No obstante la salivación durante la rumia interviene para evitar acidosis ruminal ligera, por lo que aparentemente no se trastorna la función fermentativa.

En el presente estudio, no se manifestó la acidosis con ninguna de las dietas, ya que los RSPAC solo representaron parte de la dieta, por lo que se cree que el pH de la dieta fue superior al de los SRPAC.

7.6 Azúcares

El análisis volumétrico no detectó presencia de azúcares reductores en los SRPAC, lo cual se debe a que éstos son utilizados dentro del proceso de fermentación por *A. niger* para la producción de ácido cítrico. La presencia de azúcares en los SRPAC indicaría una fermentación incompleta, la cual traería como consecuencia una baja producción.

7.7 Aminoácidos totales

El perfil de aminoácidos totales se mantuvo muy homogéneo entre semanas y no fue diferente ($P > 0.05$). En el cuadro 9, se muestra el resultado del perfil promedio de aminoácidos que contienen los SRPAC, mismo que se compara con sorgo, pasta de soya y alfalfa, por ser materias primas de diferente clasificación de acuerdo al NRC.

Cuadro 9. Contenido (%) de aminoácidos totales en los solubles residuales de la producción de ácido cítrico en comparación con sorgo, pasta de soya y alfalfa.

Aminoácido	RSPAC	Sorgo	Soya	H. alfalfa
Lisina	0.53	0.21	2.75	0.74
Treonina	0.59	0.27	1.72	0.69
Isoleucina	0.45	0.35	2.06	0.65
Triptofano	0.19	0.09	0.59	0.25
Valina	1.04	0.44	2.15	0.80
Leucina	0.73	1.10	3.4	1.10
Arginina	0.74	0.35	3.25	0.69
Metionina	0.29	0.16	0.59	0.24
Cistina	0.20	0.17	0.66	0.20

La proteína de los SRPAC contiene todos los aminoácidos esenciales en baja cantidad, con relación a la pasta de soya; pero en cantidades superiores al compararlo con sorgo, en el cual la leucina es el único aminoácido que se encuentra en una proporción menor con relación a éste. Respecto a la harina de

alfalfa, el contenido de aminoácidos fue inferior en la mayoría de ellos con la excepción de valina, arginina y metionina donde los SRPAC resultaron superiores en 23.07 %, 6.75 % y 17.24 %. Esto no concuerda con Barraza y Cervantes (1990), quienes encontraron un contenido similar de lisina entre los SRPAC y sorgo. Es importante señalar que del total de nitrógeno reportado en BS, 82.82 % es proteína digestible con 83 % de digestibilidad, en promedio.

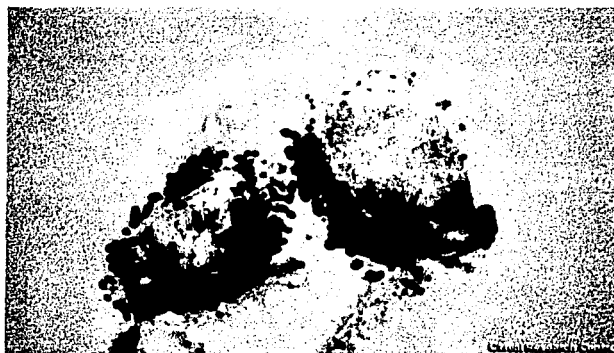


Figura 14 *Aspergillus niger* produciendo conidias negras

7.8 Digestibilidad *in vitro* y por recolección total de heces

La digestibilidad de un alimento marca la diferencia entre la alimentación cuantitativa de la cualitativa, para determinar la proporción de los nutrimentos consumidos y absorbidos, y predecir el valor nutritivo de un alimento. Dicho valor puede determinarse en primera instancia por el análisis químico proximal, pero su valor real sólo se puede lograr a través de las pérdidas que ocurren durante la digestión, absorción y metabolismo.

En cuanto a digestibilidad *in vitro*, los SRPAC no muestran diferencia ($P > 0.05$) entre semanas de muestreo, pero tienen una digestibilidad en MS de 78 %, concordando con Senei y Eltan, (1977b). Sin embargo, Pfister *et al* (1991) reportan que los ensayos *in vitro* tienden a subestimar la digestibilidad del producto, ya que el donador no consume el producto que se está estudiando. No obstante, el valor de paredes celulares (cuadro 8) explicaría el alto porcentaje de digestibilidad de los SRPAC. Esto concuerda con Van Soest (1964), quien señala que existe una correlación positiva entre los porcentajes de lignina y celulosa, los cuales están asociados con la digestibilidad, fisiología y factores ambientales.

En la figura 15, se observan los resultados de la digestibilidad por recolección total de heces, en la cual se midió la digestibilidad aparente (*in vivo*) del material consumido. Las heces contienen no sólo las porciones verdaderamente indigestibles de la dieta, sino también inevitables excreciones metabólicas y una pequeña cantidad del

potencial digestible del alimento, el cual escapa a la digestión.

En el mismo cuadro se observa que las dietas tienen tasas de degradación similar, pero no muestran una mayor digestibilidad sobre la dieta testigo. Al no encontrar evidencia estadística de una diferencia entre los tratamientos ($P=0.3763$), se puede mencionar que los SRPAC mantuvieron la digestibilidad de la dieta en sustitución de una parte proporcional de una mezcla sorgo - soya.

La inclusión de 15% de SRPAC en la dieta, presentó una digestibilidad de 90.91%, teniendo una diferencia de 1.26%, 1.70% y 2.21% para la dieta 4, 3 y 1. Esto no concuerda con Vladimirov y K'Snedelchev (1977), ya que no hay un incremento marcado en el porcentaje de digestibilidad al incluir SRPAC en la dieta, según reporta Senei y Eltan (1977), al menos no en una dieta isoproteica e isocalórica. No obstante, se puede mencionar que la digestibilidad de una dieta adicionada con SRPAC, es superior en 21% respecto a una dieta con base en forrajes frescos.

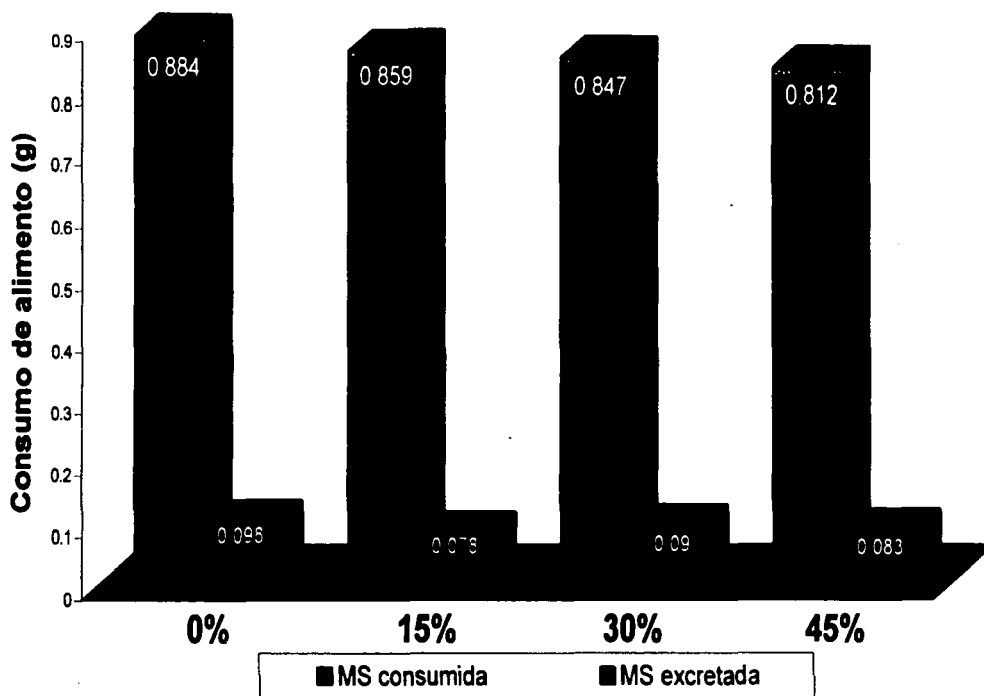


Figura 15. Digestibilidad aparente de la inclusión de solubles residuales de la producción de ácido cítrico en dietas para ovinos estabulados

8.1 PRUEBA DE COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO. MEDICIONES IN VIVO

8.1.1 Consumo de alimento

El consumo diario de alimento (cuadro 10) fue menor con la inclusión de 30 % de SRPAC, el cual se mantuvo constante durante todo el periodo experimental (56 d). La dieta testigo presentó el consumo más alto durante toda la prueba, y no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre periodos y entre tratamientos. Este estudio no concuerda con Barraza y Cervantes (1990), quienes observaron un efecto lineal en el consumo, por que al incluir 15 % y 45 % de SRPAC en la dieta, el consumo de alimento aumentó con relación al 30 %, pero no con respecto al testigo.

Senei y Eltan (1977) señalan que 15 % y 25 % de SRPAC en la dieta favorece el consumo; sin embargo, en su investigación los SRPAC fueron evaluados como un suplemento extra a la dieta de vacas estabuladas y no como un ingrediente que forma parte total de la dieta, como fue en este estudio (cuadro 1).

La figura 16 muestra el comportamiento de las curvas de consumo en todo el periodo experimental, observando que el consumo aumentó en función al aumento en el peso del animal. En ningún caso el consumo de SRPAC superó al de la dieta testigo, descartando así un efecto favorable en consumo de alimento al incluir SRPAC como parte de la dieta.

8.1.2 Ganancia diaria de peso (GDP)

En cuanto a GDP no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos y en ninguna de las etapas de crecimiento

(Cuadro 11). Estos resultados difieren de los de Senei y Eltan (1977), quienes obtuvieron una mejor GDP cuando incluyeron 25 % de micelio como suplemento a la ración, ya que posiblemente el incremento se debió a que los requerimientos de los animales estaban cubiertos con la dieta y al aumentar un ingrediente adicional, es lógico que el animal ganara más peso debido a que se proporcionan nutrientes extras; más no necesariamente el incremento de peso se debió a la adición del micelio.

En las figuras 17 y 18 se muestra la GDP de borregos alimentados con diferentes niveles de SRPAC en los cuatro periodos analizados. Cuando se incluyó SRPAC en la dieta, los borregos presentaron menores GDP que cuando no se agregaron, con excepción de los dos primeros periodos cuando la GDP fue mayor en (T₂) con 15 % respecto a la dieta testigo (T₁). Para el tercer periodo el comportamiento de la GDP entre T₁ y T₂ (0% y 15 % de SRPAC) no fue diferente, disminuyendo T₂ en la fase final de la prueba (4° periodo); así la dieta testigo tuvo el mejor comportamiento en ganancia total de peso. En el análisis de varianza de los resultados, no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en ninguno de los periodos mencionados, con respecto al grupo testigo. Por tanto la inclusión de 15 % de SRPAC tiene un efecto favorable en la GDP hasta los 45 días; posteriormente se necesita continuar la evaluación de un nivel óptimo de inclusión (cuadros 12-13, figuras 19-20).

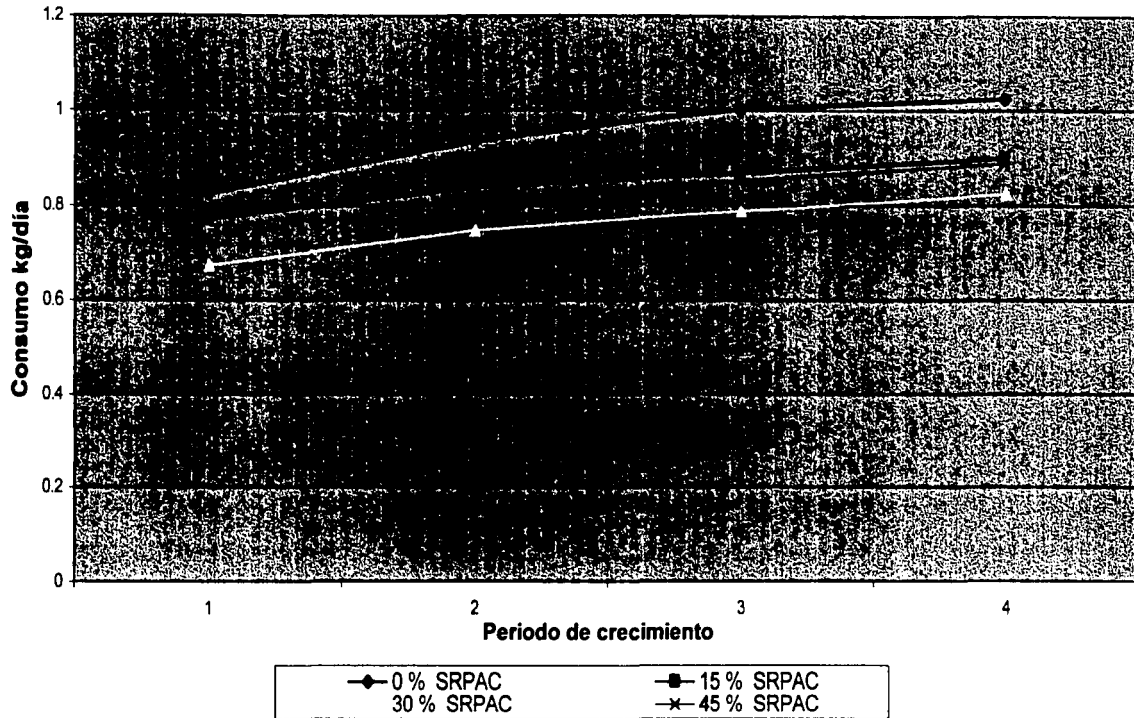


Figura 16. Consumo de Alimento (%BS) de ovinos estabulados y alimentados con dietas adicionadas con solubles residuales de la producción de ácido cítrico

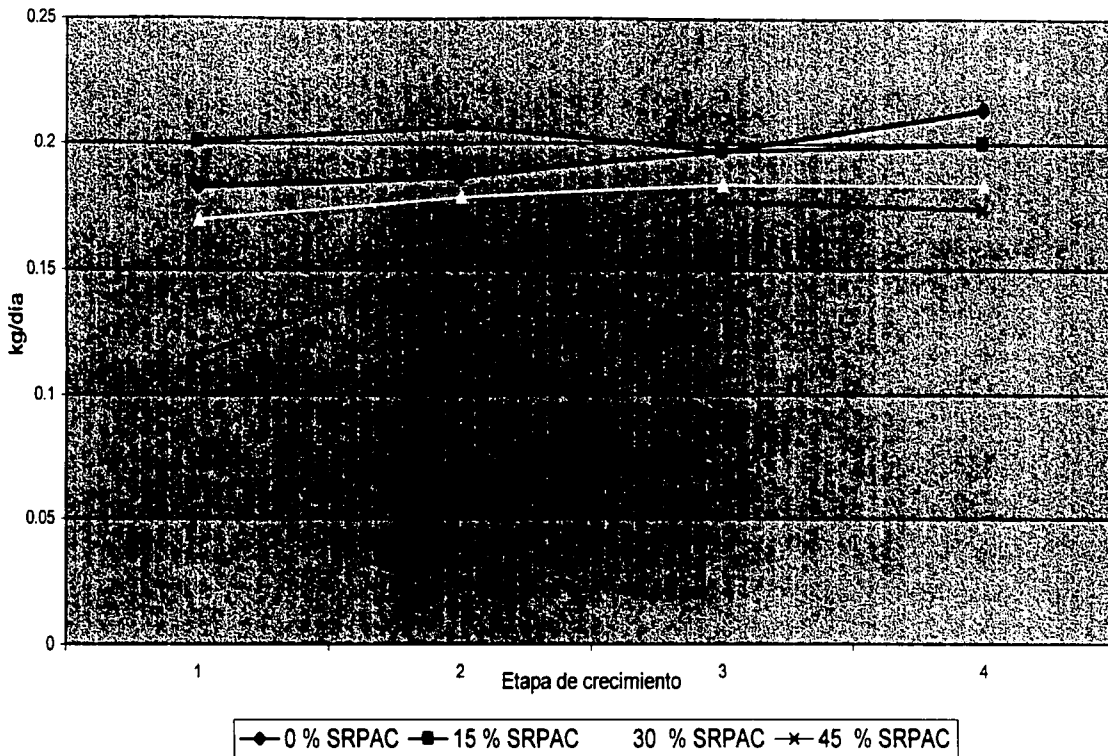


Figura 17 Ganancia diaria de peso (por etapas) de ovinos estabulados y alimentados con dietas adicionadas con solubles residuales de la producción de ácido cítrico

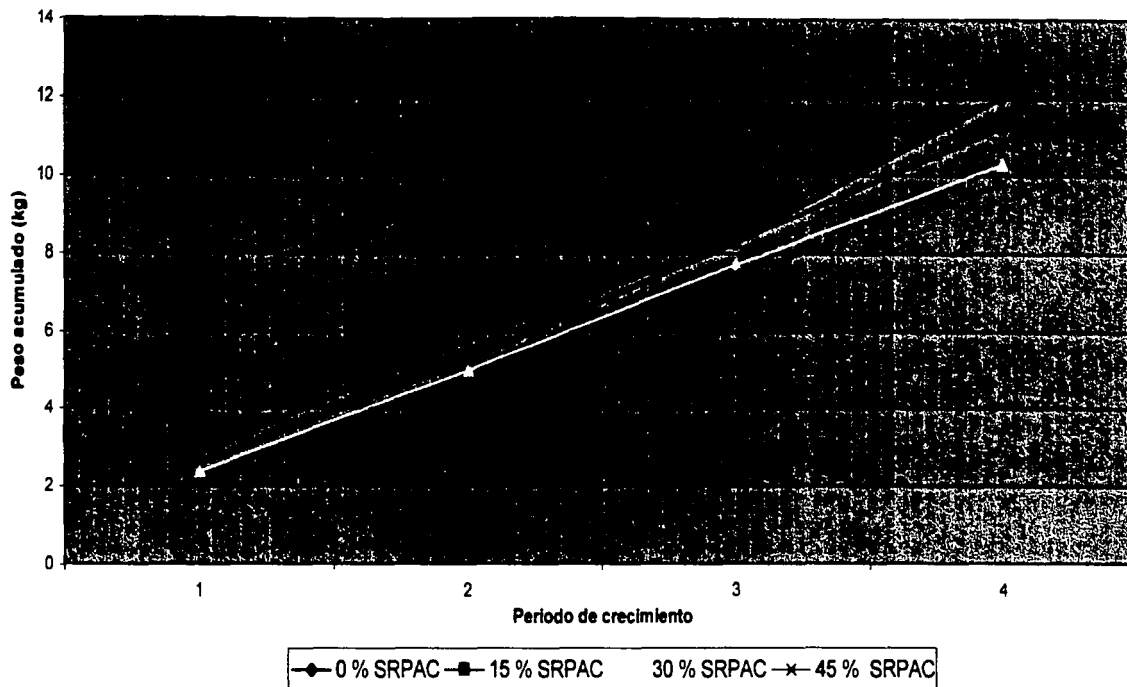


Figura 18. Ganancia diaria de peso (acumulada) de ovinos estabulados y alimentados con solubles residuales de la producción de ácido cítrico

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

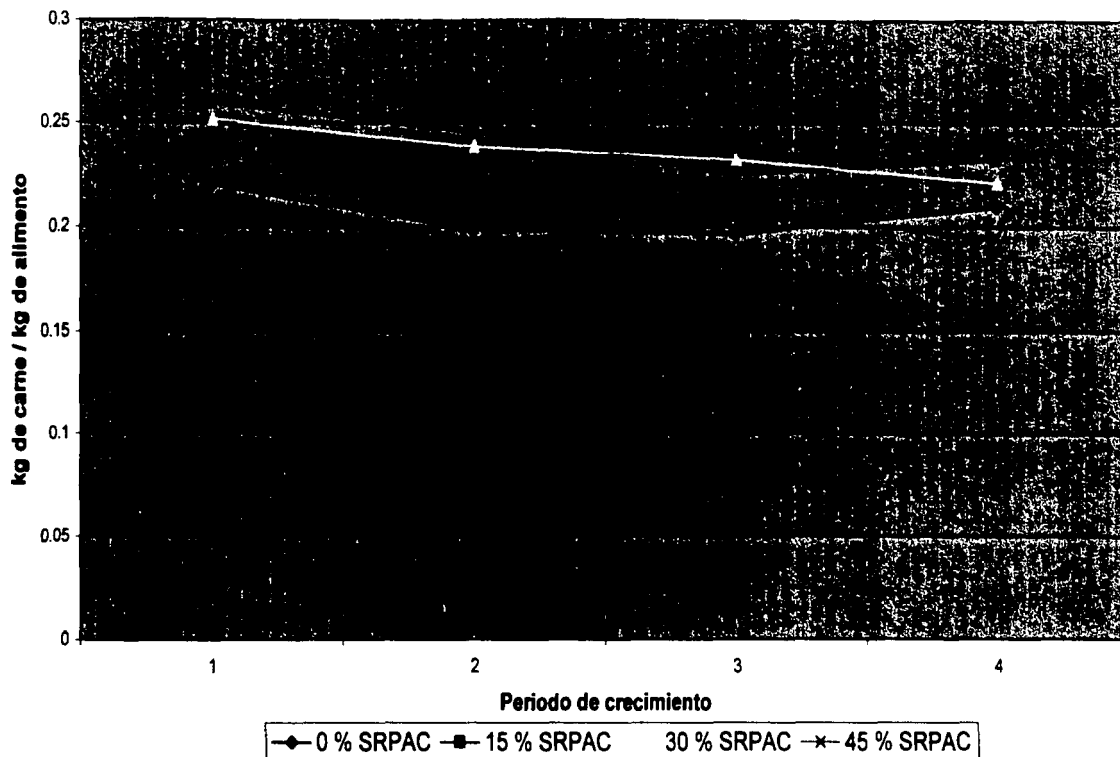


Figura 19. Eficiencia alimenticia de ovinos estabulados y alimentados con dietas adicionadas con solubles residuales de la producción de ácido cítrico

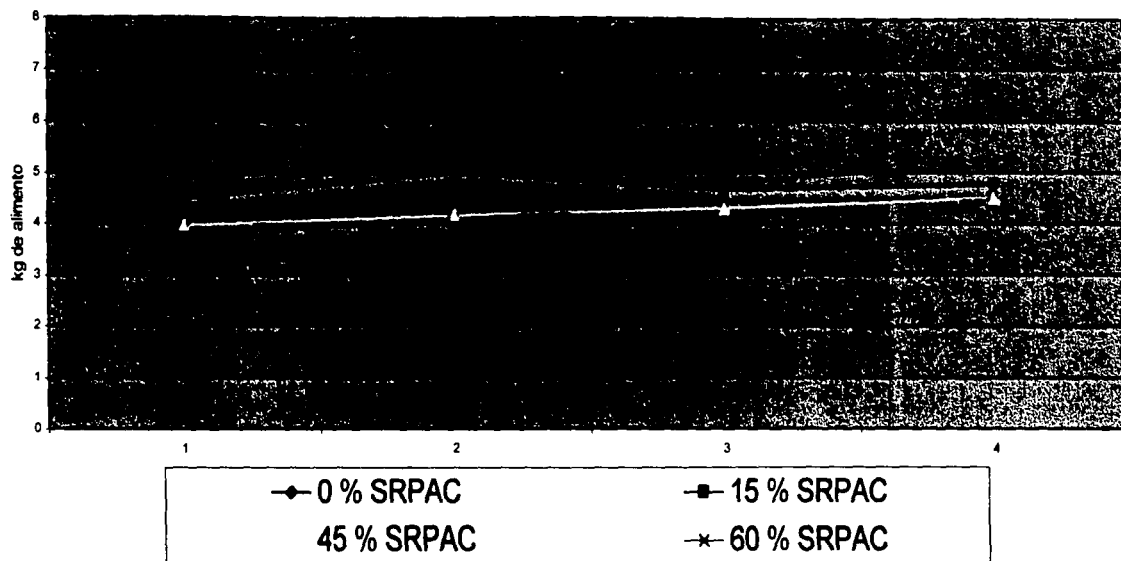


Figura 20. Conversión alimenticia de ovinos estabulados y alimentados con dietas adicionales con solubles residuales de la producción de ácido cítrico

Cuadro 10. Efecto del nivel de inclusión de los solubles residuales de la producción de ácido cítrico, sobre el consumo diario promedio de materia seca en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados.

ETAPA (Días)	0% SRPAC		15% SRPAC		30% SRPAC		45% SRPAC	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
0-14	0.827	0.68	0.771	0.118	0.675	0.027	0.787	0.051
0-28	0.939	0.155	0.841	0.083	0.748	0.033	0.807	0.031
0-42	1.002	0.206	0.870	0.082	0.789	0.052	0.853	0.040
0-56	1.025	0.179	0.902	0.068	0.829	0.061	0.892	0.034

\bar{x} = Promedio (Kg/día)
S = Desviación estándar

Cuadro 11. Efecto del nivel de inclusión de los solubles residuales de la producción de ácido cítrico, sobre la ganancia diaria de peso en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados.

ETAPA (Días)	0% SRPAC		15% SRPAC		30% SRPAC		45% SRPAC	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
0-15	0.183	0.064	0.201	0.074	0.170	0.091	0.115	0.037
0-30	0.187	0.035	0.207	0.052	0.179	0.028	0.154	0.020
0-45	0.197	0.026	0.197	0.038	0.184	0.028	0.177	0.035
0-60	0.215	0.031	0.201	0.037	0.184	0.026	0.174	0.022

\bar{x} = Promedio (Kg/día)
S = Desviación estándar

Cuadro 12. Efecto del nivel de inclusión de los solubles residuales de la producción de ácido cítrico, sobre conversión alimenticia en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados.

ETAPA (Días)	0% SRPAC		15% SRPAC		30% SRPAC		45% SRPAC	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
0-14	4.51	1.06	3.83	1.31	3.97	0.296	6.84	1.37
0-28	5.02	0.57	4.06	1.16	4.17	0.61	5.24	0.82
0-42	4.66	0.58	4.42	1.22	4.29	0.41	4.82	0.96
0-56	4.77	0.56	4.49	1.15	4.51	0.40	5.13	0.67

\bar{x} = Promedio (Kg/día)
S= Desviación estándar

Cuadro 13. Efecto del nivel de inclusión de los solubles residuales de la producción de ácido cítrico, sobre la eficiencia alimenticia en diferentes etapas de crecimiento de ovinos estabulados.

ETAPA (Días)	0% SRPAC		15% SRPAC		30% SRPAC		45% SRPAC	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
0-14	0.221	0.053	0.260	0.076	0.252	0.014	0.146	0.049
0-28	0.199	0.024	0.246	0.061	0.239	0.033	0.191	0.029
0-42	0.197	0.024	0.226	0.047	0.233	0.022	0.207	0.046
0-56	0.210	0.025	0.233	0.049	0.222	0.021	0.195	0.029

\bar{x} = Promedio (Kg/día)
S= Desviación estándar

8.2 MEDICIONES POST MORTEM

El peso vivo al sacrificio fue una determinación importante, ya que de acuerdo con la literatura consultada, existe una relación entre esta variable y la cantidad de carne del animal. En el cuadro 14, se observa que no se detectaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el peso al sacrificio al incrementar SRPAC en la dieta, concordando con lo observado por Farnworth (1987) y Romano et al. (1983)

El rendimiento en canal es la relación entre el peso de la canal y el peso vivo previo a la matanza, que no siempre fue mayor al tener un peso más alto al sacrificio. Esto no concuerda con Arviza et al., (1996^a) y Dickerson et al. (1972), quienes concluyeron que el rendimiento aumentó al incrementarse el peso vivo al sacrificio. Si se considera que otros factores como el contenido gastrointestinal, peso de la piel, nivel energético en la dieta, etc. pueden afectar esta variable, se podría predecir que pueden haber variaciones al respecto.

Al evaluar el rendimiento en canal comercial y verdadero, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) por efecto de los tratamientos (Cuadro 18). El rendimiento comercial se encontró dentro del promedio (45 %) reportado como normal por Arviza y De Lucas (1996b). Sin embargo, el rendimiento verdadero fue superior en 4.94 % a 13.66 % de dicho promedio.

En otros estudios (Romano et al., 1983) en borregos Pelibuey, hubo rendimientos verdaderos más altos los

anteriormente reportados, variando según la dieta utilizada desde 52 % a 58 %, lo cual concuerda con los resultados del presente estudio.

En el Cuadro 15, se observa que el peso de la canal caliente no se vio afectado por la inclusión de dosis crecientes de SRPAC, al compararlo con la dieta testigo; además, la adición de éstos en la dieta no afectó el peso de ninguno de los componentes medidos. De igual forma, al tomar el peso a las 24 horas posteriores al sacrificio (canal fría) no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$).

Cuadro 14. Rendimiento en canal de borregos alimentados con diferentes niveles de solubles residuales de la producción de ácido cítrico.

Tratamiento	Peso de sacrificio (kg)	Rendimiento comercial (%)	Rendimiento verdadero (%)
0 % Micelio	38.26	51.12	56.83
15 % Micelio	37.40	49.00	54.54
30 % Micelio	32.94	49.94	52.47
45 % Micelio	35.48	50.68	55.24

Cuadro 15. Efecto de la inclusión de solubles residuales de la producción de ácido cítrico en peso de la canal caliente y fría, en borregos.

Tratamiento	Peso de sacrificio (kg)	Peso canal caliente (kg)	Peso canal Fría (kg)
0 % Micelio	38.26	19.98	19.57
15 % Micelio	37.40	19.74	19.42
30 % Micelio	32.94	17.55	17.31
45 % Micelio	35.48	19.48	19.09

X. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y con las condiciones empleadas en el presente estudio, se puede concluir lo siguiente:

- a) Los SRPAC tienen un perfil nutritivo constante y aceptable en sus fracciones de humedad, materia seca, proteína cruda y extracto etéreo. Sin embargo, se requiere más investigación en cuanto a su contenido de cenizas, el cual estará en función del lote y fecha de muestreo.
- b) El contenido de calcio y sodio presente en los SRPAC no presentó ningún peligro para la especie animal en estudio; sin embargo, previo a la utilización de los mismos deberá ser evaluado su contenido, ya que no es constante.
- c) El contenido de cromo encontrado en los SRPAC es motivo de estudio para posteriores investigaciones; no obstante, el medio ambiente donde se recolectó pudo haber sido la causa de la variación.
- d) La pared celular del hongo varía dependiendo del desarrollo del micelio, lo que indica que la distribución de polisacáridos en la pared no es constante entre un grupo de hongos. Por tanto, las fracciones de fibra ácido detergente y hemicelulosa se deben estudiar en posteriores investigaciones.
- e) Los SRPAC tienen un nivel constante de acidez y no presentan azúcares reductores.

- f) Los SRPAC tienen un perfil homogéneo de aminoácidos, aunque en baja cantidad.
- g) La digestibilidad en los SRPAC es 78 %; no obstante, no representó un incremento marcado al formar parte de una dieta isoproteica e isocalórica.
- h) Los SRPAC no cambian el consumo de alimento; por tanto, la ganancia de peso no se incrementa. Sin embargo, mejoran la conversión y eficiencia alimenticia al incluir 15 % de los mismos en la dieta.
- i) Los SRPAC no afectan el rendimiento en canal.
- j) Se deben seguir evaluando diferentes concentraciones en la dieta, con la finalidad de encontrar el nivel óptimo que genere resultados favorables.

XI. LITERATURA CITADA

1. Wilson PN, Brigstocke TDA. Avances en la alimentación del ganado vacuno y ovino. España: Acribia, 1987.
2. González MS. Crecimiento compensatorio en borregos. Memorias del seminario internacional: Avances en producción ovina Centro de Ganadería Montecillo (Edo de Méx) Mex. Colegio de Postgraduados 1992:44-72.
3. Cuéllar OA. La estratificación de la producción en la ovinocultura de subsistencia de México como un intento para comercializar borrego de calidad. Memorias del cuarto foro ovino; 1993 Querétaro (Qro.) México. Diciembre 1993:10-40.
4. Alonso FA, Bächtold GE, Aguilar VA, Juárez GJ, Casas PVM Economía Zootécnica. 2nd ed México: Noriega - Limusa 1989.
5. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Producción anual de esquilmos agrícolas y subproductos industriales para la alimentación animal. México (DF): SARH, 1988:14-28.
6. Castañeda FA, Monroy AF. Métodos de procesamiento de subproductos agrícolas para evaluar su valor nutricional. Memorias del seminario utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de ruminantes. Centro de Ganadería, Montecillo (Edo de Méx) México: Colegio de Postgraduados, 1984:20-29.
7. Grande CJD. Los alimentos no convencionales. El marco

internacional. Memorias del seminario internacional Aprovechamiento de recursos potenciales para la alimentación animal. México (DF): Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán, 1992.

8. Bressani R. Valor nutritivo y utilización de recursos vegetales autóctonos no-convencionales en la alimentación animal. Memorias del seminario internacional Aprovechamiento de recursos potenciales para la alimentación animal. México (DF): Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán, 1992.
9. Shultz T. Alimentando ganado lechero con subproductos agrícolas. Memorias del VII Congreso Nacional AMENA. Veracruz (Veracruz) México. México (DF): Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, AC, 1995:175-179.
10. FAO 4. Utilization of agroindustrial by-products in latin America. New feed resources. Rome, Italy, 1976.
11. Gohl BI. Los subproductos de los cítricos para la alimentación del ganado. Rev Mun Zoot, 1973; 5:24-27.
12. Frank RG. Introducción al cálculo de costos. Buenos Aires Argentina: El Ateneo, 1977.
13. Méndez MJS. Fundamentos de economía. 2nd ed. México: Mc Graw-Hill, 1990.

14. Ramírez DJM. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo de los cítricos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México (DF), 1982.
15. Claverón AR. Importancia y objetivos del II simposium sobre la agroindustria del limón Mexicano. Memorias del II Simposium sobre la agroindustria del limón mexicano. Manzanillo (Colima) México. México (DF): Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1984:7-9.
16. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Censo agrícola 1991. México (DF) INEGI, 1991.
17. Fideicomiso del limón. Nacional Financiera SA. Departamento de Investigación Desarrollo y Control de calidad. Tecomán (Colima) México, 1985: 21-48
18. Bu'Lock J, Kristiansen B. Biotecnología básica. Zaragoza (España): Acribia, 1991.
19. Joklik WK, Willet H, Bernard AM. Microbiología. México: Panamericana, 1991.
20. Miall LM. In economic microbiology. Primary products of metabolism. London: Academic Press Inc., 1977; 2:47-119
21. Davis DB. Microbiology. 4nd ed Whashington DC:

- JB Lippin Cott Company, 1990:5-90.
22. Herrera T, Ulloa M. Micología básica y aplicada. Fondo de cultura económica, México, 1990:183-184.
 23. Burnett JH. Fundamentals of mycology. 2nd ed. Edward Arnold, 1976:9-38.
 24. Rhodes A, Fletcher DL. Principios de microbiología industrial. Zaragoza (España). Acribia, 1969: 189-207.
 25. Louisot P. Bioquímica estructural. Madrid (España): 1977:43
 26. Muller E. Micología: Manual para naturistas y médicos. Omega 1990.
 27. Griffin HD. Fungal physiology. 2nd ed. Wiley-Liss, 1981.
 28. Hernández TM. Evaluación del efecto del pH y la fuente de carbono sobre la producción de xilanasas en cepas de *Aspergillus* creciendo a 45 °C. (tesis de licenciatura). México (DF): Facultad de Química. UNAM, 1995.
 29. Vanden BH, Mackenzie RDW, Cauwenbergh G. *Aspergillus* y aspergillosis. Plenum Publishing Corporation. New York, 1988.
 30. Smith R. *Aspergillus* biotechnology. Handbooks 7nd ed. Smith Plenium Press, 1994:23-40

31. Wilson F. Botánica. México. Uthea, 1980.
32. Bauer F. Fitopatología. México. Limusa, 1978.
33. Alexopoulos CJ. Introductory micology. 2nd ed. New York. Jon Wiley & Sons Inc., 1962:271-272.
34. Thom C, Rapper K. Manual of the Aspergilli. The Williams and Wilkins Company, 1945.
35. García LJ. Algunas consideraciones sobre *Aspergillus* grupo niger aisladas en Oaxtepec Morelos (tesis de licenciatura). México (DF). Facultad de Química. UNAM, 1982.
36. Othmer K. Encyclopaedia of chemical technology. 3rd ed. New York. John Wiley & Sons, 1979; Vol 6:150-178
37. Kappor KK, Chaudhary K. Citric acid, Prescott y Dunn's industrial Microbiology. G. Reed (comp), Co. Westport, Connecticut, 1982:709-748
38. Garibay GM, Quintero RR, López MCA. Biotecnología alimentaria. México. Limusa, 1993.
39. Solís PSE. Obtención y uso de mutantes hiperproductores de *Aspergillus sp* en la producción de pectinasas extracelulares a partir de desechos agroindustriales (tesis de licenciatura). Facultad de Química. UNAM, 1988

40. Rivero SR. Producción de β -amilasa por una cepa de *Aspergillus niger* (tesis de licenciatura). Facultad de Química. UNAM, 1983.
41. Best GE, Hernandez SSA. Producción de pectinasa y proteasa por *Aspergillus niger* (tesis de licenciatura) Facultad de Química. UNAM, 1978.
42. Eveleigh DE. Elaboración microbiológica de productos químicos industriales. Investigación y ciencia, 1981;12: 94-104.
43. Reppler JH. Microbiology technology. New York. Rheinhold publishing corporation, 1967.
44. Owen PW. Biotecnología de la fermentación. Zaragoza (España). Acribia, 1991.
45. Kristiansen B, Sinclair CG. Production of citric acid in continuous culture. Biotechnol Bioeng 1979; 21:297-315
46. Badoi S. Química de los alimentos. México: Alambra Mexicana, 1990.
47. Shu P, Johnson J. Effect of the sporulation medium on citric acid production on by *Aspergillus niger* in submerged culture. J. Bacteriology, 1987;54:161-167.
48. Sánchez-Marroquin R, Carreño O, Ledezma M. Effect of trace elements on citric acid fermentation by

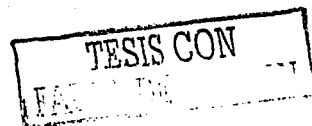
- Aspergillus niger*. Appl Microbiol Biotechnol. 1970; 20: 888-892
49. Gupta SD, Moheshewari R. Isorganic acid required for nutrition of thermophilic fungi. Arch Microbiol. 1985; 141: 164-169
 50. Banik AK. Fermentative production of citric acid by *Aspergillus niger*. Strain selection and optimum cultural conditions for improved citric acid production. J. Food Sci. Technol. 1975; 12:11-114.
 51. Clark DS. Submerged citric acid fermentation of ferrocyanide-treated cane molasses. Biotech and Bieng. 1962;4: 17-21.
 52. Prescott SC, Duna CG. Industrial microbiology 3rd ed. New York. Mc Graw-Hill, 1959: 228-234 y 533-574.
 53. Cortés SJM, Tejada CIZ, Soriano TJ, Díaz CA, Romero F. Caracterización nutricional del micelio de *Aspergillus niger* como alternativa en la alimentación animal. Memorias del IX congreso Nacional AMENA. Ixtapa Zihuatanejo (Guerrero). México (DF): Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, AC, 1999.
 54. Orozco DF. Análisis químico cualitativo. México: Porrúa, 1985.

55. Harris LE. Métodos para el análisis químico y la evaluación biológica de alimentos para animales. Universidad de Florida, Gainsville, U.S.A., 1990:17-42
56. Bateman, JV. Nutrición animal, manual de métodos de laboratorio. México. Herrero Hermanos, 1970.
57. Tejada HI, Berruecos VJM, Merino ZH. Análisis bromatológicos de alimentos empleados como ingredientes en nutrición animal. Tec. Pec. Méx. 38;1980:25-31.
58. Tilley JMA and Terry RA. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Brit. Grassl. Soc. 1963; 18:104-109.
59. Fahmy HM. The acumulative efect of finnshepp breeding in crossbreeding: growth and carcass traits. Can. J. Anim. Sci. 1985; 658: 811-819.
60. Mc Clelland, TM, Bonaiti B, Taylor CS. Breed diferences in body composition of equally mature sheep. Anim. Prod. 1976; 23: 281-293.
61. Ono K, Berry BH, Johnson HK, Russek E, Parker CF, Cahill VR, Althouse PG. Nutrient composition of lambs of two age groups. J. Food Sci. 1984;49:1233-1239.
62. Butler-Hogg BW, Brown AJ. Muscle weight distribution in lambs, a comparison of entire male and female. Anim. Prod. 1986;39:405-407.

63. Moody EG, Kemp JD, Maltyardinm JDM. Effec of feeding systems slaughter weight and sex on histological properties of lamb carcasses. J. Anim. Sci. 1980; 50:249-253.
64. Patrice MA, Butsons S, Makerechian M. The influence of feed energy level on grownth and carcass traits in bull of two breed types. Can. J. Anim. Sci. 1984;64:323-332
65. Romano MJ, Hernández G., Castellanos RA. Repercusión del valor nutritivo de la dieta sobre el crecimiento del borrego Pelibuey. Tec. Pec. Mex. 1983;45:67-79.
66. Romano MJ, Pérez L, Martínez R, Shimada A. Efecto del medio ambiente y la densidad energética de la dieta, sobre la finalización de ovinos Pelibuey y Corriedale. Reunión de investigación pecuaria en México. Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, SARH, 1985:138-142.
67. Farnworth FR, Kramer KG. Fat metabolism in growing swine: a review. Can. J. Sci. 1987;67:301-318.
68. De Lucas TJ, Arbiza ASI. Razas de ovinos. México. Editores mexicanos unidos, 1996.
69. Arbiza ASI, De Lucas TJ. Producción de carne ovina. México. Editores mexicanos unidos, 1996.
70. Senei HS, Eltan O. Utilization of *Aspergillus niger*

- mycelium from citric acid production in feed for beef cattle. Nutr. Abstr. 1977;47:116-129.
71. Senei HS, Eltan O. Digestibility of dry matter and nutrients in *Aspergillus niger* mycelium. Nutr. Abstr. 1977;47:115-122.
 72. Vladimirov I, K"Snedelchev M. Effect of a supplement of residual mycelium from citric acid production on the growth of sucking calves. Nutr Abstr. 1977; 47:11:60-75.
 73. Guerra NB, Stamford TM, De Madeiros RB, De Freitas CP, Mala SR, Cavalcante ML. Protein enrichment of pineapple waste for animal feeds. Food and Nutr. Bull. 1983;8: 78-80.
 74. Rejagopal MV. Technical note; microbial protein from corn waste. J. Feed. Technol. 1977;12:633-637
 75. Barraza EJ, Cervantes GA. Engorda de ovinos con diferentes niveles de *Aspergillus niger* en la dieta (tesis de licenciatura). Chapingo (Estado de México) México. Univ Autónoma Chapingo, 1990.
 76. Daneu B, Angeleu A. Chronic toxicity of mould pictinace. Nutr. Abstr. 1978; 14:68-73
 77. Ostrenko B, Saltykova D. Fungal mycelia in feeds for cattle. Nutr Abstr 1977; 47: 314-324.

78. Stoikov D. Effect of *Aspergillus niger* mycelium and citric acid on digestion and digestibility of feeds by sheeps. Nutr. Abstr. 1974; 11:7111.
79. García E. Carta climatológica y topográfica del departamento de estudios del territorio nacional de la secretaria de programación y presupuesto. 1979.
80. Rodríguez, GF. Determinación de la digestibilidad in vivo y balance de nutrientes. El manual de técnicas de investigación en nutrición de ruminantes INIP / SARH Capitulo III, 1980.
81. Snedecor VW, Cochran WG. Statistical methods. Iowa, USA. Iowa State University Press, 1980.
82. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd ed. Singapore: Mc Graw-Hill, 1981.
83. Tejada HI. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. México. Sistema de educación continua en producción animal, AC, 1992.
84. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. Edited by Kenneth Helrich, Washington, DC 15th, 1990.
85. Food Chemical Codex, 1972.



86. Van Soest PJ. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds, II. A rapid method of the determination of fiber and lignin. J. Assoc. Off. Agr. Chem. 1963; 46(5), 829.
87. Van Soest PJ and Wine RH. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds, IV: The determination of plant cell wall constituents. J. Assoc. Off. Anim. Chem. 1967; 50: 50.
88. Van Soest PJ and Wine RH. Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber by permanganate. J. Assoc. Of. Anim. Chem. 1968; 51:780
- 89.- Van Soest PJ, Robertson, and Lewis BA. Carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 1991;74; 3583 - 3597
90. Castellanos RA, Lamas LG, Shimada MAS. Manual de técnicas de investigación en ruminología. México. Sistema de educación continua en producción animal AC, 1990.
91. National Research Council. Nutritional requirements of sheep. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 1985.

92. Boggs LD, Merkel AR. Live animal carcass calculate and selection manual. Kendall/Hunt Iowa. USA and Publishing Company, 1981:133-163

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Apéndice 1. Análisis químico proximal de los solubles residuales de la producción de ácido cítrico

FRACCION	BASE HUMEDA	BASE SECA	BASE TOTAL
Humedad	82.93	10.00	0.00
Materia Seca	17.07	90.00	100.00
Proteína cruda	2.16	11.39	12.65
Cenizas	0.16	0.84	0.94
Extracto etéreo	0.55	2.90	3.22
Fibra cruda	8.15	42.97	47.74
E.L.N.	5.82	30.68	34.09
T.N.D.	11.37	59.95	66.61
EM (Kcal/kg)	501.32	2643.16	2936.85
ED (Kcal/kg)	411.02	2167.06	2407.85

Los resultados que se presentan corresponden al promedio de cien muestras, no tomando en cuenta las diferencias estadísticas, sin embargo el producto no tiene un perfil químico constante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN