

FISIOLOGIA DIGESTIVA DEL RUMIANTE

Jose I Pulido H.¹^{errera}

INTRODUCCION

El estudio detallado de las características anatómicas, fisiológicas y en general, del metabolismo del sistema digestivo del rumiante, ha permitido el desarrollo de técnicas y procedimientos para su explotación eficiente, las que han redundado en un mayor beneficio para la humanidad.

Con base en el entendimiento de la fisiología digestiva de los rumiantes y comparándola con lo que ocurre con los animales monogástricos, el proceso digestivo de los rumiantes resulta particularmente complejo. Las diferencias que se presentan entre estas especies, debidas principalmente al proceso evolutivo de las mismas; ha colocado a los bovinos en una situación de dependencia simbiótica con la actividad microbial que se desarrolla de manera especial en el rumen, para la toma de la mayor parte de sus nutrientes. Así, mientras que en el animal monogástrico los nutrientes son tomados gracias a la acción

¹ Zootecnista, M Sc. Producción Animal. Programa Ganado de leche, ICA, Obonuco. San Juan de Pasto, Colombia. AA 339. Tel: 927-233532.

directa del animal sobre los componentes de la dieta; en el rumiante, el alimento es inicialmente degradado gracias a la acción de microorganismos y luego el propio "hospedante" (rumiante) actúa sobre los productos resultantes de la fermentación para tomar sus nutrientes.

Los animales monogástricos no pueden tomar mayor provecho de los forrajes, ya que no pueden degradar los carbohidratos de alto peso molecular, tales como celulosa y hemicelulosa, componentes éstos, importantes de la pared celular de las plantas, en compuestos simples como glucosa y otros azúcares necesarios para su nutrición.

Los ruminantes por su parte, pueden transformar los componentes más importantes de la pared celular en otros más sencillos, mediante la fermentación ruminal, la cual se lleva a cabo gracias a la presencia de una gama muy variada de especie de microorganismos que se hospedan en el rumen y el retículo principalmente.

Con motivo de las ventajas comparativas que esta especie ofrece sobre otras domésticas, hacen necesario revisar y discutir los conceptos de fisiología digestiva del rumiante, con el objeto de interesar a los profesionales involucrados en actividades pecuarias sobre los posibles medios que hacen más eficiente la utilización de alimentos por parte de los bovinos especialmente.

2. CAMBIOS EN EL APARATO DIGESTIVO DURANTE LA VIDA DEL RUMIANTE.

El rumiante al nacer, tiene el estomago dividido tal como el rumiante adulto en cuatro compartimientos, sin embargo, solo el abomaso o cuajar es funcional. El volumen relativo del abomaso es significativamente mayor en el recién nacido, con respecto al rumiante adulto (Cuadro 1).

El estomago o abomaso presenta durante las primeras horas de vida del ternero una capacidad hidrolítica limitada a los peptidos lacteos por acción de la renina y poco desarrollo de las celulas encargadas de secretar al ácido clorhidrico. Lo anterior, facilita el escape del contenido gastrico de inmonoglobulinas calostrales para su absorción en el intestino delgado. Esta situación favorece el traslado de la resistencia de enfermedades de la madre hacia el hijo. Al respecto Stott et al (1979), indica que la condición que favorece la absorción de inmonoglobulinas dura muy poco tiempo (Cuadro 2).

Efectivamente a las 24 horas postnacimiento, por un lado la mucosa estomacal inicia una hidrólisis parcial de la proteína calostrala y por otro, la concentración de inmonoglobulinas en el calostro decrece desde las ocho horas (Stott et al 1979, 1983), además la pepsina aumenta su

actividad específica en el estómago, contribuyendo de esta forma a reducir el escape de proteínas no digeridas.

Únicamente el estómago verdadero (abomaso) presenta funcionalidad en el ternero recién nacido, los demás divertículos estomacales permanecen relativamente aislados del alimento hasta la implantación de la flora microbial y su adaptación anatómica para este proceso. El rumiante joven está dotado de un mecanismo natural para desviar el alimento líquido que recibe de la madre, de tal forma que no entra a los pre-estómagos sino que sigue su curso al abomaso (Paterson et al 1983). De esta forma se evita que un alimento rico en nutrientes, y por lo tanto altamente fermentable se acumule temporalmente en los compartimentos no aptos todavía para la fermentación. Si esto ocurriera, se presentarían dispepsias que se traducen en muchas ocasiones en diarreas y deshidratación.

El intestino delgado presenta gran actividad en el recién nacido, sin embargo, Balmore et al 1983 indica que esta capacidad puede saturarse si se suministran cantidades de lactosa superiores a 200 g/día (Cuadro 3). Así mismo, la digestibilidad de las grasas depende de la cantidad ingerida y al menos hasta las tres semanas de edad, la ternera no podrá absorber más de 5.4 g/Kg de Peso vivo, de lo anterior se deduce que dietas altas en la oferta de leche con contenidos normales de grasa pueden causar diarreas, a pesar

de la alta digestibilidad de la leche y su grasa (Mendez, 1986, citado por Pulido 1987).

Por otro lado, la actividad enzimática sobre los almidones a temprana edad es baja durante los primeros días de vida y es tan solo efectiva hasta los dos meses de edad, haciéndose más efectiva en los cereales que en los propios tubérculos. Sin embargo, los procesos térmicos de gelatinización y peletización de alimentos generalmente aumentan su digestibilidad.

En cuanto a las proteínas no lácteas, su digestibilidad aumenta en el curso del primer mes; los valores más altos (90 -94 %) se han obtenido con sueros lácteos deshidratados y harinas de pescado. Las proteínas de origen vegetal por su parte, tienen una digestibilidad baja; pero en el caso de soya, algodón y otros elementos proteicos se ha logrado mejorar por el aumento de las temperaturas y la eliminación de factores negativos en su digestibilidad (ej factores antitripsínicos). Adicionalmente, a pesar de que no está determinado aún cuáles aminoácidos son realmente esenciales para la ternera, se afirma que son los mismos que necesita el cerdo y la rata en crecimiento (Church 1989, citado por Pulido 1987).

Desde el punto de vista de la utilización de la energía, todos los estudios realizados en terneras pre-rumiantes que

reciben leche de vaca y otros elementos suplementarios, indican que la eficiencia de la energía metabolizable para mantenimiento y crecimiento es del orden del 70 % .

La leche constituye obviamente el mejor alimento para la ternera prerumiante, sin embargo en nuestras condiciones de explotación, interesa que el consumo sea el mínimo posible. Este objetivo puede alcanzarse de dos maneras que no son excluyentes entre si; suministrando cantidades limitadas de leche a los niveles mínimos compatibles con un adecuado desarrollo y /o utilizando sustitutos de origen lacteo o alimentos concentrados balanceados.

El pre-ruminante, inicia muy pronto su adaptación al alimento sólido y tosco, en situaciones de crianza artificial con libre acceso al concentrado y forraje se observa la iniciación de la ingestión de forraje al término de la segunda semana de edad. Con ello, las pequeñas cantidades de material sólido ingerido comienzan a desarrollar la actividad de los preestomagos, ya que por lo general no se desvian al estomago verdadero. Dependiendo del sistema de cria utilizado, el desarrollo de los preestomagos y las características digestivas del rumiante aparecen entre los dos y los cuatro meses de edad. Sin embargo, solo al término de los cuatro meses de vida, la digestión como el metabolismo del rumiante adulto estan plenamente definidos y funcionales.

3. DIGESTION EN EL RUMIANTE ADULTO.

3.1. El rumiante

Para que los alimentos ingeridos por los rumiantes puedan ser digeridos efectivamente en el rumen, previamente sufren una reducción muy importante de tamaño durante la masticación y remasticación del bolo alimenticio, luego de un proceso de fermentación relativamente rapido en el medio ruminal. Este paso previo a la fermentación completa del alimento, definido como rumia, junto con las saculaciones completas del estomago caracterizan de manera especifica al rumiante (Peña, 1986).

3.2. Consumo de alimento:

Aunque aparentemente simple el problema de la ingestión del alimento y sus controles todavia no se han entedido a cabalidad en las diferentes especies animales; el hecho de que el animal consuma mayor o menor cantidad de un ingrediente en comparación con otro y satisfaga o no sus necesidades orgánicas esta determinado por un buen número de fenómenos. Estos fenomenos estan asociados con el animal y con el alimento. Los comunmente discutidos en condiciones de campo son los relacionados con el alimento, como disponibilidad, volumen, contenido de fibra, contenido de

compuestos energéticos, contenido y relación de minerales, olor y sabor.

El consumo de alimento por parte de los rumiantes es un aspecto fundamental para la nutrición de estos, ya que este factor determina la cantidad de nutrientes que ingresan a su aparato digestivo y en esa misma medida determina la función y la respuesta en producción y crecimiento de los animales; Pero al mismo tiempo la digestibilidad y utilización de los nutrientes por parte del rumiante definen en gran medida la cantidad de alimento consumido (Van Soest, 1982).

Segun Preston et al (1989), la productividad de los rumiantes está determinada por diversos factores, pero dos de los más importantes son determinar qué consumen y en qué cantidad. Aunque los rumiantes comen una gran variedad de alimentos, algunos de los cuales pueden ser en un principio poco palatables, son sumamente selectivos y al parecer les gusta comer unos más que otros. Normalmente toman pastos verdes o granos de cereales con gusto, consumiendo otros más lentamente y sin tanto interes. Al parecer los rumiantes reconocen las sensaciones tanto agradables como desagradables asociadas con los alimentos ya sea antes o después de consumirlos.

Generalmente, en el pastoreo existe una variedad de plantas disponibles. Sin embargo, sólo seleccionan algunas y éstas

no son necesariamente las más abundantes en la pastura. Es muy común que las plantas que representan sólo una pequeña porción del pasto, son las que conforman la mayor parte de la dieta. Cuando la presión de pastoreo no es muy alta, los animales seleccionan las hojas de las plantas; sin embargo, es obvio que cuando hay menor cantidad de pasto disponible, la selección es menor.

Otros factores inherentes al animal son; el peso corporal, la producción de leche, el desarrollo fetal, la función ruminal y algunos factores endocrinos. El funcionamiento ruminal es el principal modificador del consumo de materia seca del rumiante (Balie, 1978, Balch, 1971, citados por Diaz, 1987). Dependiendo de la tasa de pasaje y de la tasa de digestión, el rumen podrá vaciarse rápido o lentamente, determinando el mayor o menor consumo de alimento. El pH del rumen y la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) Karfman 1978, citado por Diaz 1987, determinados por el tipo de dieta y la frecuencia de consumo pueden alterar el funcionamiento ruminal y de esta manera influir en el consumo. Algunos factores endocrinos (Gorski 1970, citado por Diaz 1987) y cambios metabólicos como concentraciones de ácidos grasos libres en la sangre y niveles de hormona del crecimiento están asociados a la regulación del consumo de materia seca, figura 1.

Existen además tres estímulos básicos asociados con el metabolismo y la digestión que surgen como consecuencia de la búsqueda de alimento y su ingestión, y que ya sean solos o combinados inhiben los centros del hipotálamo y, por lo tanto, limitan el consumo alimenticio, esto son, absorción y metabolismo de nutrientes, distensión del aparato digestivo y fatiga. Así, cuando los productos finales de la digestión están en desequilibrio para cumplir con una función productiva, habrá un exceso de energía C_2 la cual se debe gastar en forma de calor. El animal reduce su consumo alimenticio como consecuencia de este desequilibrio, particularmente en climas calidos. Aunque la distensión del aparato digestivo puede limitar el consumo, se ha indicado que las deficiencias de nutrientes en los productos de la digestión es uno de los principales limitantes, ej. aminoácidos. Igualmente, los animales se cansan de buscar, consumir y rumiar su alimento, el volumen de la digesta que pasa através del ciclo de la rumia es dos veces mayor a lo que se consume, en animales alimentados con dietas fibrosas; esto implica que la rumia pudiera ser una de las causas de la fatiga, ya que restringe el consumo y el tiempo que se demora el animal en esta actividad.

Por otro lado, de acuerdo con la figura 2, actualmente existe evidencia que el máximo nivel de consumo depende del equilibrio apropiado de nutrientes en la digestión. Esto se comprueba precisamente en vacas especializadas para la

producción de leche, cuya su alimentación estuvo basada en grano de maiz y una suplementación con una fuente de proteína de absorción en el intestino delgado o sobrepasante.

En general el consumo de materia seca a partir de forrajes en los rumiantes oscila, por todos los factores antes mencionados, en un rango entre 2.0 y 3.5 % de peso vivo y en bovinos cuando la dieta es de alta calidad mantienen consumos del orden de 90 a 100 g / Kg P V 0.75.

3.3. Interacciones a nivel del rumen

Para el estudio de la alimentación y nutrición del rumiante es necesario tener en cuenta dos elementos básicos. a) el animal (vaca novilla u oveja etc.) y b) los microorganismos (bacterias y protozoarios) que habitan el rumen reticulo del animal. EL animal tambien conocido como " hospedero" ya que este da hospedaje a los microorganismos (huespedes) mantienen una relación muy estrecha, a la que se le llama interacción de tipo simbiótica huesped-hospedante. pero las acciones de esta interacción estan mediadas y determinadas por el insumo, alimento, de tal forma que este alimento interactua como substrato para los microorganismos ruminales estableciendo una verdadera interacción triple asi: substrato-microroganismos-animal (Figura 3).

El animal rumiante como se mencionó anteriormente, tiene la particularidad de poseer tres compartimentos (rumen retículo y omaso que anteceden al abomaso o estómago verdadero. Estos compartimentos particularmente el rumen juegan el papel más importante en la relación simbiótica substrato-microorganismos-animal.

El rumen además del retículo y el omaso, se encuentra colonizado por millones de bacterias y protozoarios que son indispensables para el aprovechamiento de los alimentos que consume el animal, particularmente aquellos bastos, como los pastos y los forrajes. El mecanismo por medio del cual se degradan estos alimentos, se realiza gracias a que algunos tipos de bacterias que viven en el rumen (celulolíticas) secretan la enzima celulasa capaz de hidrolizar (digerir) la celulosa, componente mayoritario de los tejidos estructurales de las plantas. Lo anterior, toma mayor relevancia en la medida que no existe tejido de mamífero alguno que pueda secretar la enzima celulasa, cuya especificidad está dada precisamente en términos de poder quebrar los enlaces beta 1 - alfa 4 de la celulosa.

La degradación de la celulosa para provecho directo de las bacterias e indirectamente para el animal se da no solo por la presencia de bacterias, sino también a ciertas condiciones que el rumen está en capacidad de brindar a sus huéspedes. Bajo las siguientes condiciones de pH = 5.7 -

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA.

6.8, $T^{\circ} = 39 - 40^{\circ} C$; ambiente anaerobio (85 % de $CO_2 + 25\%$ de CH_4), movimientos constantes, absorción eficiente de subproductos y eliminación de gases, las bacterias logran vivir, multiplicarse y de esta manera contriuir al proceso digestivo de los rumiantes. Estos mecanismos en forma resumida se pueden observar en la figura 4, adaptada por Owen (1987).

El alimento una vez ingerido, será más o menos nutritivo para el hospedante, dependiendo de la transformación que sufra a expensas de los microorganismos antes de que la masa alimenticia transformada o no ingrese al abomaso; si el alimento (substrato) ingerido es de tan pobre calidad que no es capaz de sostener una activa fermentación y síntesis microbiana, la masa alimenticia que llega al abomaso, se podría decir, sería bastante pobre, ya que llegaría con escasos microorganismos y mucha fibra sin digerir; si esta condición se prolonga podría sobrevenir la desnutrición del hospedante y en un caso extremo posiblemente la muerte. Pero, si por el contrario, el alimento ingerido es rico en nutrientes apropiados para los microorganismos (huespedes), entonces se darán condiciones para una activa fermentación microbiana y síntesis de los microorganismos.

Durante el proceso de fermentación ruminal se liberan, a manera de excreción, por parte de los microorganismos una serie de componentes orgánicos: los ácidos grasos volátiles

(AGV) que el hospedante aprovecha absorviendolos a traves de las paredes del rumen y de los cuales puede suplirse hasta el 80 % de los requerimientos energeticos. La situaciones descritas contribuyen a la interacción alimento-microorganismos que afectan de manera especial al animal.

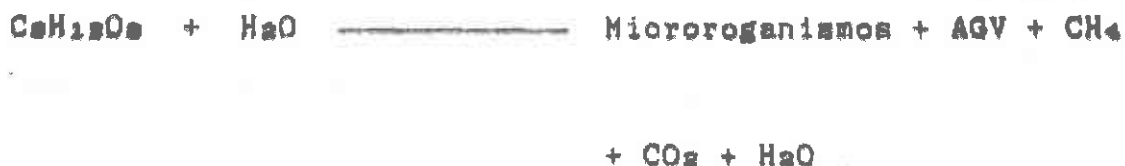
Por otro lado, existe una interacción alimento-hospedante, independiente a la interacción alimento-microorganismo, la cual se manifiesta gracias a las condiciones de habitat que ofrece el rumen a sus microorganismos (huespedes) para facilitar la degradación del alimento; pero esa interacción debe entenderse más directa en la medida que el rumen debe tener una gran motilidad para que constantemente este volcando y removiendo toda la masa ruminal para facilitar y promover una vigorosa fermentación. Si el animal (hospedante) no recibe suficiente material fibroso en su dieta, puede causar una parálisis ruminal, esto se debe a que el rumen requiere una cantidad mínima (17 % de su ingesta) de material fibroso, para estimular y mantener el tono y movimientos del rumen.

Igualmente, entre los microorganismos (bacterias, protozoarios y hongos) que habitan el rumen se lleva a cabo una serie de interacciones un poco más complejas y no siempre traen ventajas para el huesped. Se ha demostrado que poblaciones grandes de protozoarios en el rumen reducen la productividad animal; esto se debe aparentemente en gran

parte a una disminución en la relación de aminoácidos a energía en los productos absorbidos a través de la digestión. Sin embargo, y posiblemente de mayor importancia parece ser que los protozoarios reducen la biomasa de bacterias y hongos en el rumen de los animales recibiendo dietas altas en fibra y por lo tanto pueden reducir la tasa de digestión de los alimentos fibrosos.

4. TRANSACCIONES QUE SUCEDEN EN EL RUMEN

De manera general se pueden resumir las diferentes transacciones que suceden en el rumen mediante la siguiente ecuación:



Sin embargo, los productos finales de esta fermentación podran explicarse cada uno asi:

4.1. Fermentación de Carbohidratos:

Los productos finales de la fermentación de todas las dietas en el rumen son los AGV (acetato, propionato y butirato), dióxido de carbono y gas metano. El ATP (adenosintrifosfato) producido como resultado de la conversión de alimento en ácidos grasos volátiles y en compuestos intermediarios utilizados en el crecimiento celular, es la principal fuente de energía para el crecimiento de microorganismos. Un esquema sencillo para la fermentación ruminal se muestra en la figura 5.

Además, en la figura 6 se ilustra un enfoque más detallado y cuantitativo de la fermentación ruminal. El diagrama demuestra que los componentes digeribles del alimento ingerido toman los siguientes caminos:

- a) Se convierten a ácidos grasos volátiles a AGV (figura 7).
- b) Se reducen a compuestos intermediarios que son monómeros para el crecimiento microbial. y
- c) Escapan a la fermentación y pasan al aparato digestivo posterior donde son digeridos.

Parte del alimento potencialmente fermentable escapará a la fermentación ruminal y será degradado en el intestino.

Investigaciones recientes han demostrado que proporciones importantes de algunos alimentos pasan intactos al tracto intestinal inferior, otros alimentos se pueden manipular fácilmente (eje. harinas protéicas) para evitar el proceso fermentativo del rumen. La proteína sobrepasante, es decir aquella fracción proteica que escapa al proceso fermentativo del rumen se define como cualquier proporción de un alimento proteico que escapa el rumen sin degradarse y que esta disponible para ser digerido en el intestino. Igualmente la energía sobrepasante, es esa parte del alimento que escapa de la fermentación y es digerida en el intestino delgado.

Uno de los costos ocasionados por la forma de digestión de los rumiantes es que la fermentación de los alimentos facilmente digestibles conlleva una perdida hasta del 20 % de la energía ingerida en forma de calor y gas metano. Otra desventaja principal es que las proteínas que se fermentan en el rumen se desperdician como fuente de aminoácidos esenciales por ello se argumenta que la proteína es demasiado valiosa para permitir que sea fermentada ya que la fermentación proteica es ineficiente como fuente de ATP para el crecimiento microbial. Además, el nitrógeno para crecimiento bacteriano se puede suplir en una forma más elemental, como NNP, ej. urea.

4.2 Crecimiento Microbial.

Los microorganismos ruminales utilizan ATP esencialmente para dos propósitos: como fuente de energía para sintetizar sus propias células y para proporcionar energía necesaria en mantenimiento. El ATP disponible para crecimiento microbial depende de la fracción requerida para el mantenimiento de los microorganismos. La eficiencia de generación de ATP y el crecimiento celular también depende de los substratos que proporcionan los elementos del crecimiento para los microorganismos. Los estimados de producción de células microbiales en términos de carbohidratos fermentados, indican que son los intermediarios en el fraccionamiento de la glucosa a nivel ruminal los que se utilizan para sintetizar las células microbiales.

Los factores principales que afectan las cantidades de microorganismos del rumen disponibles para la digestión en el intestino delgado del rumiante son:

a) La disponibilidad y/o concentración en el líquido ruminal de precursores (ej. glucosa, ácidos nucleicos, aminoácidos, péptidos, amoníaco y minerales incluyendo S, K y P.).

b) Los requerimientos de mantenimiento de los microorganismos.

c) El recambio de células microbiales.

d) La destrucción de bacterias por protozoarios depredadores.

Por otro lado, del 40 - 60 % de la materia seca de las células microbiales es proteína y por lo tanto la síntesis de aminoácidos y proteínas son las principales reacciones que requieren ATP. Las vías de síntesis de aminoácidos en los microorganismos no están bien definidas. Sin embargo, está muy claro que el amoníaco es muy importante para la síntesis eficiente de aminoácidos y por lo tanto para la proteína microbiana.

Se ha sugerido que la tasa máxima de síntesis microbiana ocurre cuando la concentración amoniacal está entre 5 y 8 mg N / 100 ml. Otros autores han encontrado niveles óptimos diferentes, lo que sugiere que la dieta influye en el nivel óptimo de amoníaco; en un rango, según Leng y Nolan 1984, que puede estar tan alto, como 15 - 20 mg N / 100 ml dependiendo de la dieta.

Roffler y Satter (1975) suministrando diferentes niveles de N amoniacal del fluido ruminal, establecieron ecuaciones de regresión para predecir la concentración de N amoniacal en el rumen partiendo del nivel de proteína cruda de la dieta y de su contenido de TDN:

$$\text{N amoniacal} = 38.73 - 3.04 (\text{PC}) + 0.171(\text{PC}^2)(\text{TDN}) + 0.002$$

(mg N/100 ml)

(TDN²)

Las bacterias que se han desarrollado en un medio de niveles bajos de amoníaco fijan este en un proceso de dos etapas que involucran la glutamina sintetasa y el glutamato sintetasa, de acuerdo con la figura 8.

El efecto de diferentes eficiencias de crecimiento bacterial sobre el porcentaje de carbohidratos metabolizados en el rumen que son convertidos en microorganismos y en ácidos grasos volátiles y metano se muestran en la figura 9; Esta indica que dependiendo de la eficiencia con la cual se utiliza el ATP, determinado por el YATP (definido como el peso en gramos de células secas que se producen por mol de ATP disponible) La cantidad de carbohidratos convertidos a células microbiales puede acercarse a la cantidad fermentada de AGV.

En el rumen, cuando los carbohidratos se fermentan AGV y células microbiales, se pierde energía en forma de calor. Las pérdidas de energía en forma de calor son siempre pequeñas pero se influyen por el YATP. Esta situación se ha podido demostrar indicando que ha medida que la eficiencia de síntesis de células se incrementa la

producción de gas metano y calor fermentativo disminuye. Por lo tanto, cualquier factor que aumente la producción de células microbiales podría aumentar la disponibilidad de energía metabolizable. Sin embargo, los microorganismos tienen una digestibilidad del 75 al 90 %. Si la digestibilidad de los microorganismos se considera que es del 75 % las pérdidas adicionales de energía en forma de residuos microbiales en las heces eliminaría cualquier ventaja energética.

4.3. Transacciones de nitrógeno en el rumen.

El metabolismo de la proteína en el rumiante se puede sintetizar de manera general en la figura 10.

Los rumiantes obtienen sus aminoácidos a partir de la proteína y del nitrógeno no proteico de la dieta mediante la transformación de esta en proteína microbiana por las bacterias y protozoarios del rumen. Esta síntesis de proteína microbiana depende, como se dijo anteriormente, en el alto grado de la disponibilidad de energía en el rumen entre otros factores.

Las bacterias del rumen atacan estos compuestos (proteína verdadera y/o NNP), liberando NH₃ que ellos utilizan para su propia síntesis de proteína celular; parte del nitrógeno liberado y no utilizado por las bacterias es absorbido por

las paredes del rumen la cual entra al torrente sanguíneo y va al hígado; allí el NH_3 que es tóxico al tejido del rumiante es detoxificado por su conversión a urea. La urea en el hígado puede tomar dos rutas:

a) una pequeña cantidad es reciclada al rumen, y

b) la mayor cantidad es excretada vía riñón por la orina.

Aquella fracción de NH_3 atrapada y utilizada por las bacterias para síntesis de proteína de sus propias células (crecimiento de la masa biótica), ingresa al abomaso, al intestino delgado y al resto del tracto digestivo en forma de proteína verdadera bacteriana. Las bacterias al pasar del retículo-rumen y omaso al intestino delgado, son digeridas por las enzimas digestivas del hospedante. Esta proteína verdadera bacteriana es la que provee los aminoácidos que el animal necesita para sintetizar sus tejidos, enzimas, hormonas y otros compuestos nitrogenados como la caseína (proteína de la leche).

En el ciego y la porción inferior del intestino delgado se encuentran bacterias que fermentan en mayor y menor grado la masa que llega a esas estructuras, produciéndose liberación de NH_3 , el cual es absorbido y llevado por la sangre al hígado; aún se desconoce el valor para el animal hospedante

de este aporte nutricional que se da en el tracto digestivo inferior.

Otra vía de excreción de nitrógeno son las heces, en ellas se encuentra algo de proteína dietética no digerida ni por el rumen ni por el intestino, algo de proteína endógena y mucha de origen bacteriano.

Por último, los residuos de alimento, las células bacterianas y las secreciones endógenas que pasan al intestino son fermentadas en el ciego e intestino grueso, la relación estequiométrica entre la producción de AGV y la síntesis de células microbianas probablemente sea similar a la del rumen. Los AGV son absorbidos y muy poco aparece en las heces. El ácido acético es el principal AGV producido en el ciego e intestino grueso.

La principal fuente de nitrógeno para los organismos cecales es, casi que con seguridad, el amoníaco en su mayoría proveniente de la úrea que entra desde la sangre. Sin embargo otros materiales endógenos nitrogenados provenientes de las células epiteliales del intestino, enzimas y bacterias ruminales pueden ser degradados a amoníaco. Los amoniácidos provenientes de las células bacterianas degradadas en el intestino grueso pueden absorberse como tales, pero la producción de grandes cantidades de AGV de

cadena ramificada sugiere que las bacterias degradadas se absorben en gran parte como AGV y amoníaco.

4.4. Transacción de lípidos en el rumen.

Los contenidos de grasa en la dieta de rumiantes pueden variar de 0 a 10 %. Cuando la dieta se basa en forrajes rara vez excede el 3% (Díaz, 1989). Los lípidos de las plantas forrajeras están principalmente en los cloroplastos, y los ácidos linolénico, (53 %), linoléico (13 %), y oléico (10 %) son los AGV principales.

En el rumen, los lípidos son rápidamente hidrolizados por lipasas bacterianas a ácidos grasos, galactosa y glicerol, estos dos últimos son fermentados a AGV. Los ácidos grasos insaturados son hidrogenados (saturados) por los microorganismos, algunos son incorporados a la célula bacteriana y otros pasan al intestino para su absorción. Los ácidos grasos de cadena larga (AGCL) son altamente digestibles en el intestino, probablemente en un 80% (Thornton y Tume, 1984, citados por Preston y Leng 1989).

El consumo de AGCL por vacas lactantes en dietas a base de cereales puede llegar a ser más bajo que en los animales con dietas a base de forrajes, sin embargo rara vez es menor de 500 g/día. La mayoría de las raciones basadas en subproductos agroindustriales, residuos de cosecha o pastos

trópicos secos, son muy bajas en lípidos en comparación con las dietas utilizadas en países de clima templado. Por ejemplo, la paja de cereal contiene del 1 al 2% de grasa en materia seca. bajo estas condiciones el consumo de lípidos en los rumiantes será muy bajo.

Puede ser que resultara un efecto favorable al agregar grasa a la dieta para incrementar su densidad energética. sin embargo, la grasa en el rumen se absorbe en una forma muy particular y parece que protege la fibra contra la fermentación (Harfoot et al 1974, citado por Preston y Leng 1989) o es tóxica para los organismos celulolíticos, ambos efectos reducen la digestibilidad de la fibra en el rumen.

La manipulación de la grasa alimenticia, ya sea como jabones de calcio o como partículas insolubles de AGCL de peso molecular alto, o protegida con proteína /formaldehído, es una área de investigación apropiada particularmente para la industria lechera, sobre todo para zonas donde la base de la alimentación del rumiante sea las dietas bajas en grasa.

4.5 Digestión intestinal y absorción de compuestos nitrogenados.

Tanto la proteína no degradada del alimento como la proteína microbiana llegan al intestino delgado donde son digeridas por las enzimas proteolíticas del páncreas.

En animales que consumen principalmente forrajes, la proteína de origen bacteriano constituye cerca del 80 % del del nitrógeno total. La digestibilidad de esta proteína a nivel intestinal es en promedio del 80 %. Los aminoácidos provenientes de la digestión de proteína de origen bacteriano o dietético son absorbidos por la mucosa intestinal, transportados al hígado y luego a otros tejidos. La eficiencia de utilización de los aminoácidos absorbidos varía entre el 60 al 80 % (Oldam y Alderman, 1981).

En animales de alta producción es importante considerar la proporción de aminoácidos esenciales en relación a los aminoácidos totales. Según la ARC, (1984) la relación de aminoácidos esenciales / aminoácidos totales es de 0.48 en la digesta duodenal mientras que en la proteína requerida por los tejidos en vacas lecheras es de 0.53. Los aminoácidos absorbidos son utilizados principalmente para la formación de proteína (tejidos y secreciones) en menor proporción pueden ser usados como fuentes de carbono para la síntesis de glucosa.

5. Conclusiones:

1. El entendimiento de la fisiología digestiva del rumiante se traduce en un uso más eficiente de los alimentos disponibles de cualquier región y una mayor independencia del uso de alimentos convencionales, generalmente de mayor costo.
2. La rápida transformación del animal recién nacido en rumiante propiamente dicho, redundará en beneficios biológicos y económicos dentro de las explotaciones.
3. Existen mecanismos que permiten cambiar los patrones de fermentación del rumen y derivar productos acordes con los requerimientos del huésped. por ejemplo, los nutrientes que escapan a la fermentación del rumen.
4. El conocimiento del tipo de alimentos como de los factores que afectan su consumo y las transacciones que se suceden a lo largo de tracto digestivo del rumiante permiten proponer dietas biológica y económicamente más eficientes en la explotación de rumiantes.
5. El gran interés de conocer el metabolismo de nitrógeno de los rumiantes radica en sacarle el máximo uso posible a las proteínas verdaderas y especialmente a las fuentes

relativamente económicas de nitrógeno no protéico como por ej. la urea y el amoniaco.

8 La información generada y actualmente disponible sobre la digestión de rumiantes presenta una variedad de posibilidades para obtener mayor respuesta animal mediante la utilización adecuada de recursos alimenticios.

B. BIBLIOGRAFIA

BARMORE, J. A., A. R. HARDIE, and N.A. JORGENSEN. 1983. Detrimental effects of high lactose intake from post-colostrum feeding to weaning. *J. Dairy Sci.* 66 (Suppl. 1): 194.

CHURCH, D. C. 1975. *Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants*. Albany Prin. Oregon. USA

DIAZ T. E. 1989. Nutrición proteica y energética en rumiantes In avances en nutrición animal. ICA. Tibaitata, Bogotá Colombia 83 - 111 p.

DIAZ T. E. 1989. Nutrición y alimentación de la vaca seca y la vaca en producción. In avances en producción en ganado de leche. Curso de actualización para asistentes técnicos. 52-64 p.

MENDEZ, L. 1983. Crianza de terneras y levante de novillas. *Revista ANALAC*. 6 - 12 p.

OWEN, A. A. 1987. Utilización de carbohidratos y proteínas en el rumiante In VI Encuentro Nacional de Zootecnia 2a. conferencia nacional de producción y utilización de pastos y forrajes tropicales. Memorias Cali Colombia. 1 - 19 p.

PATERSON, J.A., B.M. ANDERSON, D.K. BOWMAN. K. L. MORRISON, J.E. WILLIAMS. 1983. Effect of protein source and lasolacid on nitrogen digestibility.

PENA, F. 1988. Características fisiológicas de la digestión en rumiantes In Seminario Nacional de Ganado de Leche. Producción de ganado de leche en zonas frías. 54 - 99 p.

PRESTON, R. T., LENG, R. A. 1990. Control del consumo alimenticio en los rumiantes In ajustando los sistemas de producción pecuaria a los recursos disponibles. CONDRIT Ltda. Cali Colombia. 116 - 126 p.

PULIDO J. I. 1987. Sistemas de crianza de terneras para remplazo In avances en producción en ganado de leche. Curso de actualización para asistentes técnicos. 1 - 32 p.

SATTER, L. D. ROFFLER R. E. 1975. Influence of reducing dietary crude protein from 17 to 13.5 percent on early lactation. *Journal of Dairy Science*. v. 68 no. 1, p. 51.

12 STOTT, G.H., D.B. MARX, B.E. MANEFFEE, G.T. NIGHTENGALE. 1979. Colostral inmonoglobulin transfer in calves. II the rate of absorption. *J. Dairy Sci.* 62: 1786.

STOTT, G.H.; A. FELLAH. 1983. Colostral immunoglobulin absorption lineary related to concentration for calves. J. Dairy sci 66: 1319.

16 VAN SOEST P.J. 1982. Nutritional Ecology of the ruminant. O. B. Books, Inc. Corvallis, Oregon U.S.A. 276 - 283 p.

CUADRO 1. PORCENTAJE DEL PESO TOTAL DEL TEJIDO ESTOMACAL CORRESPONDIENTE A CADA COMPARTIMIENTO.

COMPARTIMIENTO	EDAD EN SEMANAS						
	0	4	8	12	16	26	38
RETICULO RUMEN	38	52	60	64	67	64	64
OMASO	13	12	13	14	18	22	25
ABOMASO	49	36	27	22	15	14	11

Fuente: Curch, 1969

CUADRO 2 TASA DE ABSORCION DE INMONOGLOBILINAS G EN TERNEROS
A DIFERENTES HORAS POST-NACIMIENTO

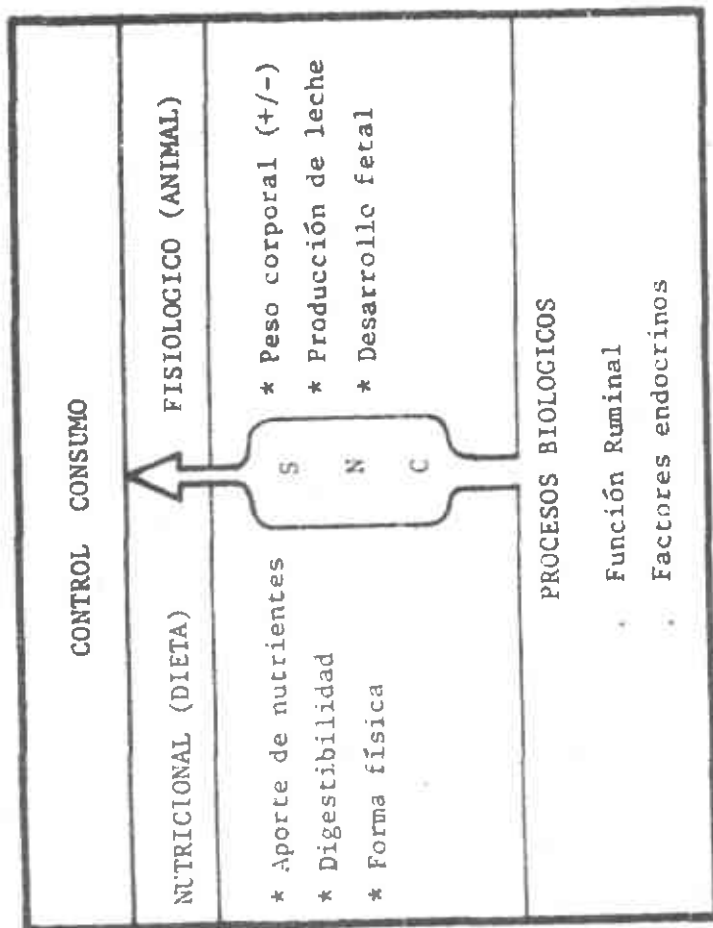
	EDAD (horas)						
	0	4	8	12	16	20	24
	MEDIO LITRO						
TASA DE ABSORCION	2.2	2.0	2.1	1.9	0.9	1.0	0.3
	UN LITRO						
TASA DE ABSORCION	3.1	2.1	1.9	2.6	1.5	1.0	0.5
	DOS LITROS						
TASA DE ABSORCION	3.8	4.4	2.7	3.4	1.9	1.0	0.7

Fuente: Stott et al, 1979.

CUADRO 3. EFECTOS DE NIVELES ALTOS DE LACTOSA SOBRE EL
CRECIMIENTO DE TERNERAS

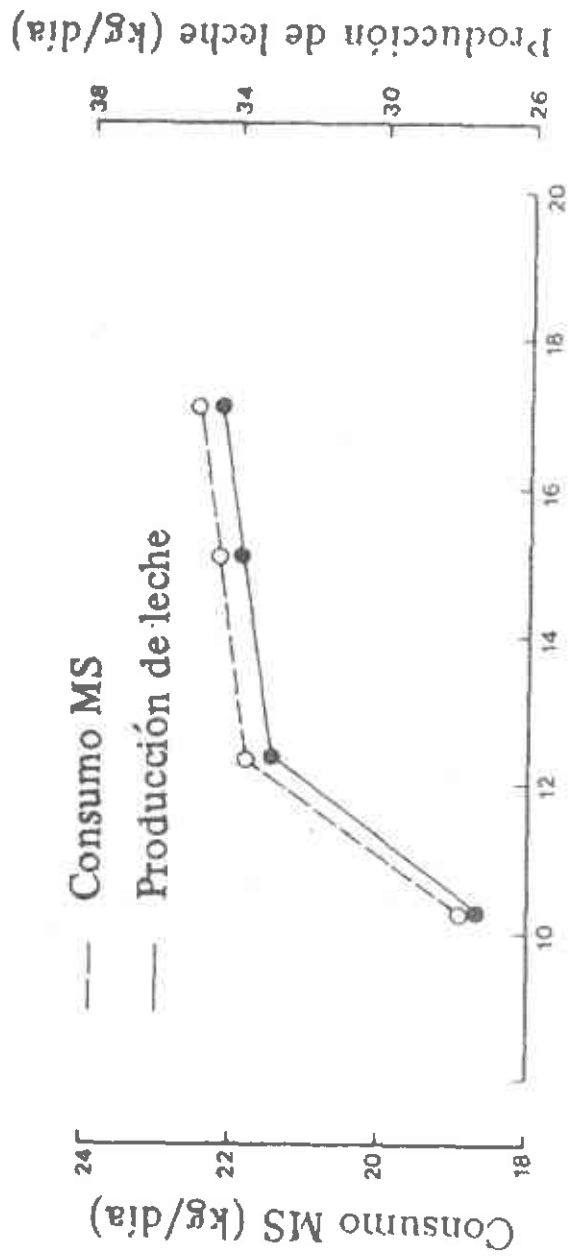
ITEM	DIETAS		
LECHE (KG /DIA)	4	4	4
LACTOSA (G/DIA)	-	50	100
AGUA (M/DIA)	-	1020	2040
LACTOSA TOTAL	200	250	300
INGESTION (KG DE MS/DIA)	0.38	0.32	0.24
GANANCIA (KG/DIA)	0.62	0.59	0.54
DIARREAS	4.0	5.8	9.9

Fuente: Balmore, 1983



WANGSNESS and MULLER, 1981.

FIGURA 1. REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL CONTROL DEL CONSUMO DE ALIMENTO EN EL RUMIANTE.



% de proteína cruda en la dieta.

FIGURA 2. RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE PROTEINA CRUDA EN LA DIETA Y EL CONSUMO DE MATERIA SECA Y LA PRODUCCION DE LECHE.

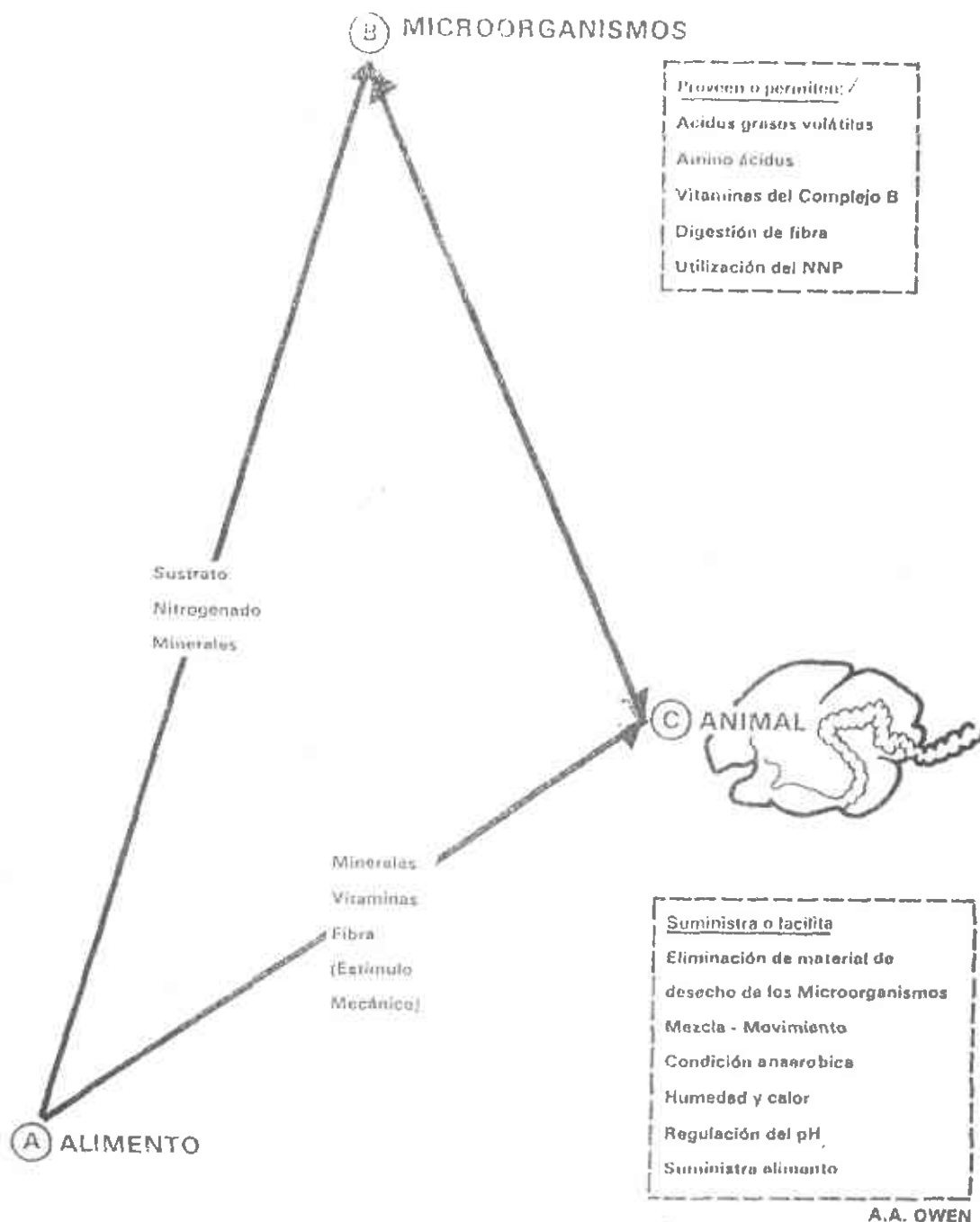
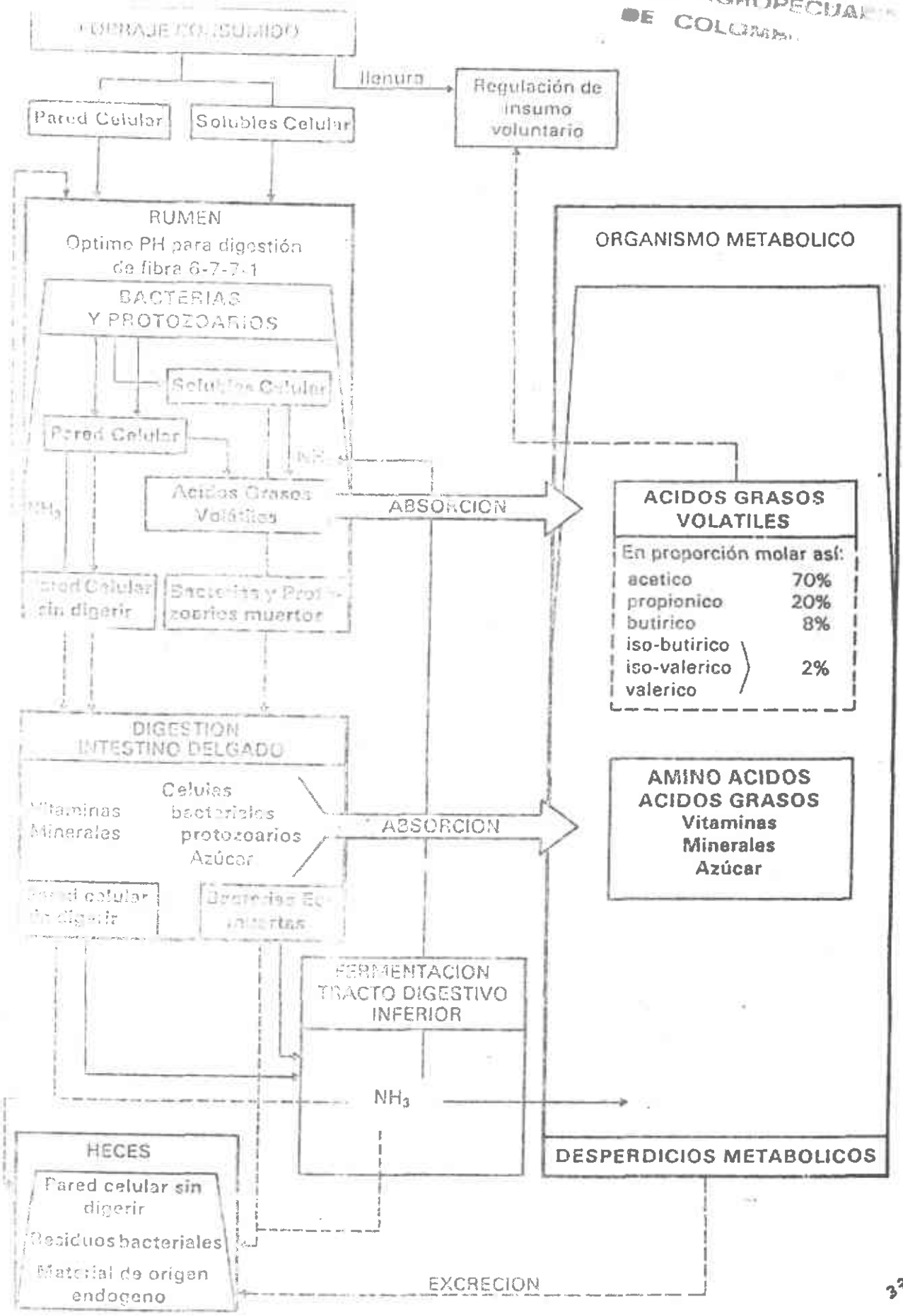


FIGURA 3. INTERRELACION: ALIMENTO - MICROORGANISMOS - ANIMAL.

Flecha continúa de dos vías señala interacción de doble vía o mutua influye el uno sobre el otro. Microorganismo-Animal.



Adaptación de A.A. Owen de: Nutritive Evaluation of forages by Chemical
 FIGURA 4. RESUMEN DE LA TRANSFORMACION DEL ALIMENTO EN EL APARATO DIGESTIVO DEL RUMIANTE.

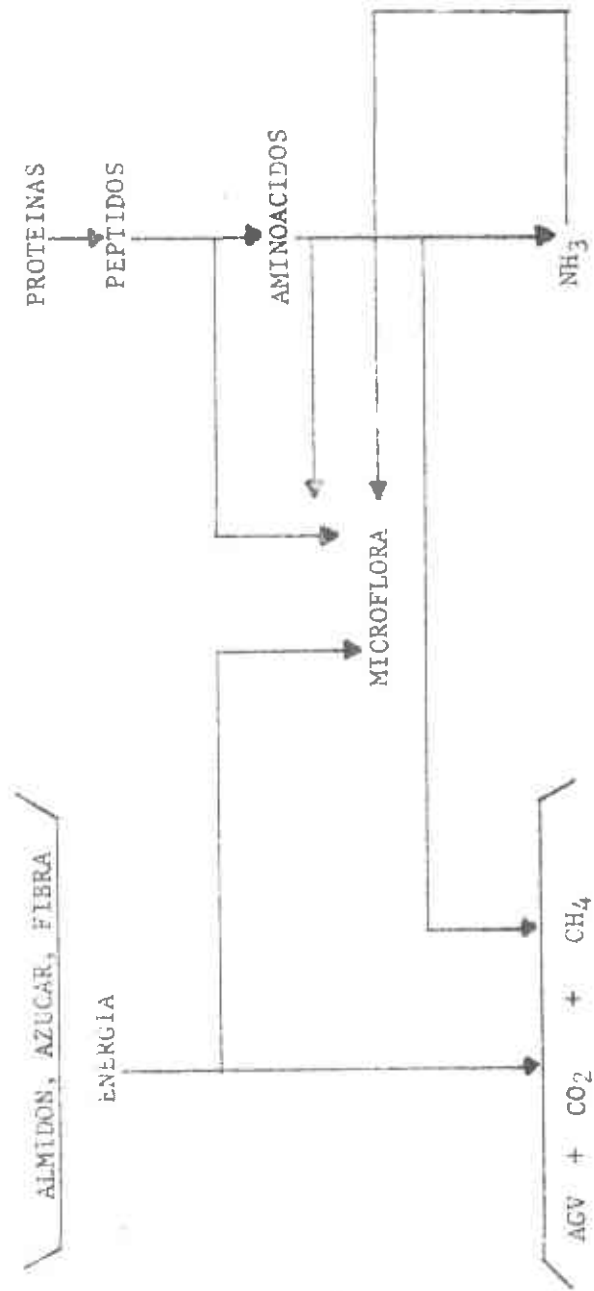


FIGURA 5. DEGRADACION DEL CARBOHIDRATO Y PROTEINAS EN EL RUMEN.

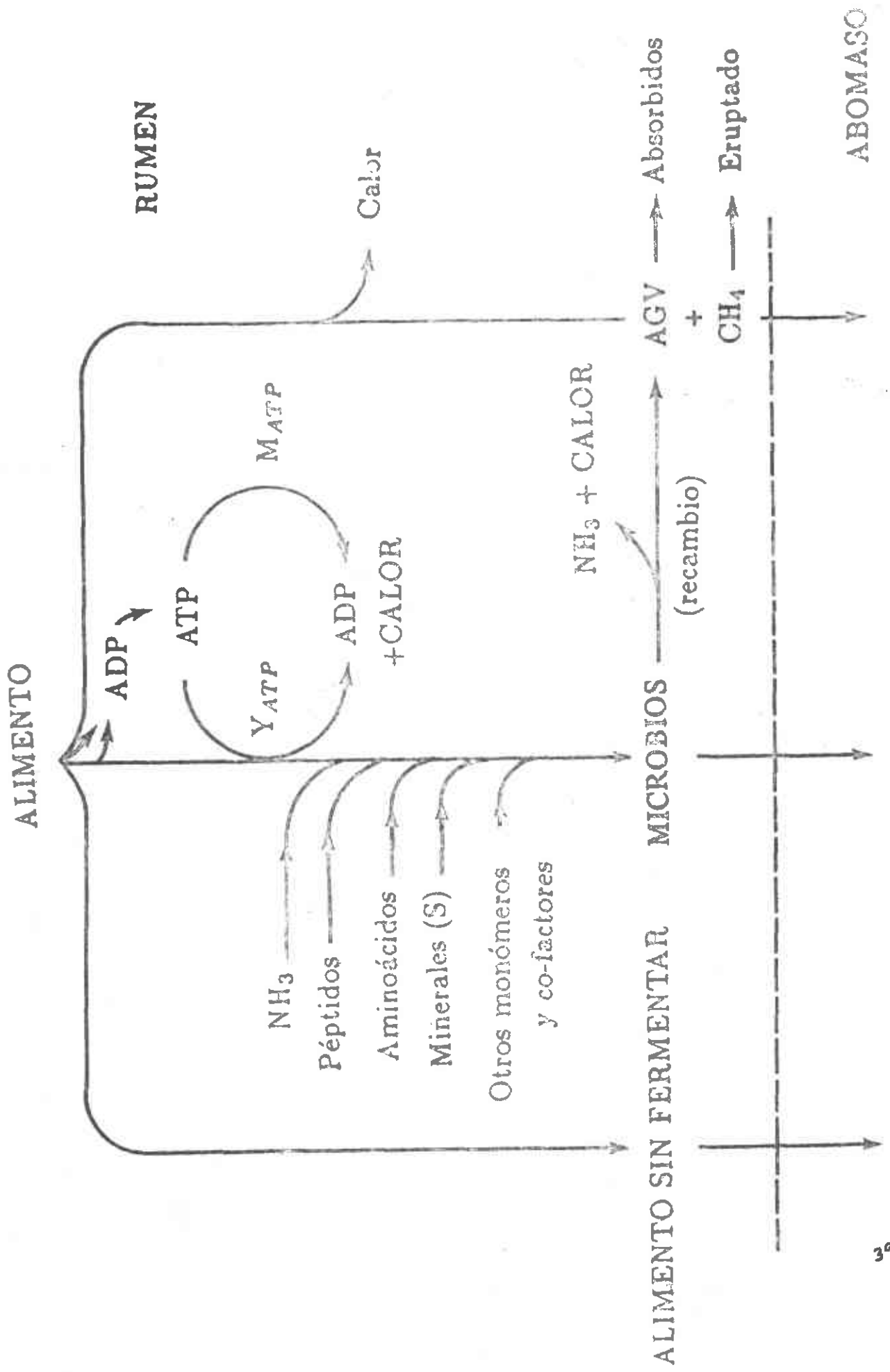


FIGURA 6. ESQUEMA DE LA DEGRADACION ENERGETICA DE LA FERMENTACION RUMINAL.
(Fuente: Preston y Leng, 1989).

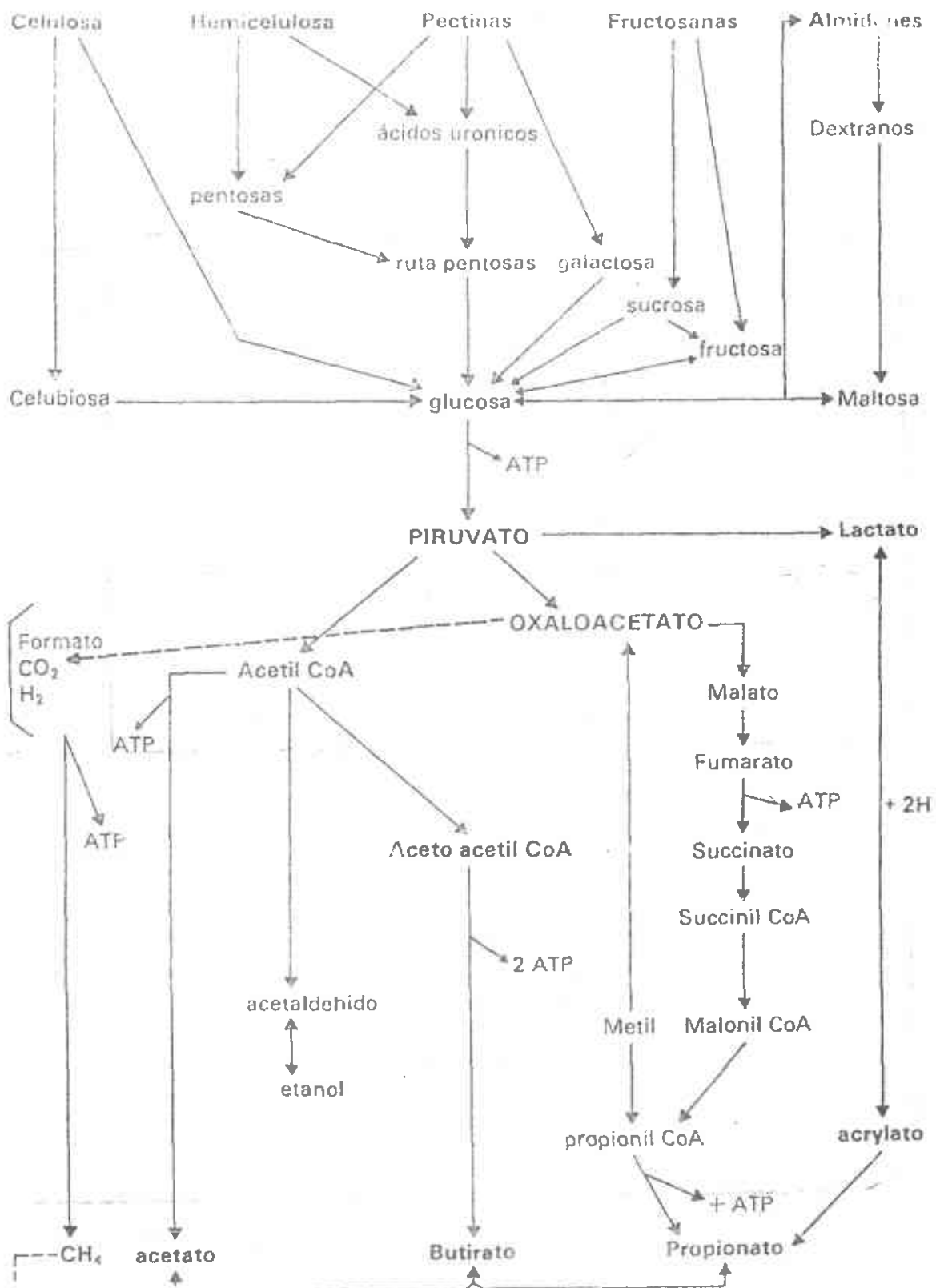


FIGURA 7. RUTAS METABOLICAS DE LOS CARBOHIDRATOS EN EL RUMEN.

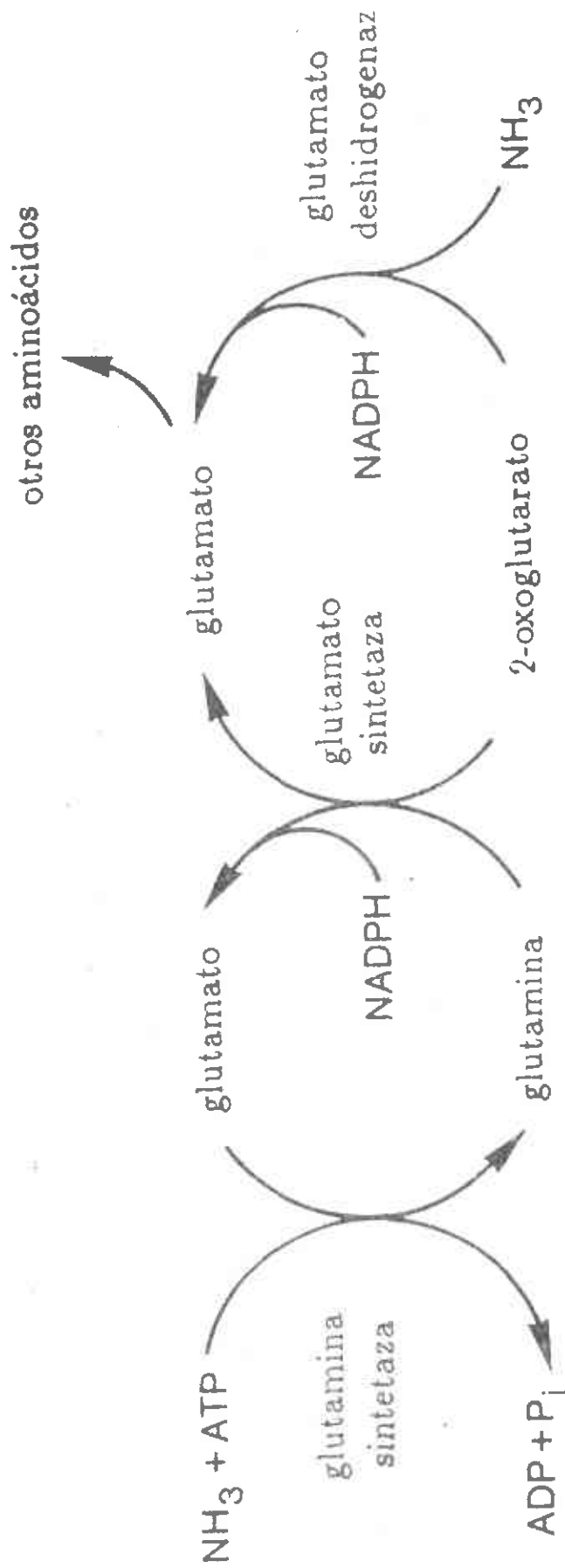


FIGURA 8. PROCESO DE DOS PASOS POR EL CUAL EL AMONIACO ES ASIMILADO POR LAS BACTERIAS
(Fuente: Preston y Leng, 1989).

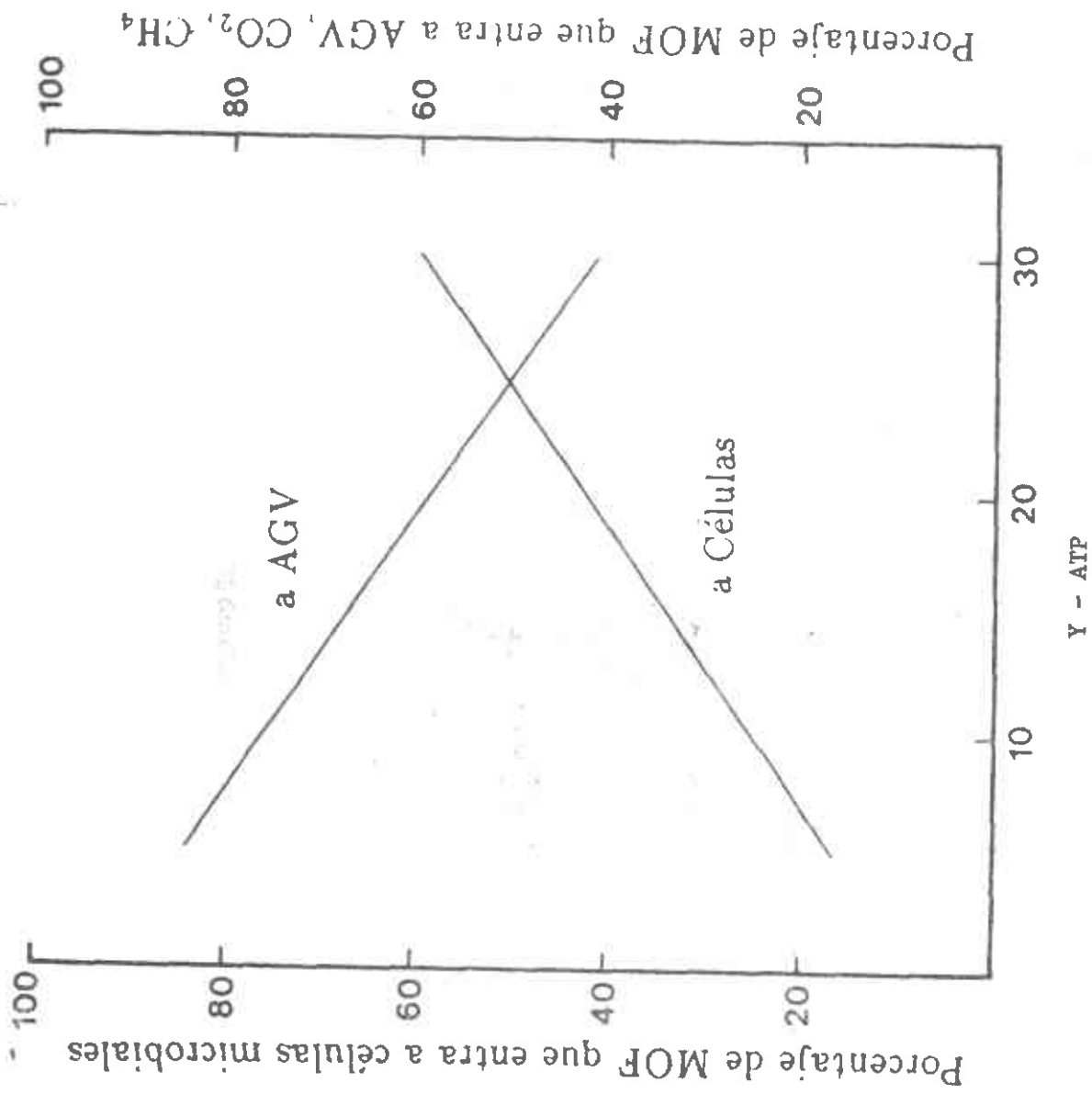


FIGURA 9. RELACION ENTRE LA EFICIENCIA DE CRECIMIENTO MICROBIAL (Y_{-atp}) Y EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA FERMENTADA a A.G.V. Y LA QUE ENTRA COMO CELULAS MICROBIALES (Preston y Leng, 1989).

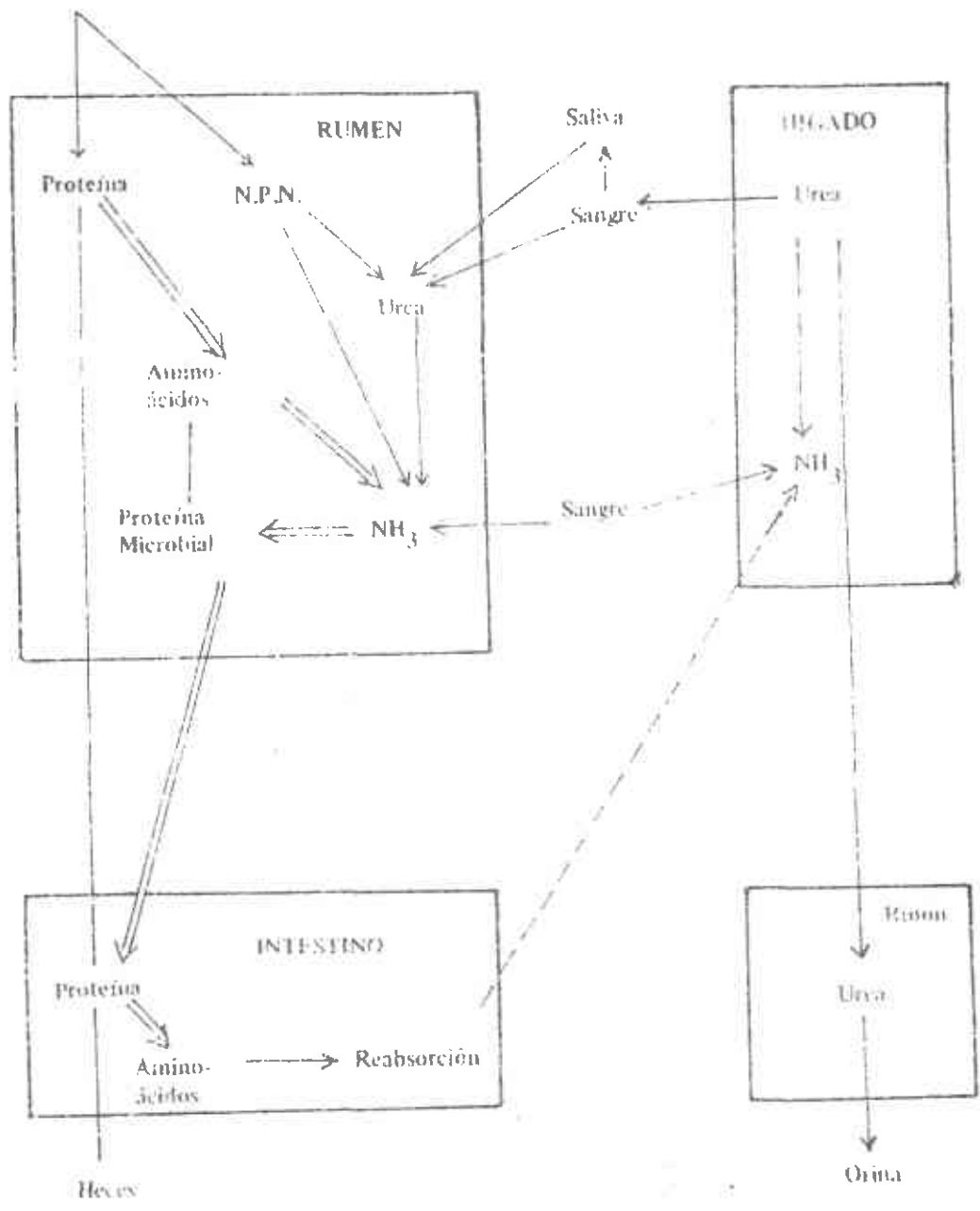


FIGURA 10. RESUMEN DEL METABOLISMO DE PROTEINA EN RUMIANTES. ¿de dónde los sacó?