UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

DEPARTAMENTO DE GANADERIA

DIFERENTES NIVELES DE MELAZA Y UREA EN EL ENSILAJE DE CAÑA DE AZUCAR (SACCHARUM OFFICINARUM, L.)

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DE LA COMISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DEL PROGRAMA CONJUNTO UCR — CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiae

PEDRO ENRIQUE LARA Y LARA

Turrialba, Costa Rica

1977

Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

JURADO: _____ Consejero

Manuel E. Ruíz, Ph.D.

_____ Comité

Gustavo Cubillos, Ph.D.

_____ Comité

Rufo Bazán, Ph.D.

_____

Coordinador
Sistema de Estudios de Posgrado
de la Universidad de Costa Rica

DEDICATORIA

A Elsa

A mis padres

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento:

Al Dr. Manuel E. Ruíz, Profesor Consejero, por su valiosa colaboración y acertada guía en el desarrollo del presente trabajo;

Al Dr. Gustavo Cubillos y Dr. Rufo Bazán, por sus sugerencias y revisión del texto;

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por el apoyo prestado en la realización de sus estudios de posgrado;

Al Sr. Manuel Zamora del Centro de Computación del IICA, por su valiosa ayuda;

A la Lic. Ana Cecilia Echandi de B. y al personal del Laboratorio de la Fábrica Nacional de Licores, por su desinteresada colaboración;

A todas aquellas personas que de alguna manera me ofrecieron su amistad y ayuda durante mi estada en el Centro.

BIOGRAFIA

El autor nació en Mérida, Yucatán, México. Realizó sus estudios primarios y secundarios en el Colegio Americano, Mérida, Yucatán. Ingresó a la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, en 1961, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista en 1967. El mismo año ocupó el puesto de Investigador de Proyectos Ganaderos dentro del programa Plan Lerma Asistencia Técnica en Guadalajara, Jalisco hasta diciembre de 1969.

En julio de 1970 fue nombrado profesor de tiempo completo del Departamento de Enseñanza e Investigación en Zootecnia en la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, hasta abril de 1975.

En marzo de 1975, ingresó al Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, del Convenio Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE), en Turrialba, Costa Rica, donde realizó estudios en el Departamento de Ganadería Tropical, obteniendo el título de *Magister Scientiae* en marzo de 1977.

C O N T E N I D O

		Página
1.	INTRODUCCION	1
2.	REVISION DE LITERATURA	3
	2.1 Evaluación de los ensilajes	3
	2.2 La melaza y la urea como aditivos	8
	2.3 La caña de azúcar como forraje para ensilar ..	11
3.	MATERIALES Y METODOS	14
	3.1 Localización del estudio	14
	3.2 Manejo del material y tipos de microsilos	14
	3.3 Descripción de tratamientos y diseño experimental	15
	3.4 Obtención de muestras	16
	3.5 Análisis de laboratorio	18
	3.6 Análisis de la información	18
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	23
	4.1 Caracterización organoléptica del ensilado de caña de azúcar al vacío	23
	4.2 Evaluación cualitativa del ensilado de caña de azúcar al vacío	24
	4.2.1 Acidez	24
	4.2.2 Acidos grasos volátiles	27
	4.2.3 Contenido de alcohol	34
	4.2.4 Grados Brix	36
	4.2.5 Contenido de nitrógeno	38
	4.2.6 Otros parámetros	43
	4.3 Evaluación cuantitativa de la pérdida de nutrientes	43
	4.3.1 Materia seca	43
	4.3.2 Pérdidas de N y ATI	47
	4.4 Discusión general	53
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
6.	RESUMEN	58
6a.	SUMMARY	61
7.	LITERATURA CITADA	63
8.	APENDICE	68

LISTA DE CUADROS

TEXTO

Cuadro No.		Página
1	Porcentajes de urea y melaza añadida a la caña de azúcar, todos los materiales en base fresca	16

APENDICE

1A	Caracterización química de la caña de azúcar.	69
2A	Caracterización química de la melaza	69
3A	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de pared celular del ensilado de caña de azúcar	70
4A	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de contenido celular del ensilado de caña de azúcar	70
5A	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de proteína de la pared celular del ensilado de caña de azúcar	71
6A	Efecto del nivel de ceniza de la pared celular del ensilado de caña de azúcar	71
7A	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de ceniza total del ensilado de caña de azúcar	72

LISTA DE FIGURAS

Figura No.		Página
1	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el pH del ensilado de caña de azúcar al vacío	25
2	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de ácido láctico en el ensilado de caña de azúcar al vacío	28
3	Efecto del nivel de urea (X_1) sobre el porcentaje de ácido acético en el ensilado de caña de azúcar al vacío	30
4	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de ácido butírico en el ensilado de caña de azúcar al vacío	32
5	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de alcohol en ensilado de caña de azúcar al vacío	35
6	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre los grados Brix en ensilado de caña de azúcar al vacío	37
7	Efecto del nivel de urea (X_1) sobre el porcentaje de nitrógeno en ensilado de caña de azúcar al vacío	39
8	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el por ciento de nitrógeno amoniacal en ensilado de caña de azúcar al vacío	42
9	Porcentaje de materia seca en ensilado de caña de azúcar al vacío, según el nivel de urea (X_1) y melaza (X_2)	44
10	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de N disponible en el ensilado de caña de azúcar	50
11	Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de Azúcares Totales Invertidos útiles en el ensilado de caña de azúcar	52
A	Diagrama de pérdidas de N	48
B	Diagrama de pérdidas de ATI	48

1. INTRODUCCION

En las zonas ganaderas tropicales existen fluctuaciones climáticas que limitan considerablemente la disponibilidad y calidad del forraje a través del año, afectando drásticamente la producción de carne y leche.

El ganadero recurre en determinadas ocasiones a prácticas de manejo tales como: reducción de la carga animal por venta o movilización de animales, irrigación de pastizales, uso de áreas de reserva, suplementación alimenticia y conservación de forrajes. La posibilidad de conservar el forraje verde mediante el proceso del ensilaje como reserva para la alimentación de animales es una buena alternativa, sin embargo, los forrajes ensilados que se utilizan en la actualidad son de regular calidad nutricional.

El cultivo de la caña de azúcar es uno de los más importantes en las regiones tropicales cubriendo un área de 212.000 ha sólo en América Central[a/]. La gran ventaja en el uso de la caña de azúcar y sus subproductos para la alimentación animal radica en su alto rendimiento, ya que se sabe que la caña de azúcar posee un sistema enzimático que le permite transferir más eficientemente la energía solar a carbohidratos que las gramíneas de clima templado. Al técnico azucarero puede parecerle incongruente sugerir el cultivo de la caña de azúcar para animales más bien que para humanos; sin embargo, esta sugerencia se ha hecho para condiciones que no compitan con el ingenio aunque también es conveniente para el cañero tener alternativas en el uso de la caña, especialmente cuando ocurren caídas en el precio del azúcar.

---

a/ Anuario de Producción, FAO. 1974.

Hay numerosos aditivos que actúan como preservadores y mejoradores del ensilaje, pero deben considerarse en su elección una serie de aspectos a fin de determinar su conveniencia, ya que éstos deben favorecer el proceso de fermentación, regular la conservación y mejorar el valor nutritivo. En la mayoría de los países donde actualmente existe una tecnología azucarera, hay una abundante disponibilidad de carbohidratos en forma de melaza, la cual enriquecida con urea pudiera mejorar la calidad del proceso de ensilaje.

En base a lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo es estudiar el efecto de diferentes niveles de melaza y urea en el ensilaje de la caña de azúcar integral, bajo condiciones de laboratorio.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Evaluación de los ensilajes

La evaluación cuantitativa de los ensilajes puede hacerse tomando en cuenta dos aspectos, uno, determinando el valor nutritivo del producto conservado y el otro evaluando las pérdidas que ocurren durante el proceso propiamente dicho. Tratándose del primer caso, los investigadores han escogido como índices del valor nutritivo los análisis químicos bromatológicos (2, 26, 27, 48, 56), el consumo voluntario y la digestibilidad (8, 14, 29, 55, 57) y, en una etapa más avanzada, su valor como alimento para producir leche (28, 40, 45, 50) y carne (31, 32, 33).

En los experimentos relacionados con las pérdidas de nutrientes se ha tratado de evaluar la eficiencia del ensilaje como proceso de conservación de los principios nutritivos (17). Dentro de este criterio, las simples comparaciones entre la composición química del ensilado y la planta al natural serían de poca utilidad, debido a las transformaciones químicas que ocurren durante el proceso del ensilaje; por este motivo son más utilizados los métodos que permiten una estimación cuantitativa de las pérdidas de la materia seca o de un determinado nutriente (18, 23). Factores físicos del medio y aquellos debidos a las fermentaciones son los que regulan las pérdidas de nutrientes en el silo, pero la separación de sus efectos es difícil debido al hecho de que están íntimamente interrelacionados. Como factor físico que influye sobre las pérdidas en los ensilajes, el drenado de líquidos o efluente es considerado como uno de los más importantes (21), siendo su magnitud dependiente del grado de compresión y del contenido de humedad en la planta (36, 41).

La identificación de las fermentaciones que ocurren durante el proceso del ensilaje también se consideran de gran importancia en la evaluación del producto (5). Generalmente, la composición de ácidos orgánicos, pH y contenido de nitrógeno amoniacal son los parámetros más utilizados para la evaluación de la eficiencia del proceso del ensilaje y del valor nutritivo del producto fermentado, dado que son un reflejo de las fermentaciones ocurridas en el silo (5).

Si el pH del medio no alcanza rápidamente el nivel crítico, las fermentaciones indeseables llevadas a cabo por las bacterias productoras de ácido butírico predominarán a partir de los lactatos producidos y los azúcares residuales (5). Como ese proceso comprende la descarboxilación del ácido láctico, la concentración hidrogeniónica disminuye, creando condiciones más favorables para las bacterias que llegan a desdoblar aminoácidos para producir ácido butírico, aminas, amoniaco y otros gases (37). Consecuentemente, el contenido de carbohidratos solubles disminuye significativamente y el contenido de ácidos grasos volátiles y no volátiles aumenta (42).

Se considera que entre los productos finales de la fermentación, los ácidos láctico, acético y butírico son los más importantes (42, 59). Generalmente, el ácido láctico aparece en concentraciones que varían entre 1 a 16 por ciento en base a materia seca del ensilado, considerándose que una preponderancia de este ácido sobre los demás es indicativo de una buena calidad del ensilado (11, 16). El ácido acético está siempre presente en los ensilados, apareciendo en bajas concentraciones en aquéllos de buena calidad, y en cantidades mayores en los de menor calidad, los cuales también contendrán ácido butírico (5).

Oldfield (42) considera que un excelente ensilado es aquél que contiene proporcionalmente 72 por ciento de ácido láctico y 28 por ciento de ácido acético, en tanto que un pobre ensilado contendría 24 por ciento de ácido láctico, 10 por ciento de ácido acético y 66 por ciento de ácido butírico. Sin embargo, la presencia del ácido butírico *per se* no es la causa de la pobre respuesta de los animales alimentados con ensilados de alto contenido en este ácido, la cual probablemente se deba a la destrucción de las proteínas como resultado de la fermentación butírica.

Barnett (5) define como ensilado de buena calidad aquél que presenta un pH menor de 4,5, bajo contenido de nitrógeno amoniacal, cantidades reducidas, o preferentemente ausencia, de ácido butírico y entre 3 a 13 por ciento de ácido láctico en base a materia seca. Por otra parte, los de mala calidad serían aquellos que presenten pH mayor de 5,2, 3 a 9 por ciento de nitrógeno amoniacal, 1 a 7 por ciento de ácido butírico y entre 0,1 a 2 por ciento de ácido láctico.

Dado que los niveles bajos de pH están directamente relacionados con la alta concentración de ácidos orgánicos (especialmente ácido láctico y acético), un gran número de trabajos experimentales han utilizado solamente el pH para la evaluación de los ensilados; sin embargo, se considera que sería bastante difícil el establecimiento de valores ideales para este parámetro, puesto que la velocidad de abatimiento parece ser un factor más importante para la inhibición de las fermentaciones indeseables que el pH final del proceso (39).

Aunque de los análisis de calidad nutritiva no pueden derivarse conclusiones definitivas ni generalizarse a sistemas en campo, sí sirven

como indicadores para seleccionar los mejores tratamientos. El valor nutritivo de un forraje se define como una función de: composición química, consumo voluntario, digestibilidad y eficiencia de utilización de los nutrientes digeridos (57).

Diversas investigaciones han concluído que el consumo de ensilajes no marchitados de gramíneas y leguminosas es generalmente muy inferior al consumo del mismo forraje ofrecido directamente en forma de heno o fresco, siendo esta diferencia del orden de 20 a 40 por ciento (15, 57). El contenido de humedad por sí solo parece no constituír un factor limitante del consumo de los ensilados (54, 61). Los productos derivados del proceso fermentativo de los forrajes ensilados, principalmente ácidos grasos de cadena corta y compuestos nitrogenados no proteicos, han recibido especial atención en un intento por asociar ciertos compuestos químicos, individualmente o en combinación, con las características de consumo de los ensilados.

Algunos investigadores han asociado el bajo pH y la elevada acidez total de los ensilados con niveles bajos de consumo (38, 60). Los niveles bajos de pH están directamente relacionados con una alta concentración de ácidos orgánicos, especialmente ácido láctico y acético. Sin embargo, Brown y Radcliffe (9) no observaron ninguna relación estadística entre el contenido de ácido láctico y el consumo de ensilados que contenían entre 1,6 a 8,1 por ciento de ácido láctico en base a materia seca. Demarquilly (16), en un estudio sobre 50 ensilados de gramíneas, observó que a medida que aumentaba el contenido de ácido láctico desde 2 a 8 por ciento, y disminuía el pH, aumentaba el consumo del ensilado, lo que concuerda con los resultados de Senel y Owen (52) para raciones

basadas en ensilado de sorgo. Por el contrario, McLeod et al. (38) encontraron una relación claramente negativa entre el contenido de ácido láctico y el consumo de ensilado por ovinos al agregar cantidades crecientes de ácido láctico.

Jackson y Forbes (29) encontraron una relación negativa entre el contenido de ácido acético del ensilado y el consumo de materia seca. Por otra parte, Senel y Owen (52) encontraron que un incremento de 0,5 a 2,8 por ciento en el contenido de ácido acético en la ración aumentó significativamente el consumo.

Algunas evidencias señalan que la fracción nitrogenada total y los productos de su degradación podrían también influenciar el consumo voluntario en los ensilados. Diversos investigadores han encontrado relaciones negativas entre consumo y contenido de N amoniacal expresado como porcentaje del N total en ensilados de gramíneas y leguminosas (22, 29, 61).

La mayoría de los trabajos publicados señalan una digestibilidad más baja para los ensilados que para las otras formas de conservación de forrajes. La magnitud de esta diferencia es bastante variable, dado que el proceso de fermentación de los forrajes ensilados conduce a una transformación de gran parte de las fracciones altamente digestibles de los contenidos celulares tales como carbohidratos simples, proteínas y otros derivados tales como, ácidos grasos volátiles, amoniaco y compuestos azoados, por pérdida parcial de la energía en forma de calor. Por otro lado, los componentes estructurales del forraje permanecen casi inalterados durante el proceso de fermentación del ensilaje. Por ello, la proporción de componentes estructurales es generalmente algo mayor en los

ensilados con respecto al mismo forraje en pie, por lo que la digestibilidad de los ensilados resulta frecuentemente inferior a la del forraje original (58).

Para los estudios sobre las fermentaciones de los ensilados a nivel de laboratorio, se usan generalmente silos de pequeño tamaño, lo cual permite el uso de reducidas cantidades de forraje permitiendo una mejor homogenización de los tratamientos y la aplicación de cualquier diseño estadístico y de tantas repeticiones como fueran necesarias de acuerdo al tipo de trabajo a realizar. Un gran número de trabajos experimentales han demostrado que la capacidad del silo no afecta el proceso del ensilaje, no habiéndose encontrado diferencias de calidad entre un silo de campo y un microsilo a nivel de laboratorio (5).

Diversos recipientes capaces de asegurar un medio anaeróbico han sido utilizados como silos experimentales, incluyendo tubos de concreto, frascos de vidrio, bolsas de polietileno, cilindros metálicos, tubos de ensayo, etc. (3, 27, 34, 37, 48). Esta técnica permite a los investigadores un mejor control del proceso, así como la evaluación de las pérdidas producidas por las fermentaciones y efluentes.

2.2 La melaza y la urea como aditivos

El tipo de fermentación que se desarrolla en el silo puede ser modificado si la planta forrajera recibe en el momento del ensilaje un tratamiento con sustancias capaces de inhibir o acelerar la acción de las bacterias fermentativas.

En el ensilaje, el suplemento de carbohidratos, principalmente azúcares, que pueden ser fermentados por las bacterias acidogénicas es

a menudo el factor limitante en la producción de los ácidos necesarios para preservar la cosecha. Es bien conocido que los carbohidratos fácilmente fermentables sufren una degradación a ácidos orgánicos (láctico, acético, propiónico y butírico) y en algunos casos a etanol, dependiendo de los microorganismos predominantes (26).

La falta de carbohidratos puede retardar la fermentación ácida y, si el material es rico en proteínas, puede ocurrir una fermentación proteolítica excesiva. Asimismo, demasiada fermentación ácida puede ser perjudicial, sobre todo cuando hay producción de ácido butírico, lo cual ocurre en ocasiones debido a la gran cantidad de azúcares presentes en el material a ensilar como es el caso de la caña de azúcar o algunos sorgos y cuando se ha agregado demasiada melaza y la compactación es defectuosa (15).

Dentro de los compuestos ricos en carbohidratos de fácil fermentación, la melaza ha sido uno de los más utilizados, pudiéndose adicionar en forma pura o diluída en agua. Dado que la operación de la mezcla de melaza con el forraje es difícil, debido a la alta viscosidad del aditivo, no siempre se consigue una homogenización adecuada a menos que la melaza se diluya en igual peso de agua (20). Con el agregado de melaza, el ensilado resultante presenta un pH más bajo, mayor cantidad de ácido láctico y concentraciones menores de ácido butírico y nitrógeno amoniacal, aunque se considera que los resultados no son siempre satisfactorios, principalmente cuando el contenido de humedad es alto o la mezcla con el forraje no fue bien hecha.

El nivel óptimo del uso de la melaza varía según la clase de forraje que se vaya a ensilar, Catchpoole (11) observó que la adición de

4 por ciento de melaza no fue capaz de estimular satisfactoriamente la fermentación láctica del ensilaje del pasto Nandi (*Setaria sphacelata*) cortado al inicio del crecimiento vegetativo, en tanto que cuando se ensiló la planta más vieja, el aditivo propició la producción adecuada de ácido láctico. El mismo autor reporta que niveles de hasta 8 por ciento de melaza son ineficaces para mejorar la fermentación láctica si el forraje a ensilar es demasiado joven (12).

Benacchio (7) encontró que al agregar 1 o 2 por ciento de melaza al ensilado de sorgo el contenido de nitrógeno amoniacal resultó significativamente inferior comparado con el testigo, considerando que probablemente una dosis superior habría mejorado aún más el ensilado, aunque este aumento en la dosis de melaza puede no ser económico.

El uso de la urea como aditivo en los ensilados es una práctica que se tiende a generalizar, agregándola bien sea en el momento de la preparación de aquellos o al tiempo de suministrar la ración a los animales. La función de la urea en estos casos es aumentar el contenido de nitrógeno de los forrajes cuando estos son bajos en proteínas como en el caso del maíz y la caña de azúcar (24, 34, 35).

Aparentemente, es más efectivo el procedimiento de mezclar el nitrógeno a los forrajes al tiempo de ensilar, puesto que se obtiene un efecto favorable en el valor proteico del ensilado aunque tiene poco efecto sobre la calidad nutricional (43). La adición de urea puede manifestar su efecto en el contenido de nitrógeno de los forrajes por fenómenos de absorción, puesto que la permeabilidad cuticular aumenta con la presencia de urea (35).

Barnett (5) considera que es difícil saber qué efecto beneficioso

se obtendría en la fermentación de los ensilados mediante la adición de urea, a menos que se demuestre que los microorganismos prefieren la urea a otros compuestos nitrogenados sencillos. Diversos autores señalan que la urea agregada al ensilado disminuye los peligros de toxicidad, facilitándose su absorción sin peligro por parte del rumiante, ya que en el ensilado la urea se combina con los ácidos orgánicos producidos en la fermentación, formándose lactato de amonio (45).

Los resultados obtenidos hasta la fecha demuestran que la adición de urea en los ensilados de gramíneas produce un aumento en las pérdidas de la materia seca, elevación del contenido de proteína bruta, ácido láctico y pH, aumentándose también la digestibilidad aparente de la proteína y la celulosa (14, 19, 24, 34, 53).

2.3 La caña de azúcar como forraje para ensilar

Los trabajos realizados sobre ensilaje de caña de azúcar han dado resultados desalentadores. Rodríguez et al. (49), al comparar el comportamiento de novillos alimentados con caña de azúcar integral picada en forma fresca o después de ensilada, encontraron un comportamiento animal peor al ensilar la caña en relación con la caña fresca, lo cual lo atribuye a las pérdidas de azúcares ocasionadas por fermentaciones secundarias. Leandro (33) obtuvo bajos consumos de materia seca y menor aumento de peso al alimentar novillos con ensilados de puntas de caña de azúcar en comparación con las puntas de caña frescas. Al ensilar puntas de caña de azúcar con 0,5 por ciento de malta molida se mejora notablemente la calidad del producto ensilado, disminuyendo el pH, el contenido de ácido acético y ácido butírico y aumentando el de ácido láctico (10). Vidal y

López (55) determinaron menores coeficientes de digestibilidad de la materia seca y los carbohidratos totales para el cogollo de caña ensilado en comparación con el cogollo fresco, los cuales mejoraban ligeramente al agregar urea, melaza y solubles de pescado en el momento de ensilar el forraje.

James (30) comparó caña fresca y caña descortezada ensilada y encontró que el consumo voluntario se reducía un tercio al mismo tiempo que disminuía la ganancia de peso y conversión alimenticia en el ganado alimentado con material ensilado. El autor atribuye el pobre comportamiento animal, al nivel de ácido acético presente en la caña de azúcar ensilada, el cual tiene un efecto negativo sobre el consumo voluntario.

Preston et al. (46) indican que a diferencia de los forrajes convencionales, los cuales tienen una concentración baja de azúcares solubles, la microflora que se encuentra en la caña de azúcar parece estar dominada por las levaduras, las cuales bajo condiciones anaeróbicas y pH bajo, tienen la capacidad de metabolizar el azúcar a alcohol. Es por lo tanto posible que los pobres resultados asociados en el ensilaje de la caña de azúcar, pueden ser atribuídos no tanto al ácido acético si no más bien a la formación de alcohol. Esto no es problema con otros forrajes, por ejemplo, el maíz, el cual solamente tiene de 3 a 4 por ciento de azúcar en base seca, de manera que la limitación del substrato ayuda a prevenir la formación de alcohol.

La incorporación de amoniaco al ensilaje de caña de azúcar ha dado como resultado la conservación de casi todos los azúcares, eliminando completamente la formación de alcohol, lo que ocurre en grado considerable cuando la caña de azúcar se ensila sola (46).

Alvarez y Preston (4) al ensilar caña de azúcar con amoniaco/miel o urea/miel como aditivos, determinaron que tanto el amoniaco como la urea tienen la propiedad de elevar la concentración de ácido láctico y reducir la de ácido acético, obteniéndose una mejor respuesta con el uso de la urea.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del estudio

El presente trabajo se dividió en dos fases. La primera consistió en el ensilaje de los materiales, lo cual se llevó a cabo en las instalaciones del Departamento de Ganadería Tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica, y la segunda fase comprendió el análisis químico del contenido de los microsilos, los cuales se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del CATIE, el Laboratorio de cromatografía de gas de la Facultad de Química Industrial de la Universidad de Costa Rica y en el Laboratorio de la Fábrica Nacional de Licores.

3.2 Manejo del material y tipos de microsilos

Se utilizó la caña de azúcar entera (tallo, hojas y cogollo) de las variedades B-50-135 y B-4744 de 14 meses de edad de segundo corte, la cual se picó en un molino de cuchillas. La adición de la melaza y de la urea disuelta en agua, se hizo en forma manual después de pesarse con una balanza de reloj la cantidad de caña de azúcar a ensilar, que fue de 4 kg de material fresco para los microsilos de bolsa plástica y 10 kg para los silos metálicos.

Los ensilados en bolsa plástica se prepararon al vacío por evacuación con una bomba de laboratorio. Después de esta operación, las bolsas fueron selladas en una máquina selladora a presión y mediante calor. Para aislar el material del medio ambiente y garantizar una condición anaeróbica se utilizó una segunda bolsa plástica para cubrir la primera, también sellada al vacío. Posteriormente las bolsas fueron colgadas

de alambres suspendidos con el fin de evitar el ataque de roedores. Las bolsas se abrieron al cabo de 32 días de ensilado para proceder a los análisis químicos, según se explica más adelante.

Los microsilos metálicos de 35 cm de diámetro y 44 cm de altura, revestidos internamente de alquitrán, sirvieron para cuantificar las pérdidas por efluente y por descomposición del material. El material a ensilar se metió en bolsas plásticas y luego éstas a los microsilos procediéndose a compactar el forraje mediante el empleo de una prensa hidráulica usando discos de madera como tapadera, fijados a las paredes de los cilindros metálicos mediante clavos. En el borde inferior de cada microsilo se practicó un orificio por el cual se hacía la recolección diaria del efluente durante los primeros 21 días de fermentación. Las pérdidas por descomposición de material se determinaron al abrir los silos, pesando las capas de ensilado descompuesto; esta operación se realizó después de 30 días de ensilaje, al cabo de los cuales la fermentación del forraje debía haber alcanzado una condición de equilibrio.

3.3 Descripción de tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con arreglo factorial 7x5 que corresponde a los 7 niveles de urea y 5 niveles de melaza. Cada tratamiento tuvo dos repeticiones para el caso de los microsilos plásticos y una sola repetición para los microsilos metálicos. Los niveles de urea y melaza se presentan en el Cuadro 1, expresándose estos en relación al peso de la caña picada en fresco. Las cantidades de urea y melaza son en base a su presentación natural (véase la nota explicativa al pie del cuadro).

Cuadro 1. Porcentajes de urea y melaza añadida a la caña de azúcar, todos los materiales en base fresca[a/].

% de urea	% de melaza
0,0	0
0,25	1
0,50	2
0,75	4
1,0	6
2,0	
3,0	

[a/] Contenido de MS: urea, 100%; melaza, 76,40%; caña de azúcar, 29%.

3.4 Obtención de muestras

Se tomaron muestras de todos los materiales a ensilar, las cuales se conservaron convenientemente para su posterior análisis químico, incluyendo jugo de la caña fresca que se obtuvo de varias muestras al azar del material picado mediante el uso de una prensa hidráulica.

Los muestreos de los silos al vacío una vez abiertos, se realizaron con cuatro objetivos:

1. Muestreo para la caracterización organoléptica en base al olor, color y consistencia.
2. Inmediatamente después se sacó una muestra para la determinación de la materia seca del ensilado, por destilación con tolueno, de aproximadamente 100 g,

la cual se puso en pequeñas bolsas de plástico para su conservación en un congelador.

3. Para las determinaciones de nitrógeno total, extracto etéreo, ceniza, pared celular, contenido celular, proteína de la pared y ceniza de la pared, se sacó una muestra de 200 g que se secó en una estufa de aire forzado a 50°C durante 18 horas, la cual fue posteriormente molida y conservada en un cuarto con humedad controlada.

4. Finalmente, se obtuvo una muestra de 500 g de la cual se extrajo jugo para la determinación de pH, ácidos orgánicos (láctico, acético y butírico), alcohol, azúcares y $N\text{-}NH_3$. Para la extracción del jugo se usó una prensa hidráulica. Con el fin de impedir la continuación de fermentaciones se agregó al jugo obtenido tres gotas de tolueno o medio mililitro de bicloruro de mercurio al 0,25 por ciento, e inmediatamente se llevaron a congelación.

Los microsilos metálicos se hicieron con el propósito de evaluar cuantitativamente las pérdidas ocurridas durante el proceso del ensilaje, tanto por drenaje como por pudrición. Consecuentemente, se recolectó diariamente el efluente durante los primeros 21 días, después de los cuales no se detectaron pérdidas por drenado; el líquido obtenido se conservaba en congelación para su posterior análisis químico. Al momento de la apertura de los silos se determinó la cantidad de material recuperado, considerando el peso del material en el momento de ensilarlo

mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de ensilado recuperado} = \frac{A\ (\%\ MSa)}{B\ (\%\ MSb)} \times 100$$

donde: A = kg de ensilado de buena calidad

B = kg de forraje fresco

% MSa = por ciento de materia seca de A

% MSb = por ciento de materia seca de B

3.5 Análisis de laboratorio

Las muestras secas y molidas fueron utilizadas para la determinación de nitrógeno total, extracto etéreo, ceniza, contenido celular, pared celular, proteína de la pared y ceniza de la pared celular de acuerdo con los métodos descritos por el AOAC (1).

Del jugo extraído a las muestras se determinó el contenido de alcohol y ácidos láctico, acético y butírico por cromatografía de gas, pH por lectura directa en un potenciómetro con electrodos de vidrio, °Brix con un refractómetro Abbe, azúcares totales invertidos, sacarosa e invertosa por el método de Lane y Eynon (1) y nitrógeno amoniacal por el método de titulación con formaldehido (1).

La determinación de la materia seca en el ensilado se determinó por desplazamiento del agua con tolueno (6) usando 5 g de muestra finamente picada.

3.6 Análisis de la información

Los resultados obtenidos se analizaron mediante regresiones entre los niveles de urea (X_1), los niveles de melaza (X_2) y las características químicas determinadas, según las siguientes funciones:

1. Para los efectos sobre el pH:

$$Y_1 = b_o+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_1^2+b_4X_1X_2$$

donde: Y_1 = pH

b_o = valor de Y_1 cuando X_1 y $X_2 = 0$

b_1, b_2, b_3, b_4 = coeficientes de regresión

X_1 = por ciento de urea

X_2 = por ciento de melaza

2. Para los efectos sobre el contenido de ácido láctico:

$$Y_2 = b_o+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_1^2$$

donde: Y_2 = por ciento de ácido láctico en base seca

b_o = valor de Y_2 cuando X_1 y $X_2 = 0$

b_1, b_2, b_3 = coeficientes de regresión

X_1 = por ciento de urea

X_2 = por ciento de melaza

3. Para los efectos sobre el contenido de ácido acético:

$$Y_3 = a+be^{-cX_1}$$

donde: Y_3 = por ciento de ácido acético en base seca

a = valor de Y_3 cuando $X_1 \rightarrow \infty$

$a+b$ = punto de intersección cuando $X_1 = 0$

c = coeficiente de regresión

X_1 = por ciento de urea

4. Para los efectos sobre el contenido de ácido butírico:

$$Y_4 = b_o+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_1^2+b_4X_1X_2$$

donde: Y_4 = por ciento de ácido butírico en base seca

b_o = valor de Y_4 cuando X_1 y X_2 = 0

b_1, b_2, b_3, b_4 = coeficientes de regresión

X_1 = por ciento de urea

X_2 = por ciento de melaza

5. Para los efectos sobre el nivel de alcohol:

$$Y_5 = a+be^{-(c_1X_1+c_2X_2)}$$

donde: Y_5 = por ciento de alcohol en el jugo

a = valor asintótico de Y_5 cuando X_1 y $X_2 \rightarrow \infty$

$a+b$ = punto de intersección en la ordenada cuando X_1 y X_2 = 0

c_1, c_2 = coeficientes de regresión

X_1 = por ciento de urea

X_2 = por ciento de melaza

6. Para la relación entre °Brix y las variables en estudio:

$$Y_6 = b_o+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_1^2+b_4X_1X_2$$

donde: Y_6 = °Brix

b_o = valor de Y_6 cuando X_1 y X_2 = 0

b_1, b_2, b_3, b_4 = coeficientes de regresión

X_1 = por ciento de urea

X_2 = por ciento de melaza

7. Para la relación entre nitrógeno total y el nivel de urea:

$$Y_7 = b_o + b_1 X_1$$

donde: Y_7 = por ciento de N total en base seca

b_o = valor de Y_7 cuando $X_1 = 0$

b_1 = coeficiente de regresión

X_1 = por ciento de urea

8. Para la relación entre nitrógeno amoniacal y las variables en estudio:

$$Y_8 = b_o + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2$$

donde: Y_8 = por ciento de $N\text{-}NH_3$ en base seca

b_o = valor de Y_8 cuando X_1 y $X_2 = 0$

b_1, b_2, b_3, b_4 , b_5 = coeficientes de regresión

X_1 = por ciento de urea

X_2 = por ciento de melaza

9. Para los efectos sobre la materia seca:

$$Y_9 = a - be^{-(C_1 X_1 + C_2 X_2)}$$

donde: Y_9 = por ciento de materia seca del ensilado

a = valor asintótico de Y_9 cuando X_1 y $X_2 \rightarrow \infty$

$a-b$ = valor de Y_9 cuando X_1 y $X_2 = 0$

C_1 y C_2 = coeficientes de regresión

X_1 = por ciento de urea

X_2 = por ciento de melaza

La evaluación cuantitativa de los ensilajes incluyó el cálculo de las cantidades y proporciones de N y ATI (azúcares totales invertidos) que ingresaron en cada silo y las pérdidas por drenaje y en la fracción de ensilaje rechazado. De estos cálculos se obtuvo una estimación de la disponibilidad neta de ambos nutrientes en relación a las cantidades iniciales. Para el caso de N, se sumaron los ingresos en cada silo (N de la caña, N de la melaza y N de la urea) y se restaron las pérdidas (N en el efluente y N en el ensilaje descompuesto), para obtener el N neto.

En el caso de los ATI, se sumaron los ingresos (ATI de la caña de azúcar y ATI de la melaza) y se restaron los ATI perdidos en el efluente, obteniéndose el azúcar equivalente.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización organoléptica del ensilado de caña de azúcar al vacío

A pesar de haber suspendido de cordeles las bolsas plásticas a fin de aislarlas de posibles ataques de roedores, se tuvo la pérdida total de un microsilo por ataque de ratas.

Al abrir los microsilos plásticos se encontraron diferencias perceptibles en olor, color y textura según los diferentes niveles de melaza y urea usados.

En la mayoría de los ensilados se notó la presencia de hongos de color blanco en la capa superior, así como material descompuesto en el fondo de las bolsas plásticas en donde se había acumulado cierta cantidad de líquido, presentando este material un aspecto viscoso y fuerte olor desagradable. Las pérdidas por descomposición no se determinaron en este tipo de microsilos.

La mayor parte de los ensilados presentó un olor agradable y ligeramente acético el cual se confundía con el olor a amoniaco que se hacía más picante a medida que el nivel de urea en el ensilado aumentaba. En los ensilados con nivel cero de urea y cantidades crecientes de melaza se notó ligero olor alcohólico, lo cual era de esperar dado que la microflora que se encuentra en la caña de azúcar parece estar dominada por las levaduras, las cuales bajo condiciones anaeróbicas y pH bajo, tienen la capacidad de metabolizar los azúcares en alcohol (46).

El color que tenían los ensilados fue predominantemente verde pálido, el cual se volvía brillante a medida que aumentaba el nivel de urea y siendo de color amarillo claro brillante cuando el nivel de melaza aumentaba.

Por las características encontradas y de acuerdo a las normas establecidas por Peñagaricano et al. (44), los ensilados en general podrían clasificarse entre buena y regular calidad; sin embargo, estas características no ofrecen mucha confianza en la determinación de la calidad, la cual solo puede obtenerse mediante análisis químicos y el consumo por parte del animal.

4.2 Evaluación cualitativa del ensilado de caña de azúcar al vacío

4.2.1 Acidez

Los valores de pH de los ensilados de caña de azúcar según los niveles de urea y melaza usados, se grafican en la Figura 1, que se determinó por la siguiente función:

$$Y_1 = 3,59+1,22X_1-0,003X_2+0,126X_1^2-0,114X_1X_2$$

$$R^2 = 0,97 (P \leq 0,01, \quad n = 35)$$

De acuerdo a la función obtenida, la urea tuvo un efecto cuadrático positivo sobre los valores de pH del ensilado, en tanto que la melaza tendía a disminuír el pH en forma lineal. Se considera que en los ensilados de buena calidad el pH debe alcanzar valores entre 3,5 a 4,2, lo cual asegura la estabilización del ensilado (5,44) como puede observarse en la Figura 1, el pH del ensilado sin melaza aumentó desde 3,6 hasta 8,5 a medida que se aumentó el nivel de urea, lo cual es atribuíble, según Shirley et al. (51), no a la urea en sí, ya que se considera una base débil ($K_b = 1,5x10^{-14}$ a 25°C) sino a los productos de su degradación como el amoniaco, el cual tiene una acción tampón sobre el medio.

La adición de melaza disminuyó los valores de pH, siendo su efecto apenas perceptible en la ausencia de urea, pero más notorio a medida

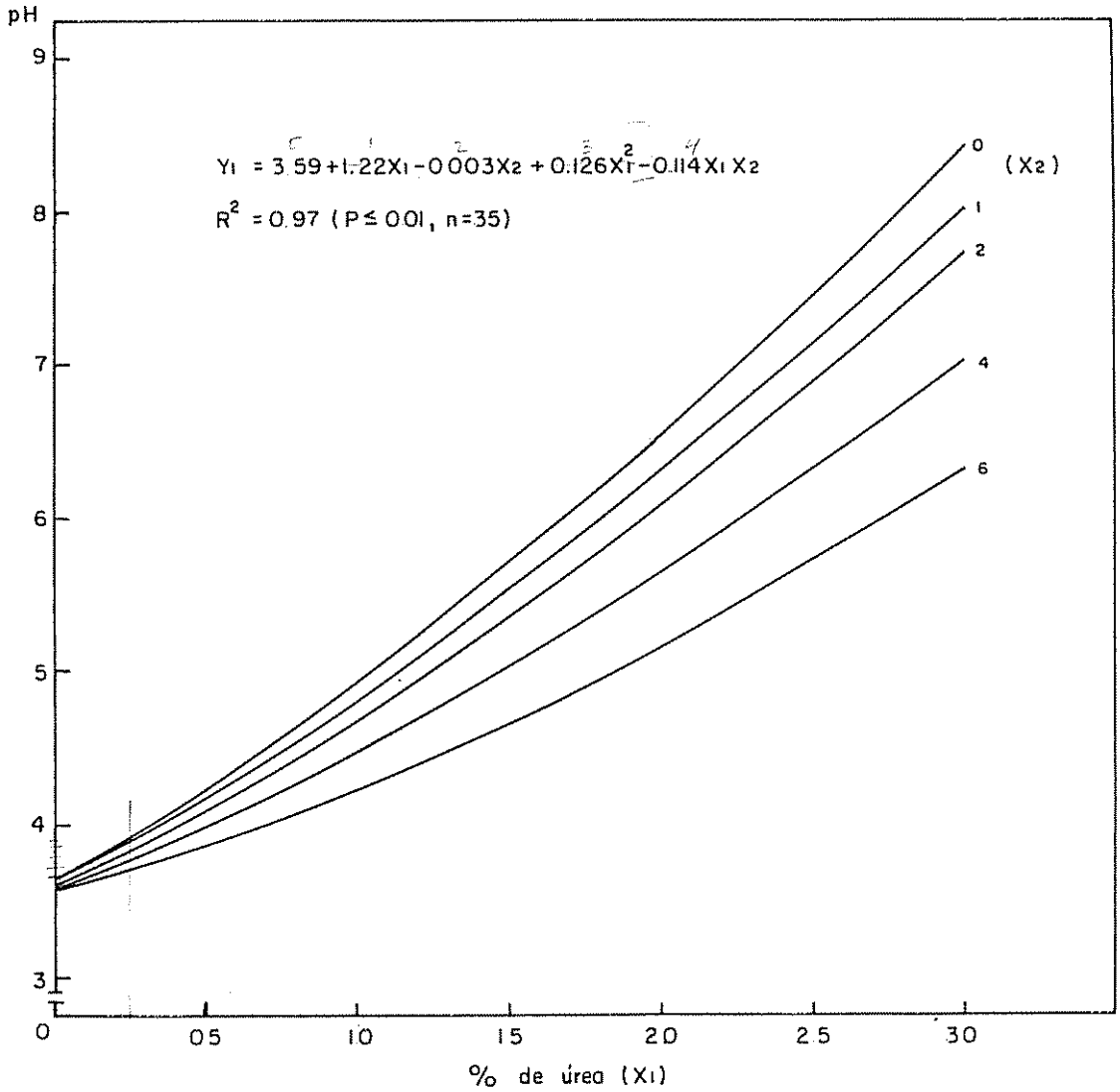

Fig. 1 Efecto del nivel de úrea (X_1) y melaza (X_2) sobre el pH del ensilado de caña de azúcar al vacío

que aumentaba la adición de urea. Esto fue debido al incremento del valor de la interacción al aumentar el valor de X_1 (urea). El efecto depresor de la melaza sobre el pH era de esperarse, puesto que el suplemento de carbohidratos, principalmente azúcares, que puedan ser fermentados por las bacterias acidogénicas es a menudo el factor principal en la producción de ácidos necesarios para preservar el forraje. Es bien conocido, que los carbohidratos fácilmente fermentables sufren una degradación a ácidos orgánicos (principalmente láctico, acético, propiónico y butírico) y en algunos casos a etanol, dependiendo de los microorganismos predominantes (26). De acuerdo a las concentraciones de ácidos orgánicos encontrados en el presente trabajo, la adición de melaza disminuyó la producción de ácido láctico y butírico, no habiendo afectado la producción de ácido acético, lo cual indica que la disminución en el pH no está relacionado a un aumento en la producción de ácidos. Este resultado concuerda con diversos investigadores (13, 16) quienes han encontrado muy poca correlación entre el pH final y la concentración de ácido acético y láctico en los ensilados, por lo que se considera que es arriesgado el establecimiento de valores ideales para ese parámetro. Aparentemente la velocidad de abatimiento del pH parece ser un factor más importante para la inhibición de las fermentaciones indeseables que el pH final del proceso (39).

Algunos investigadores como Frontera et al. (20) y Benacchio (7) han encontrado una buena acidificación del medio utilizando niveles de 2 por ciento de melaza en sorgo forrajero, otros como Catchpoole (21) reportan que ni aún con un nivel de 4 por ciento de melaza se logra disminuír el pH, concluyendo que el nivel óptimo de empleo de melaza, es de

8 por ciento para forrajes tropicales.

4.2.2 Acidos grasos volátiles

Las cantidades de ácido láctico resultante de la fermentación de la caña de azúcar al vacío alcanzaron valores desde 0 hasta 7,5 por ciento en base seca, lo cual puede ser considerado como aceptable si se toma en consideración que el ácido láctico en un ensilado de buena calidad debe estar entre 3 a 13 por ciento en base a materia seca (5). La función Y_2 cuantifica la relación entre el por ciento de ácido láctico y los niveles de melaza y urea usados:

$$Y_2 = 1,0+7,35X_1-0,64X_2-2,03X_1^2$$

$$R^2 = 0,76 (P \leq 0,01, \quad n = 35)$$

Esta función se grafica en la Figura 2, donde se puede observar que la urea tiene la propiedad de elevar la concentración de ácido láctico hasta un valor máximo, que corresponde a un nivel de 2 por ciento de urea, para luego disminuir drásticamente. El valor máximo causado por la urea disminuye en magnitud a medida que el valor de melaza aumenta. El efecto depresivo de la melaza sobre la concentración de ácido láctico fue general y no interaccionó con el efecto de la urea. Consecuentemente, el tratamiento con la máxima producción de ácido láctico fue aquél con 2 por ciento de urea y cero por ciento de melaza.

Los resultados de este estudio concuerdan con los de Alvarez y Preston (4), quienes encontraron una mayor producción de ácido láctico en ensilajes de caña de azúcar a medida que incrementaban el nivel de urea/miel pero tendía a disminuír con niveles crecientes de amoniaco/miel. Resultados similares reportan Klosterman (32) y López (34), quienes

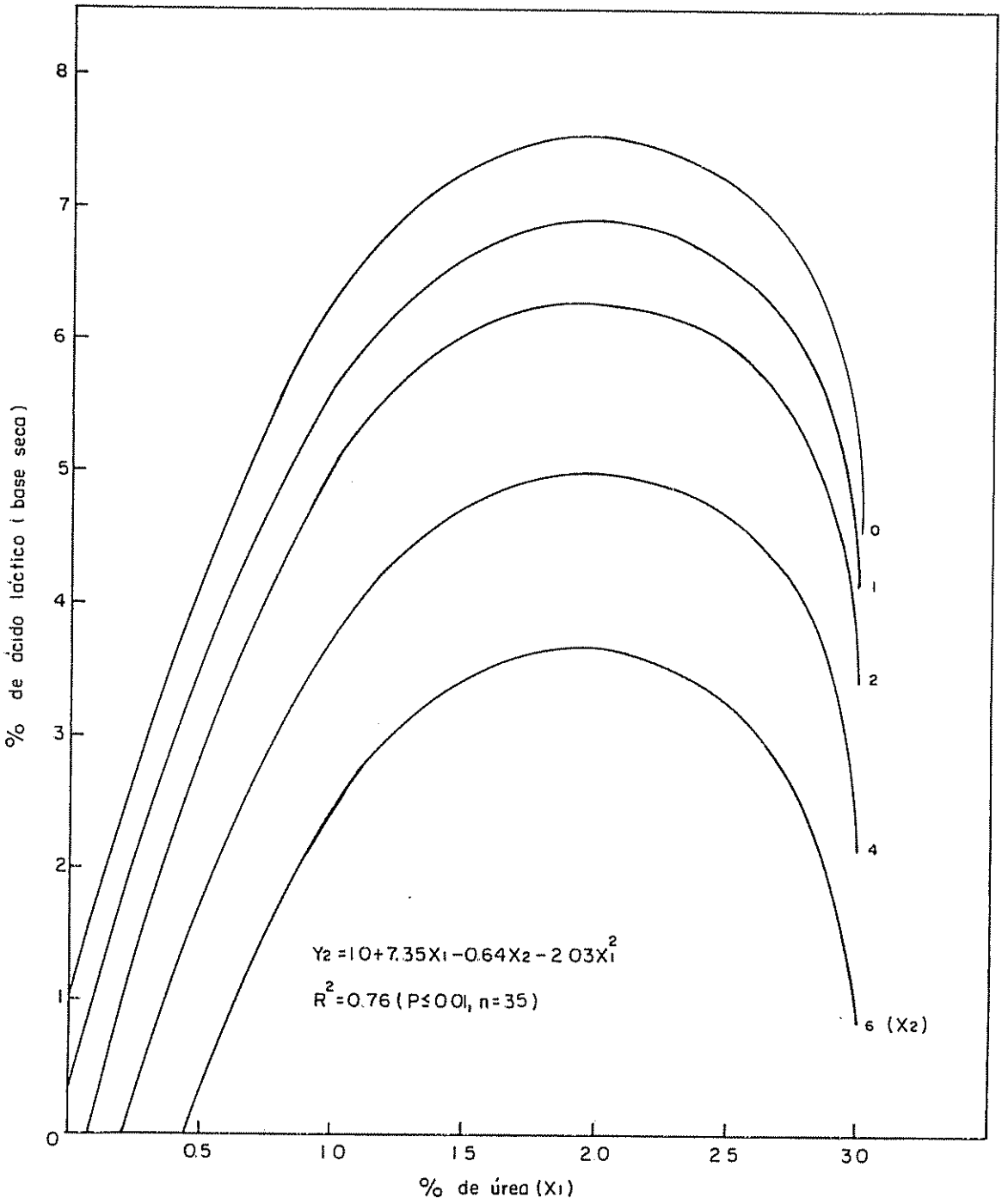

Fig 2 Efecto del nivel de úrea (X1) y melaza (X2) sobre el porcentaje de ácido láctico en ensilado de caña de azúcar al vacío

trabajando con ensilado de maíz encontraron diferencias significativas en la producción de ácido láctico cuando incrementaban los niveles de urea desde 0 hasta 1,0 por ciento. Shirley et al. (51) consideran que el efecto favorable de la urea en la síntesis de ácido láctico se debe a la capacidad tampón de la misma, permitiendo que la producción de ácido láctico se prolongue hasta 25 días después de haberse ensilado el forraje.

Aunque los glúcidos fermentescibles favorecen la multiplicación rápida de las bacterias productoras de ácido láctico, esto aparentemente no ocurrió en este estudio y más bien la melaza afectó negativamente la fermentación láctica. Sin embargo, existe concordancia con lo reportado por Catchpoole (13) y Aguilera (2) para ensilados de forrajes tropicales en los que el patrón de fermentación láctica es substituído por la fermentación acética y butírica. En el presente caso la melaza no tuvo efecto sobre la fermentación acética y la fermentación butírica fue afectada negativamente por la melaza. La explicación del conjunto de efectos de la melaza sobre la producción de estos tres ácidos no es evidente. Es posible que la melaza posea elementos inhibidores de los microorganismos productores de ácidos. En cualquier situación, el nivel de ácido láctico se considera adecuado siempre y cuando el nivel de urea sea de 2 por ciento y la melaza varíe de 0 hasta 6 por ciento.

El contenido de ácido acético en el ensilado de caña de azúcar al vacío disminuyó gradualmente a medida que se incrementaba el nivel de urea en el silo tendiendo a un valor constante a niveles superiores al 3 por ciento de urea. La función Y_3 describe la relación entre el por ciento de ácido acético y el nivel de urea, no habiéndose encontrado

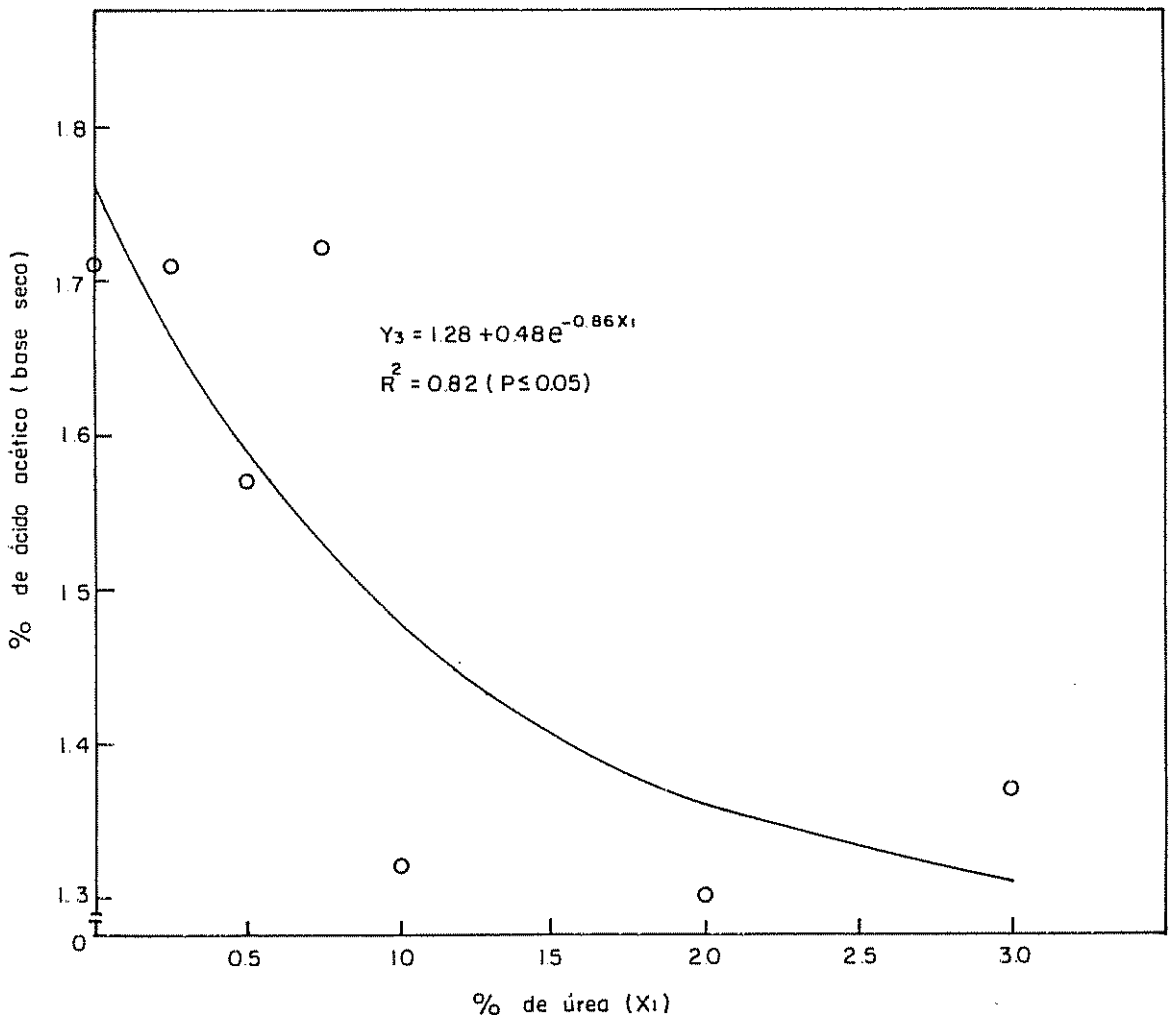

Fig. 3 Efecto del nivel de úrea (X_1) sobre el porcentaje de ácido acético en ensilado de caña de azúcar al vacío

efecto de la melaza.

$$Y_3 = 1,28+0,48e^{-0,86X_1}$$

$$R^2 = 0,82(P\leq 0,05)$$

Alvarez y Preston (4) al ensilar caña de azúcar con amoniaco/miel o urea/miel como aditivos determinaron que tanto el amoniaco como la urea tienen la propiedad de disminuír la concentración de ácido acético, obteniéndose una mejor respuesta con el uso del amoniaco.

Según los resultados, se considera que la urea tuvo un efecto beneficioso sobre el patrón de fermentación, puesto que se ha establecido que el exceso de ácido acético en el ensilado produce un sabor y olor ácido que influyen negativamente sobre el consumo voluntario del mismo (29, 30).

Durante el ensilaje de la caña de azúcar existieron condiciones que permitieron el desenvolvimiento de fermentaciones butíricas según se puede apreciar en la Figura 4, donde seggrafica el efecto de la urea y la melaza sobre el contenido de ácido butírico del ensilado de caña de azúcar, siendo la función que describe la relación:

$$Y_4 = 0,24+3,31X_1-0,28X_2-1,03X_1^2+0,07X_1X_2$$

$$R^2 = 0,80(P\leq 0,01, \quad n = 28)$$

Esta función sólo se aplica a los niveles de melaza no mayores de 4 por ciento. Los valores observados con el nivel 6 por ciento de melaza siguieron una tendencia muy diferente a los otros niveles de melaza y por lo tanto se graficaron en forma separada en la Figura 4, sin aplicar ninguna función.

La fermentación butírica depende de una serie de factores, como

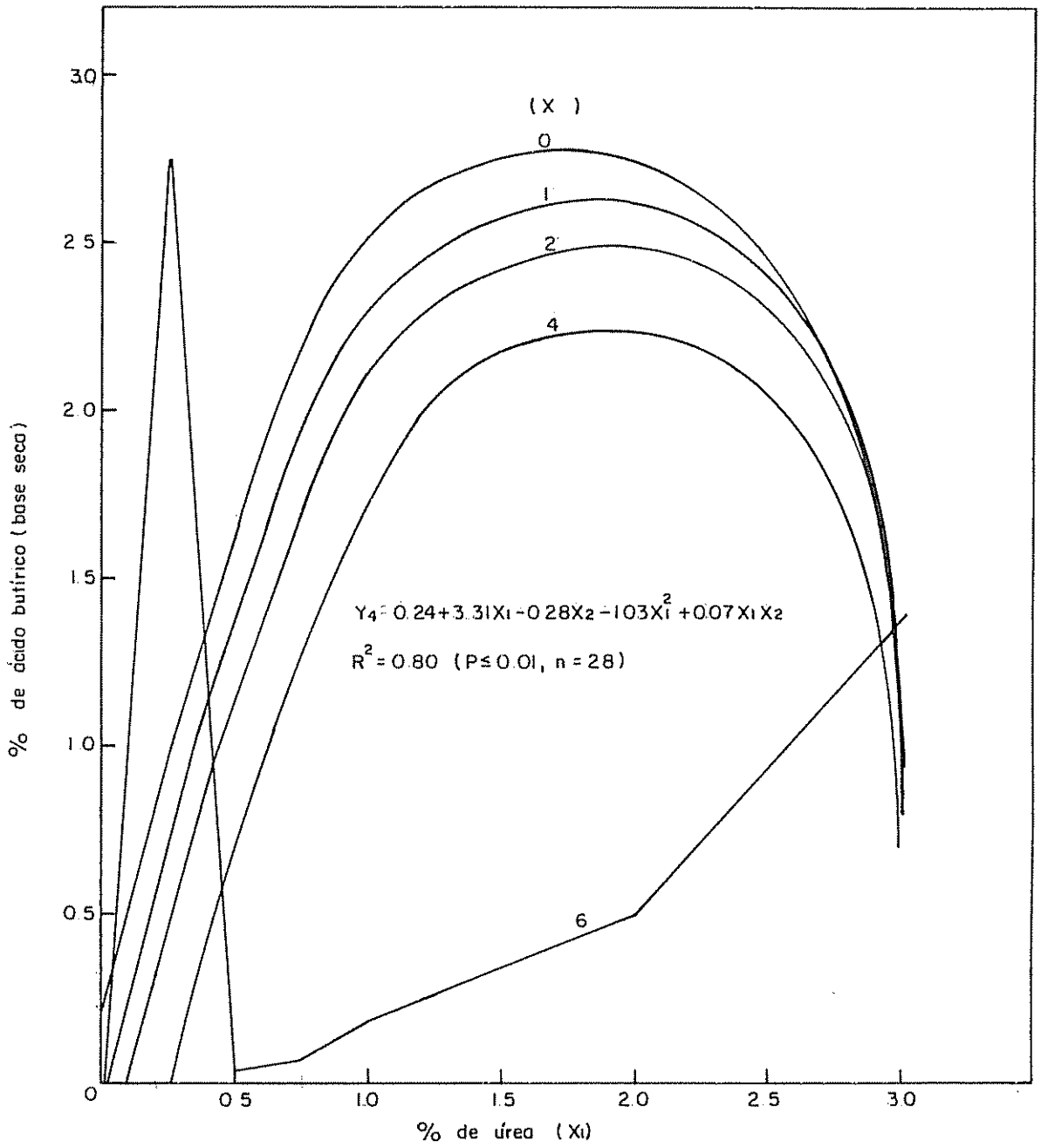

Fig. 4 Efecto del nivel de úrea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de ácido butírico en ensilado de caña de azúcar al vacío

son: presencia de aire en el silo, temperatura de la masa ensilada, tipo de azúcares y de bacterias, velocidad de disminución del pH y resistencia del medio a cambio en la acidez (5, 14, 43). En el presente trabajo se demuestra que el nivel de urea y de melaza también son factores que afectan la producción de ácido butírico. Los efectos de la urea y de la melaza son reminiscentes de sus efectos sobre la concentración de ácido láctico. Dos resultados incompatibles con los objetivos de un buen ensilaje como son un alto nivel en ácido láctico y un bajo nivel de ácido butírico. Es posible que los mecanismos por los cuales la urea y la melaza propician la producción o inhibición de la formación de estos dos ácidos sean los mismos para cada caso. McDonald et al. (37) y Barnett (5) dan énfasis al hecho de que si el pH del medio no alcanza rápidamente el nivel crítico, las fermentaciones indeseables llevadas a cabo por las bacterias productoras de ácido butírico predominarán a partir de los lactatos producidos y los azúcares residuales. Este proceso comprende la descarboxilación del ácido láctico, disminuyendo la concentración hidrogeniónica, creando condiciones más favorables para las bacterias que llegan a desdoblar aminoácidos para producir ácido butírico, aminas, amoniaco y otros gases. Con este enfoque, entonces sería lógico esperar que a mayor producción de ácido láctico, mayor cantidad de sustrato para las bacterias productoras de ácido butírico, cuya actividad sería favorecida por la descarboxilación del ácido láctico y por las crecientes concentraciones de urea, es decir, el pH aumenta por ambas causas, estableciéndose un medio más adecuado para las bacterias butirógenas.

Es importante señalar que los microorganismos causantes de la fermentación butírica, tienen un pH óptimo de 4 a 5 (43). En el caso del

presente estudio, con niveles de urea mayores de 2 por ciento, el pH corresponde a 6 ó a valores alcalinos y como resultado, la actividad butirogénica (y lactogénica) decrece rápidamente.

Desde el punto de vista de la aceptación del ensilaje por el animal, aparentemente es más importante minimizar la concentración de ácido butírico que maximizar el nivel de ácido láctico, puesto que se ha encontrado que el ácido butírico disminuye el consumo voluntario (57).

Generalmente se acepta que los ensilados de buena calidad no deben contener ácido butírico, sin embargo, algunos investigadores (5, 13) consideran que niveles abajo de 2 por ciento pueden ser indicativos de ensilados de calidad aceptable. En base a esas informaciones, el uso de niveles menores a 0,75 por ciento o mayores a 2,75 por ciento de urea serían recomendables para ensilados de caña de azúcar según la tendencia observada en la Figura 4. Nótese que con estos rangos, no se lograría optimización en la producción de ácido láctico (Fig. 2).

4.2.3 Contenido de alcohol

A diferencia de los forrajes convencionales, la microflora que se encuentra en la caña de azúcar parece estar dominada por las levaduras, las cuales bajo condiciones anaeróbicas y pH bajo tienen la capacidad de metabolizar el azúcar a alcohol (46). Uno de los principales cambios que ocurrió en la caña de azúcar ensilada al vacío, fue la conversión de sacarosa a alcohol tal como se observa en la Figura 5, la cual se determinó por la siguiente función:

$$Y_5 = 1,62+1,38e^{-(2,01X_1-0,07X_2)}$$

$$R^2 = 0,79 \ (P\leq 0,01, \ n = 35)$$

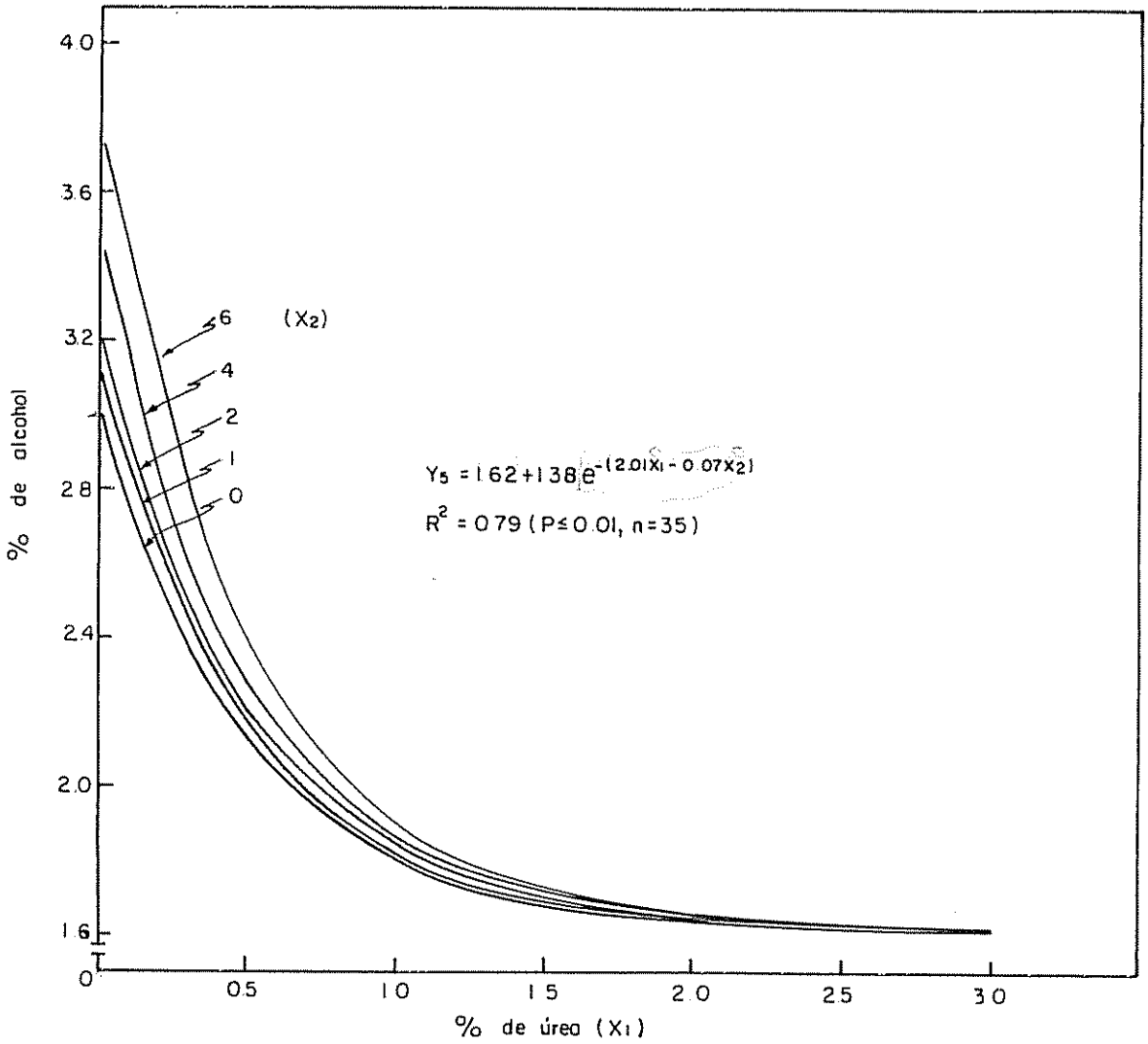

Fig. 5 Efecto del nivel de úrea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de alcohol en ensilado de caña de azúcar al vacío

La formación de alcohol no es problema en otros forrajes como el maíz, el cual solamente tiene 3 a 4 por ciento de azúcar en base seca, de manera que la limitación del sustrato ayuda a prevenir la formación de alcohol (46).

Los azúcares presentes en el material fueron decisivos en la extensión de la fermentación alcohólica durante el ensilaje, disminuyendo la síntesis de alcohol a medida que se limitaba la disponibilidad de azúcares fermentables, ya que habiendo una fuente de azúcares disponibles, las levaduras fermentarán primero los azúcares produciendo alcohol y al agotarse éstos procederán a utilizar el ácido láctico producido por las bacterias (25).

Este proceso también fue afectado drásticamente con la adición de urea al ensilado, disminuyendo la síntesis de alcohol a medida que aumentaba la concentración de urea, siendo su efecto 30 veces superior al efecto de la melaza lo cual es atribuíble a la acción del pH sobre los microorganismos responsables (46).

La presencia del alcohol en los ensilados es considerada dañina, ya que además de disminuír el valor nutritivo del forraje por la transformación de azúcares a alcohol, afecta negativamente el consumo y causa trastornos en los animales alimentados con dicho forraje (46, 49).

4.2.4 Grados Brix

Considerando los grados Brix como un indicador de la cantidad de azúcares presentes en el ensilado, se graficó en la Figura 6 la relación entre los °Brix de los ensilados y los niveles de urea y melaza usados según la función:

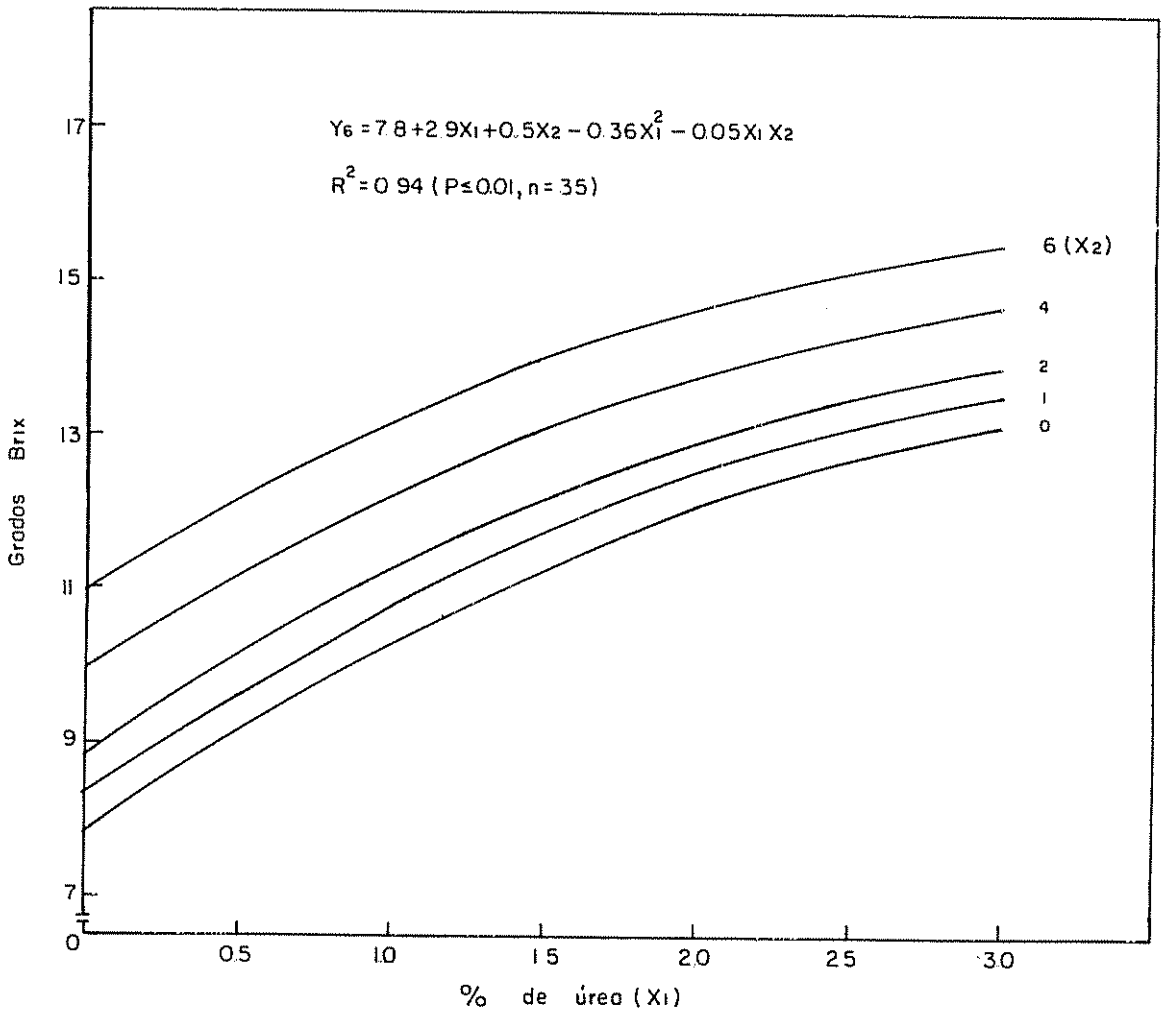

Fig. 6 Efecto del nivel de úrea (X_1) y melaza (X_2) sobre los grados Brix en ensilado de caña de azúcar al vacío

$$Y_6 = 7,8+2,9X_1+0,5X_2-0,36X_1^2-0,05X_1X_2$$

$$R^2 = 0,94 \ (P\leq 0,01, \ n = 35)$$

Se puede observar que los °Brix confirman la actividad fermentativa de los microorganismos sobre los azúcares durante el ensilaje, ya que, como se mencionó antes, a medida que se incrementaba el nivel de urea en los silos la actividad de las levaduras y las bacterias lácticas, acéticas y butíricas disminuían, lo cual se traduce en un mayor contenido de azúcares sin fermentar y por ende un valor Brix más alto. Igualmente, a medida que aumenta el nivel de melaza en el silo los °Brix aumentan en el ensilado. Los resultados concuerdan con lo hallado por otros investigadores (4, 46, 47), quienes reportan que la adición de NNP al ensilado de caña de azúcar permite la conservación de casi todos los azúcares, eliminando además la formación de alcohol, lo que ocurre en grado considerable cuando la caña de azúcar se ensila sola.

4.2.5 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno aumentó linealmente en todos los ensilados a medida que se incrementaba el nivel de urea, no habiéndose encontrado efecto de la melaza, tal como puede verse en la Figura 7, donde la función que relaciona el por ciento de N en el ensilado con el por ciento de urea agregada al silo es:

$$Y_7 = 0,95+0,99X_1$$

$$R^2 = 0,95 \ (P\leq 0,01)$$

Cabe hacer notar que la tendencia observada en la Fig. 7 difiere a la observada en la Fig. 10, debido a que la primera se obtuvo de

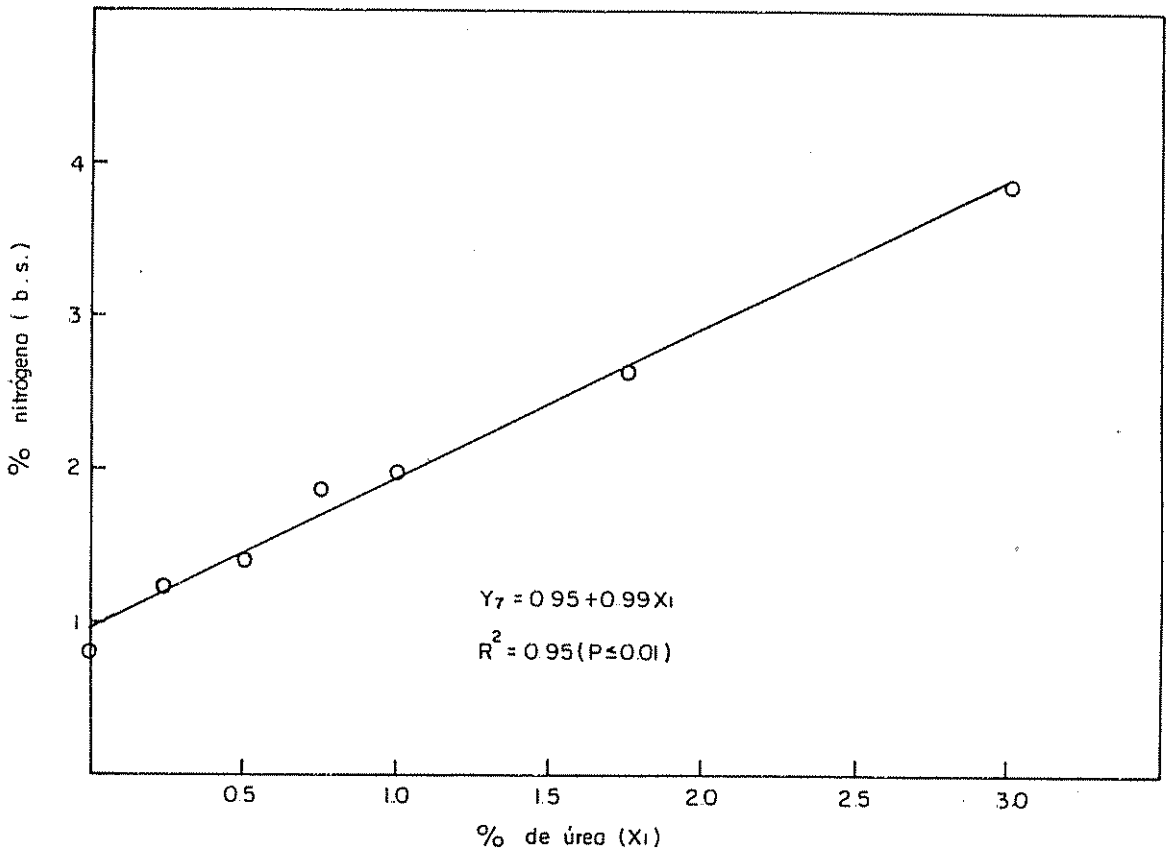

Fig. 7 Efecto del nivel de úrea (X_1) sobre el porcentaje de nitrógeno en ensilado de caña de azúcar al vacío

los microsilos plásticos, en tanto que la segunda fue el resultado de los microsilos metálicos.

El agregar urea a los forrajes en el momento de ensilar para elevar el contenido de proteína del ensilado, obviamente ha dado resultados satisfactorios (14, 19, 20, 24, 28, 31, 53). La adición de urea puede manifestar su efecto en el contenido de nitrógeno de los forrajes por fenómenos de adsorción y en gran parte por absorción de la misma por parte de la planta, puesto que la permeabilidad cuticular se aumenta con la presencia de urea (35). Sin embargo, la eficiencia de utilización de la misma es muy variable, Mejía (35) reporta eficiencias de utilización de la urea de 28,9 por ciento en ensilado de maíz con un contenido de materia seca de 23,74 por ciento, y de 48,6 por ciento en ensilado de festuca con 40,7 por ciento de materia seca inicial. Gomide (24), trabajando con ensilado de sorgo reporta una eficiencia de utilización de la urea de 55 por ciento.

La eficiencia de utilización del nitrógeno consumido y digerido por los animales ha demostrado ser inferior para ensilados que cuando el mismo forraje se prepara en forma de heno. Esta baja utilización ha sido asociada con dos factores principales: a) la proporción relativamente alta de los componentes nitrogenados del ensilado presentes en forma de nitrógeno no proteico de alta solubilidad y b) el bajo contenido de carbohidratos fácilmente fermentables en los forrajes ensilados (58).

La presencia de amoniaco en los forrajes ensilados está asociada con fermentaciones proteolíticas indeseables que disminuyen la calidad de los ensilados; en el presente estudio debido a la adición de urea en cantidades crecientes se obtuvo una respuesta lineal en el contenido

de amoniaco en el ensilado, lo cual no podría atribuírse únicamente a una fermentación proteolítica. La función que describe la relación entre el contenido de $N\text{-}NH_3$ del ensilado y el por ciento de urea y melaza se grafica en la Figura 8.

$$Y_8 = 0{,}13+0{,}03X_1+0{,}001X_2-0{,}001X_1X_2$$

$$R^2 = 0{,}78 \ (P\leq 0{,}01,\ n = 35)$$

Un gran número de trabajos experimentales han demostrado que los aditivos ricos en carbohidratos solubles son capaces de beneficiar el proceso del ensilaje ayudando a la conservación de la proteína original del forraje. En el presente caso se nota el efecto favorable de la melaza al disminuír el contenido de nitrógeno amoniacal en el ensilado a medida que se incrementa el por ciento de la misma. Aunque se ha reportado (9, 34, 45) que el amoniaco proveniente de la urea forma sales de amonio con los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación, en este caso habría que considerar que, en general, a medida que se incrementaba el por ciento de urea, la síntesis de ácidos orgánicos tendía a disminuír, lo cual daría como resultado una mayor cantidad de amoniaco libre en el ensilado que, de acuerdo a la literatura, afectaría negativamente la calidad del ensilado y el consumo (53, 54, 57). En base a los resultados obtenidos cabría esperar una respuesta poco favorable en el consumo del ensilado de caña de azúcar adicionado con niveles superiores al 1 por ciento de urea, por lo que sería necesario realizar pruebas de aceptación y consumo con animales, puesto que oreando el alimento antes de ofrecerlo a los animales se lograría disminuír el olor a amoniaco.

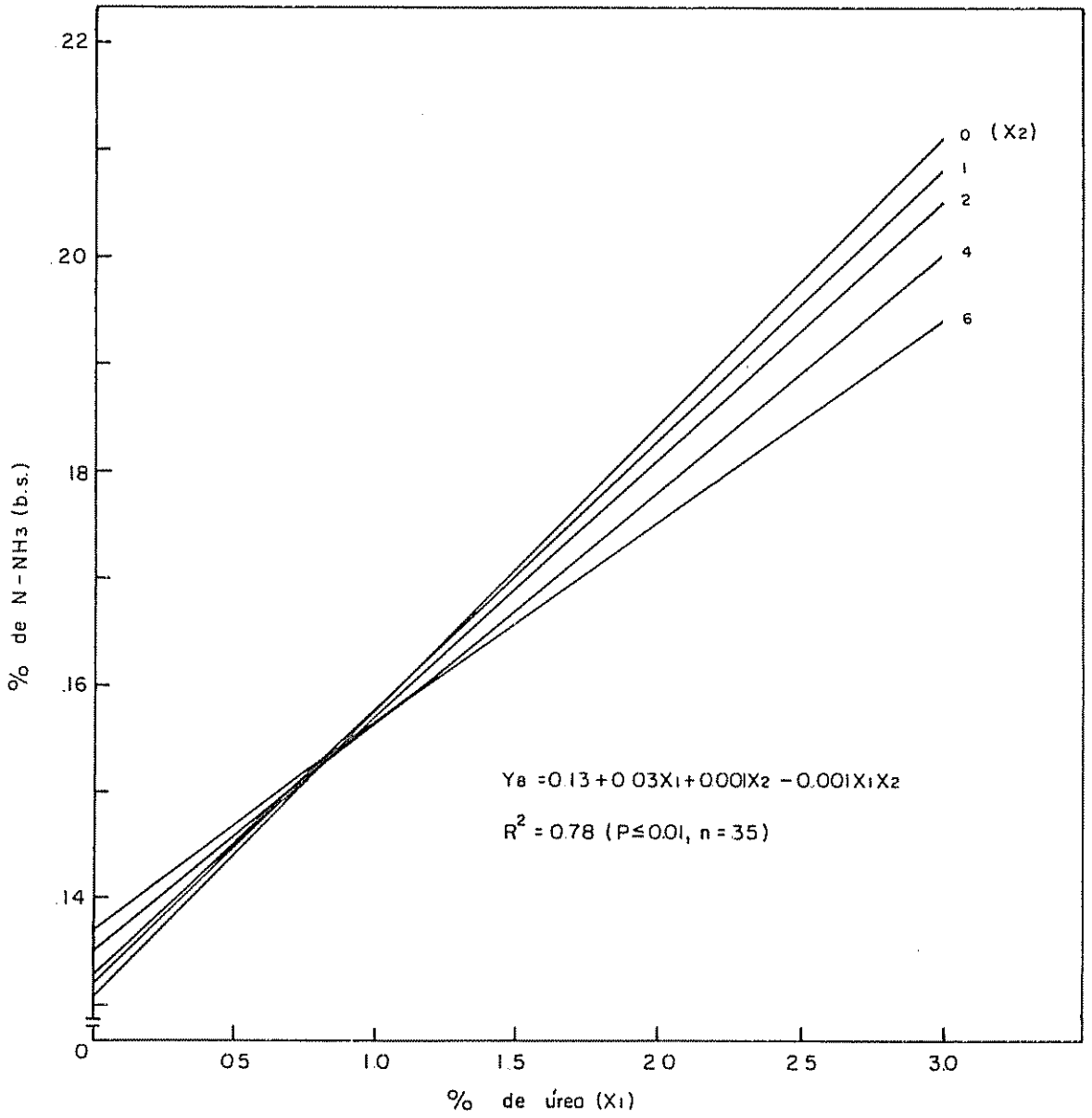

Fig. 8 Efecto del nivel de úrea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de nitrógeno amoniacal en ensilado de caña de azúcar al vacío

4.2.6 Otros parámetros

Los resultados de los análisis de pared celular, proteína de la pared, contenido celular, ceniza de la pared y ceniza total, se reportan en el Apéndice, dado que los valores encontrados no mostraron tendencias definidas o eran más o menos constantes. Estos resultados son lógicos de esperar, pues la fermentación se realiza en base a la degradación de carbohidratos solubles y no a los estructurales.

4.3 Evaluación cuantitativa de la pérdida de nutrientes

4.3.1 Materia seca

El efecto del nivel de urea y melaza sobre el porcentaje de materia seca del ensilado de caña de azúcar se ilustra en la Figura 9, resultante de la siguiente función:

$$Y_9 = 29,56-8,66e^{-(1,21X_1+0,15X_2)}$$

$$R^2 = 0,89 \ (P \leq 0,01, \ n = 35)$$

La concentración de materia seca del ensilado disminuyó a 21 por ciento, en la ausencia de urea y melaza, en relación al por ciento de materia seca de la caña previo a su ensilado (29%). La disminución ocurrió a pesar del drenaje de jugo lo cual ha debido de reflejarse en un aumento en la concentración de materia seca. Es de enfatizarse que las determinaciones de materia seca se hicieron por destilación con tolueno y se estima que las pérdidas por volatilización fueron mínimas. Una posible explicación es que una fracción de la materia seca desapareció en la forma de gases y calor por efecto del proceso fermentativo.

Tanto la urea como la melaza tendieron a reducir las diferencias

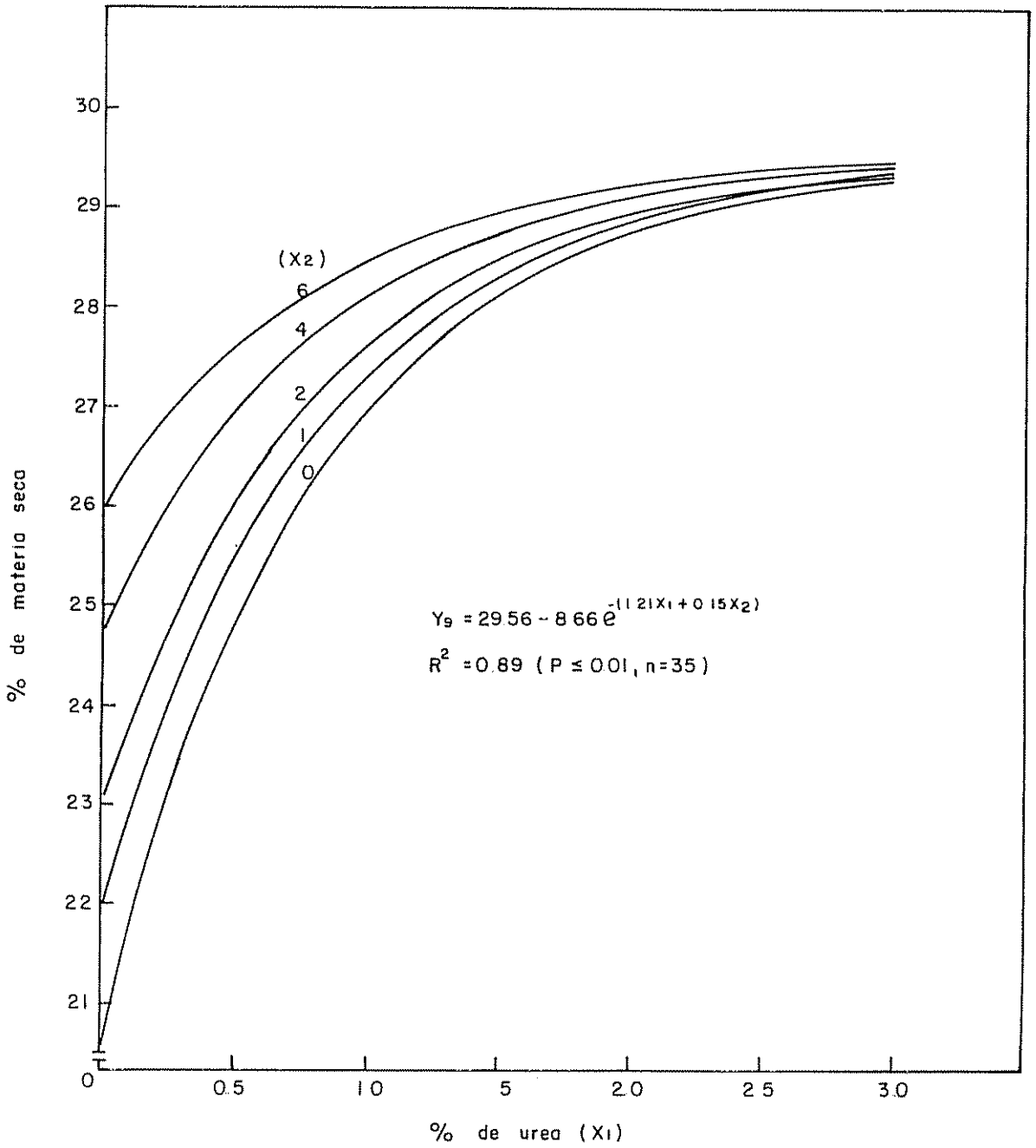

Fig. 9 Porcentaje de materia seca en ensilado de caña de azúcar al vacío según el nivel de úrea (X1) y melaza (X2)

entre la concentración de materia seca en la caña fresca y el ensilado de caña. En el caso de la melaza este efecto es obvio dado que se añadía un material más concentrado (76,4 por ciento de M.S.) que la caña. Empero, en el caso de la urea, su efecto positivo sobre la concentración de materia seca ocurrió a pesar que la urea se añadió en solución acuosa. Es decir, al añadir urea, más era el agua que se añadía en cantidades crecientes (proporcional a la urea) a una cantidad fija de caña picada (4 ó 10 kg, según el tipo de silo).

Especialmente en el caso de las adiciones de urea, los aumentos en M.S. (Fig. 9) tendieron a alcanzar un valor asintótico. El efecto relativo de la urea fue de 8 veces más importante que el de la melaza (comparar coeficientes de regresión de la función Y_9).

Los resultados confirman las tendencias presentadas anteriormente, en donde la urea favoreció la producción de ácido láctico y butírico, hasta un punto crítico para luego disminuír (Figs. 2 y 4). Asimismo, la urea favoreció la conservación de azúcares al disminuír la fermentación alcohólica (Fig. 5). Se nota también un aumento en el contenido de nitrógeno total del ensilado conforme se incrementaba el nivel de urea (Fig. 7). Además, de acuerdo a la evaluación cuantitativa de los ATI y del N, la disponibilidad de los azúcares no se afectó cuando el nivel de urea agregado al silo era menor de uno por ciento, lo cual indica que las pérdidas de azúcares por efluente fueron insignificantes (Fig. 11). La disponibilidad de nitrógeno aumentó conforme se aumentaba el nivel de urea, hasta un punto crítico después del cual las pérdidas eran mayores, especialmente cuando el nivel de melaza se incrementaba (Fig. 10).

4.3.2 Pérdidas de N y ATI

Gordon (23) clasifica las pérdidas de nutrientes en los silos en tres categorías: a) pérdidas en el efluente; b) pérdidas por descomposición (que permanecen sin embargo en el ensilado); y c) pérdidas en forma de gases (CO_2, CH_4, NH_4).

En el presente estudio se cuantificaron las pérdidas en el efluente y por descomposición del material ensilado, no habiéndose considerado las pérdidas por gases. Sin embargo, se pudo observar que algunos microsilos plásticos se inflaron por acumulación de gases a solo dos días después de haberse ensilado el material.

De acuerdo a los datos obtenidos de los ensilados metálicos, se determinó la siguiente función que relaciona las entradas de nutrientes al sistema y las salidas por drenado de líquidos y pérdidas por pudrición.

Para el caso del nitrógeno:

$$Y_{10} = 0{,}0078(K)(\%MSK) + 0{,}46(X_1)(K) + 0{,}0044(X_2)(K)(\%MSX_2)$$

$$- \left(\frac{Y_{11}}{10}\right)K - \%P(K)(Y_{12})(Y_{13})$$

donde: Y_{10} = gramos de nitrógeno neto

Y_{11} = g de nitrógeno en el efluente resultante de un silo de 10 kg de caña fresca

Y_{12} = por ciento de materia seca del ensilado

Y_{13} = por ciento de nitrógeno del ensilado, base seca

%P = por ciento de pérdidas por pudrición

K = kg de caña de azúcar a ensilar

X_1 = nivel de urea, por ciento de la caña en fresco

X_2 = nivel de melaza al natural, por ciento de la caña en fresco

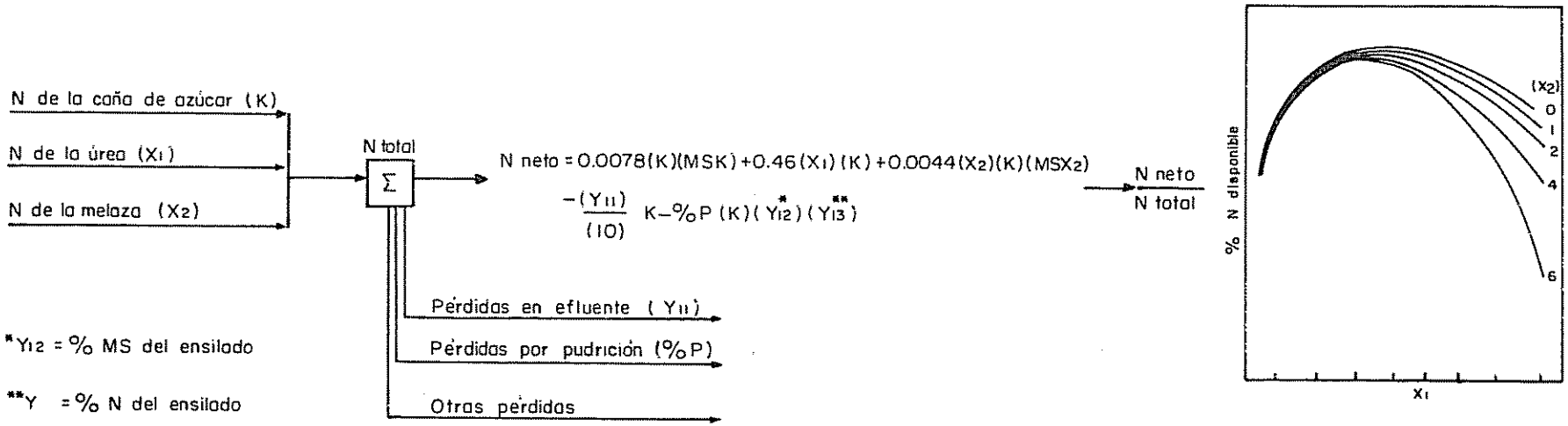

Fig. A Diagrama de pérdidas de N

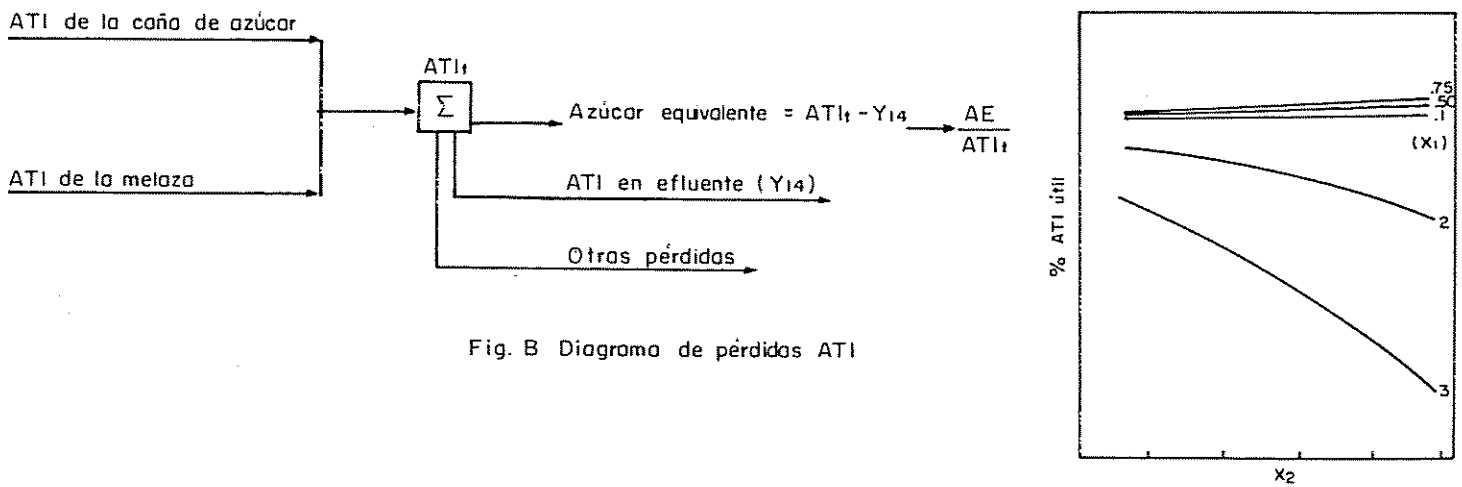

Fig. B Diagrama de pérdidas ATI

%MSK = por ciento de materia seca de la caña

$\%MSX_2$ = por ciento de materia seca de la melaza

0,46 = 46 por ciento de N en la urea

0,0044 = 0,44 por ciento de N en la melaza, base seca

0,0078 = 0,78 por ciento de N en la caña de azúcar, base seca

$$\frac{Y_{10}}{\Sigma N \text{ total}} \times 100 = \text{Eficiencia de retención de N utilizable en alimentación}$$

La cantidad de N neto obtenida se dividió entre el N total que ingresó al silo, determinándose el porcentaje de nitrógeno disponible para el animal. Los resultados se grafican en la Figura 10, donde se puede observar que la proporción de nitrógeno disponible aumenta conforme aumenta el nivel de urea en el silo hasta un punto crítico después del cual la disponibilidad de nitrógeno disminuye, aumentando la magnitud de las pérdidas a medida que aumenta la cantidad de melaza. El aumento en las pérdidas de N disponible se podrían explicar, por una parte debido a la volatilización del amoniaco, que es uno de los principales productos de la degradación de la urea, y a la mayor cantidad de efluente que se recolectó de los silos con niveles altos de urea y melaza. Siendo necesario recordar que la urea se agregaba en solución acuosa. Las pérdidas de N por arrastre se hacen más evidentes cuando el nivel de melaza es superior al 2 por ciento.

La eficiencia de retención de N fue alta en todos los casos, excepto a niveles extremos de urea conjuntamente con altos niveles de melaza. Estos resultados se podrían explicar si se considera que la magnitud

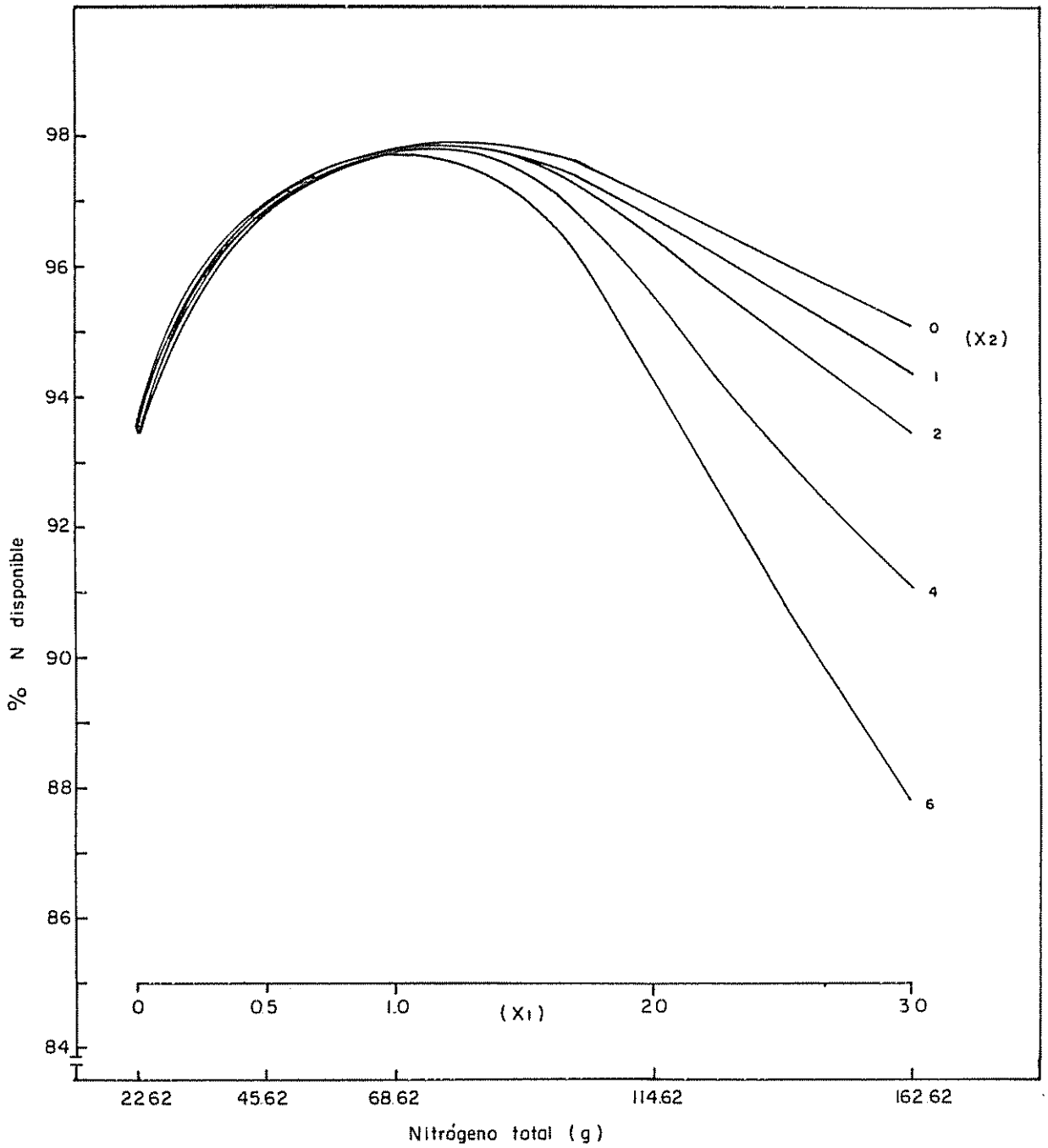

Fig. 10 Efecto del nivel de úrea (X1) y melaza (X2) sobre el porcentaje de N disponible en el ensilado de caña de azúcar

de las pérdidas depende del grado de compresión y del contenido de humedad de la planta, los cuales fueron constantes para todos los tratamientos, lo que indica que las diferencias encontradas se pueden atribuír a la descomposición del material por presencia de bolsas de aire y a efectos de los tratamientos al agregar líquido al medio.

Para el caso de los azúcares totales invertidos (ATI):

$$Y_{14} = 0{,}089K + 0{,}58X_2 - \left(\frac{Y_{15}}{10}\right)K$$

donde: Y_{14} = g de azúcar equivalente

X_2 = nivel de melaza al natural, por ciento de la caña en fresco

Y_{15} = g de ATI en el efluente resultante de un ensilaje de 10 kg de caña fresca

K = cantidad de caña de azúcar a ensilar, kg

$\frac{Y_{14}}{\Sigma ATI} \times 100$ = por ciento de los ATI útiles

En la Figura 11 se grafica la relación entre los niveles de urea y melaza agregados al ensilado de caña de azúcar y su efecto sobre la disponibilidad de ATI (azúcares totales invertidos). De acuerdo a los resultados obtenidos la disponibilidad de ATI no es afectada cuando se adicionan al silo niveles de urea hasta 1 por ciento. Cantidades adicionales de urea causan una disminución de ATI para los procesos fermentativos, lo cual podría ser explicado en parte debido a la forma en que se agregaba la urea (solución acuosa). Las pérdidas de ATI aumentan cuando se incrementa el nivel de melaza. Los resultados explican en parte el efecto de altos niveles de urea sobre la actividad fermentativa

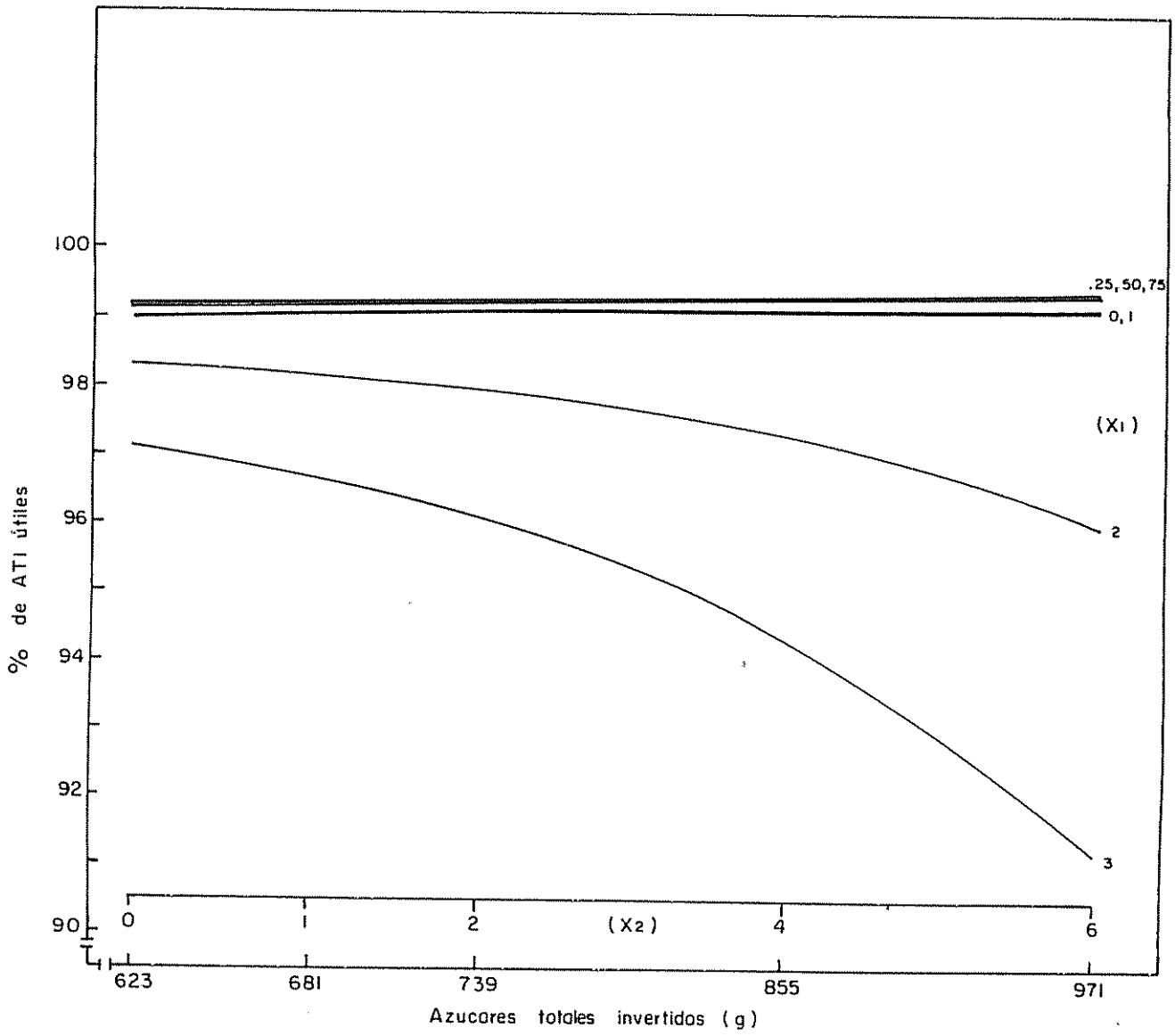

Fig. 11 Efecto del nivel de úrea (X1) y melaza (X2) sobre el porcentaje de azúcares totales invertidos útiles en ensilado de caña de azúcar

de las bacterias, la cual se reduciría por una reducción concomitante en la cantidad de ATI disponibles. El efecto sobre la actividad de las levaduras (producción de alcohol) es de menor cuantía.

La proporción de ATI útiles es alta en todos los casos, y las diferencias entre tratamientos son pequeñas lo que indica que las pérdidas en el efluente son también pequeñas, lo que concuerda con los resultados graficados en la Fig. 9. Estas pérdidas podrían explicarse debidas al arrastre por gravedad del líquido agregado.

4.4 Discusión general

El tipo de fermentación que se desarrolla en un silo puede ser modificado si la planta forrajera recibe en el momento del ensilaje un tratamiento con sustancias capaces de inhibir o acelerar la acción de las bacterias fermentativas. De acuerdo a los resultados presentados anteriormente, el patrón de fermentación del ensilado de caña de azúcar al vacío, se modificó de acuerdo a los niveles de urea y melaza agregados en el momento del ensilaje.

La urea tuvo un efecto predominante sobre la calidad del ensilado según los parámetros estudiados. Aunque aisladamente el pH final no puede ser considerado como un criterio seguro para la evaluación cualitativa del ensilado, la melaza tuvo un ligero efecto acidificante, en tanto que la urea tuvo un efecto fuertemente alcalino sobre el medio. Este efecto dominó cualquier influencia que hubiera tenido la concentración de ácidos orgánicos (principalmente los ácidos láctico y acético) sobre el pH. Como resultado de esto, la actividad fermentativa de las bacterias que son muy sensibles a los cambios en el pH se afectó drásticamente

cuando el nivel de urea fue demasiado elevado. En el presente caso, la adición de cantidades superiores a 2 por ciento de urea produjo una rápida disminución en el contenido de ácido láctico, mientras que adiciones mayores a 1,75 por ciento redujeron la cantidad de ácido butírico en el ensilado. La adición de melaza al disminuír la cantidad de ácido láctico en el ensilado afectó negativamente la calidad del mismo, en tanto que desde el punto de vista de la concentración de ácido butírico su efecto fue benéfico. En contraste la fermentación acética disminuyó drásticamente a medida que se incrementaba el nivel de urea desde 0 hasta 3 por ciento en que tendió a un valor constante.

Se considera que una preponderancia del ácido láctico sobre el butírico y el acético puede considerarse como criterio para la buena calidad del ensilado. Según los resultados, adiciones no mayores de 1 por ciento de urea y 2 por ciento de melaza, favorecen adecuadamente la producción de ácido láctico y limitan la cantidad de ácido acético y butírico obteniéndose por lo tanto ensilados de buena calidad.

La fermentación alcohólica se considera perjudicial en el ensilaje de caña de azúcar (46). Pequeñas adiciones hasta un nivel de 1,5 por ciento de urea al ensilaje de caña, producen disminuciones considerables de la fermentación alcohólica. La adición de melaza en ausencia de urea desmerece la calidad del ensilado, ya que aumenta la cantidad de alcohol en el mismo, aunque este efecto no es muy importante en la presencia de urea.

Los resultados discutidos anteriormente muestran las ventajas que se obtienen al adicionar urea a la caña de azúcar en el momento de ensilarse, ayudando también a conservar los azúcares presentes medidos

por los °Brix.

El contenido de N del ensilado de caña de azúcar aumentó obviamente como resultado de la adición de urea. Debido a la inestabilidad de la urea, la cantidad de amoniaco también aumentó proporcionalmente. De acuerdo a la cuantificación de las pérdidas de N, éstas aumentan cuando la cantidad de urea que se agrega al silo es superior a 1 por ciento. Estos resultados indican la posibilidad de mejorar el contenido de N de la caña de azúcar al ensilarla, usando niveles no mayores de 1 por ciento de urea en combinación con niveles máximos de melaza de 2 por ciento, con lo que también se obtiene una disminución en el costo de producción.

En vista de los resultados hallados, es factible obtener ensilados de caña de azúcar de buena calidad con pocas pérdidas de nutrientes si se considera la adición de urea en el momento del ensilaje. La inclusión de la melaza produce pocos efectos favorables sobre la calidad del ensilado e incluso aumenta las pérdidas por lo que su inclusión debe reconsiderarse.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en que se realizó este trabajo y según los resultados obtenidos, se puede concluír:

1. La inclusión de melaza y urea en el ensilaje de caña de azúcar al vacío resulta en un aumento del contenido de materia seca del ensilado.

2. La adición de urea al ensilaje produce aumentos considerables del pH final del producto, en tanto que la melaza tiene un ligero efecto acidificante.

3. El óptimo de producción de ácido láctico en el ensilaje de caña de azúcar se logra con la adición de aproximadamente 2 por ciento de urea, siendo el efecto de la melaza negativo.

4. La inclusión de urea aumenta el contenido de ácido butírico del ensilado de caña de azúcar, en tanto que la melaza lo disminuye.

5. La producción de ácido acético disminuye con la adición de urea al ensilaje, sin afectarse dicha producción con la inclusión de melaza.

6. La adición de urea evita la fermentación alcohólica, mientras que la melaza la favorece.

7. Los °Brix del ensilado de caña de azúcar aumentan con la adición de urea y melaza.

8. El contenido de nitrógeno en los ensilados aumenta al agregar urea al silo, al igual que el contenido de nitrógeno amoniacal.

9. La composición de la pared celular, contenido celular, proteína de la pared, ceniza de la pared y ceniza total en el ensilado, no es afectada por adiciones de urea o melaza.

10. La inclusión de urea hasta un máximo de uno por ciento aumenta la disponibilidad de N para el consumo de los animales. La melaza aumenta las pérdidas de N,

11. La disponibilidad de ATI disminuye cuando se agrega más del 1 por ciento de urea y melaza.

12. De acuerdo a los parámetros determinados, la adición de 1 por ciento de urea al ensilaje de caña de azúcar permite asegurar la obtención de un buen ensilado, consiguiéndose pequeñas ventajas con niveles mayores. La melaza es un aditivo del cual se puede prescindir, aunque su inclusión en pequeñas cantidades como vehículo del NNP sería recomendable.

13. Con el fin de comprender mejor aún los efectos de la melaza y la urea sobre el ensilaje de la caña de azúcar, se recomienda continuar este trabajo con pruebas de consumo voluntario, digestibilidad y su valor como alimento para producir leche y carne.

6. RESUMEN

Se realizó un trabajo con el propósito de evaluar cualitativa y cuantitativamente el efecto de diferentes niveles de urea y melaza sobre el ensilaje de la caña de azúcar integral (*Sacharum officinarum*). Bolsas plásticas y estañones de lámina conteniendo aproximadamente 4 y 10 kg de caña picada, respectivamente, fueron utilizados como silos piloto de laboratorio, los cuales fueron abiertos después de 30 días, al cabo de los cuales se había logrado un estado de constancia en la fermentación total del material ensilado.

Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con arreglo factorial 7 x 5, que correspondía a los 7 niveles de urea, X_1, (0; 0,25; 0,50; 0,75; 1; 2; y 3 por ciento) y 5 niveles de melaza, X_2 (0; 1; 2; 4; y 6 por ciento); se hicieron 70 silos plásticos y 35 silos metálicos.

La evaluación cualitativa se hizo en base a los siguientes parámetros: pH, ácidos orgánicos (láctico, acético y butírico), alcohol, °Brix, nitrógeno, $N\text{-}NH_3$, materia seca, pared celular, contenido celular, proteína de la pared celular, ceniza total y ceniza de la pared celular. La evaluación cuantitativa se realizó de acuerdo a las pérdidas en el efluente y por descomposición del material.

La inclusión de urea en el ensilaje de caña de azúcar dio como resultado un aumento en el pH final del ensilado, mientras que la melaza tuvo un efecto acidificante.

La adición de urea favoreció la fermentación láctica y butírica, hasta un punto crítico, a partir del cual las fermentaciones disminuyeron drásticamente. La melaza redujo la cantidad de ácido láctico y butírico.

El contenido de ácido acético en el ensilado de caña de azúcar disminuyó gradualmente a medida que se incrementó el nivel de urea en el silo, tendiendo a valores asintóticos a niveles superiores al 3 por ciento de urea; no habiéndose encontrado efecto de la melaza. La función $Y_3 = 1,28+0,48e^{-0,86X_1}$ ($R^2 = 0,82$, $P \leq 0,05$) describe esta relación, donde: Y_3 = por ciento de ácido acético en base seca.

La inclusión de urea evitó la fermentación alcohólica en el ensilado de caña de azúcar, mientras que la melaza tendió a favorecerla. La función $Y_5 = 1,62+1,38e^{-(2,01X_1-0,07X_2)}$ ($R^2 = 0,79$, $P \leq 0,01$) describe esta relación, donde: Y_5 = por ciento de alcohol.

Los °Brix aumentaron conforme se aumentaron los niveles de urea y melaza.

El contenido de nitrógeno aumentó linealmente en todos los ensilados a medida que se incrementó el nivel de urea, no habiéndose encontrado efecto de la melaza. En el presente estudio debido a la adición de urea en cantidades crecientes, se obtuvo una respuesta lineal en el contenido de $N\text{-}NH_3$ del ensilado.

La inclusión de melaza y urea a la caña de azúcar en el momento del ensilaje, produjo un aumento del contenido de materia seca del ensilado.

La composición de la pared celular, contenido celular, proteína de la pared, ceniza total y ceniza de la pared en el ensilado no se afectaron por las adiciones de urea y melaza.

El nivel óptimo de urea que permitió la mayor disponibilidad de N para el consumo de los animales, fue de 1 por ciento. La melaza favoreció

las pérdidas de nitrógeno.

La disponibilidad de ATI disminuyó cuando se agregó más del 1 por ciento de urea y melaza.

De acuerdo a los parámetros estudiados, la adición de 1 por ciento de urea al ensilaje de caña de azúcar aseguró la obtención de un buen ensilado, siendo la melaza un aditivo del cual se puede prescindir.

6a. SUMMARY

The present study was designed for the purpose of evaluating the quantitative and qualitative effects of the addition of different levels of urea and sugar cane molasses, to a whole sugar cane (*Saccharum officinarum*) silage. Polietylene bags and metal drums, containing 4 and 10 kg of chopped whole sugar cane, respectively, were used for preparing micro silages at the laboratory level. The silages were opened 30 days later, when the fermentation process had produced a stable silage.

A completely randomized design was used in a 7x5 factorial arrangement, corresponding to 7 levels of urea (X_1 = 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 2.0 and 3.0 per cent), and 5 levels of molasses (X_2 = 0, 1, 2, 3, 4 and 6 per cent). A total of 70 polietylene bags and 35 metal drum silages were prepared.

The qualitative evaluation was based on the following parameters: pH, organic acids (lactic, acetic and butyric acid), alcohol, °Brix, nitrogen, ammonia nitrogen, dry matter (DM), cell wall constituents (CW), cell wall contents (CWC), cell wall protein, total ash and cell wall ash. The quantitative evaluation was based on losses due to drainage and decomposition of the material.

The inclusion of urea in a sugar cane silage increases the final pH of the material, while sugar cane molasses has an acidigying effect.

The addition of urea favours lactic and butyric fermentations, up to a point where further additions of urea results in a drastic decrease of fermentation.

The acetic acid content of the silage gradually decreases as the level of urea increases, reaching constant values at levels superior to

3 per cent of urea. No effect was detected for molasses. The equation $Y_3 = 1.28+0.48e^{-0.86X_1}$; ($R^2 = 0.82$, $P \leq 0.05$) describes this relationship, where Y_3 = acetic acid content as a per cent of DM.

The inclusion of urea prevented alcoholic fermentation in sugar cane silage, while molasses tends to favour it. This relationship is described by the following equation: $Y_5 = 1.62+1.38e^{-(2.01X_1-0.07X_2)}$; ($R^2 = 0.79$, $P \leq 0.01$), where Y_5 = percentage of alcohol.

The °Brix increased as both urea and molasses increased.

The nitrogen content of the silage increased linearly as the level of urea increased. No effect was detected for the addition of molasses. Due to the addition of urea, a linear increase of the ammonia nitrogen content was noted in all silages.

The addition of urea and molasses results in higher DM content of the silage.

Cell wall constituents, cell wall contents, cell wall protein, ash and cell wall ash in the silage were not affected by the addition of urea and molasses.

The level of urea that resulted in the highest amount of nitrogen available for animal consumption was 1 per cent; the inclusion of molasses tends to increase nitrogen losses.

The availability of reduced sugars tends to decrease when either urea or molasses are added at levels superior to 1 per cent.

According to these results, the addition of 1 per cent urea, at the time of preparing a sugar cane silage improves the quality of the silage whereas molasses is not beneficial.

7. LITERATURA CITADA

1. A.O.A.C. Official methods of analysis. 11th ed. Washington, D.C. Association of Official Agricultural Chemists. 1974. 1015 p. 1970

2. AGUILERA, G. R. Dinámica de la fermentación de ensilaje de hierbas tropicales. 1. Elefante candelaria (*P. purpureum*) sin aditivos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 9(2):235-243. 1975.

3. _____. y O'DONOUAN, P. B. Algunas características bioqúímicas de la pulpa cítrica ensilada con diferentes niveles de miel y bagazo de caña de azúcar. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 9(3):357-366. 1975.

4. ALVAREZ, F. J. y PRESTON, T. R. Amoniaco/miel y urea/miel como aditivos para caña de azúcar ensilada. Producción Animal Tropical 1(2):100-107. 1976.

5. BARNETT, A. J. G. Fermentación del ensilado. Madrid, Aquilar. 1957. 208 p.

6. BATEMAN, J. Nutrición animal: manual de métodos analíticos. México, D.F., Herrero Hermanos. 1970. 408 p.

7. BENACCHIO, S. Niveles de melaza en silo experimental de millo criollo (*Sorghum vulgare*). Agronomía Tropical 14(4):291-297. 1965.

8. BERGEN, G. W., CASH, E. H. y HENDERSON, H. E. Changes in nitrogenous compounds of the whole corn plant during ensiling and subsequent effects on dry matter intake by sheep. Journal of Animal Science 39(3):629-637. 1974.

9. BROWN, D. C. y RADCLIFFE, J. C. Relationship between intake of silage and its chemical composition and *in vitro* digestibility. Australian Journal of Agricultural Research 23(1):25-31. 1972.

10. CALLIERI, D. A., MORENO, I. E. y MOLINA, O. Estudios sobre ensilados. III. Ensilado de despunte de caña de azúcar complementado con otros materiales. Archivo de Bioquímica, Química y Farmacia (Argentina) no. 17:129-144. 1971.

11. CATCHPOOLE, V. R. Laboratory ensilage of *Setaria sphacelata* (nandi) with molasses. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 6(20):76-81. 1966.

12. _____. The silage fermentation of some tropical pasture plants. In Proceedings of the XI International Grassland Congress. Queensland, Australia. 1970. pp. 891-894.

13. CATCHPOOLE, V. R. y HENZELL, E. F. Silage and silage-making from tropical herbage species. Herbage Abstracts 41(3):213-221. 1971.

14. COLENBRANDER, V. F. et al. Effects of added urea and ammonium polyphosphate to corn stover silages on animal performance. Journal of Animal Science 33(5):1091-1096. 1971.

15. DE ALBA, J. Alimentación del ganado en América Latina. 2a. ed. México, D. F., La Prensa Médica Mexicana. 1971. 475 p.

16. DEMARQUILLY, C. Composition chimique, caracteristiques fermantaires, digestibilité et quantité ingérée des ensilages de fourrages: modifications pas rapport au forrage vert initial. Annales de Zootechnie 22(1):1-35. 1973.

17. DE FARIA, V. P. Efeito da maturidade da planta e diferentes tratamentos sobre a ensilagem do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Shum) variedade Napier. Tese de Doutoramento. Piracicaba, Brasil, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1971. 78 p.

18. DIJKSTRA, N. D. Chemical and bacteriological changes involved in making grass silage and their effect on losses in food value. In Proceedings of the VI International Grassland Congress. Pennsylvania, U.S.A. 1952. pp. 1164-1170.

19. ESCRIVA, J. Estudio sobre la adición de urea al ensilado de maíz en la alimentación de ovejas. Anales de Edafología 31(9/10): 831-837. 1972.

20. FRONTERA, R. A. et al. Efectos de la melaza de caña y urea como aditivo del ensilaje de sorgo. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia. Publicación Miscelánea, no. 49. 1973. 23 p.

21. GORDON, C. H. et al. Preservation and feeding value of alfalfa stored as hay, haylage and direct cut silage. Journal of Dairy Science 44(7):1299-1311. 1961.

22. _____. et al. Variations in initial composition of ochardgrass as related to silage composition and feeding value. Journal of Dairy Science 47(9):987-992. 1964.

23. _____. Storage losses in silage as affected by moisture content and structure. Journal of Dairy Science 50(3):397-403. 1967.

24. GOMIDE, J. A., ASSIS, F. N. y NASCIMENTO, Jr., D. Efeito da adiçao de ureia e do tempo de fermentacao sobre as características da silagem de sorgo (*Sorghum vulgare*). Revista Ceres 21(117): 358-365. 1974.

25. HARDY, C. y BOUCOURT, R. El ensilaje del grano de sorgo con alta humedad. 1. Cambios químicos y microbiológicos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 6(2):223-229. 1972.

26. _____. Ensilaje de grano de sorgo con alta humedad. 3. Desaparición de carbohidratos y la producción de ácidos orgánicos y etanol. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 7(2):207-212. 1973.

27. _____. y ELIAS, A. Una nota sobre algunas características químicas del ensilaje de excreta/miel final *in vitro*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 8(3):293-297. 1974.

28. HUBER, J. T. et al. Varying levels of urea for dairy cows fed corn silage as the only forrage. Journal of Dairy Science 50(8):1241-1247. 1967.

29. JACKSON, N. y FORBES, T. J. The voluntary intake by cattle of four silages differing in dry matter content. Animal Production 12(4):591-599. 1970.

30. JAMES, L. A. Comfith in rations for livestock. Documento, Canadian International Development Agency, Seminar on Sugarcane as Livestock Feed. Barbados. 1973. 29 p.

31. KARR, M. L. et al. Nutritional and chemical evaluation of urea and of biuret in complete ensiled finishing diets by lambs. Journal of Animal Science 24(2):469-475. 1965.

32. KLOSTERMAN, E. W. et al. Feeding value for fattening cattle of corn silages treated to increase their content of organic acids. Journal of Animal Science 20(3):493-496. 1961.

33. LEANDRO, E. A. Melaco, mandioca e farelo de algodao como suplementos para alho de cana fresco ou ensilado. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 2:411-419. 1967.

34. LOPEZ, J. et al. Effect of nitrogen source, stage of maturity and fermentation time on pH organic acid production in corn silage. Journal of Dairy Science 53(9):1225-1232. 1970.

35. MEJIA, C. E. y PINEDA, M. J. La adición de urea en el valor nutritivo de los ensilados. 1. Variaciones en la proteína. Revista Instituto Colombiano Agropecuario 8(1):1-13. 1973.

36. MILLER, W. J. y CLIFTON, C. M. Relationship of dry matter content in ensiled material and other factors to nutrient losses by seepage. Journal of Dairy Science 48(7):917-923. 1965.

37. McDONALD, P., HENDERSON, A. R. y EHITTENBURY, R. The effect of temperature on ensilage. Journal of the Science Food of Agriculture 17:476-480. 1966.

38. McLEOD, D. S., WILKINS, R. J. y RAYMOND, W. F. The voluntary intake by sheep and cattle of silages differing in free-acid content. The Journal of Agriculture Science 75(2):311-319. 1970.

39. McPHERSON, H. T. y VIOLANTI, P. Ornithine, putrescine and cadaverine in farm silage. Journal of the Science Food of Agriculture 17:124-127. 1966.

40. McCULLOUGH, M. E. The nutritive value of silage as influenced by silage fermentation and ration supplementation. In Proceedings of the X International Grassland Congress, Helsinki, Finlandia. 1966. pp. 581-584.

41. _____. Nuevas tendencias en el ensilaje de forrajes. Revista Mundial de Zootecnia 15:44-49. 1975.

42. OLDFIELD, J. E. Effect of fermentation on the chemical and nutritional value of feeds. In Effect of processing on the nutritional value of feeds. National Academy of Sciences. Washington, D. C. 1973. pp. 34-46.

43. OWEN, F. G. Factors affecting nutritive value of corn and sorghum silage. Journal of Dairy Science 50(3):404-416. 1967.

44. PEÑAGARICANO, J. A., ARIAS, W. y LLANEZA, J. N. Ensilaje. Montevideo, Editorial Hemisferio Sur. 343 p.

45. POLAN, C. E. et al. Urea-treated corn silage as the only forage for lactating cows. Journal of Dairy Science 51(9):1445-1449. 1968.

46. PRESTON, T. R., HINOJOSA, C. y MARTINEZ, L. Ensilaje de la caña de azúcar con amoniaco miel y ácidos minerales. Producción Animal Tropical 1(2):124-131. 1976.

47. RAVELO, G. y PRESTON, T. R. Ensilaje de caña de azúcar con diferentes niveles de melaza con y sin amoniaco e inóculo de melaza prefermentada con estiércol. In Informe Anual del Centro de Investigación y Experimentación Ganadera. México. 1974.

48. RODRIGUEZ, E. J. A. Efecto de diferentes períodos de exposición ambiental sobre la pulpa de café y cáscara de cacao previo a su ensilado. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, 1973. 55 p.

49. RODRIGUEZ, R. S., McLEOD, N. A. y PRESTON, T. R. El comportamiento de novillos alimentados con caña de azúcar integral picada en forma fresca o después de ensilarse con urea o amoniaco. In Primera Reunión Anual del Centro Dominicano de Investigación Pecuaria con Caña de Azúcar. Trabajo. Santo Domingo. 1975.

50. SANTANA, P. O. et al. Efeito da ureia adicionada ao milho picado durante a ensilagem e no ato de arracoar sobre o desempenho de vacas em lactacao. Anais da XI Reuniao da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Imprensa Universitaria. Fortaleza, Brasil. 1974. 345 p.

51. SHIRLEY, J. E. et al. Influence of varying amounts of urea on the fermentation pattern and nutritive value of corn silage. Journal of Dairy Science 55(6):805-810. 1972.

52. SENEL, S. H. y OWEN, F. G. Relation of dietary acetate and lactates to dry matter intake and volatile fatty acid metabolism. Journal of Dairy Science 49(9):1075-1079. 1966.

53. SCHAADT, JR., H. y JOHNSON, R. R. Effect of ensiling time on distribution and losses of nitrogen in corn silage treated with limestone and NPN. Journal of Animal Science 29(1):57-61. 1969.

54. THOMAS, J. W. et al. A study of factors affecting the rate of intake of heifers fed silage. Journal of Dairy Science 44(8): 1471-1483. 1961.

55. VIDAL, D. H. y LOPEZ, A. F. Digestibilidad del cogollo de caña fresca, ensilado normal y ensilado enriquecido. Investigaciones Agropecuarias (Perú) 2(1):41-45. 1971.

56. VOSS, N. Amines and ammonia as products of protein decomposition in silage. In Proceedings of the X International Grassland Congress, Helsinki, Finlandia. 1966. pp. 540-546.

57. WERNLI, K. C. El valor nutritivo de los forrajes ensilados. 1. Consumo voluntario. Agricultura Técnica (Chile) 35(1):47-60. 1975.

58. _____. El valor nutritivo de los forrajes ensilados. 2. Digestión y eficiencia de utilización. Agricultura Técnica (Chile) 35(2):102-114. 1975.

59. WIERINGA, G. W. Some factors affecting silage fermentation. In Proceedings of the VIII International Grassland Congress, Reading, Inglaterra. 1960. pp. 497-502.

60. WILSON, R. F. y WILKINS, R. J. Formic acid as a silage additive for wet crops of cocksfoot and lucerne, The Journal of Agriculture Science 80(2):225-231. 1973.

61. WILKINS, R. J. et al. The voluntary intake of silage by sheep. 1. Inter-relationships between silage composition and intake. The Journal of Agriculture Science 77(3):531-537. 1971.

3. APENDICE

Cuadro 1A. Caracterización química de la caña de azúcar.

Componente	%
Materia seca	29,0
Nitrógeno	0,78
Extracto etéreo	1,08
Ceniza	3,81
Pared celular	54,42
Contenido celular	45,58
Proteína de la pared celular	1,65
Ceniza de la pared celular	0,60
°Brix (en jugo)	11,5
ATI (en jugo)	8,9
Sacarosa (en jugo)	5,8

Cuadro 2A. Caracterización química de la melaza.

Componente	%
Materia seca	76,40
Nitrógeno	0,44
ATI	58,1
Sacarosa	39,5
°Brix	78,2

Cuadro 3A. Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de pared celular del ensilado de caña de azúcar.

% X_1/% X_2	0	1	2	4	6
0,0	67,7	66,4	64,3	59,1	57,9
0,25	59,0	63,0	58,4	58,5	54,7
0,50	62,0	57,7	51,0	54,5	49,9
0,75	58,3	55,5	53,8	51,4	52,6
1,0	51,7	51,0	56,0	54,3	57,9
2,0	60,9	60,0	60,2	53,4	52,2
3,0	63,3	62,9	56,9	57,8	53,8

Cuadro 4A. Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de contenido celular del ensilado de caña de azúcar.

% X_1/% X_2	0	1	2	4	6
0,0	32,2	33,6	35,7	40,9	42,1
0,25	41,0	37,0	41,6	41,5	45,8
0,50	38,0	42,3	49,0	45,5	50,1
0,75	41,7	44,5	46,2	48,6	47,4
1,0	48,3	49,0	44,0	45,7	42,1
2,0	39,1	40,0	39,8	46,6	47,8
3,0	36,7	37,1	43,1	42,2	46,2

Cuadro 5A. Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de proteína de la pared celular del ensilado de caña de azúcar.

% X_1/% X_2	0	1	2	4	6
0,0	1,8	1,1	1,2	1,5	1,6
0,25	1,6	1,1	1,6	1,3	1,1
0,50	1,5	1,4	1,3	1,6	1,6
0,75	1,5	1,4	1,2	1,8	1,3
1,0	1,8	1,5	1,8	1,4	1,6
2,0	1,2	1,8	1,8	1,9	1,8
3,0	1,8	1,9	1,8	1,8	1,9

Cuadro 6A. Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de ceniza de la pared celular del ensilado de la caña de azúcar.

% X_1/% X_2	0	1	2	4	6
0,0	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9
0,25	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8
0,50	0,9	1,0	0,6	0,8	0,7
0,75	0,8	1,0	0,8	1,1	0,8
1,0	1,0	0,8	1,5	1,4	1,5
2,0	1,1	1,4	1,5	1,1	0,9
3,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0

Cuadro 7A. Efecto del nivel de urea (X_1) y melaza (X_2) sobre el porcentaje de ceniza total del ensilado de caña de azúcar.

% X_1/% X_2	0	1	2	4	6
0,0	3,8	3,7	4,2	4,5	3,9
0,25	3,6	2,7	3,8	4,0	4,0
0,50	3,4	3,1	3,6	4,1	4,8
0,75	3,6	4,0	3,7	3,9	4,5
1,0	3,2	3,2	3,7	4,0	4,0
2,0	4,6	4,7	4,1	4,3	4,2
3,0	3,2	3,7	3,5	4,0	4,1