

Procedimiento para determinar las potencialidades de producción de alimento en la provincia de Camagüey

Hilda de las Mercedes Oquendo-Ferrer^{1*}, Luis Beltrán Ramos-Sánchez¹, Redimio Pedraza-Olivera¹, Lorena de Jesús Pazos-Amayuela¹, Yainerys Estrella Martínez-Fernández¹ y Erenio González-Suárez²

1. Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Facultad de Ciencias Aplicadas, Dpto. Ingeniería Industrial, Carretera Circunvalación Norte, entre Camino Viejo a Nuevitas y Avenida Ignacio Agramonte. Camagüey, Cuba.

*hilda.oquendo@reduc.edu.cu

2. Universidad Central de Las Villas Martha Abreu. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara. CP 54830, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN

En la provincia de Camagüey existe un alto déficit de alimento animal. Se valoran alternativas que aprovechen las capacidades existentes de las plantas de miel-urea-bagacillo (MUB) en los centrales azucareros, se definió como objetivo: establecer un procedimiento que evalúe las potencialidades de producción y el impacto económico de los productos propuestos. El procedimiento incluye métodos para la determinación de capacidades de las plantas, considerando la incertidumbre en la demanda y disponibilidad de materia prima, métodos de optimización para la distribución del producto y cálculo de indicadores económicos de las inversiones: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rendimiento (TIR), Rentabilidad del VAN (RVAN) y Período de Recuperación al Descontado (PRD). El estudio de capacidades arrojó que, considerando la demanda, la capacidad puede ser de 4100 t/d, por la disponibilidad de materia prima 44 832 t/d y que la instalada es de 165 t/d, demostrándose que existe un gran potencial de producción. Se propusieron tres esquemas tecnológicos y se determinó el más factible a partir de los indicadores económicos, empleando como criterio el máximo VAN. El procedimiento propuesto facilita la toma de decisiones en estos procesos.

Palabras clave: procedimiento, alimento animal, capacidades, incertidumbre, factibilidad, toma de decisiones.

ABSTRACT

Camagüey has a high deficit of animal feed. Measured alternatives to take advantage of existing capacities of plants molasses-urea-bagacillo (MUB) in the sugar mill, being defined as objective establish a procedure assess the potential production and the economic impact of the products proposed. The procedure includes methods for the determination the capabilities of plants considering uncertainty in demand and availability of raw materials, optimization methods for product distribution and calculation of economic indicators of investment: Net Present Value (VPN), Internal Rate of Return (TIR), profitability of VPN (RVAN) y Payback period at Discounted (PRD). As a result of the study of capacities it was obtained that, considering the demand, the ability can be of 4100 t/d, for availability of raw materials 44 832 t/d and installed capacity is 165 t/d, showing is that there is a great potential production. Three technological schemes were proposed and the most feasible was determined from the economic indicators, using VPN as the maximum criterion. The procedure proposed facilitates decision-making.

Key words: procedure, animal feed, capacities of plants, uncertainty, feasibility, decision-making.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos resulta cada vez más estratégica y priorizada en los planes de desarrollo sostenible del país (1). El recrudescimiento sin precedentes de bloqueo económico del gobierno de EE. UU. y la crisis mundial provocada por la pandemia de la Covid-19 obligan al país a reducir las costosas importaciones de alimentos y a alcanzar la total soberanía alimentaria. El ministro cubano de Agricultura, Gustavo Luis Rodríguez Rollero, en el programa televisivo Mesa Redonda (2), exhortó a que la producción de alimento animal “gane más terreno”, resulta impostergable, dentro de la estrategia nacional para sustituir importaciones; ya que el país gasta alrededor de 500 millones de dólares en la compra de materias primas o piensos.

Las producciones pecuarias son muy complejas de lograr; sobre todo, debido a las altas exigencias de la alimentación de las especies y categorías de animales. El sector pecuario en Cuba está afectado por el cambio climático y la inestabilidad de las precipitaciones en el país, la falta de materias primas y fertilizantes para los potreros y otras áreas que limitan el fomento de plantaciones de pastos, forrajes y leguminosas.

La producción nacional de alimento animal constituye una de las vías fundamentales para garantizar la producción de alimentos en el país y las producciones azucareras, tienen en los derivados de la caña un paliativo para sostener la masa animal, constituyen un potencial enorme para las producciones de carne, leche y otras (3).

La industria de la caña de azúcar en Cuba, ofrece una variedad considerable de productos, materias primas y residuales del proceso industrial, que constituyen fuente de alimentos para los animales, con grandes posibilidades. Por ello, deben seleccionarse los más provechosos y convenientes, de acuerdo con las condiciones locales, el mercado y la situación económica actual.

Camagüey constituye la principal provincia ganadera del país y está convocada a elevar su desarrollo. Las plantas de miel urea bagacillo existentes, no satisfacen el total de cabezas de ganado, cubren solo un pequeño porcentaje de la demanda, menos del 10 % (4). Se impone buscar vías para aumentar la productividad y la calidad nutritiva de sus producciones, junto con la realización de nuevas inversiones que incrementen la capacidad productiva y el desarrollo local.

Se necesita proyectar adecuadamente los alimentos a producir y en qué proporciones, para maximizar el impacto socioeconómico de las plantas de alimento animal y lograr establecer encadenamientos productivos con el potencial local y generar un desarrollo sostenible del área (5-8).

Desde inicios de los años 80, la Universidad de Camagüey ha estado vinculada al desarrollo de productos y aditivos para la alimentación animal con el central Siboney, así como con otras universidades e instituciones del país, en el enriquecimiento proteico de los residuos azucareros por fermentación sólida, que resultó una patente para un nuevo alimento animal (9).

La miel-urea-bagacillo es un producto que cuenta con una alta demanda por los campesinos de la región; pero es un producto húmedo de fácil descomposición, que dificulta su conservación.

Actualmente, la Universidad de Camagüey valora nuevos productos, secos y enriquecidos proteicamente (probióticos), que aumenten su valor agregado y mitiguen el déficit de alimentos de la región, como el bagazo hidrolizado y la miel amoniaca, que actualmente, se producen en el país de forma rústica; y otros 10 alimentos desarrollados durante décadas en el país (10) que, potencialmente, podrían producirse, pero habría que determinar cuáles escoger y en qué proporción producirlos.

Estas producciones deben ser sostenibles, ello se conseguirá con el rediseño del central Siboney desde un enfoque de biorrefinería (7, 8), con economía circular (5), concebida por un modelo de encadenamientos productivos (6) que integre las producciones industriales con flujos de productos y materias primas a otros sectores de la región como el agropecuario, el energético y la construcción.

Es necesario evaluar la demanda y la disponibilidad de materias primas para poder determinar las capacidades de las plantas de producción, considerando la incertidumbre presente en estos es-

cenarios y la incertidumbre financiera, valorar alimentos que aprovechen las capacidades existentes para que se minimicen las inversiones, se baje el costo de producción con la calidad requerida y, finalmente, valorar el impacto en el desarrollo agroindustrial de la provincia y del país.-

El objetivo de este estudio es evaluar de forma integral las potencialidades de producción de alimento animal con herramientas de ingeniería económica.

Estos se emplean en estudios previos inversionistas, estudios de capacidades productivas, de proyección de la demanda, localización de plantas, entre otros, pueden ser aplicados cuando se propone una nueva tecnología o un producto, de manera que aporten elementos importantes para la toma de decisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se presenta el procedimiento propuesto para determinar las potencialidades de producción de alimento animal, el cual integra métodos de determinación de capacidades de producción óptimas, de macrolocalización de plantas y evaluación económica.

Procedimiento

1. Caracterización de las plantas de alimento animal en la provincia.
2. Caracterización de la demanda de alimento animal.
3. Cálculo de las capacidades de las plantas considerando la incertidumbre.
4. Planteamiento de posibles variantes tecnológicas.
5. Evaluación económica de alternativas.
6. Determinación de la distribución óptima del alimento.

A continuación, se explican cada uno de los pasos:

Paso 1. Caracterización de las plantas de alimento animal en la provincia

Se realiza de acuerdo con la cantidad de plantas, su ubicación, capacidad, tecnología, turnos de trabajo, productos elaborados, características, aceptación en el mercado, fuentes de materia prima, animales que lo consumen.

Paso 2. Caracterización de la demanda de alimento animal

Se hace un levantamiento de la cantidad de consumidores en la provincia, por municipio, por granja, por tipo de animal, ejemplo, para el ganado vacuno y se especifican la cantidad de terneros, toros, vacas, añojos, novillas, y proporciones en las dietas

Paso 3. Cálculo de las capacidades de las plantas considerando la incertidumbre

Se emplea el procedimiento metodológico para la determinación de capacidades óptimas de inversiones y ampliaciones en condiciones de incertidumbre desarrollado por los clásicos (11).

- Obtención del modelo: Se considera la adaptación de la demanda de un sistema a una situación, en que existe una demanda inicial, D_0 , y que su variación es lineal en el tiempo:

$$D = D_0 + a\theta$$

donde a es la pendiente, θ es el tiempo y D_0 es la demanda inicial.

- Determinación del factor de sobre diseño

En lo cual es necesario considerar que la fiabilidad de los equipos incide en la disponibilidad anual de la instalación y, por ello, en su sobre diseño.

- Determinación de la capacidad inicial recomendada:

$$Q_i = D_0 + F_{sd} a/i$$

donde: i es la tasa de interés financiero, F_{sd} es el factor de sobre diseño, Q_i la capacidad, a es la pendiente y D_0 demanda inicial.

- Determinación del tiempo al que debe realizarse la primera expansión:

$$\theta = (Q_i - D_0) / a$$

donde: Q_i es la capacidad, D_0 la demanda inicial, a es la pendiente y θ es el tiempo.

- Determinación de la capacidad de la expansión:

$$Q^* = a / i$$

donde: Q^* es la capacidad, a es la pendiente e i es la tasa de interés financiero.

Rudd *et al.* (11) describieron este procedimiento, aplicado a la demanda, es decir, consideraron la incertidumbre por las variaciones en la demanda y puede ser aplicado, como plantean los autores, a otros casos como las predicciones en los precios, costos, la energía, capacidad del mercado y otros, siempre que se pueda tratar el crecimiento como un modelo lineal.

También ha sido empleado para considerar la incertidumbre en la disponibilidad de materia prima de la industria de la caña de azúcar, si se demuestra que las proyecciones de los crecimientos de caña en el tiempo tienen un comportamiento lineal y, por tanto, las cantidades de miel, bagazo, cachaza, materias primas fundamentales en las producciones de alimento animal (12).

Paso 4. Planteamiento de posibles variantes tecnológicas

Se resumen las características de las alternativas, considerando intensificar las producciones existentes, se valoran alimentos enriquecidos que aportan más a las dietas por categoría de animal, se proponen modificaciones tecnológicas con un mínimo de inversiones, con el fin de disminuir costos, incrementar calidad y cantidad de alimento.

Paso 5. Evaluación económica de alternativas

Se determinan para cada alternativa, los costos de inversión, los costos de producción, los ingresos por ventas de la producción, se calculan los flujos de caja para 10 años como mínimo. Se calculan los indicadores dinámicos Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Rendimiento (TIR), utilizando las funciones financieras del EXCEL, el Período de Recuperación al descontado (PRD), a partir de los flujos de caja actualizados acumulados, donde cambia el signo, en ese año se recupera la inversión y la rentabilidad del VAN (RVAN) por la fórmula:

$$RVAN = \frac{VAN}{I}$$

Donde VAN es el Valor Actual Neto, I es el valor de la inversión.

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, quedará alguna ganancia. Basta con hallar VAN de un proyecto de inversión para saber si dicho proyecto es viable o no. El VAN permite determinar cuál proyecto es el más rentable entre varias opciones de inversión (13).

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. El criterio de selección será el siguiente donde “ k ” es la tasa de interés elegida para el cálculo del VAN:

- Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

El indicador RVAN expresa lo que se gana por cada peso invertido y el PRD el tiempo al que se recupera la inversión.

Paso 6. Determinación de la distribución óptima del alimento

Aquí se aplica el método clásico de transporte, que constituye una variante del problema lineal de optimización, en el que concurren variables enteras y continuas, aplicado a la macrolocalización de plantas considerando la incertidumbre (14).

Se define la función objetivo, las variables y las restricciones.

Función objetivo:

$$\text{Mínimo Costo} = \sum_0^m \sum_1^n C_{ij} X_{ij} Y_{ij}$$

Variables continuas: X_{ij} (Cantidad de producto de la planta i al destino ganadero j),

Variables enteras: Y_i (la ubicación de la planta en i)

Restricciones de capacidad de las plantas (tantas como ubicaciones de plantas):

$$X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{ij} \leq K_i$$

Restricciones de demanda de los destinos: $\sum X_{ij} * Y_i \geq D_j$ (tantas como destinos)

El problema se puede programar en las hojas de cálculo de EXCEL y se resuelve con la macro SOLVER, se aplica el método de programación lineal y se obtienen las cantidades a distribuir de cada posible ubicación hacia los destinos.

$$\sum_0^m \sum_1^n X_{ij} Y_i \geq D_j$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La provincia de Camagüey cuenta con seis centrales azucareros activos: Siboney, Batalla de las Guásimas, Argentina, Carlos Manuel de Céspedes, Brasil y Panamá, los cuales poseen plantas de miel-urea-bagacillo. Las plantas de alimento animal actuales son iguales y presentan una capacidad nominal de 3 t/h. Su proceso tecnológico se basa en la mezcla de bagacillo y miel urea en las siguientes proporciones: bagacillo 60 % con un 50 % de humedad y miel final o miel C al 34.6 %, 2 % de urea, 3.2 % de agua, 0.18 % de sal.

La provincia, en esta etapa, cuenta con una masa ganadera de 181 907 machos y 602 562 hembras, para un total de 784 469 cabezas de ganado vacuno, a los que va destinado este alimento.

Se calculó la capacidad de las plantas de alimento animal considerando la demanda y la disponibilidad de la materia prima principal (la caña).

Para la demanda se determinaron los consumos de alimento por tipo de animal.

Cálculo de la dieta por categoría de animal

Un animal vacuno consume el 10 % de su peso vivo en alimentos frescos.

En Cuba, el peso se registra en Unidad de Ganado Mayor (UGB), 1 UGB = 450-500kg. La tabla 1 muestra la estimación de la dieta según la categoría del animal para ganado vacuno.

Tabla 1. Estimación de la dieta

Categoría	Edad	UGB	Estimación de dieta del nuevo alimento (% del consumo)
Terneros	1-12 meses	0.25	5
Añojos	-	0.50	10
Torettes	-	0.70	15
Toros de ceba	-	0.70	15
Bueyes	-	0.85	20
Sementales	-	0.85	30
Terneras	-	0.25	5
Añojas	-	0.50	10
Novillas	-	0.70	15
Vacas	-	0.85	20

Consumo de la materia prima

Para realizar el consumo de la materia prima se tienen en cuenta los porcentos de extracción que poseen las materias primas principales (miel, bagazo y bagacillo) a partir de la caña, y los índices de consumo de estas materias primas para el alimento animal (ver tabla 2).

Tabla 2. Consumo de materia prima

Materias primas	Se extrae de la caña	Para producir MUB
Miel	3.5 % del total de caña	34.6 % de miel final
Bagazo	25.0 % del total de caña	
Bagacillo	10.0 % del bagazo	60 % de bagacillo

MUB: Miel-urea-bagacillo.

Cálculo de la capacidad de la planta

A partir de las necesidades de alimento animal, se ajustó un modelo lineal en el tiempo, como muestra la figura 1.

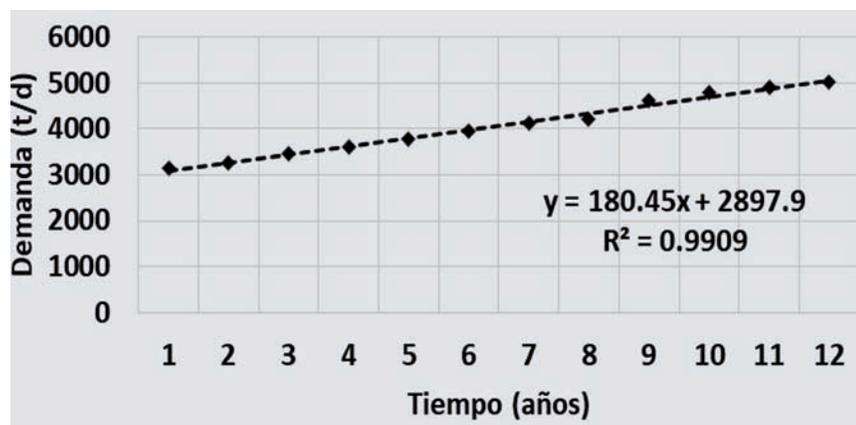


Figura 1. Proyección de la demanda de alimento animal en la provincia de Camagüey.

Para calcular la capacidad por el método de Rudd *et al.*(11) se ajusta un modelo lineal utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS, se le realiza la prueba t de significación del coeficiente y la prueba F de significación del modelo y, como se aprecia en la tabla 3, la probabilidad es casi cero, por lo que son altamente significativos, el coeficiente y modelo, el coeficiente de determinación es alto y el análisis de residuos muestra la normalidad de los datos.

Tabla 3. Validación de modelo

Modelo	R ²	Significación coeficiente y modelo	Análisis de residuos
Y = 2897.88 + 180.447 X	99.09	0.000	aleatorios

Una vez validado el modelo se procede al cálculo de la capacidad de la planta, en función de la demanda, para diferentes intereses financieros, lo que se resume en la tabla 4:

A partir de la disponibilidad de la materia prima, se ajustó un modelo lineal, considerando las proyecciones de caña y de miel en los próximos 10 años, según figura 2.

Se ajustó un modelo lineal, utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS, se le realizan la prueba t de significación del coeficiente y la prueba F de significación del modelo, como se aprecia la probabilidad es casi cero, por lo que son altamente significativos, el coeficiente de determinación es alto y el análisis de residuos muestra la normalidad de los datos (tabla 5).

Se calculó la capacidad de la planta en función de la disponibilidad de materia prima, para diferentes intereses financieros, lo que se resume en la tabla 6.

Tabla 4. Determinación de la capacidad de la planta en función de la demanda de alimento animal

	0.12	0.15	0.18	Fórmulas
Pendiente	180.45	180.45	180.45	a
Intercepto	2897.88	2897.88	2897.88	D_o
Capacidad inicial (t/d)	4401.60	4100.86	3900.36	$Q_i = D_o + F_{sd} \cdot a/i$
Primera ampliación (años)	8.33	6.67	5.56	$\theta = (Q_i - D_o)/a$
Capacidad de la ampliación (t/d)	1503.72	1202.98	1002.48	$Q^* = a / i$
Total	5905.33	5303.84	4902.84	$Q_t = Q_i + Q^*$

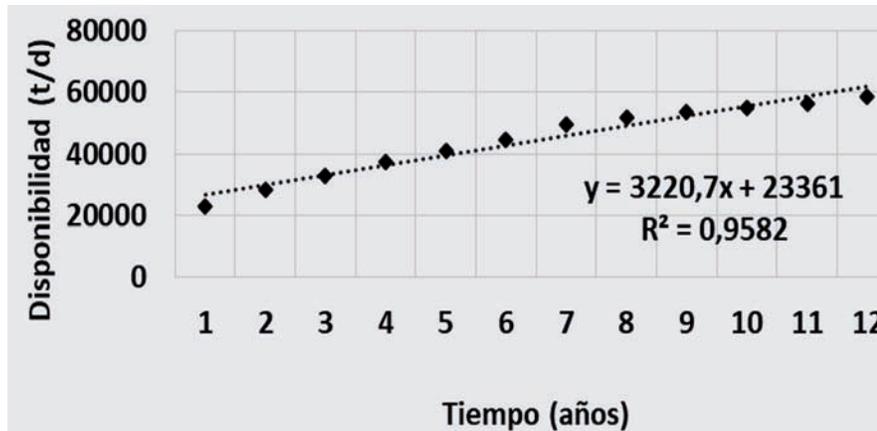


Figura 2. Proyección de la disponibilidad de materia prima para la producción de alimento animal en la provincia de Camagüey.

Tabla 5. Validación de modelo

Modelo	R ²	Significación coeficiente y modelo	Análisis de residuos
Y=23361.1+3220.66X	95.81	0.000	aleatorios

Tabla 6. Determinación de la capacidad de la planta en función de la disponibilidad de la materia prima

	0.12	0.15	0.18	Fórmulas
Pendiente	3220.66	3220.66	3220.66	a
Intercepto	23361.07	23361.07	23361.07	D_o
Capacidad inicial (t/d)	50199.89	44832.13	41253.62	$Q_i = D_o + F_{sd} \cdot a/i$
Primera ampliación (años)	8.33	6.67	5.56	$\theta = (Q_i - D_o)/a$
Capacidad de la ampliación (t/d)	26838.82	21471.06	17892.55	$Q^* = a / i$
Total	77038.72	66303.19	59146.17	$Q_t = Q_i + Q^*$

Se comparan los resultados de la estimación de la capacidad inicial de la planta, para un interés financiero de un 15 %, por la demanda y la disponibilidad de materia prima y se aprecia que no se satisface la demanda, pero hay potencialidades en la provincia para producir más alimento.

Tabla 7. Comparación de las capacidades estimadas a partir de la demanda y la disponibilidad de materia prima

Demanda de alimento t/d	Capacidad por materia prima t/d	Capacidad instalada MUB t/d
4100	44832	165

A partir de estos resultados se propuso aprovechar las instalaciones existentes de las plantas de MUB, agregando un fermentador para obtener un probiótico que enriquece el alimento y un secador, para secar el producto y que tenga más durabilidad, como se aprecia en la figura 3.

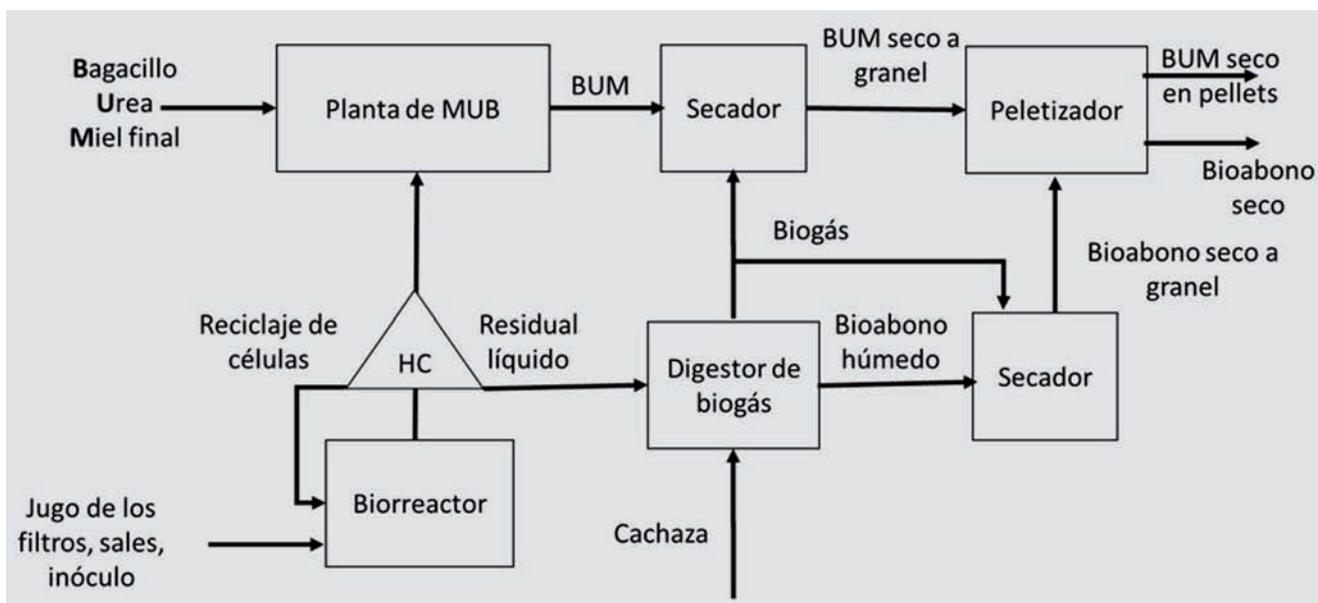


Figura 3. Esquema tecnológico para la obtención de MUB enriquecida, seca y húmeda.

Se evaluaron tres esquemas tecnológicos, todos enriquecidos con el probiótico y en las variantes del producto seco, se introduce el secador:

- MUB Crema 11 horas
- MUB Crema 11 horas - MUB Seca 11 horas
- MUB Seca 22 horas

Se calcularon los indicadores de las inversiones para las seis plantas de MUB de la provincia, a modo de ejemplo se presentan, en la tabla 8, los resultados para el central Siboney.

Tabla 8. Indicadores económicos de las alternativas evaluadas

Indicador	Variante I	Variante II	Variante III
VAN	\$197846.67	\$217148.73	\$602708.18
TIR	414 %	175 %	566 %
PRD	1 año	1 año	1 año
RVAN	\$19.78	\$9.87	\$27.40

Como se aprecia, la mejor variante es la tres, debido a que el producto es más competitivo; no obstante, son variantes atractivas, pues requieren de pequeñas inversiones que se recuperan rápidamente, en el primer año.

Se obtuvieron las cantidades óptimas a distribuir desde las plantas de alimento hacia las UBPC, se presentan los resultados en la tabla 9, a modo de ejemplo, también para Siboney.

Tabla 9. Distribuciones óptimas para el alimento animal

Central	UBPC	Producción (t/d)
Siboney	Nuevitas	137.50
	Guáimaro (Rectángulo)	571.97
	Jimaguayú (Triángulo 1)	32.51
	Jimaguayú (Rescate de Sanguily)	37.56
	Najasa (Triángulo 4)	210.99

CONCLUSIONES

1. Con el fin de minimizar los costos de inversión y reducir los costos de producción se propone aumentar la productividad de las plantas existentes de miel-urea-bagacillo, sólo introduciendo un secador para producir, además, MUB Seca y un fermentador para obtener el probiótico que enriquecerá el alimento.
2. Como variantes tecnológicas se propone la producción de las 33 t/d de MUB crema en un turno, que se producen actualmente y que ya tienen mercado, 33 t/d de MUB crema, en un turno más 16.5 t/d de MUB seca en otro turno, que se pueden conservar y 33 t/d de MUB seca, en dos turnos.
3. Se calcula la demanda de alimento animal para las 602 562 cabezas de ganado que habían en la provincia, en el 2019, cuando se hizo el estudio y hasta el 2030, diferenciando el consumo por categoría de animal, lo que permitió un cálculo más exacto de la demanda.
4. Se presenta un procedimiento que emplea elementos de capacidad de las plantas, macrolocalización y distribución mediante la programación lineal con enteros, lo que permite un análisis integral para evaluar el impacto económico de un alimento propuesto.
5. Con el estudio de capacidad considerando la disponibilidad de materias primas, la demanda de alimento y la capacidad instalada, para la producción de alimento animal en la provincia, se aprecia que hay posibilidades de producir más alimento animal para satisfacer la demanda.

RECOMENDACIONES

Valorar alternativas de producción de alimento animal, a partir de los desarrollados por el ICA y el ICIDCA e incorporarlas a las producciones diversificadas en cada central, según sea posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rodríguez-Rollero, G. Discurso pronunciado en la apertura del taller nacional “La producción de alimentos con más ciencia”. 2019 [cited 2020 22 de julio]; Discurso]. Available from: <http://www.cubadebate.cu/especiales/2019/06/07/gustavo-rodriguez-rollero-lograr-alimentos-con-mas-ciencia/>.
2. Oliva-Ferrales, M. El alimento animal no puede depender de las importaciones, in Granma. 2020: La Habana. p. 1-2.
3. Chandel, A.K. and M.H.L. Silveira, Advances in Sugarcane Biorefinery- Technologies, Commercialization, Policy issues and Paradigm Shift for Bioethanol and By-Products. 2018: Elsevier Inc. 344.
4. Lazarte-Viciedo, R.J. Evaluación del impacto económico de un alimento animal enriquecido en la provincia de Camagüey, in Ingeniería Industrial. 2019, Universidad de Camagüey: Camagüey. p. 128.
5. Gopinath, A. A circular framework for the valorisation of sugar industry wastes: Review on the industrial symbiosis between sugar, construction and energy industries. Journal of Cleaner Production, 2018.
6. Manavalan, E. and K. Jayakrishna, An Analysis on Sustainable Supply Chain for Circular Economy. Procedia Manufacturing, 2019. 33: p. 477–484.
7. Nizami, A.S. Waste Biorefineries: Enabling Circular Economies in Developing Countries. Bio-resource Technology, 2017.

8. Renó, M.L.G. Sugarcane biorefineries: Case studies applied to the Brazilian sugar–alcohol industry. *Energy Conversion and Management*, 2014. 86: p. 981–991.
9. Olivera, R.P., L.C. Zafra, and L.B. Ramos-Sánchez, Método de obtención de un alimento para el ganado a partir de la caña de azúcar y el producto obtenido, OCPI, Editor. 1994: Cuba.
10. ICA, Productos para la alimentación animal a partir de la caña de azúcar y sus derivados, ICA, Editor. 2019, Instituto de Ciencia Animal.
11. Rudd, D.F. and C.C. Watson, *Strategy of Process Engineering*. 1968, New York, U. S. : McGraw Hill.
12. Oquendo Ferrer, H. Cálculo de capacidades de producción iniciales óptimas considerando elementos de incertidumbre. *Centro Azúcar*, 2016. 43(2): p. 24-34.
13. Leland T. Blank, A.J.T., *Ingeniería Económica*. IV ed. 958-600-966-1, ed. 0-07-063110-7. 1999, Colombia: McGrawHill. 740.
14. Martínez, A.P. La macrolocalización de plantas derivados de la caña de azúcar considerando la incertidumbre financiera, en la demanda y la disponibilidad de materias primas. Su importancia en el diseño de procesos. *Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu*, 2017. 4(1): p. 27-39.