

La recirculación de no azúcares: variable estratégica en la selección del sistema de cocimiento para la producción simultánea de azúcar y alcohol

Oscar A. Díez*, Romina A. Salazar* y Gerónimo J. Cárdenas*

RESUMEN

En el presente trabajo, se analizan diferentes sistemas de cálculo de recirculación de no azúcares en sistemas de cocimientos. El efecto negativo de estas recirculaciones muestra que su análisis es estratégico a la hora de seleccionar un sistema de cocimiento para la producción simultánea de azúcar y alcohol, por sus implicancias tanto en la calidad de los azúcares a producir como en los consumos de energía asociados a las recirculaciones. Mediante el uso de sistemas numéricos avanzados se modificó una metodología tradicional aproximada, transformándola en una herramienta exacta y ágil para el análisis del nivel de recirculación en los sistemas de cocimientos, de fácil aplicabilidad y que permite comparar diferentes sistemas de cocimiento independientemente del número de templeas involucradas.

Palabras clave: azúcar y alcohol de caña, cristalización de azúcar.

ABSTRACT

Non-sugars recirculation as a key variable in selecting sugar boiling systems for simultaneous sugar-alcohol production

The aim of this paper is to analyze different systems for calculating the recirculation of non-sugars in sugar boiling. This type of analysis becomes essential when selecting sugar boiling systems, as recirculation of non-sugars has a negative impact on sugar quality and energy efficiency in simultaneous sugar-alcohol production. An approximate traditional method was improved by means of advanced numerical systems, so as to obtain an accurate and versatile tool for evaluating recirculation. The proposed method is easy to apply and enables comparison among different boiling systems, regardless of the number of strikes.

Key words: sugarcane sugar and alcohol, sugar crystallization.

* Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC. oadiez@eeaoc.org.ar

INTRODUCCIÓN

Las plantas azucareras que deciden incrementar la producción de etanol a partir de mieles finales y/u otros flujos del proceso deben implementar nuevos esquemas productivos.

Cuando se busca producir etanol para su uso como combustible líquido, una variable a optimizar es el balance energético. En un trabajo anterior (Diez *et al.*, 2011) se mostraron los beneficios, desde el punto de vista energético, de utilizar sistemas de dos cocimientos con una pureza de mieles finales lo más baja posible y de incorporar jugo clarificado como materia prima para destilería, cuando se hace necesario incrementar la producción de etanol.

Al aparecer un nuevo producto comercial además del azúcar cristal (el etanol absoluto), es indispensable adecuar las variables de control del proceso para asegurar tanto la máxima productividad como el menor consumo de energía, cuestión básica en la producción de un bio-combustible.

Mientras se produce azúcar cristalizado, se deben mantener todos los requerimientos de calidad de materia prima y de control de proceso; asimismo, deben agregarse las mediciones y controles que aseguren la calidad de la materia prima para la fermentación durante las operaciones de producción conjunta.

Por ejemplo, deben controlarse los inhibidores del proceso de fermentación, entre los cuales deben mencionarse a los ácidos volátiles, los colorantes (caramelos, principalmente) y el furfural. La concentración de estos inhibidores puede crecer respecto a los contenidos originales, si variables como la temperatura y el tiempo de retención no se controlan debidamente en las operaciones de intercambio de calor.

En el caso particular del sistema de cocimientos empleado para la obtención de azúcar cristal, la recirculación de los no azúcares presentes es la variable que gobernará el tiempo de residencia de estos productos, así como también el número de veces que cada una de las fracciones de los productos intermedios será sometida a procesos de cocción.

Para la evaluación del nivel de recirculación en el sistema de cocimiento existen diferentes técnicas de cálculo y, en todos los casos, es posible determinar, con mayor o menor exactitud, lo perjudicial que es para el sistema de producción simultánea la recirculación de las corrientes en el proceso.

Recirculación es sinónimo de mayor consumo de vapor, lo que no resulta apropiado desde el punto de vista energético, ya que hará disminuir el balance energético o tasa de retorno energético. Por ello, es importante analizar este aspecto cuando se planean los cocimientos.

Por otra parte, cuanto mayor sea el tiempo en que son sometidos a temperaturas elevadas los azúcares y no azúcares presentes en las corrientes que circulan por el

sistema de cocimiento, mayor será la posibilidad de que se formen productos de acción inhibitoria en la fermentación alcohólica, tales como caramelo, furfural e hidroximetil furfural, que disminuyen los rendimientos y la velocidad de fermentación (Banerjee *et al.*, 1981; Dhamija and Sangwan, 2006).

En el presente trabajo, se analizan metodologías de cálculo para la determinación del nivel de recirculación de no azúcares en distintos sistemas de cocimientos. Los ejemplos a estudiar bajo esta óptica fueron considerados en un trabajo anterior, referido a consumos energéticos de diferentes esquemas (Diez *et al.*, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la resolución de los sistemas de cocimientos y el cálculo de los consumos energéticos en tachos se utilizó el simulador Calco 1.0., software desarrollado por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) (EEAOC, 2003).

Se resolvieron tres sistemas de dos cocimientos con mieles finales de unos 60,0%, 65,0% y 70,0% de pureza y un sistema de tres cocimientos con miel final de un 42,0% de pureza. En todos los casos, se partió de un melado de 83,5% de pureza y se optimizaron las corrientes de sólidos de manera de tener un mínimo de masas cocidas a tratar, lo que implica indirectamente un menor consumo energético.

A partir de los resultados obtenidos con Calco 1.0., se calcularon, en cada corriente, los sólidos en toneladas por día (t/d) correspondientes a una molienda diaria de 10.000 toneladas de caña, fijando un valor de 15° Brix al jugo clarificado obtenido. Por separado, se asignó a cada corriente las t/d de sacarosa y las de no azúcares (NA), utilizando la pureza de cada corriente para los correspondientes cálculos.

Para el estudio de la recirculación de materiales dentro de los sistemas propuestos, se utilizaron tres metodologías de cálculo diferentes. La primera de ellas fue la propuesta por García López y Clarke (1969), donde se utiliza la Ecuación 1, que considera las purzas de diferentes productos involucrados en el proceso de cristalización. La participación directa e inversa de algunas de las variables incluidas no permite relacionar en forma intuitiva los cambios de pureza con el resultado final del valor de recirculación.

$$R = \frac{100 (P_{mc} - P_m) (P_e - P_z) (1 - P_a)}{(P_a - P_{mc}) (1 - P_z) (P_e - P_m)}$$

(Ecuación 1)

Donde:

R= recirculación;

P_{mc}= pureza de la masa cocida final;

- Pm= pureza de la miel final;
- Pa= pureza del azúcar final;
- Pe= pureza del azúcar comercial;
- Pz= pureza del melado.

La segunda metodología de cálculo considerada, que es un poco más exhaustiva en el análisis de la recirculación de NA, es la planteada por Meyer (1965). El objetivo que perseguía este autor era identificar el número de veces que los NA debían ser calentados antes de su evacuación final del sistema.

Para realizar los cálculos, en este caso para un sistema de dos plantas, se partió del esquema de cocimientos, adjudicando a cada corriente los NA correspondientes (Figura 1).

Como puede verse en la Figura 1, a primera vista parecería que en un cierto período de tiempo, los mismos NA que entran en el melado serían eliminados en la melaza y el azúcar, lo que corresponde a: $100 = 93,2 + 6,8$ partes. Esta ecuación es válida para las cantidades globales involucradas, pero en realidad el total de NA que sale es una mezcla de sólidos que fueron cocidos una vez; otra proporción corresponde a aquellos cocidos dos veces y así, sucesivamente, hasta completar el valor que cierra el balance. Esta diferencia en "edad" de los NA se hace obvia si se analizan los sucesivos pasos del material a través del proceso.

Se comienza con 100 partes de NA en melado, las cuales no han sido calentadas en la casa de cocimientos; a esto se le llama **NA fresco**. A la **masa cocida A** van 94

unidades y a la **masa cocida C** van seis unidades.

Las unidades de NA en la masa cocida A se dividen entre el azúcar y las mieles en la misma relación que en la Figura 2: es decir, 6,8 partes en azúcar y 105,1 partes en mieles, lo que expresado en porcentajes resulta aproximadamente del 6% en azúcar y del 94% en mieles.

Los NA de las mieles son calentados una vez en la masa cocida A.

En la Figura 3, se muestra un balance que ilustra el flujo de 100 unidades de NA fresco durante la primera vuelta.

En la Figura 1, puede observarse que en la masa cocida A hay 111,9 unidades de NA, pero solamente 94,0 provienen del melado fresco y serán cocidas por primera vez, mientras que 17,9 unidades son más vie-

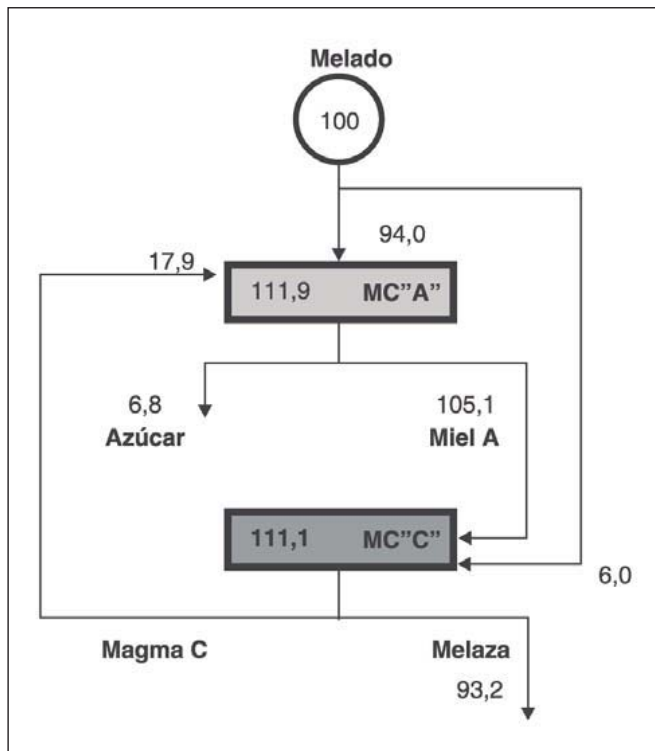


Figura 1. Distribución de no azúcares en un sistema tipo de dos masas cocidas.

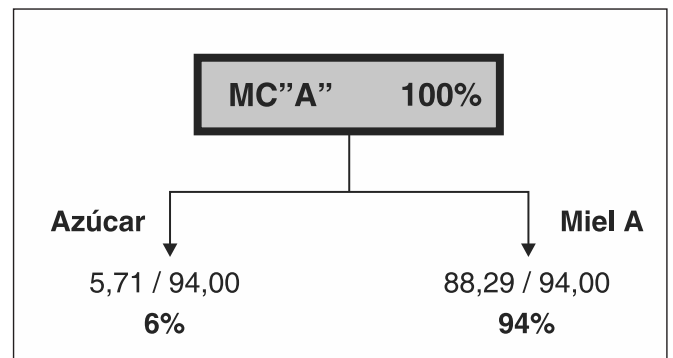


Figura 2. Relación de partición de sólidos en la masa cocida A.

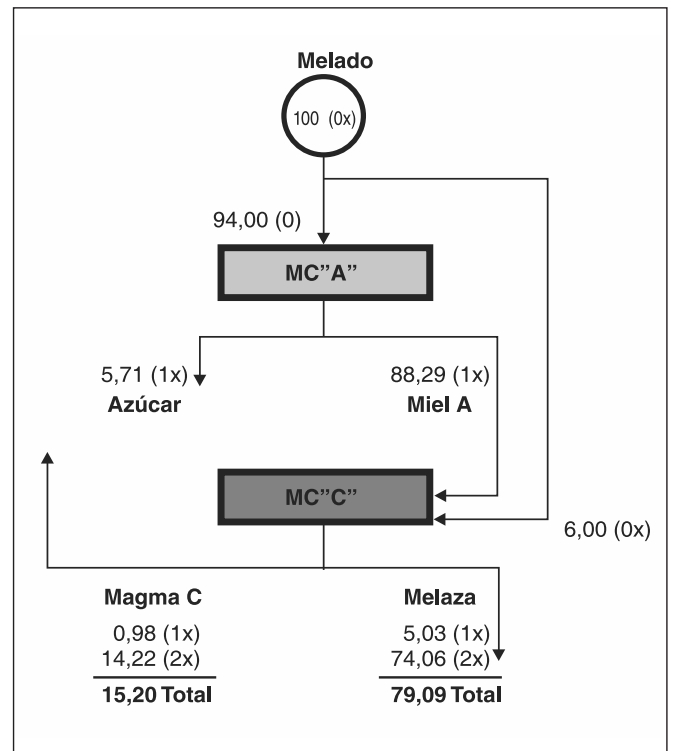


Figura 3. Distribución de no azúcares identificados por edades, luego de la primera vuelta del proceso (en cada corriente, entre paréntesis, se muestran las veces que recibieron cocimiento, expresadas como un número de x).

jas y ya han sido sometidas a cocimiento (Figura 3).

Después de la primera vuelta (Figura 3), 15,20 partes de NA de las 100,00 unidades originales regresan al proceso como **magma C** y así entran a una segunda vuelta de cocimiento (Figura 4), que ha sido calculada con la misma metodología.

Después de la segunda vuelta, se puede hacer lo mismo para la tercera, cuarta y cualquier sucesiva vuel-

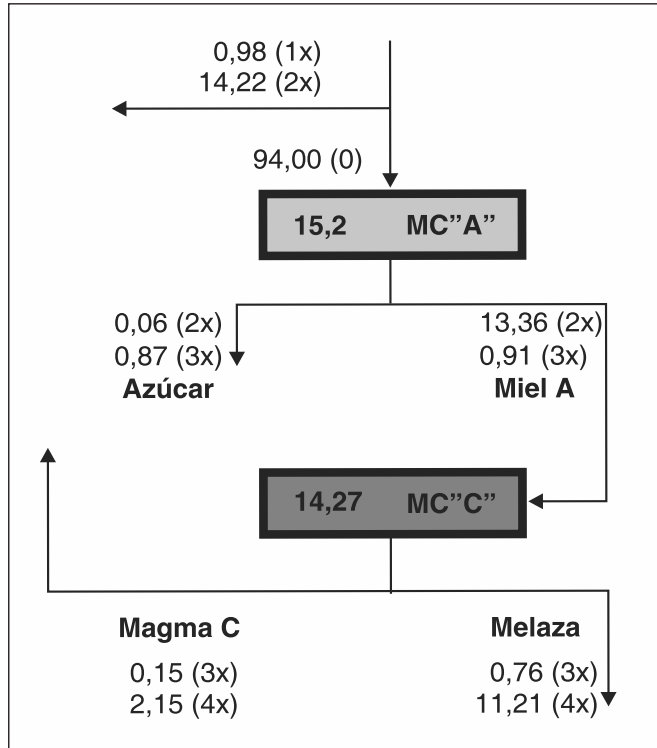


Figura 4. Distribución de no azúcares, identificados por edades, en la segunda vuelta del proceso.

ta de cocimiento a la que se sometan los NA. Resulta entonces evidente que hay NA con diferentes números de cocciones presentes al mismo tiempo. En la Tabla 1, se muestra el número total de cocimientos al que son sometidos los NA para su evacuación en un sistema como el analizado.

Para un sistema de tres plantas típico, el número

Tabla 1. Número de veces que se cuecen los no azúcares ingresados en un sistema de dos plantas, para su eliminación total.

Veces de cocido	% no azúcares salidos del sistema
1	84,00
2	0,86
3	12,71
4	0,13
5	1,92
6	0,09
7	0,29
Total	100,00

ro de veces que son cocinados los NA intervinientes en toda la operación se incrementa.

Los resultados del cálculo efectuado para este caso con la metodología de Meyer (1965) se muestran en la Tabla 2.

Esto demuestra que el número de plantas incrementa sustancialmente la recirculación de los NA.

Una tercera metodología que sería factible utilizar para el análisis de las recirculaciones en sistemas de cocimientos es la propuesta por Serbiá (1967). Esta metodología consiste en relacionar las corrientes de NA ingresados a cada planta con las estimaciones de los NA recirculados, lo que se calcula como el producto de los NA a ingresar por las veces que es cocida la corriente en cuestión.

Se parte de esquemas como los mostrados en las Figuras 5, 6, 7 y 8, pudiéndose confeccionar una tabla con las ecuaciones de cálculo para cada planta. En la Tabla 3, se presentan los resultados del análisis del sistema de cocimiento de dos plantas con pureza de miel final igual a 60%.

Para confeccionar la tabla de resultados, se procede de la siguiente manera: se divide el cálculo en secciones diferentes, según el número de la planta del sistema en estudio. En la primera columna, se agregan las corrientes que conformarán la planta y se trasladan los valores de NA de esas corrientes intervinientes en el

Tabla 2. Número de veces que se cuecen los no azúcares ingresados en un sistema de tres plantas, para su eliminación del total. Metodología propuesta por Meyer (1965).

Veces de cocido	% no azúcares salidos del sistema
1	57,47
2	16,26
3	7,97
4	8,79
5	4,07
6	1,94
7	1,52
8	0,86
9	0,44
10	0,29
11	0,17
12	0,09
13	0,06
14	0,03
15	0,02
16	0,01
17	0,01
Total	100,00

Tabla 3. Resultados para un sistema de dos plantas, con miel final de una pureza del 60%. Metodología propuesta por Serbiá (1967).

	No sacarosa (NA) entrada	Veces de cocido	Total NA recirculada
Melado	173,25	1,00	173,25
Az. II	71,54	3,00	214,62
Miel rica I	38,74	2,00	77,47
Total MC "A"	283,53	1,64	465,34
Melado	74,25	1,00	74,25
Miel pobre I	242,16	2,64	639,30
Total MC "C"	316,41	2,26	713,55
Total sistema	599,94	1,97	1178,90
	NA cocinada/entrada	0,40	
	NA recirculada/entrada	0,79	
	MC % caña	22,20	

sistema resuelto. En la tercera columna, se coloca el número de veces que se cuece cada corriente; al melado que ingresa por primera vez al sistema, se le adjudica el número 1 (corresponde a una corriente que será cocida por primera vez).

El sistema original propuesto introduce en esta etapa una aproximación que es la de contemplar, para el azúcar C, un valor de veces de cocido igual al número de plantas del sistema, aduciendo que, a fines comparativos, su incidencia será menor. Así, al azúcar C que formará parte de la planta A, le corresponde el valor 3 (2 por las veces de cocido para su formación y

1 por cada planta del sistema; al participar en la formación de la planta A, será cocinado por tercera vez).

A la **miel rica** 1 se le adjudica el valor 2 (1 por haber resultado de una cocción en la planta que la formó; al participar en la planta en cálculo, será cocinada por segunda vez).

El resultado del producto de las corrientes de NA ingresadas por el número de veces de cocido conforma la cuarta columna y representa el total de NA recirculados.

En cada planta, se suman los totales para la segunda y cuarta columna y, de su razón matemática,

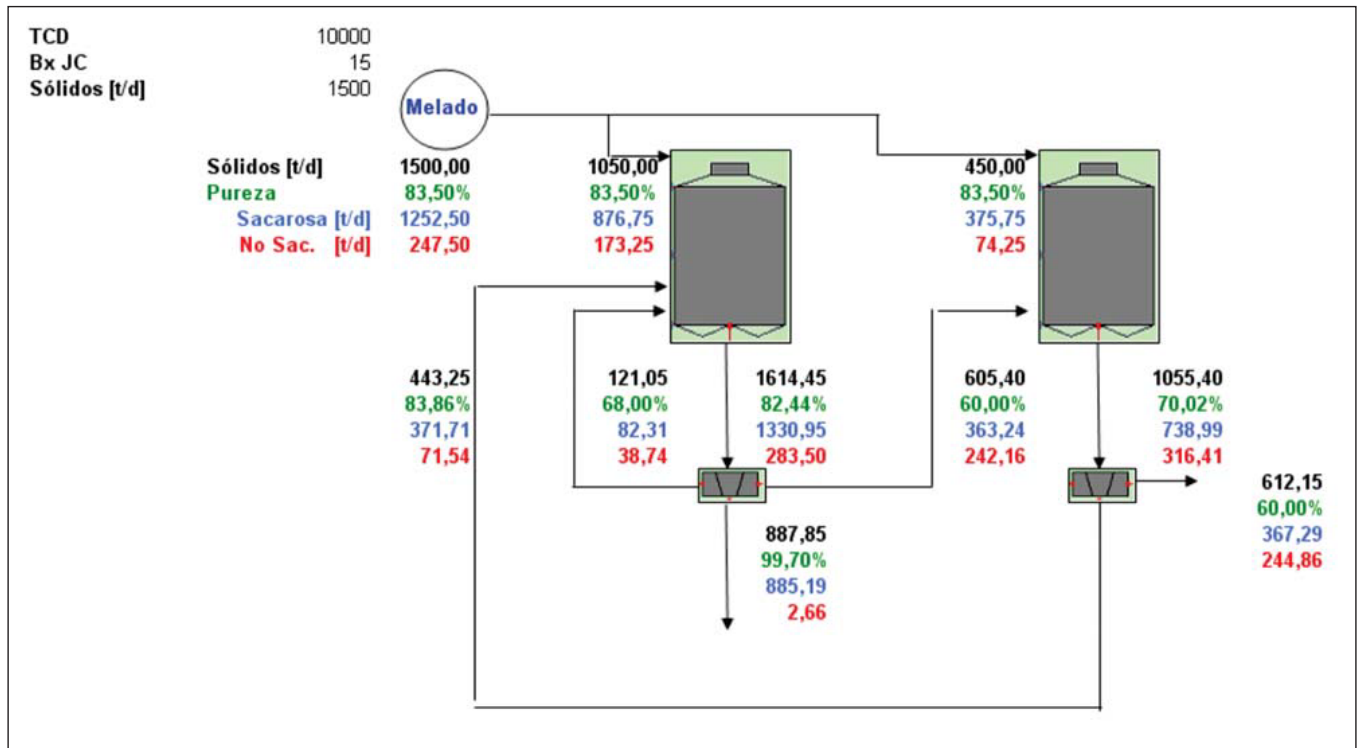


Figura 5. Resolución del sistema de cocimiento de dos plantas, con miel final de un 60% de pureza y cálculos adicionales de sacarosa y no azúcares (NA) en t/d para cada una de las corrientes.

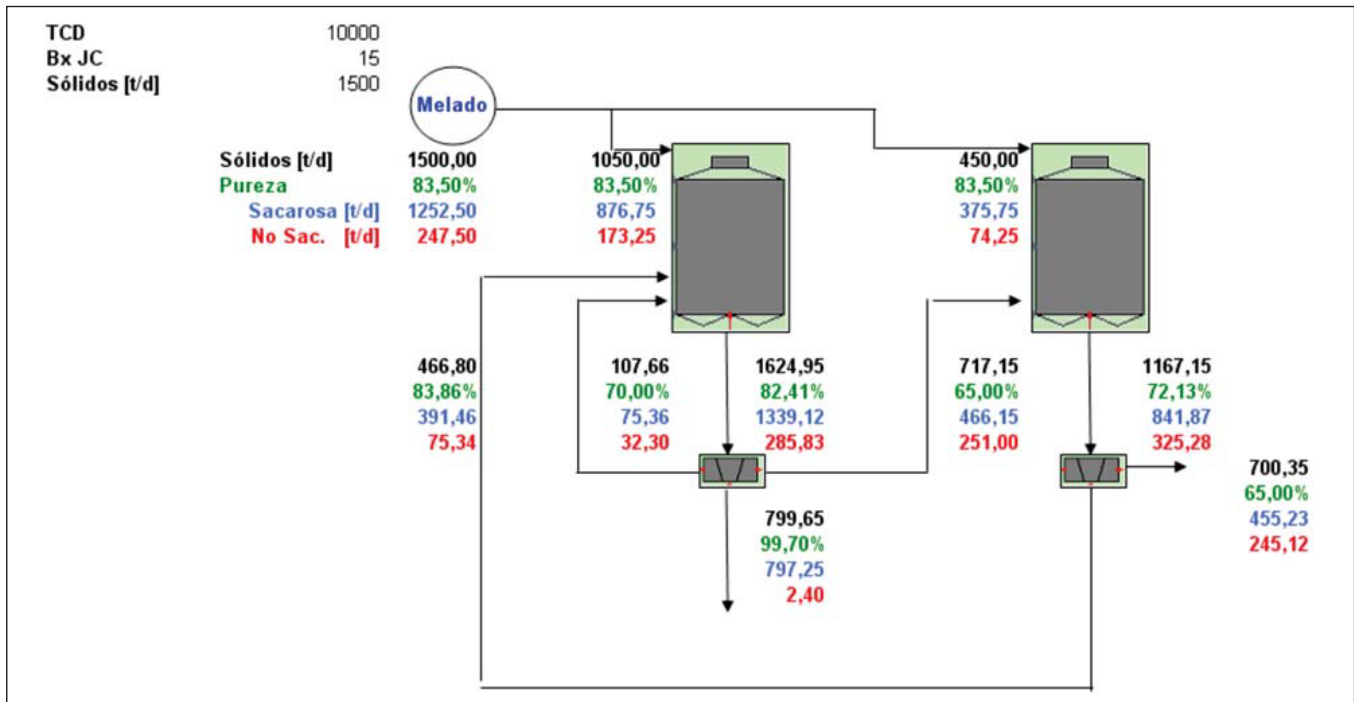


Figura 6. Resolución del sistema de cocimiento de dos etapas, con miel final de un 65% de pureza y cálculos adicionales de sacarosa y NA en t/d para cada una de las corrientes.

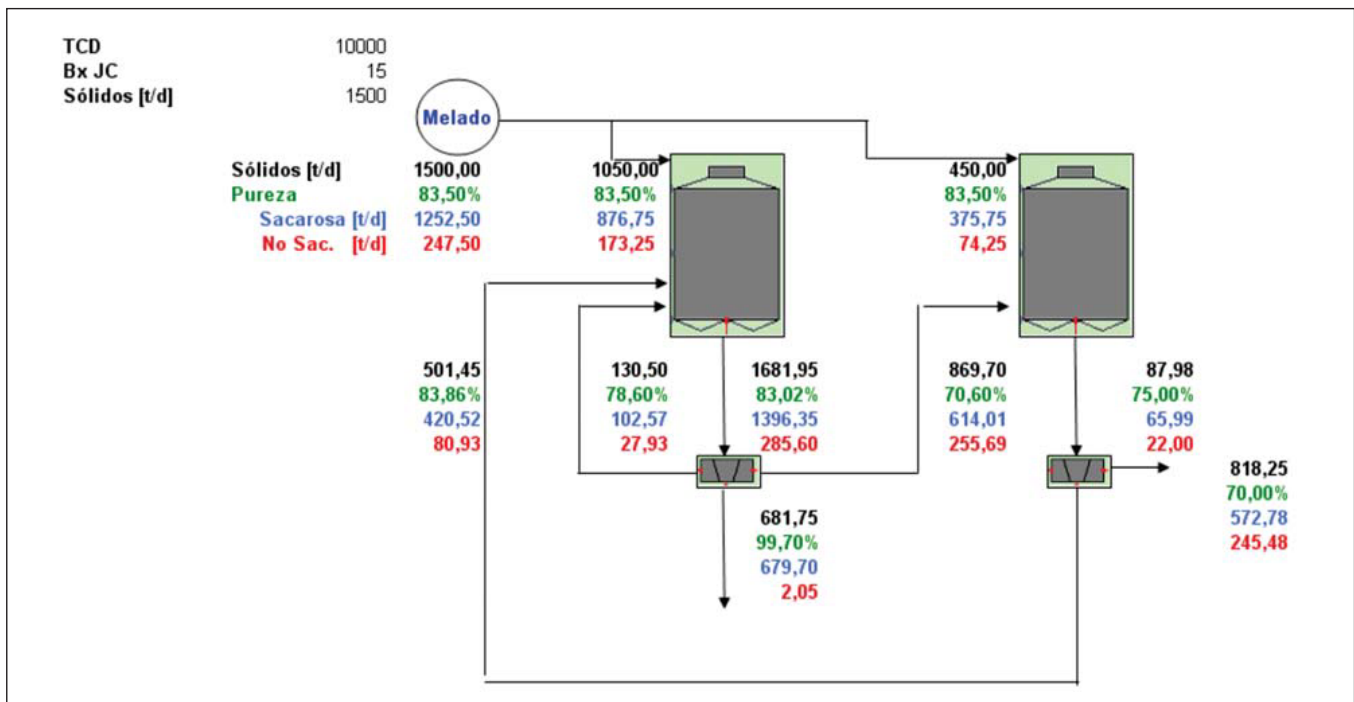


Figura 7. Resolución del sistema de cocimiento de dos etapas, con miel final de un 70% de pureza y cálculos adicionales de sacarosa y NA en t/d para cada una de las corrientes.

se calcula el número de veces de cocido promedio del total de NA procesados. El valor obtenido para la masa cocida A, que indica las veces promedio que se cuecen los NA, es de 1,64. De igual manera se procede con las etapas subsiguientes y, con los totales generales, se calculan los promedios generales del sistema en estudio, en lo que respecta a las veces que los NA ingresados reciben cocimiento.

Otras variables comparativas interesantes se obtienen a partir de los resultados de las siguientes relaciones:

$$\text{NA cocinados/ NA ingresados} = (599,94 \text{ t/d} / 1500 \text{ t/d}) = 0,40$$

$$\text{NA recirculados/ NA ingresados} = (1178,90 \text{ t/d} / 1500 \text{ t/d}) = 0,79$$

Adicionalmente y a partir del mismo sistema

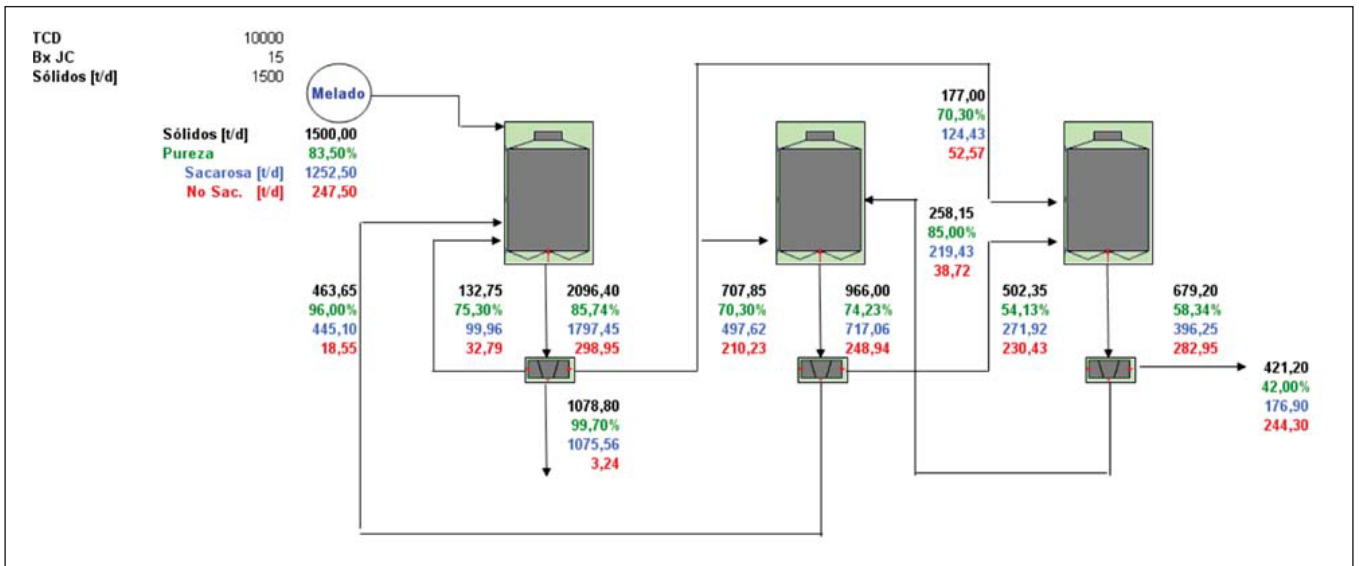


Figura 8. Resolución de sistema de cocimiento de tres plantas con miel final de un 42% pureza y cálculos adicionales de sacarosa y NA en t/d para cada una de las corrientes.

resuelto, se puede informar la cantidad total de masas cocidas % caña como un indicador indirecto del requerimiento energético del sistema, información muy útil para analizar balances energéticos del proceso en la producción de bioetanol combustible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 5, 6, 7 y 8 se presentan las resoluciones de los sistemas en estudio: las tres primeras figuras representan sistemas de cocimiento de dos plantas, variando en cada caso la pureza de la miel final, mientras que la cuarta muestra un sistema típico de cocimiento de tres plantas para la producción de azúcar blanco directo.

Con los valores de pureza obtenidos con Calco 1.0., se calcularon las recirculaciones de los sistemas analizados con la metodología propuesta por García López y Clarke (1969), mostrándose los resultados finales en la Tabla 4.

Los resultados obtenidos muestran que esta metodología es útil para comparar las recirculaciones, cuando se realizan variaciones de un sistema de igual número de plantas.

Así, en los ejemplos analizados, se aprecia menor recirculación en el sistema de dos cocimientos, cuando la pureza de la miel final disminuye.

Para sistemas de distinto número de plantas, el

cambio de magnitud de las purzas del azúcar final y de la masa cocida final no permite comparar directamente este tipo de casos, por lo que es un método de cálculo recomendado una vez seleccionado el sistema de cocimiento a utilizarse, ya que cada vez que se analizan los productos intervinientes, se puede conocer si las operaciones realizadas generaron aumento o disminución de la recirculación en planta.

La metodología propuesta por Meyer (1965) es lo suficientemente precisa como para comparar cocimientos similares, como es el caso de lo planteado en el presente trabajo, donde se obtiene la resolución de un mismo sistema de cocimiento de dos plantas para tres valores diferentes de pureza de miel final.

En la Tabla 5, se muestran los resultados obtenidos al aplicarse esta metodología en los sistemas de dos plantas en estudio.

Queda demostrado que, al aumentar la pureza de la miel final en el sistema, es necesario incrementar las veces que se procesa la masa para la evacuación final de los no azúcares ingresados.

En la metodología propuesta por Serbiá (1967), queda evidenciado que en ese momento, las posibilidades de recurrir a métodos computacionales sofisticados estaban seriamente restringidas. Seguramente, es a consecuencia de esto que se planteó solo una aproximación en la evaluación de las veces que se cuecen las corrientes

Tabla 4. Pureza de algunas corrientes del sistema de cocimiento y cálculo de la recirculación, siguiendo la metodología de García López y Clarke (1969).

Sistema	Pz	Pe	Pm	Pa	Pmc	Recirculación
2 cocimientos	83,50%	99,70%	60,00%	83,85%	70,02%	28,91
2 cocimientos	83,50%	99,70%	65,00%	82,83%	72,13%	32,38
2 cocimientos	83,50%	99,70%	70,00%	83,15%	75,00%	34,12
3 cocimientos	83,50%	99,70%	42,00%	85,00%	58,34%	15,64

Tabla 5. Resultados obtenidos del porcentaje de NA que egresan del sistema de dos plantas, con diferentes valores de pureza de miel final. Metodología propuesta por Meyer (1965).

Sistema de dos plantas			
Veces de cocido	60%	65%	70%
1	83,50	83,12	82,98
2	1,72	1,68	1,66
3	11,90	11,86	11,69
4	0,20	0,34	0,38
5	2,12	2,06	2,03
6	0,18	0,21	0,42
7	0,38	0,35	0,35
8		0,26	0,24
9		0,12	0,10
10			0,08
11			0,07
Total	100,00	100,00	100,00

que retornan en los sistemas estudiados. En la actualidad, en cambio, se puede recurrir a sistemas numéricos avanzados y transformar esta metodología en un sistema exacto de cálculo. Es así como en este trabajo, se utilizó una planilla Excel para resolver la tabla de resultados y, mediante el complemento Solver, se realizaron las iteracio-

nes necesarias para hacer converger resultados que satisfagan las ecuaciones y restricciones planteadas.

En la Figura 9 se muestra el mecanismo de utilización del complemento Solver. Para ingresar los parámetros requeridos, se adiciona a la tabla de resultados una columna (H) donde se calcula el Total de NA recirculados (según las fórmulas escritas en las llamadas correspondientes).

En la columna F, a las veces que se cuecen las corrientes Az. II y Miel rica I, se ingresan en el cuadro de Solver como celdas cambiantes.

Se contempla al Total de NA recirculados como celda objetivo y se pretende optimizar hasta lograr un máximo.

Las restricciones del modelo radican precisamente en la necesidad de lograr la igualdad entre los valores de Total de NA recirculados calculados por el valor cambiante y por el valor de fórmula.

Esta modificación es sumamente ágil desde el punto de vista del costo computacional, expresado en términos de tiempo. Utilizando un procesador estándar disponible en el mercado, los resultados se logran en menos de dos segundos, para sistemas como los analizados.

Con la incorporación de Solver al sistema de cálculo, se resolvió la totalidad de los sistemas en estudio. Los resultados se muestran en las Tablas 6, 7, 8 y 9.

En la Tabla 10 se muestra un cuadro comparativo de los resultados para los sistemas de cocimientos analizados. Se aprecia claramente que el sistema de dos plantas con la mínima pureza en la miel final es el sistema que

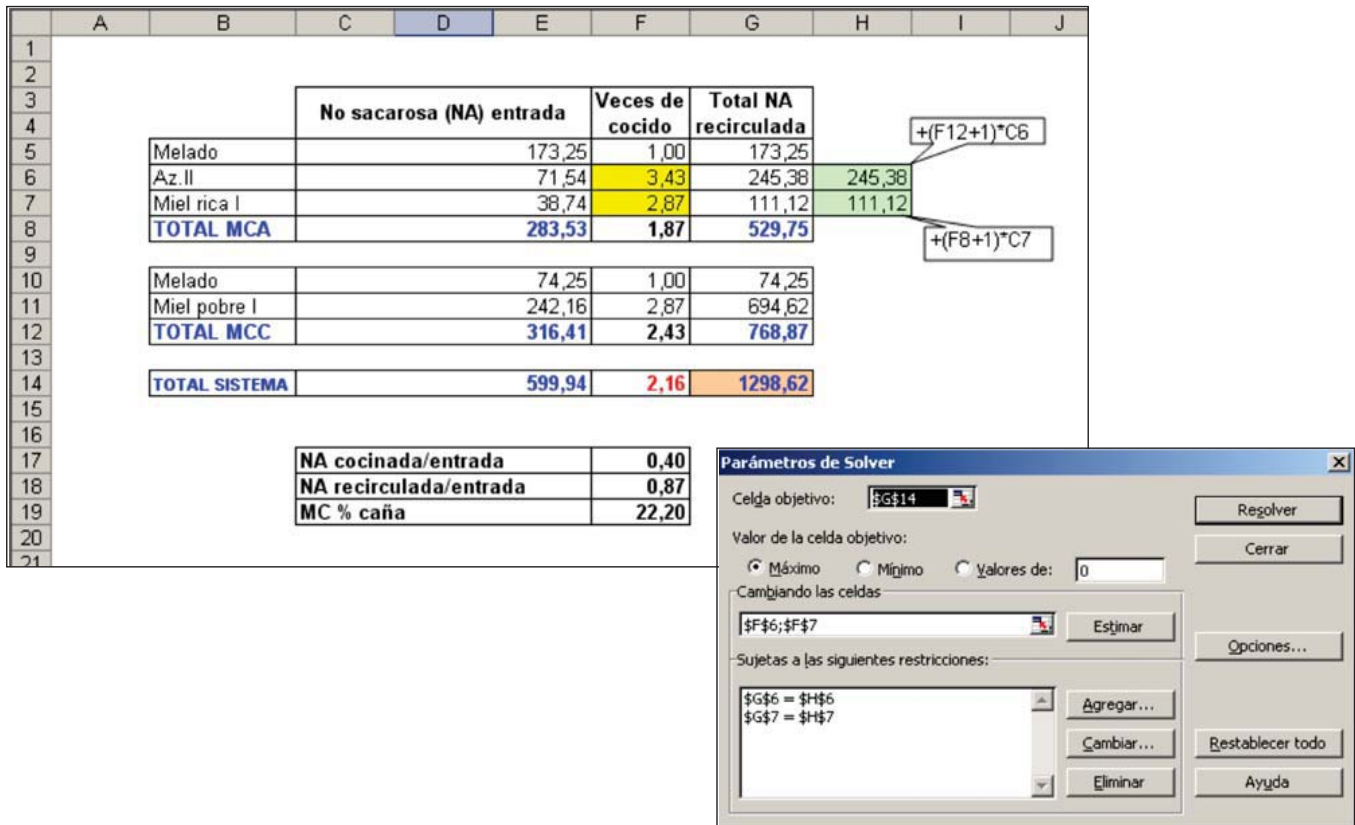


Figura 9. Mecanismo de utilización del complemento Solver en una planilla de cálculo Excel.

Tabla 6. Resultados exactos obtenidos mediante el uso del complemento Solver para un sistema de dos plantas, con miel final de una pureza del 60%.

	No sacarosa (NA) entrada	Veces de cocido	Total NA recirculada
Melado	173,25	1,00	173,25
Az. II	71,54	3,43	245,38
Miel rica I	38,74	2,87	111,17
Total MC"A"	283,53	1,87	529,81
Melado	74,25	1,00	74,25
Miel pobre I	242,16	2,87	694,67
Total MC"C"	316,41	2,43	768,92
Total sistema	599,94	2,16	1298,72
	NA cocinada/entrada	0,40	
	NA recirculada/entrada	0,87	
	MC % caña	22,20	

Tabla 7. Resultados exactos obtenidos mediante el uso del complemento Solver para un sistema de dos plantas, con miel final de una pureza del 65%.

	No sacarosa (NA) entrada	Veces de cocido	Total NA recirculada
Melado	173,25	1,00	173,25
Az. II	75,34	3,44	259,44
Miel rica I	32,30	2,87	92,71
Total MC"A"	280,89	1,87	525,39
Melado	74,25	1,00	74,25
Miel pobre I	251,00	2,87	720,49
Total MC"C"	325,25	2,44	794,74
Total sistema	606,14	2,18	1320,14
	NA cocinada/entrada	0,40	
	NA recirculada/entrada	0,88	
	MC % caña	23,42	

Tabla 8. Resultados exactos obtenidos mediante el uso del complemento Solver para un sistema de dos plantas con miel final de una pureza del 70%.

	No sacarosa (NA) entrada	Veces de cocido	Total NA recirculada
Melado	173,25	1,00	173,25
Az. II	80,93	3,47	280,80
Miel rica I	27,93	2,90	80,88
Total MC"A"	282,11	1,90	534,93
Melado	74,25	1,00	74,25
Miel pobre I	255,69	2,90	740,52
Total MC"C"	329,94	2,47	814,77
Total sistema	612,05	2,21	1349,70
	NA cocinada/entrada	0,41	
	NA recirculada/entrada	21,42	
	MC % caña	25,52	

Tabla 9. Resultados exactos obtenidos mediante el uso del complemento Solver para un sistema de tres templates, con miel final de una pureza del 42%.

	No sacarosa (NA) entrada	Veces de cocido	Total NA recirculada
Melado	247,50	1,00	247,50
Az.II	18,55	3,63	67,32
Miel rica I	32,79	2,31	75,63
Total MC"A"	298,84	1,31	390,45
Miel pobre I	210,23	2,31	484,91
Az.III	38,72	4,38	169,76
Total MC"B"	248,95	2,63	654,67
Miel pobre I	52,57	2,31	121,25
Miel pobre II	230,43	3,63	836,38
Total MC"C"	283,00	3,38	957,63
Total sistema	830,79	2,41	2002,74
	NA cocinada/entrada	0,55	
	NA recirculada/entrada	1,34	
	MC % caña	37,42	

Tabla 10. Cuadro comparativo de resultados para los sistemas de cocimiento estudiados.

Sistema de cocimiento		Dos templates		Tres templates
Pureza miel final	60	65	70	42
Veces promedio de cocido NA	2,16	2,18	2,21	2,41
NA cocinado/entrado	0,40	0,40	0,41	0,55
NA recirculado/entrado	0,87	0,88	0,90	1,34
MC % caña	22,20	23,42	25,52	37,42

debería seleccionarse, por presentar menores recirculaciones de NA para su ejecución.

Esta última metodología, con la incorporación del cálculo exacto del número de veces de cocido en las corrientes de retorno y por medio de sistemas numéricos avanzados, resulta de fácil aplicabilidad, con resultados igualmente exactos a los obtenidos con el sistema planteado por Meyer (1965) y sin lo engorroso de la secuencia de cálculo que debe seguirse con esta última metodología. Por ello, resulta recomendable su utilización para el cálculo del nivel de recirculación en cualquier sistema de cocimiento que se encuentre en estudio.

CONCLUSIONES

- Se logró modificar un sistema tradicional aproximado para el estudio de las recirculaciones de no azúcares en la casa de cocimientos, convirtiéndolo en un sistema exacto y ágil, al agregarle el cálculo preciso del número de veces de cocido en las corrientes de retorno, mediante sistemas numéricos avanzados. La metodología resultante es de fácil aplicabilidad y permite la comparación de diferentes sistemas de cocimiento, indepen-

dientemente del número de templates involucradas.

- Considerando que los NA pasan por la casa de cocimientos varias veces antes de su evacuación final, calentándose en forma repetida -lo que puede inducir a su parcial o total deterioro-, y tomando en cuenta que los NA forman parte de una masa que contiene además azúcares que pueden deteriorarse por la acción repetida del calor, resulta evidente que para la selección adecuada de un sistema de cocimiento, el estudio de las recirculaciones es una variable estratégica.

- Seleccionar un sistema de cocimiento con el menor índice de recirculación, en función del equipamiento disponible en planta, implica utilizar una metodología operatoria que preserve mejor los azúcares presentes y minimiza la generación de inhibidores con acción negativa en la fermentación alcohólica con levaduras de las mieles finales.

- Un sistema de bajo nivel de recirculación permite maximizar la producción simultánea de azúcar y alcohol consumiendo menos vapor en la casa de cocimientos, con consecuentes beneficios para el balance energético general del proceso productivo, variable fundamental cuando se produce bioetanol para su uso como combustible.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Banerjee, N.; R. Bhatnagar and L. Viswanathan. 1981.** Inhibition of glycolysis by furfural in *Saccharomyces cerevisiae*. Appl. Microbiol. Biot. 11: 226-228.
- Dhamija, S. S. and S. Sangwan. 2006. Food and industrial microbiology. Industrial production of ethanol in India. [En línea]. Disponible en nsdl.niscair.res.in/jspui/bitstream/123456789/131/1/etahnol.pdf (consultado 20 agosto 2011).
- Diez, O. A.; M. C. Cruz y G. J. Cárdenas. 2011.** Optimización energética para la producción simultánea de azúcar y alcohol en Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 88 (2): 27-40.
- Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). 2003.** Calco 1.0. Manual del usuario. Versión 1.0. [CD ROM]. EEAOC, Tucumán, R. Argentina.
- García López, V. F. y J. A. Clarke. 1969.** El proceso de fabricación de azúcar crudo en los tachos. Ciencia & Técnica. Instituto del Libro, La Habana, Cuba.
- Meyer, J. G. 1965.** The danger of circulating non-sugar. Sugar y Azúcar, Julio 1965: 53-57.
- Serbiá, G. R. 1967.** Comparación de los sistemas de cocimiento para crudos. Sugar y Azúcar, Noviembre 1967: 94-97.