

Producción de bioetanol combustible a partir de jugo de sorgo dulce

Proyecto ANII - FSE - 2009 - 1- 37



**Claudia Lareo, Mario Daniel Ferrari,
Valeria Larnaudie, María Eloísa Rochón,
Florencia Álvarez, Virginia Olij,
Laura Camesasca**



¿Por qué sorgo dulce para producir bioetanol combustible?

- ~ **Altos rendimientos agrícolas**
- ~ **Bajos requerimientos de suelo, fertilizantes y de riego**
- ~ Buena opción para pequeños y medianos productores
- ~ Puede ser procesado en un ingenio que use caña de azúcar
- ~ Jugo con **alto contenido de azúcares** fermentables solubles
- ~ **Bagazo y granos (panoja)**
- ~ Integración con otros sistemas de producción de energía y alimentos
- ~ **Desventaja:** tendencia a degradarse luego de cortado, necesita adecuada gestión de la cosecha y del ritmo de su procesamiento.



Diagrama de flujo simplificado del proceso



Objetivos

En este proyecto se estudiaron **aspectos tecnológicos** de la **transformación de jugo de sorgo dulce en etanol**, atendiendo a dos factores claves:

- **máxima conversión en etanol y**
- **mínimo uso de energía**

Caracterización química de jugo de sorgo dulce concentrado

Muestra 2010: 80 - 85°Brix

Muestra 2011: 68°Brix

Parámetro	Unidades	Muestra 2010	Muestra 2011
Glucosa	%	23	20
Fructosa	%	14	16
Sacarosa	%	42	31
Azúcares totales como glucosa (*)	%	81	68
Ácido succínico	%	0,25	0,01
Ácido láctico	%	0,12	0,22
Ácido acético	%	0,09	0,26
Furfural	%	-	No detectado
Hidroximetilfurfural	%	-	No detectado
Almidón	%	-	7,3
Sodio	%	0,01	0,02
Potasio	%	0,95	1,56
Calcio	%	0,28	0,61
Magnesio	%	0,14	0,24
Nitrógeno	%	0,01	0,13
Fósforo	%	0,03	< 0,5
Zinc	%	-	<0,0005
Manganeso	%	-	0,004
Aluminio	%	-	< 0,002
Hierro	%	-	0,03
Cobre	%	-	<0,0005
Cenizas	%	3,3	4,7
Humedad	%	13	28
Densidad (20°C)	kg/m ³	1340	1295

% en peso.

Excepto la humedad todos los valores se expresan en base seca.

No detectado: concentraciones inferiores a 0,003%

* Azúcares totales como glucosa: glucosa + fructosa + 1,05 sacarosa.

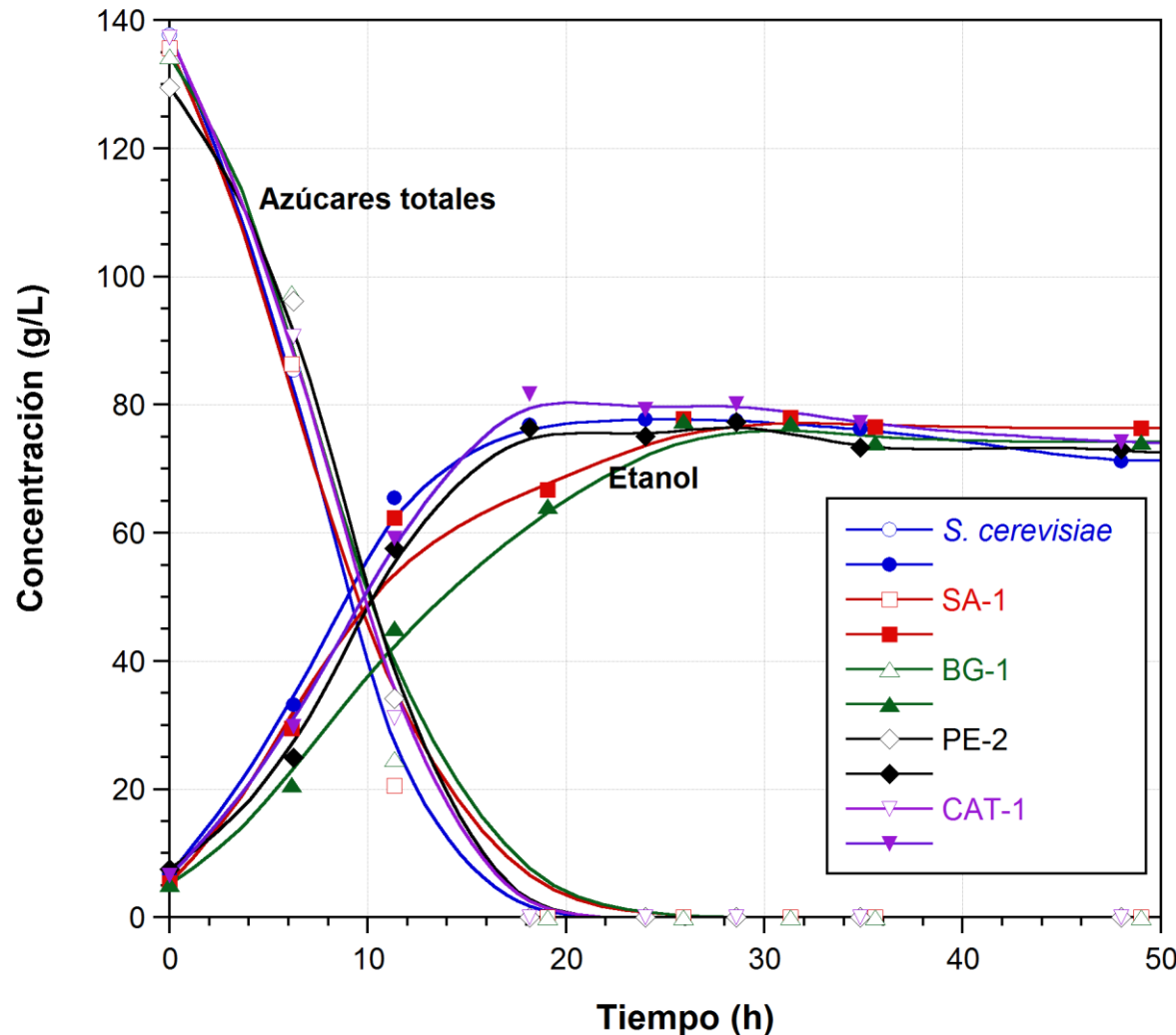
Caracterización química de jugo de sorgo dulce concentrado

- ~ El jugo de sorgo dulce concentrado tenía una **composición más compleja** de lo previsto y referido en la literatura.
- ~ Se observaron **dificultades** para su **manejo** y **fermentación** debido a su **alta viscosidad y heterogeneidad**.
- ~ Mostró ser **poco estable** durante su almacenamiento a temp. amb.
- ~ Se identificó la presencia de **posibles inhibidores** de las fermentaciones (**ácidos acético, succínico, cis y trans-aconítico**) en la materia prima.
- ~ Estos compuestos se generan o magnifican durante la concentración del jugo y durante su almacenamiento.
- ~ Se requiere el análisis de los compuestos lote a lote y el ajuste de las condiciones operativas en base a los resultados:
 - ~ **Remoción** (pretratamientos) o
 - ~ **Mitigar sus efectos inhibitorios** (pH, temperatura, uso de una nueva cepa tolerante a elevadas conc. de ácidos).

Selección de cepas comerciales industriales

Cepas industriales: **CAT-1, SA-1, PE-2, BG-1**
 levadura Fleischmann (como control)

- ~ Tuvieron un desempeño adecuado para la producción de etanol, aunque mostraron un nivel de **viabilidad diferente**.
- ~ Se seleccionó la cepa **CAT-1**



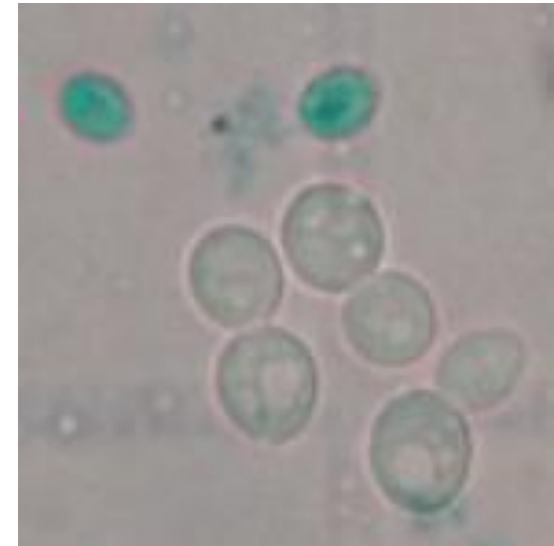
Fermentaciones con alto contenido de azúcares iniciales (VHG: Very High Gravity)

Alta concentración de etanol

Bajo consumo energético en la recuperación del etanol

Puede producir fermentaciones lentas y/o incompletas, y productos secundarios:

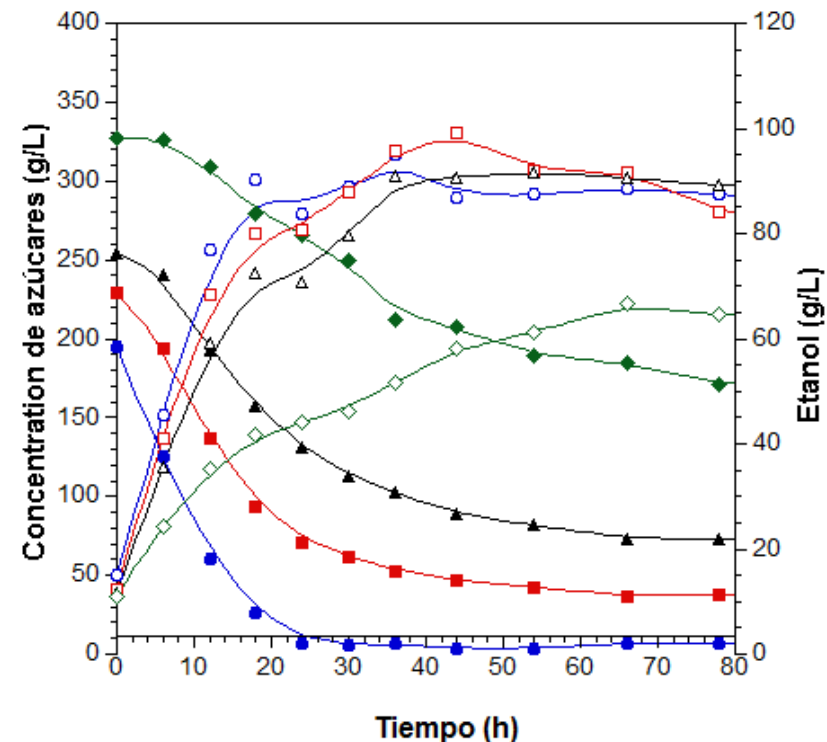
- Alta presión osmótica
- Toxicidad del etanol
- Toxicidad de otros compuestos generados durante la concentración del medio



El ahorro de energía en la destilación en estas condiciones debe compensar la energía consumida en la concentración del jugo y fermentaciones en condiciones de estrés.

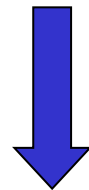
Fermentaciones

- ~ Se alcanzó una concentración máxima de **etanol de 105 g/L (aprox. 14°GL)**.
- ~ El tiempo de fermentación aumentó con la concentración inicial de azúcares (140 - 320 g/L), resultando en aparición de **fases de retardo y fermentaciones incompletas**, y
- ~ Conversión de azúcares disminuyó (46% para 320 g/L azúcar).
- ~ Rendimientos de etanol: 74 a 97% del teórico (0.511 g etanol/g azúcar consumido).



Modelo desarrollado para evaluar el uso de energía y materia prima

Factores estudiados en la producción de etanol	Rango	Unidades
Contenido de azúcar en el jugo extraído*	8 - 16	% (p/p, base seca)
Contenido de azúcar en el jugo concentrado*	20 - 35	% (p/p, base seca)
Eficiencia de fermentación**	70 - 95	%
Tiempo de fermentación	8 - 36	h



Respuestas

Consumo de energía (GJ/m³ etanol)

Generación de energía eléctrica

(*) Azúcares expresados como glucosa (glucosa + fructosa + 1,05 sacarosa).

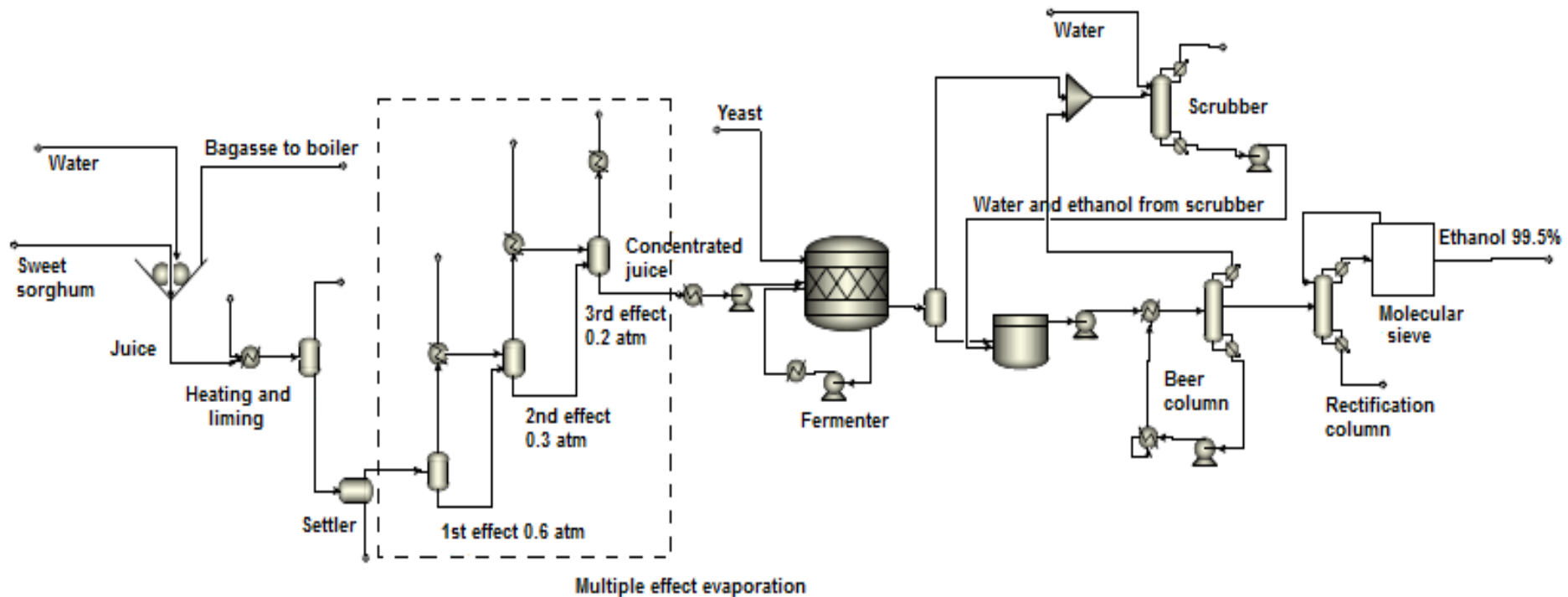
(**) Basado en 0,511 g etanol por g glucosa consumida.

Metodología

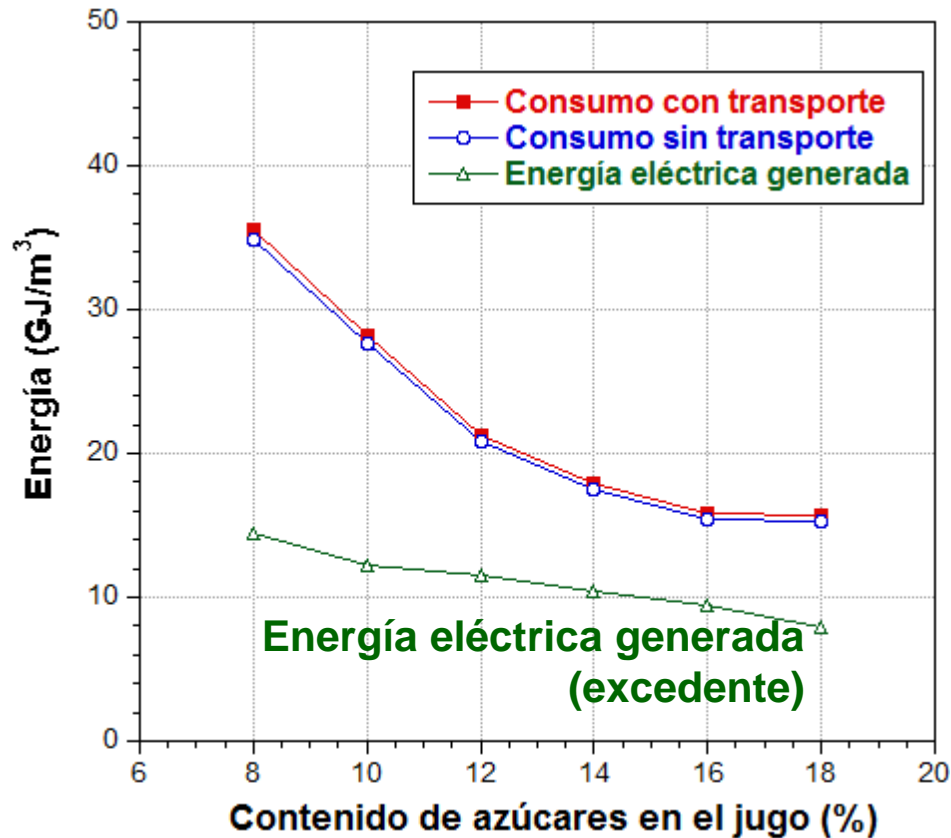
- ↷ **Caso base: 125 m³ etanol /día, calidad 99.5% v/v**
- ↷ **Las fuentes de energía para los procesos industriales: vapor y energía eléctrica generados con bagazo.**
- ↷ **Fuente de energía para el transporte de sorgo dulce: gasoil**
- ↷ **Software de simulación de procesos: Aspen Plus®, Aspen Technologies Inc. version V7.3**
- ↷ **Se utilizaron los datos experimentales de composición, rendimientos y parámetros cinéticos obtenidos durante el proyecto.**



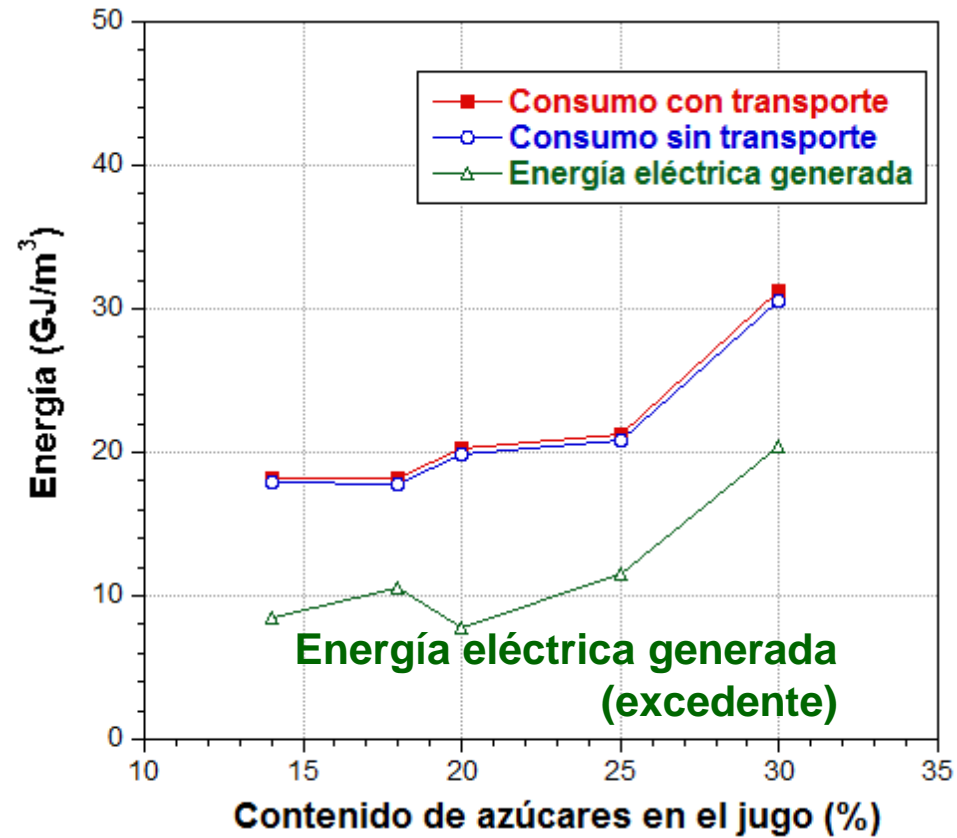
Diagrama de flujo simplificado de un proceso simulado



Consumo de energía y generación de electricidad

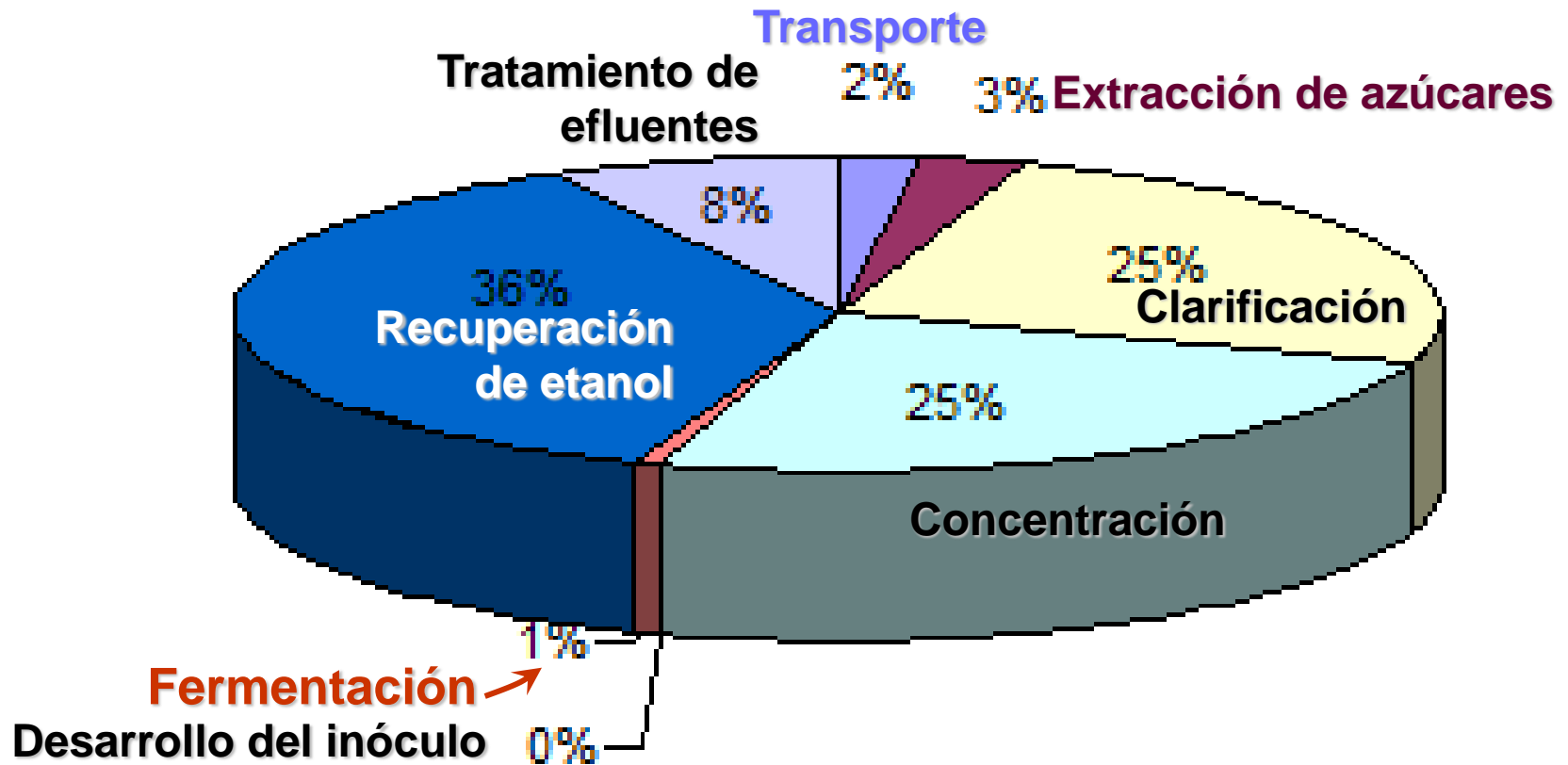


Contenido azúcar en el jugo concentrado: 25%
Eficiencia de fermentación: 90%
Tiempo de fermentación: 24 h



Contenido de azúcares en el jugo extraído: 12%
Eficiencia de fermentación: 90%
Tiempo de fermentación: 24 h

Consumo de energía en las distintas etapas del proceso



Contenido de azúcares en el jugo extraído: 12%

Contenido de azúcares en el jugo concentrado: 20%

Eficiencia de fermentación: 90%

Tiempo de fermentación: 36 h

Resultados

- ↷ Todos los factores con la excepción del tiempo de fermentación, **tuvieron un efecto significativo** sobre el consumo de energía y el excedente de energía eléctrica generada.
- ↷ La **energía consumida por el proceso fue cubierta** por la energía generada por la combustión de **bagazo**.
- ↷ **Se generó energía excedente**.
- ↷ Las **fermentaciones VHG consumieron más energía que las convencionales**, pero la energía eléctrica excedente generada aumentó ya que más materia prima fue requerida para satisfacer la capacidad de la planta (las fermentaciones fueron incompletas).
- ↷ Este estudio se debe complementar con un análisis económico para evaluar cuál es la mejor condición.

Conclusiones

- ↷ Un factor clave es el **desarrollo de variedades de sorgo dulce** que puedan producir altos contenidos de azúcar.
- ↷ Las fermentaciones VHG requieren **levaduras que presenten un buen desempeño** bajo estas condiciones en términos de consumo de azúcar, rendimiento de etanol y velocidad del proceso.

Infraestructura

Se incorporaron nuevos equipos:

- ↪ Agitador orbital (Infors HT Ecotron®)
- ↪ Fermentador de laboratorio de 5 L de capacidad (Infors HT Minifors)
- ↪ Cromatógrafo de gases (Shimadzu GC-2010 Plus).

Licencia del software Aspen Plus®, Aspen Technologies Inc.
V7.3



