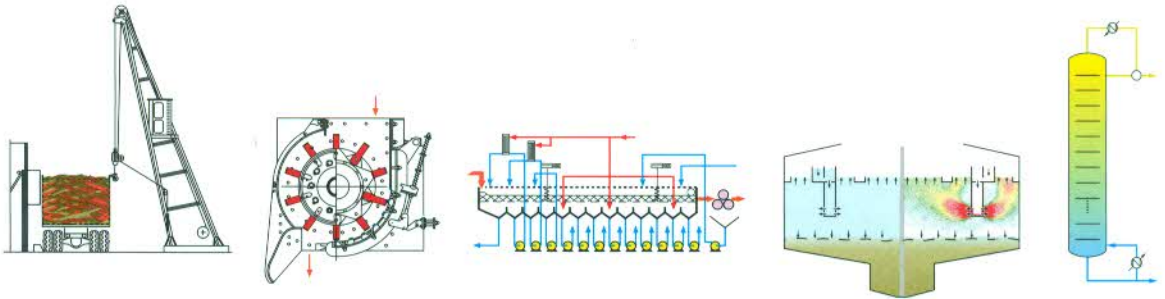


Peter Rein

# Producción de Etanol

de Ingeniería de la Caña de Azúcar



**Peter Rein**

# **Producción de etanol**

DE

## **Ingeniería de la Caña de Azúcar**

C. E. VAZ ROSSELL

Coordinator, Biomass Process Division of Brazilian Bioethanol Science and Technology Laboratory. Formerly in Food Engineering at State University of Campinas, and Head of Process Division at Copersucar, Brazil.

C.K. YAMAKAWA

Engineer, Brazilian Bioethanol Science and Technology Laboratory. Formerly at Dedini Indústrias de Base, Brazil.

E.C. RIVERA

Researcher, Brazilian Bioethanol Science and Technology Laboratory. Formerly in Chemical Engineering at State University of Campinas, Brazil.

J. NOLASCO JR

Researcher, Brazilian Bioethanol Science and Technology Laboratory. Formerly in Process Division Copersucar, Dedini Indústrias de Base, and Amyris, Brazil.

Traducido del inglés por Miguel Valz i : Alejandro Villegas Martinez

**Verlag Dr. Albert Bartens KG – Berlin 2020**

## Contenido

25	<b>PRODUCCIÓN DE ETANOL</b>		
25.1	Calidad del etanol y especificaciones del producto	5	
25.1.1	Etanol combustible	7	
25.1.2	Etanol industrial	7	
25.1.3	Etanol potable	7	
25.2	Producción simultánea de azúcar y etanol	7	
25.3	Proceso de fermentación	8	
25.3.1	Glicolisis	8	
25.3.2	Levadura	9	
25.4	Fundamentos de la fermentación	10	
25.4.1	Cinetica	10	
25.4.2	Temperatura	10	
25.4.3	Concentración de etanol	11	
25.4.4	Población de levadura	11	
25.5	Sistemas de fermentación	13	
25.5.1	Pretratamiento de materia prima	13	
25.5.2	Fermentación por lotes o tipo batch	13	
25.5.3	Reciclo de la levadura	17	
25.5.4	Reciclo de la vinaza	18	
25.5.5	Sistema de fermentación continua	18	
25.5.6	Biostil	20	
25.6	Rendimientos de etanol	21	
25.6.1	Estequiometría	21	
25.6.2	Infección bacteriana	21	
25.6.3	Monitoreo de la eficiencia	22	
25.6.4	Rendimiento práctico	23	
25.7	Separación de levadura	24	
25.7.1	Centrifugación	24	
25.7.2	Floculación	26	
25.8	Destilación	27	
25.8.1	Fundamentos	27	
25.8.2	Relaciones de equilibrio	28	
25.9	Sistemas de destilación	31	
25.9.1	Etanol hidratado	31	
25.9.2	Separación de impurezas	34	
25.9.3	Etanol industrial	36	
25.9.4	Alcohol extra neutro	36	
25.10	Producción de alcohol anhidro	36	
25.10.1	Destilación azeotrópica	37	
25.10.2	Destilación extractiva	38	
25.10.3	Tamices moleculares	38	
25.10.4	Comparación de las opciones	39	
25.11	Consumo de energía de los sistemas de destilación	40	
25.11.1	Columnas de presión atmosférica	40	
25.11.2	Columnas al vacío	41	
25.11.3	Destilación multi-presión	42	
25.12	Equipo de destilación	42	
25.12.1	Internos de las columnas	42	
25.12.2	Ebullidor	44	
25.13	Operación y Control	45	
25.13.1	Control de proceso	45	
25.13.2	Eficiencia	47	
25.13.3	Incrustación y limpieza	47	
25.14	Recuperación del dióxido de carbono	48	
25.15	Almacenamiento y manejo	48	
25.15.1	Administración del tanque	48	
25.15.2	Requerimientos de seguridad	50	
25.15.3	Construcción	51	
25.16	Producción y disposición de vinaza	52	
25.16.1	Cantidad de vinaza	52	
25.16.2	Fertirriego	52	
25.16.3	Concentración por gravedad	54	
25.16.4	Uso en la producción de compost	57	
25.16.5	Combustión de la vinaza	58	
25.16.6	Digestión anaeróbica de la vinaza	58	
25.17	Economía de la producción de etanol	59	
25.17.1	Rendimiento de etanol	60	
25.17.2	Uso de energía	60	
25.17.3	Otros costos	60	
25.18	Etanol a partir de biomasa de caña	60	
25.18.1	Rutas de fermentación	61	
25.18.2	Gasificación	62	

## Lista de símbolos

<i>m</i>	Masa	g or kg or t
<i>p</i>	Presión	kPa o Pa
<i>p</i>	Presión parcial	
<i>r</i>	Relación	
<i>t</i>	Temperatura en grados centígrados	°C
<i>w</i>	Fracción másica	g/100 g
<i>x</i>	Fracción molar del líquido	
<i>y</i>	Fracción molar del vapor	
<i>A</i>	Área	m <sup>2</sup>
<i>N</i>	Número de ciclos	
<i>P</i>	Pureza	%
<i>R</i>	Velocidad de crecimiento	kg/s
<i>V</i>	Volumen	m <sup>3</sup>
<i>Ṽ</i>	Tasa de flujo volumétrico	m <sup>3</sup> /s
<i>μ</i>	Tasa de crecimiento específico	h <sup>-1</sup>
<i>ρ</i>	Densidad	kg/m <sup>3</sup>
<i>τ</i>	Tiempo	s, h o días
<i>φ</i>	Fracción volumétrica	

## Subíndices

<i>c</i>	Caña
<i>i</i>	Entrada
<i>max</i>	Máximo
<i>min</i>	Mínimo
<i>o</i>	Salida, descarga
<i>sat</i>	Saturado
<i>tot</i>	Total
<i>TSAI</i>	Azúcares totales expresados invertidos
<i>CFM</i>	Mosto fermentado centrifugado
<i>CO<sub>2</sub></i>	Dióxido de carbono
<i>DS</i>	Materia seca o sólidos disueltos (Brix)
<i>Eth</i>	Etanol
<i>F</i>	Alimenta
<i>FM</i>	Mosto fermentado
<i>Gly</i>	Glicerol
<i>RDS</i>	Sólidos disueltos refractométricos
<i>S</i>	Azúcar
<i>Vin</i>	Vinaza
<i>Y</i>	Levadura

## Abreviaturas

<i>CEC</i>	Capacidad de intercambio catiónico
<i>COD</i>	Demanda química de oxígeno
<i>CSTR</i>	Reactor de tanque agitado continuo
<i>DS</i>	Materia seca o sólidos disueltos (Brix)
<i>ICUMSA</i>	Comisión Internacional para la Uniformidad de los Métodos de Análisis de Azúcar
<i>MEG</i>	Monoetilenglicol
<i>RDS</i>	Sólidos disueltos refractométricos
<i>TSAI</i>	Azúcares totales expresados como invertidos
<i>UASB</i>	Reactor anaerobio de flujo ascendente

## Índice de anuncios

ATS, 12 calle 15-63, zona 1 Guatemala

contraportada interior

Interis Tech, 77420 Champs-Sur-Marne, Francia

contraportada interior

Schill+Seilacher "Struktol" GmbH, 22113 Hamburg, Germania

portada interior

Vogelbusch Biocommodities GmbH, 1051 Wien, Austria

portada interior