

# Simulación del proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto

Simulation of the malt production process from red sorghum CIAP R-132 at pilot scale

A. Pérez-Sánchez  ; W. S. Dos-Santos-Lima  , I. Benitez-Cortés 

**Resumen**—La maltina es una bebida alimenticia carente de alcohol, muy demandada en la actualidad debido a su elevado contenido nutritivo. En el presente trabajo se efectuó la simulación de una planta de producción de maltina a escala piloto (150 L/lote), empleando sorgo rojo CIAP R-132 como materia prima principal. Se efectuó un estudio de sensibilidad consistente en 11 corridas experimentales, mediante el cual se evaluó la influencia de tres variables de entrada (capacidad de producción de maltina por lote; costo de adquisición del sorgo rojo; y precio de venta de la botella de maltina) sobre tres indicadores económicos de importancia: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI). Se deben invertir \$ 613 000 pesos cubanos (PC) para erigir la planta de producción, el costo unitario de producción alcanzó un valor de PC \$ 3,73/botella, mientras que se obtuvo un valor de VAN, TIR y PRI de PC \$ 3 661 000, 63,20 % y 1,02 años, respectivamente, lo cual califica al proceso de económicamente rentable y factible desde el punto de vista inversionista. El estudio de sensibilidad permitió obtener ecuaciones que establecen la correlación estadística existente entre las 3 variables de entrada y las 3 de salida. Se empleó el simulador SuperPro Designer® v.8.5 para efectuar la simulación, y el software Statgraphics Centurion XVI® para el procesamiento estadístico de los datos.

**Palabras claves**—Análisis de sensibilidad; maltina; rentabilidad; sorgo; simulación.

**Abstract**— The malt is a nutritious drink lacking of alcohol, very demanded today due to its elevated nutritive content. In the

present work, a simulation of a pilot scale malt production plant (150 L/batch) was carried out, using red CIAP R-132 sorghum as the main raw material. A sensitivity study consisting of 11 experimental runs was carried out, through which the influence of three input variables (malt production capacity per batch, acquisition cost of red sorghum, and sale price of the malt bottle) was evaluated on three important economic indicators: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Period of Recovery of Investment (PRI). \$ 613,000 Cuban pesos (CUP) must be invested to erect the production plant, the unit cost of production reached a value of CUP \$ 3.73/bottle, while values of NPV, IRR and PRI of CUP \$ 3,661,000, 63.20% and 1.02 years were obtained, respectively, which qualifies the process as economically profitable and feasible from the investor's point of view. The sensitivity study allowed obtaining equations that establish the statistical correlation between the three input variables and the three output variables. The SuperPro Designer® v.8.5 simulator was used to carry out the simulation, and the Statgraphics Centurion XVI® software for the statistical processing of the data.

**Index Terms**— Sensitivity analysis; malt; profitability; sorghum; simulation.

## I. INTRODUCCIÓN

EL sorgo tropical (*Sorghum bicolor* L. Moench) es un cereal que se cultiva ampliamente en todo el mundo para la alimentación. Es alimento clave en muchas partes del mundo en desarrollo especialmente en los más secos y marginales de los semitrópicos [1]. Es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo después del trigo, el arroz, el maíz y la avena [2]. Constituye un cereal que contiene muchas propiedades beneficiosas. Su cultivo es económicamente rentable, basado en su bajo costo de producción, sus características de rusticidad, resistencia a la sequía, la realización de varias cosechas o cortes, así como la no utilización de productos químicos en el control de elementos nocivos, con lo cual se protege el medio ambiente [3].

La maltina es una bebida alimenticia y nutritiva, obtenida de un mosto preparado a base de malta de granos, sometido a un proceso de cocción y aromatizado o no sus extractos con flores de lúpulo. Se diferencia de la cerveza en que no es

Este manuscrito fue enviado el 01 de agosto de 2019 y aceptado el 04 de marzo de 2020.

A. Pérez-Sánchez. Profesor Instructor de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Camagüey, Carretera Circunvalación Norte, km 5 ½, Camagüey, Cuba. (email: amaury.psanchez@reduc.edu.cu)

W. S. dos Santos-Lima. Estudiante de Ingeniería Química, de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Camagüey, Carretera Circunvalación Norte, km 5 ½, Camagüey, Cuba. (email: sorylima@gmail.com)

I. Benítez-Cortés. Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Camagüey, Carretera Circunvalación Norte, km 5 ½, Camagüey, Cuba. (email: isnel.benites@reduc.edu.cu)



sometido a fermentación, por tanto carece de graduación alcohólica [1].

La malta de cebada se ha empleado tradicionalmente en la obtención de bebidas, como cerveza y maltinas y en la obtención directamente de etanol, por su elevada actividad diastática o amilolítica comparada con la de otros cereales, pero para muchos países como Cuba es una materia prima de importación. Por otro lado, existen personas que no pueden ingerir los alimentos producidos a partir de cebada por el tipo de proteína que presenta este cereal [4]. Las potencialidades que tiene el sorgo para la producción de bebidas no alcohólicas, como la maltina, radican, en primer lugar, para suplementar la dieta de los enfermos celíacos y en segundo lugar para reducir la importación de cebada malteada mediante una sustitución parcial, debido a que la malta de sorgo presenta bajo poder diastático [1].

La simulación se está convirtiendo en un requerimiento obligatorio para efectuar el diseño de procesos químicos. Mediante el uso de la simulación, los ingenieros pueden identificar problemas potenciales en el tiempo y tomar acciones correctivas. Un uso común que posee la simulación es el mapeo de procesos y el análisis de costo. El mapeo de proceso permite a los investigadores analizar y predecir la respuesta de determinadas operaciones ante ciertos valores de entrada específicos. El análisis de costo identifica las etapas costosas del proceso y otras partidas de costo que tiene un mayor impacto en la economía global del proceso de producción evaluado [5]. La simulación de procesos entonces no es más que la aplicación de herramientas de software para analizar operaciones unitarias individuales (o etapas de proceso) y sus relaciones dentro del proceso global [6].

En muchos campos, tales como el químico, biotecnológico y petrolífero, se han desarrollado simuladores específicos entre los cuales se pueden mencionar el Aspen Plus®, ChemCAD® y el Hysys®. Entre los múltiples simuladores existentes en la actualidad, el SuperPro Designer® es uno de los más relevantes para la industria de procesos químicos, ya que permite simular mediante un ordenador, distintos procesos y operaciones a diversas escalas de producción. Este simulador ha sido empleado fundamentalmente para la realización de balances de masa, estudios de factibilidad, análisis económicos de variantes, así también como el diseño y evaluación conceptual de procesos y sistemas químicos industriales [7] [8] [9] [10].

Hasta la fecha, el sorgo rojo variedad CIAP R-132 ha sido utilizado para evaluar el proceso de molienda en húmedo para la extracción del almidón contenido en los granos [4]; la producción de jarabes dextrinizados mediante hidrólisis enzimática del almidón aplicando la enzima  $\alpha$ -amilasa [11]; como componente adjunto mezclado con cebada para la obtención de cerveza y malta a escala piloto (50 L) [2] y como única materia prima para la obtención de cerveza a escala de laboratorio [12]. Sin embargo, hasta la fecha no se ha reportado su empleo de forma integral para la producción de maltina a escala de planta piloto, por lo que no se conoce que valores tendrán los principales indicadores técnico-económicos de una planta de este tipo.

Los elementos descritos hasta aquí muestran la necesidad de realizar un estudio que analice la factibilidad económica de

una planta de producción de maltina a escala piloto (150 L/lote) empleando sorgo rojo como materia prima integral. De esta manera, en el siguiente trabajo se realiza la simulación de un proceso de producción de maltina a escala piloto, consumiendo sorgo rojo CIAP R-132, con el objetivo de conocer los valores de los principales indicadores de rentabilidad económica de la tecnología de producción propuesta.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Descripción del proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132.

En La Fig. 1 se expone el diagrama de bloques conteniendo las principales operaciones involucradas en el proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132.

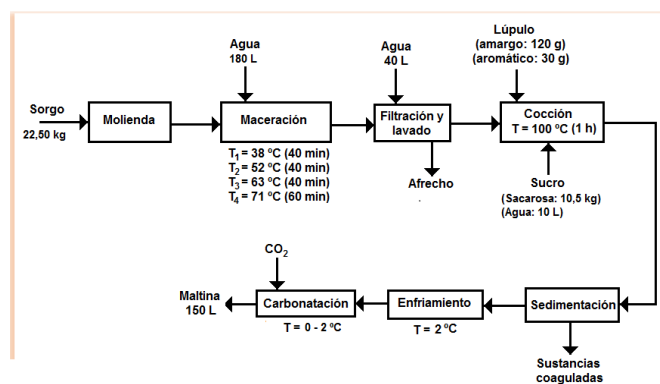


Fig. 1. Diagrama de bloques del proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132.

Este proceso consta de siete etapas fundamentales, las cuales son:

1. Molienda del grano.
2. Maceración.
3. Filtración y lavado.
4. Cocción.
5. Enfriamiento primario y clarificación.
6. Enfriamiento secundario y carbonatación.
7. Envasado

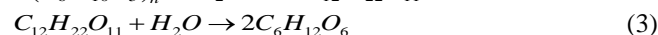
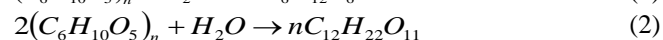
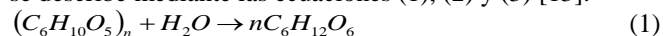
#### 1) Molienda del grano

Se procede a moler 22,50 kg de granos de sorgo rojo CIAP R-132 en un molino de disco hasta obtener una consistencia de harina granulada.

#### 2) Maceración

La maceración consta de 4 pausas de temperatura, en donde primeramente se calienta el agua contenida en el macerador hasta una temperatura de 38 °C, para entonces agregar el sorgo previamente molido. La mezcla sorgo-agua se mantiene en esta temperatura por espacio de 40 minutos. Cumplido este tiempo se procede a incrementar la temperatura de maceración hasta 52 °C, y se mantiene en este valor por un tiempo de 40

minutos. En esta pausa se agrega el licor enzimático Fungamyl 800L a una concentración de 0,1 g/L. A continuación se incrementa la temperatura del proceso hasta 63 °C, manteniéndose en este punto por espacio de otros 40 minutos. Luego se aumenta la temperatura hasta 71 °C y se conserva el macerado en este valor por un tiempo de 60 minutos. Una vez terminado este tiempo, la temperatura de la mezcla se incrementa hasta 78 °C y se mantiene en este valor por un tiempo de 10 minutos, con el fin de detener la actividad enzimática. La reacción de hidrólisis enzimática del almidón se describe mediante las ecuaciones (1), (2) y (3) [13]:



Con la aplicación de estas pausas de temperatura se logra una correcta sacarificación del almidón contenido en el sorgo en azúcares fermentables. Todo el proceso de maceración se realiza a una velocidad de agitación de 80 rpm, y la maceración que se lleva a cabo en este proceso es la del tipo por infusión.

### 3) Filtración y lavado

Se procede a filtrar la mezcla obtenida al finalizar la maceración mediante un colador, obteniéndose el mosto filtrado (líquido) y el grano de sorgo húmedo (afrecho). El afrecho es lavado con agua caliente a una temperatura de 70 °C, para disolver los azúcares que aún pueda quedar remanentes en el sólido, mientras que el mosto es bombeado de vuelta hacia el macerador, para proceder a la cocción.

### 4) Preparación del sucro

En un recipiente aparte se diluyen 10,50 kg de azúcar crudo en 15 L de agua, y se procede a esterilizar la mezcla resultante (sucro) a 121 °C por espacio de 20 minutos. Una vez esterilizado, el sucro es enfriado.

### 5) Cocción

El mosto contenido en el macerador es calentado hasta 100 °C, en donde se le agregan 120 g de lúpulo amargo a los 10 minutos de haber comenzado la cocción, mientras que se añaden 13,95 kg de color caramelo y 30 g de lúpulo aromático faltando 15 minutos para concluir la cocción. También se le agrega todo el sucro previamente esterilizado al inicio del proceso de cocción. El mosto es mantenido en 100 °C por un espacio de tiempo de 60 minutos, mientras que se lleva a cabo la agitación de la mezcla a una velocidad de agitación de 60 rpm.

### 6) Enfriamiento primario y clarificación

Concluida la etapa de cocción, el mosto caliente es bombeado hacia un sedimentador (Whirlpool), en donde se lleva a cabo su enfriamiento hasta una temperatura de  $\pm 30$  °C haciendo circular agua de enfriamiento por la chaqueta del equipo. Este enfriamiento produce la sedimentación de partículas coagulables, impurezas y otras sustancias sedimentables hacia el fondo del equipo, mientras que por el sobrenadante se obtiene la maltina clarificada.

### 7) Enfriamiento secundario y carbonatación

Una vez que el líquido clarificado llega a los 30 °C dentro del sedimentador, es bombeado hacia el reactor, en el cual se le reduce su temperatura hasta 1-2 °C haciendo circular agua alcoholada (glicol) por el interior del serpentín del reactor. Cuando se alcanza esta temperatura se procede a carbonatar la maltina fría inyectándole dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gaseoso hasta total saturación, obteniéndose maltina fría carbonatada lista para ser consumida.

### 8) Envasado

La maltina fría y carbonatada es envasada en botellas de cristal de 350 mL de capacidad, para luego ser tapadas.

### B. Simulación del proceso de producción en el simulador SuperPro Designer

El proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132 fue simulado empleando el simulador SuperPro Designer® v. 8.5, aplicando las herramientas de balance de masa y energía, diseño de equipos y cálculos económicos que contiene este software (Ver Fig. 2).

Esto permitió obtener cierto número de parámetros técnico-económicos del proceso bajo estudio tales como VAN, TIR, PRI, costos fijos, costos de operación, costo unitario de producción, margen bruto y neto, % de retorno de la inversión, entre otros.

Durante la simulación se asumió que la planta tiene un periodo de construcción de 12 meses, con 2 meses para efectuar la arrancada y puesta en marcha. La capacidad de producción de la planta se toma en 150 L/lote. Se tomó en cuenta un tiempo de vida del proyecto de 15 años, en donde la planta produce al 100 % de capacidad durante todo su tiempo de vida. El valor del VAN fue determinado considerando una tasa de interés del 11 %, y se tomó en cuenta un 32 % de impuestos por concepto de ingresos. Por su parte, el costo de validación y puesta en marcha se asumió como un 15% del Capital Fijo Directo (CFD), los costos relacionados con el Aseguramiento y Control de la Calidad se asumen como un 15 % del Costo Total de la Mano de Obra, y se aplicó un salario promedio de \$ 3,00/hora para los operarios que trabajan en la planta, y de \$ 5,00/hora para los supervisores y personal de dirección.

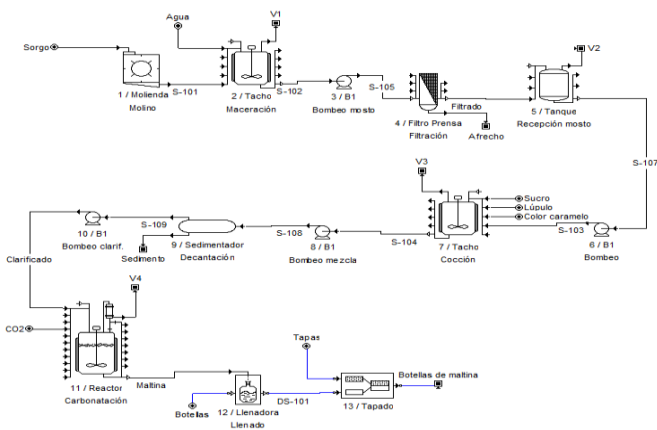


Fig. 2. Diagrama de flujo del proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132 obtenido mediante el simulador SuperPro Designer®

Se asumió también que no existe rechazo del producto por no cumplir con las normas de calidad establecidas, que se erogan alrededor de \$ 3 000 anuales para efectuar operaciones de validación del proceso productivo, y que los costos relativos al tratamiento de residuales de la planta constituyen un 20% del costo total de operación.

La planta consume agua de enfriamiento, glicol, electricidad y vapor de agua, y opera 11 meses al año, empleando un mes para realizar operaciones de mantenimiento y reparación de equipos y sistemas auxiliares. La Tabla I muestra el costo de adquisición de las principales materias primas, servicios auxiliares, materiales utilizados, y el precio de venta los productos obtenidos en el proceso productivo.

TABLA I.

COSTO DE ADQUISICIÓN DE LAS PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS OBTENIDOS EN EL PROCESO PRODUCTIVO, LOS CUALES FUERON EMPLEADOS EN LA SIMULACIÓN.

Partida	Precio	Unidad
Sorgo rojo CIAP R-132	14,05	PC \$/kg
Agua	0,10	PC \$/m3
Lúpulo amargo	51,228	PC \$/kg
Lúpulo aromático	65,31	PC \$/kg
Azúcar crudo	356,15	PC \$/Ton
Afecho	60,00	PC \$/Ton
Agua de enfriamiento	0,05	PC \$/Ton
Glicol	0,40	PC \$/Ton
Vapor de agua	3,50	PC \$/Ton
Electricidad	1,20	PC \$/kWh
Botella 350 mL	0,306	PC \$/U
Tapas	0,007	PC \$/U
Maltina envasada en botellas de 350 mL	6,00	PC \$/botella

La Tabla II expone los costos de adquisición de cada equipo empleado en el proceso de producción, de acuerdo con la bibliografía consultada [14] [15] [16]. El producto final obtenido (maltina) se envasará en botellas de cristal de 350 mL de capacidad.

TABLA II.

COSTO DEL EQUIPAMIENTO PRINCIPAL EMPLEADO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MALTINA A PARTIR DE SORGO ROJO CIAP R-132.

Equipo	Características	Cantidad	Costo total (PC \$)
Molino de discos	10 kg/h	1	10 200
Macerador	180 L	1	13 000
Filtro colador	12 m2	1	3 000
Tanque recepción mosto	200 L	1	10 000
Sedimentador	180 L	1	14 300
Reactor	200 L	1	15 700
Bomba centrífuga sanitaria	3,5 kW	1	4 900
<b>Total</b>			<b>71 100</b>

La Tabla III exhibe la composición química porcentual del sorgo, el lúpulo y el color caramelo utilizadas en la simulación [17] [18].

TABLA III.

COMPOSICIÓN QUÍMICA PORCENTUAL DEL SORGO, LÚPULO Y COLOR CARAMELO UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN.

Componente	Sorgo (%)	Lúpulo (%)	Color caramelo (%)
Humedad	10,6	10,0	37,5
Almidón	69,3	-	-
Proteína	12,5	15,0	-
Grasa	3,4	-	-
Fibra	2,2	-	-
Cenizas	2,0	3,0	0,5
Resinas	-	15,0	-
Taninos	-	4,0	-
Alfa-ácidos	-	8,0	-
Carbohidratos	-	-	62,0
Lignina	-	45,0	-

C. Evaluación de la sensibilidad de los indicadores seleccionados

Una vez simulado el proceso de producción de maltina en el simulador SuperPro Designer®, se procedió a elaborar un diseño de experimentos del tipo Superficie de Respuesta empleando el software estadístico Statgraphics Centurion XVI®, con el objetivo de evaluar la influencia estadística de 3 variables de entrada o iniciales, las cuales son (1) Capacidad de producción de maltina por lote de la planta; (2) Costo de adquisición del sorgo y (3) Precio de venta de la botella de maltina, sobre tres parámetros importantes de salida del proceso: VAN, TIR y PRI. Por tanto se efectuará un estudio de sensibilidad conteniendo 3 entradas y 3 salidas.

Para confeccionar el diseño de experimentos previamente descrito, a los valores utilizados durante la simulación para las 3 variables iniciales consideradas se le aumentará o disminuirá un 20 %, para de esta manera tomar en cuenta posibles variaciones u oscilaciones de los valores que puedan presentar estas variables en el futuro, con el objetivo de evaluar la potencial influencia que puedan presentar estas variaciones en los resultados a obtener del VAN, TIR y PRI, así como también con el fin de seleccionar la corrida (o escenario) más factible desde el punto de vista económico.

Se elaboró un diseño de experimentos del tipo Superficie de Respuesta aleatorizado aplicando la opción “Box-Behnken Design” contenida en el paquete estadístico Statgraphics®, a partir del cual se obtuvieron inicialmente 30 corridas experimentales en total, las cuales fueron posteriormente optimizadas aplicando la herramienta “D-Optimality” contenida en el propio software estadístico, con el objetivo de seleccionar aquellas corridas que presentan mayor influencia estadística sobre las 3 variables de salida tomadas en cuenta, así como también reducir la extensión del estudio de sensibilidad, llegando finalmente a 11 corridas experimentales. En Tabla IV se muestran los valores que deben presentar cada una de las 3 variables de entrada tomando en cuenta el rango de  $\pm 20\%$ , mientras que en la Tabla V se exhiben los valores que deberán presentar estos tres parámetros dentro del diseño de experimentos optimizado conteniendo las 11 corridas experimentales.

TABLA IV.

VALORES QUE DEBEN PRESENTAR CADA UNA DE LAS 3 VARIABLES DE ENTRADA CONSIDERADAS TOMANDO EN CUENTA UN RANGO DE VARIACIÓN DE  $\pm 20\%$

Parámetro	Valor utilizado	Valor mínimo (- 20 %)	Valor máximo (+ 20 %)
Capacidad de producción (L/lote)	150	120	180
Costo de compra sorgo (PC \$/kg)	14,05	11,24	16,86
Precio de venta maltina (PC \$/botella)	6,0	4,8	7,2

TABLA V.

ESTUDIO DE SENSIBILIDAD OPTIMIZADO CONTENIENDO LOS VALORES A CONSIDERAR DE CADA PARÁMETRO DE ENTRADA.

Corrida	Capacidad de producción (L/lote)	Costo de compra sorgo (PC \$/kg)	Precio de venta maltina (PC \$/botella)
1	120	16,86	7,2
2	120	16,86	4,8
3	180	11,24	7,2
4	180	11,24	4,8
5	120	16,86	7,2
6	120	11,24	4,8
7	180	16,86	4,8
8	180	11,24	4,8
9	180	11,24	7,2
10	180	16,86	7,2
11	120	11,24	7,2

#### D. Determinación de la correlación estadística existente entre las variables de entrada y los indicadores VAN, TIR y PRI

Una vez obtenidos los resultados del estudio de sensibilidad se procedió a analizar la correlación estadística existente entre las tres variables de entrada consideradas y los tres parámetros de salida evaluados, con el fin de obtener ecuaciones que describan de forma cuantitativa la relación estadística existente entre cada una de las variables de entrada y las de salida. Esto se llevó a cabo mediante el uso de la opción “Multiple Regression” del paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI®.

También se determinó la corrida o experimento con el resultado económico más positivo con relación a los resultados de VAN, TIR y PRI obtenidos, así como también aquella con el resultado más negativo.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Principales resultados técnico-económicos obtenidos durante la simulación del proceso de producción de maltina a escala piloto.

La Tabla VI muestra los valores de los indicadores técnico-económicos obtenidos durante la simulación del proceso de producción de maltina en el simulador SuperPro Designer®.

TABLA VI.

PRINCIPALES INDICADORES TÉCNICO-ECONÓMICOS OBTENIDOS DURANTE LA SIMULACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MALTINA EN EL SIMULADOR SUPERPRO DESIGNER®

Indicador	Valor
Inversión Total de Capital [PC \$]	613 000
Costo de Operación [PC \$/año]	1 507 000
Ganancias totales anuales [PC \$/año]	2 422 000
Costo Unitario de Producción [PC \$/botella]	3,73
Retorno de la Inversión [%]	98,02
Periodo de Retorno de la Inversión (PRI) [años]	1,02
Tasa Interna de Retorno (TIR) [%]	63,20
Valor Actual Neto (VAN) [PC \$]	3 661 000
Indicador	Valor
Inversión Total de Capital [PC \$]	613 000
Costo de Operación [PC \$/año]	1 507 000
Costo Total Directo de la Planta (CTDP)	
Costo de compra del equipamiento [PC \$]	89 000
Instalación [PC \$]	37 000
Tuberías [PC \$]	31 000
Instrumentación [PC \$]	36 000
Aislamiento [PC \$]	3 000
Sistemas eléctricos [PC \$]	9 000
Edificaciones [PC \$]	40 000
Mejora de terreno [PC \$]	13 000
Instalaciones auxiliares [PC \$]	36 000
Total CTDP [PC \$]	294 000
Costo Total Indirecto de la Planta (CTIP)	
Ingeniería [PC \$]	73 000
Construcción [PC \$]	102 000
Pagos al contratista [PC \$]	23 000
Contingencias [PC \$]	47 000
Total CTIP [PC \$]	245 000
Capital Fijo Directo (CFD) = CTDP + CTIP [PC \$]	539 000
Otros	
Capital de Trabajo [PC \$]	47 000
Costo de arrancada [PC \$]	27 000
Producción de maltina [botellas/año]	403 460
Ganancia bruta anual [\$/año]	915 000
Ganancia neta anual [\$/año]	600 000
Margen en bruto [%]	37,79 %
Gastos anual por salario [\$/año]	92 000

Gasto anual por materia prima [\$/año]	403 000
Gasto por material gastable [\$/año]	32 000
Gasto anual por consumo de servicios auxiliares [\$/año]	24 000
Tiempo del lote [h]	15,48
Número total de lotes/año	387

Tomando en cuenta los resultados mostrados en la Tabla VI, el proyecto puede considerarse de económicamente rentable y confiable desde el punto de vista inversionista (Baca, 2010), ya que el VAN tiene signo positivo (\$ 3 661 000), la TIR es superior al 25 % (63,20 %) y el PRI es inferior a 5 años (1,02), lo cual es sinónimo de rentabilidad y ganancias [14] [19] [20]. La Tabla VII muestra el desglose de las principales materias primas y materiales consumidos por año, y su influencia porcentual en el costo total de producción.

TABLA VII.  
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES, Y SU INFLUENCIA PORCENTUAL EN EL COSTO DE PRODUCCIÓN.

Materia prima o material	Cantidad consumida anual	Costo anual (PC \$)	%
Sorgo	17 696 kg	248 624	61,74
Agua	168 m <sup>3</sup>	17	0,00
Sacarosa	9 314 kg	3 317	0,82
Lúpulo	133 kg	15 505	3,85
Color caramelo	95 hL	5 143	1,28
Dióxido de carbono	8 870 kg	3 714	0,92
Botellas	403 460 U	123 459	30,66
Tapas	403 460 U	2 824	0,70
Tapas	403 460 U	2 824	0,70

La Fig.3 muestra el Diagrama de Gantt obtenido mediante el simulador SuperPro Designer®.

#### B. Evaluación del estudio de sensibilidad efectuado con respecto a las variables iniciales seleccionadas

La Tabla VIII se exponen los resultados del estudio de sensibilidad efectuado tomando en cuenta las 11 corridas realizadas.

TABLA VIII.  
RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA UNA DE LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES INCLUIDAS EN EL ESTUDIO DE SENSIBILIDAD EFECTUADO.

Corrida	VAN (PC \$)	TIR (%)	PRI (años)
1	3 315 841	59,14	1,11
2	- 13 311	6,64	7,11
3	7 997 968	103,36	0,51
4	3 027 315	55,39	1,21
5	3 315 841	59,14	1,11
6	358 242	15,23	4,32
7	2 440 215	47,42	1,46
8	3 027 315	55,39	1,21
9	7 997 968	103,36	0,51
10	7 418 723	98,20	0,56
11	3 706 360	64,14	1,00

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 8, las corridas # 3 y # 9 son las que presentan el escenario económico más positivo con respecto a los valores de VAN (\$

7 997 968), TIR (103,36 %) y PRI (0,51 años). Esto se debe a que en estas corridas se obtiene el mayor valor de la capacidad de producción por lote (180 L/lote), el menor costo de adquisición del sorgo (\$ 11,24/kg) y el mayor precio de venta de la maltina (\$ 7,2/botella). Esto es, se produce a la mayor capacidad de producción posible con el menor costo de adquisición de la principal materia prima consumida (sorgo), y se vende el producto final obtenido (botella de maltina) al mayor precio posible, lo cual interviene de forma positiva en la rentabilidad global de proceso productivo.

Por su parte, la corrida # 2 presenta el peor escenario económico de todas, con un valor del VAN negativo (- \$ 13 311), una TIR de 6,64 % y un PRI de 7,11 años. Esto se debe a que esta corrida presenta la menor capacidad de producción por lote (120 L/lote), el mayor costo de compra del sorgo (\$ 16,86/kg) y el menor precio de venta de la botella de maltina (\$ 4,8/botella).

#### C. Resultados obtenidos con respecto a la correlación estadística existente entre las 3 variables de entrada y los indicadores VAN, TIR y PRI

Mediante la evaluación de la correlación estadística existente entre las tres variables de entrada o iniciales consideradas (capacidad de producción de maltina por lote; costo de adquisición del sorgo rojo; y precio de venta de la botella de maltina) y tres indicadores económicos importantes del proceso (VAN, TIR y PRI), se obtuvieron las ecuaciones (4), (5) y (6):

- Valor Actual Neto:

$$VAN = -1,43956E7 + 57633,9*CP - 99797,7*CS + 1,77474E6*VM \quad (4)$$

- Tasa Interna de Retorno:

$$TIR = -151,032 + 0,659782*CP - 1,14981*CS + 20,7559*VM \quad (5)$$

- Período de Recuperación de la Inversión:

$$PRI = 12,5009 - 0,0356912*CP + 0,0874503*CS - 1,05221*VM \quad (6)$$

Dónde:

CP – Capacidad de producción

CS – Costo de compra del sorgo

VM – Precio de venta de la maltina

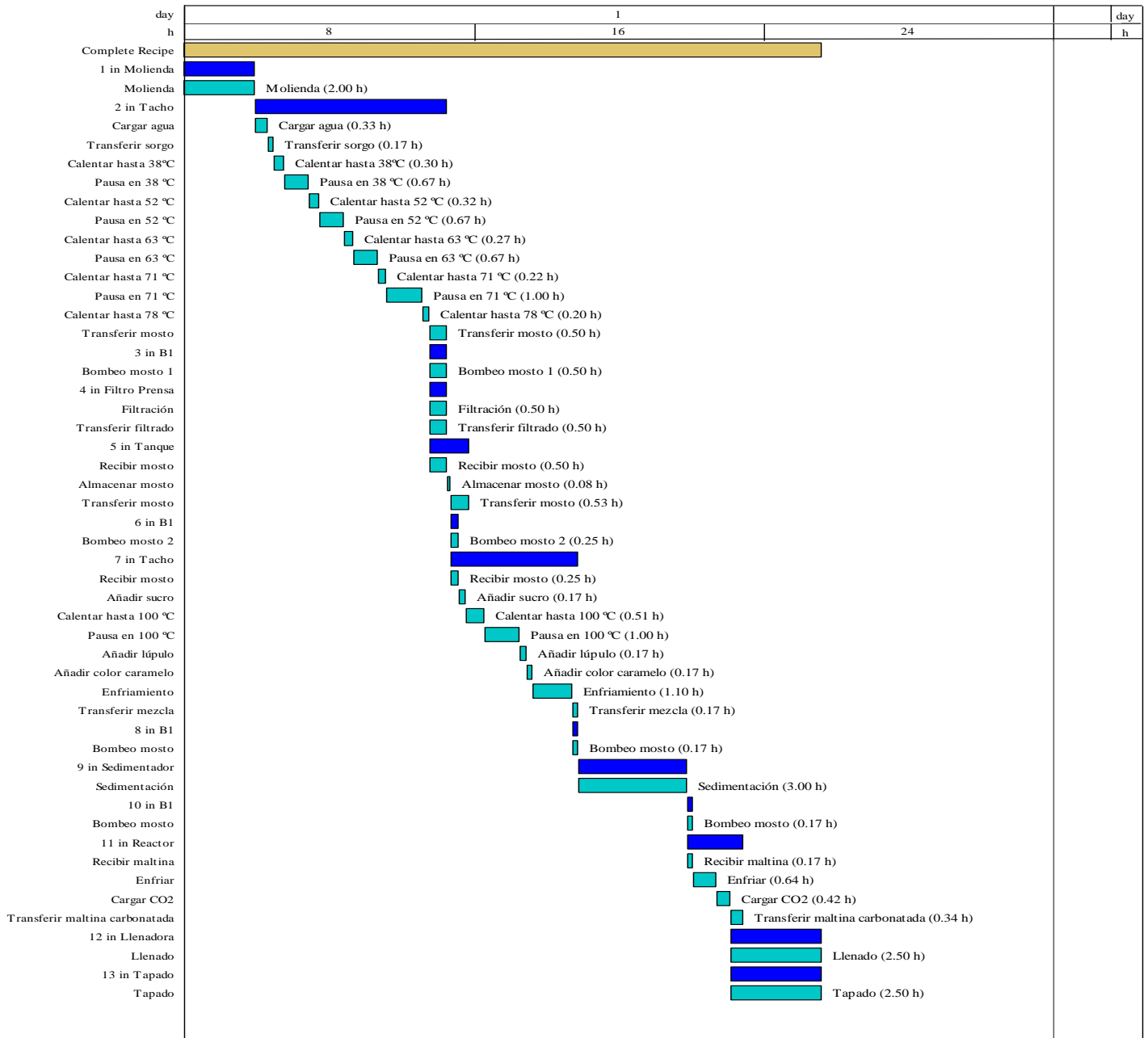


Fig.3. Diagrama de Gantt obtenido mediante el simulador SuperPro Designer®

#### IV. CONCLUSIONES

El proceso de producción de maltina a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala piloto (150 L/lote) puede considerarse de económicamente rentable considerando los valores de VAN, TIR y PRI obtenidos, los cuales fueron de \$ 3 661 000, 63,20 % y 1,02 años, respectivamente.

Las corridas que mejor escenario económico presentaron durante el estudio de sensibilidad efectuado fueron la # 3 y # 9 con una VAN = \$ 7 997 968, una TIR = 103,36 % y un PRI = 0,51 años, mientras que las de peor resultado económico fue la # 2 con un VAN = - \$ 13 311 una TIR = 6,64 % y PRI = 7,11 años.

Se obtuvieron correlaciones estadísticas que permiten relacionar cuantitativamente los indicadores VAN, TIR Y PRI con tres parámetros iniciales del proceso productivo: 1) Capacidad de producción de maltina por lote; 2) Costo de adquisición del sorgo rojo; y 3) Precio de venta de la botella de maltina.

#### REFERENCIAS

- [1] I. Gallardo, Y. Boffill, Y. Ozuna, O. Gómez, M. Pérez, M., y O. Saucedo, "Producción de bebidas usando sorgo malteado como materia prima para enfermos celiacos," *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 4, no. 1, pp. 61-73, Mar. 2013.
- [2] C. Nieblas, I. Gallardo, L. Rodríguez, N. Carvajal, J. F. González, y M. Pérez, "Obtención de bebidas y otros productos alimenticios a partir de dos variedades de sorgo," *Centro Azúcar*, vol. 43, no. 3, pp. 66-77, Jul. 2016.
- [3] Y. Boffill, "Incremento del valor agregado del sorgo mediante procesos biológicos industriales," Tesis de Diploma, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química-Farmacía, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2009.
- [4] L. Rodríguez, I. Gallardo, C. Nieblas, y W. Ortiz, "Evaluación de dos variedades de sorgo para la obtención de almidón," *Centro Azúcar*, vol. 42, no. 1, pp. 88-95, Ene. 2015.
- [5] Y. N. Phan-Thien, "BioMASS v2.0: A new tool for bioprocess simulation," M. S. Thesis, Clemson Univ., South Carolina, USA, 2011.
- [6] N. A. Auli, M. Sakinah, A. M. M. A. Bakri, H. Kamarudin, and M. Norazian, "Simulation Of Xylitol Production: A Review," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 7, no. 5, pp. 366-372, 2013.
- [7] D. Petrides, D. Carmichael, C. Siletti, and A. Koulouris, "Biopharmaceutical Process Optimization with Simulation and Scheduling Tools," *Bioengineering*, vol. 1, pp. 154-187, 2014. DOI: 10.3390/bioengineering1040154.
- [8] D. S. Accardi, P. Russo, R. Lauri, B. Pietrangeli, and L. D. Palma, "From Soil Remediation to Biofuel: Process Simulation of Bioethanol Production from *Arundo donax*," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 43, pp. 2167-2172, Jan. 2015. DOI: 10.3303/CET1543362.
- [9] R. d. C. Miranda, and M. F. Mendes, "Simulation of the extractive distillation of ethanol-water system: evaluation of the influence of different solvents," *New Materials, Compounds and Applications*, vol. 2, no. 2, pp. 152-167, Sept. 2018.
- [10] C. S. Lee, M. F. Chong, E. Binner, R. Gomes, and J. Robinson, "Techno-economic assessment of scale-up of bio-flocculant extraction and production by using okra as biomass feedstock," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 132, pp. 358-369, Feb. 2018. DOI: 10.1016/j.cherd.2018.01.050.
- [11] L. Rodríguez, I. Gallardo, C. Nieblas, J. Medina, y W. Ortiz, "Obtención de jarabes dextrinizados mediante hidrólisis enzimática del almidón de sorgo," *Centro Azúcar*, vol. 42, no. 4, pp. 49-58, Oct. 2015.

- [12] H. M. Alfonso, "Estudio preliminar del proceso de obtención de cerveza a partir de sorgo rojo CIAP R-132 a escala de laboratorio," Tesis de Diploma, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba, 2018.
- [13] V. D. Suárez, I. López, y M. Álvarez, "Estimación de la producción de biogás a partir de un modelo de simulación de procesos," *Centro Azúcar*, vol. 46, no. 1, pp. 73-85, Ene. 2019.
- [14] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, and R. E. West, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 5th ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2003, pp. 485-873.
- [15] R. H. Perry, and D. W. Green, *Chemical Engineers' Handbook*, 8th ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2008, pp. 9-1 – 9-56.
- [16] G. Towler, and R. Sinnott, *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*, 2nd ed., Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2013, pp. 307-354.
- [17] Y. Díaz, "Perfeccionamiento del proceso de malteado de sorgo para la producción de maltinas para enfermos celiacos," Tesis de Diploma, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química-Farmacía, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2014.
- [18] E. J. Pérez, "Simulación del proceso de producción de cerveza a escala piloto," Tesis de Diploma, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba, 2016.
- [19] G. Baca, *Evaluación de proyectos*, 6ta ed., México, D. F., México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. De C.V., 2010, pp. 179-201.
- [20] H. Silla, *Chemical Process Engineering Design and Economics*, New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2003, pp. 43-95.



**Amaury Pérez Sánchez** nació en Camagüey, Cuba en 1984. Recibió su título de Ingeniero Químico por parte de la Universidad de Camagüey en 2009. Actualmente se desempeña como profesor instructor de la Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey. Sus áreas de investigación incluyen la modelación y simulación de procesos químicos y biotecnológicos, diseño de equipos de transferencia de calor y masa, y el diseño de plantas y operaciones de la industria biotecnológica. Su producción abarca la publicación de 19 artículos en revistas indexadas, y la elaboración de un libro de simulación de procesos. Actualmente se encuentra cursando una Maestría en Biotecnología.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0819-6760>



**Welwitcha Sory dos Santos Lima** nació en Angola en el año 1994. En la actualidad se encuentra cursando el 5to año de la carrera de Ingeniería Química en la Universidad de Camagüey, Cuba. Su campo de investigación involucra la evaluación de procesos y operaciones de la industria alimenticia, específicamente en el área de elaboración de cervezas y maltinas, vinos y bioetanol.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9341-6205>





**Isnel Benítez Cortés** nació en Camagüey, Cuba, en el año 1970. Recibió su título de Ingeniero Químico de la Universidad de Camagüey en 1993, y su grado de Doctor en Ciencias Técnicas de la Universidad de Camagüey en el año 2008. Actualmente se desempeña como Profesor Titular y

Decano de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba. Sus áreas de investigación incluyen la evaluación y diseño de plantas y procesos de la industria petroquímica, la modelación y simulación de procesos químicos, evaluación de sistemas y operaciones de combustión, así como también el análisis, diseño y evaluación de sistemas termoenergéticos, generadores de vapor, y procesos y equipos de intercambio de calor y masa.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8969-6213>