



Revista Industrial  
y Agrícola de  
Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea  
1851-3018

Tomo 101 (1):  
1-8; 2024



ESTACION EXPERIMENTAL  
AGROINDUSTRIAL  
OBISPO COLOMBRES  
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150  
T4101XAC - Las Talitas.  
Tucumán, Argentina.

# Análisis de balance de carga y capacidad en la Biofábrica de caña de azúcar del INICA Villa Clara (Cuba)

Miguel Suárez Castellá\*, Rafael Gómez Kosky\*, Aydiloide Bernal Villegas\*, Irenaldo Delgado Mora\* y Edel Toledo Rodríguez\*.

\* Instituto Nacional de Investigación de la Caña de Azúcar, Villa clara (INICA VC). Autopista Nacional Km 246, Municipio de Ranchuelo, Provincia de Villa Clara, República de Cuba. Email: miguel.suarez.@azcuba.inicavc.cu

## RESUMEN

La propagación *in vitro* constituye una de las tecnologías más importantes utilizada para la multiplicación masiva de diferentes especies vegetales, con alta calidad genética y fitosanitaria. Estas tecnologías se sustentan en la inducción de procesos fisiológicos (brotación, multiplicación, enraizamiento, etc.) y consisten en técnicas predominantemente manuales que requieren de un trabajo intensivo y se llevan a cabo en establecimientos denominados biofábricas, en las que se producen plantas y semillas mejoradas a gran escala. Una de las actividades gerenciales estratégicas en una Biofábrica es la determinación de la capacidad productiva. El objetivo del presente trabajo es definir métodos de análisis de balance de carga y capacidad de la Biofábrica de caña de azúcar del INICA Villa Clara (Cuba), acorde a las características y exigencias de las tecnologías de propagación *in vitro*. Se estimó la capacidad productiva en las cabinas de flujo laminar, capacidad en la siembra manual de plantines en la fase de aclimatización *ex vitro* y capacidad de esterilización de una autoclave vertical. Se definió como punto crítico y limitante las cámaras de crecimiento, con capacidad para 500.000 explantes al año, ya que la demanda anual es de 1.000.000 de plantas aclimatizadas.

**Palabras clave:** balance de carga y capacidad de producción, biofábrica, propagación *in vitro*

## ABSTRACT

### Load and capacity balance analysis methods in the sugarcane Biofactory of the INICA Villa Clara

*In vitro* propagation is one of the most important technologies used for the massive multiplication of different plant species, with high genetic and phytosanitary quality. These technologies are based on the induction of physiological processes (sprouting, multiplication, rooting, etc.) and are predominantly manual techniques that require intensive work and are carried out in establishments called biofactories in which plants and seeds are produced upgraded on a large scale. One of the strategic managerial activities in a biofactory is the determination of the productive capacity. The objective of this work is to define load balance analysis methods and capacity of the sugarcane biofactory of INICA Villa Clara (Cuba) according to the characteristics and demands of *in vitro* propagation technologies. The productive capacity in the laminar flow cabinets, the capacity in the manual planting of seedlings in the *ex vitro* acclimatization phase and the sterilization capacity of a vertical autoclave were estimated. The growth chambers were defined as a critical and limiting point, with a capacity for 500,000 explants per year, since the annual demand is 1,000,000 acclimatized plants.

**Key words:** load balance and production capacity, biofactory, *in vitro* propagation.

Fecha de  
recepción:  
03/05/2022

Fecha de  
aceptación:  
19/02/2024

**INTRODUCCIÓN**

La propagación *in vitro* es un conjunto de técnicas y métodos de cultivo de tejidos utilizados para multiplicar plantas asexualmente de forma rápida, eficiente y en grandes cantidades. Es conocido que la calidad del material de propagación utilizado en los diferentes cultivos tiene un alto impacto en los rendimientos agrícolas, por lo que la propagación *in vitro* constituye una de las tecnologías más importantes en la generación masiva de plantas con alta calidad genética y fitosanitaria (Pérez *et al.* 2018; FAO, 2020).

Las tecnologías de propagación *in vitro* se sustentan en operaciones en su mayoría manuales y a la vez en procesos fisiológicos con respuestas no totalmente estandarizadas, siendo ambas características elementos clave para el logro de las metas productivas (Orellana y Suarez, 2017; Romero, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, una de las actividades gerenciales estratégicas es la evaluación de la capacidad productiva de las biofábricas, ya que de esto se definen las potencialidades reales de las mismas (Cristofan, 2020).

Existen diversas definiciones sobre capacidad productiva, en especial la instalada. Una de ellas es la cantidad de máquinas y equipos que una organización posee, así como el potencial de producción que estos equipos permiten alcanzar (Schroeder, 2011; Paredes, 2013; López-Calva, 2019).

La producción masiva de plantas *in vitro* se realiza a través de diversos procesos y operaciones que tienen diferentes capacidades productivas, considerando un determinado período de tiempo. En la literatura científica consultada están definidos los métodos para el análisis de carga y capacidad; sin embargo, las peculiaridades de la producción masiva de plantas *in vitro* requieren de variantes de estos métodos para poder determinar la situación del flujo productivo y en especial, su continuidad en las biofábricas.

Estos balances son de vital importancia para el cumplimiento de los planes. Su desconocimiento genera incumplimientos en la producción de plantas *in vitro* y un inadecuado empleo de los recursos disponibles, que conllevan elevados costos de producción.

El presente trabajo tuvo como objetivo definir los métodos de análisis de balances de carga y capacidad adecuados a las características y exigencias de la tecnología de propagación *in vitro*. Estas fueron aplicadas en la

biofábrica de caña de azúcar del INICA VC. Se determinaron en el proceso las limitantes de la capacidad productiva y se proponen las soluciones a adoptar, así como las medidas correspondientes para el logro de las metas a alcanzar.

**CARACTERÍSTICAS DE LA BIOFÁBRICA OBJETO DE ESTUDIO Y PRINCIPALES CONCEPTOS SOBRE BALANCES DE CARGA Y CAPACIDAD**

**Características de la biofábrica objeto de estudio**

La biofábrica de caña de azúcar objeto de estudio dispone de tres áreas de trabajo, las cuales están adecuadas a las exigencias de las tecnologías de propagación *in vitro* que se aplican: preparación de medios de cultivo, producción *in vitro* y aclimatización (Tablas 1, 2 y 3). Cuenta con cuatro especialistas distribuidos en la dirección de la biofábrica, control de calidad, producción *in vitro* y aclimatización *ex vitro*, respectivamente. Laboran 27 trabajadores: seis operarias de cabinas de flujo laminar (CFL), un auxiliar de CFL, ocho trabajadores en preparación de medios de cultivo y seis trabajadores en el área de aclimatización *ex vitro* tipo umbráculo.

Se emplea la tecnología de propagación *in vitro* vía organogénesis mediante Sistema de Inmersión Temporal (Pérez *et al.*, 1998; Georgiev *et al.*, 2014) para la producción de plantas *in vitro* de caña de azúcar. Esta se combina con la embriogénesis somática en la Fase 0 y I, con la inclusión de un banco de plantas donantes en condiciones semi controladas (Bernal *et al.*, 2021) y el establecimiento *in vitro*, tomando como explante inicial los discos de hojas colocados en un medio de cultivo específico para la regeneración de plantas *in vitro* de caña de azúcar.

Esta tecnología se sustenta en procesos de producción masiva de plantas *in vitro* que garantizan un mínimo de variabilidad genética (0.5 %) debidamente avaladas por los controles de calidad y la valoración de la satisfacción de los clientes, así como por la selección rigurosa de los explantes iniciales como principio básico de la propagación *in vitro*. Además, contemplan la ocurrencia de pérdidas por contaminación y mortalidad en el proceso, y de los productos terminados del 5 %, lo cual se debe tener en cuenta en la definición de las cargas de producción y su balance con las capacidades productivas instaladas.

**Tabla 1.** Estructura del área de preparación de medios de cultivo, procesos y operaciones de la biofábrica.

N	Área de trabajo	Locales existentes	Procesos	Principales equipos	Operaciones
1	Preparación de medios de cultivo	Lavado de frascos y otros insumos	Preparación de frascos para la producción	Lavaderos (4) Estantes	Lavado de cajas, frascos, tapas, platos y tubos de ensayos
		Descontaminación		Mesa de trabajo	Descontaminación de frascos contaminados
		Formulación de medios de cultivo	Elaboración de medios de cultivos para la producción	pH metro Desmineralizador Conductímetro	Preparación de soluciones madre
		Cocción y esterilización		Autoclave vertical Estufa	Esterilización
		Dosificación de medios de cultivo		Cocina Industrial Mesa de trabajo	Cocción y dosificación de medios de cultivo

**Tabla 2.** Estructura del área aséptica, procesos y operaciones de la biofábrica de caña de azúcar.

N	Área de trabajo	Locales existentes	Procesos	Principales equipos y otros	Operaciones
1	Área aséptica	Cuarto de siembra del banco	Establecimiento y conservación <i>in vitro</i>	Cabina de flujo laminar vertical	Banco de germoplasma
		Cámara de crecimiento del banco		Estantes	
		Cuarto de siembra	Manejo del material <i>in vitro</i>	Cabina de flujo laminar vertical	Trabajo en la cabina de flujo laminar
		Cámara de crecimiento para la multiplicación	Desarrollo de las plantas <i>in vitro</i>	Estantes	Desarrollo de los brotes <i>in vitro</i> en multiplicación
		Cámara de crecimiento para el enraizamiento		Estantes	Desarrollo de las plantas <i>in vitro</i> en enraizamiento

**Tabla 3.** Estructura del área de aclimatización *ex vitro*, procesos y operaciones de la biofábrica de caña de azúcar.

N	Área de trabajo	Locales existentes	Procesos	Principales equipos	Operaciones
1	Aclimatización de plantas	Edificio de preparación y almacenamiento de insumos	Preparación para la siembra	Manual	Preparación de sustratos para la aclimatización de plantas <i>in vitro</i>
		Umbráculo	Desarrollo de la aclimatización	Canteros Bandejas y platos	Operaciones agrotécnicas de las plantas <i>in vitro</i>
					Aclimatización de plantas <i>ex vitro</i>

### Principales conceptos sobre balances de carga y capacidad

Para la aplicación de los métodos de balances de carga y capacidad se tomaron como ejemplo algunos de los procesos y operaciones más importantes en la producción. Estos fueron los definidos por Paredes (2013). Principales conceptos utilizados:

- **Flujo productivo:** Camino que sigue el material vegetal inicial hasta que se obtiene el producto terminado. Este debe tener un funcionamiento armónico y balanceado de la producción junto a los recursos materiales y humanos que intervienen
- **Carga:** Contenido de trabajo (plan de producción, plan de negocios) que debe ejecutarse en cada proceso del flujo productivo, condicionado por la capacidad.
- **Capacidad:** Lo máximo que puede hacerse en cada proceso que integra el flujo productivo

El flujo de producción masiva de plantas *in vitro* es continuo, sin almacenamiento de la producción, donde la materia prima inicial cambia de estado sistemáticamente (Orellana y Suarez, 2017; Romero, 2019). Se realizaron análisis sobre el flujo productivo existente a través del estudio de las capacidades instaladas, aplicando métodos de análisis de carga y capacidad en algunos de los procesos más influyentes en la producción masiva de plantas *in vitro* de la biofábrica objeto de estudio. Para ello se tuvo en cuenta adecuaciones propias de lo que registra la literatura científica consultada (Chase *et al.*, 2005; Kalenatick *et al.*, 2006; Naranjo *et al.*, 2019) y generadas por la tecnología de propagación *in vitro*.

Durante los estudios los balances de carga y capacidad de un flujo productivo se presentan tres si-

tuaciones típicas: que la carga (plan de producción) sea igual que la capacidad productiva instalada ( $Q = C$ ), de lo que se concluye que el flujo está balanceado; que la carga (plan de producción) sea menor que la capacidad productiva instalada ( $Q < C$ ), de lo que se concluye que habrá una subutilización de las capacidades; que la carga (plan de producción) sea mayor que la capacidad productiva instalada ( $Q > C$ ), de lo que se concluye que la carga no se podrá cumplir (Heizer *et al.*, 2009).

En correspondencia con lo anterior, en la realización de los análisis de balances de carga y capacidad se utilizaron dos enfoques: según el punto limitante (Teoría de las restricciones); y según la demanda del cliente (Filosofía “Justo a Tiempo”) (Ilen, 2010; López-Calva, 2019; Cristofan, 2020).

### Métodos de cálculo de las capacidades productivas de la biofábrica

Las capacidades productivas instaladas se calculan a través de un grupo de expresiones de cálculo para los procesos mecánicos y manuales de la biofábrica. (Tablas 4 y 5).

Para el caso del cálculo de las capacidades productivas instaladas de las cámaras de crecimientos se establecen las siguientes expresiones (Tabla 6).

Para el caso del cálculo de las capacidades productivas instaladas en la fase de aclimatización *ex vitro* se establecieron las siguientes expresiones (Tabla 7).

Las expresiones que muestran las Tablas 4, 5, 6 y 7 se corresponden con las particularidades de las tecnologías de propagación *in vitro* y las características de la biofábrica de caña de azúcar del INICA Villa Clara. Las mismas constituyen una variante respecto a lo que definieron otros autores (Acevedo *et al.*, 2010; Naranjo *et al.*, 2019).

**Tabla 4.** Expresiones de cálculo de las capacidades productivas instaladas de equipos de la biofábrica.

Ejemplos de equipos y procesos manuales	Expresiones para el cálculo de las capacidades instaladas	Definición de los términos
Para equipos:  Autoclave vertical  Cabinas de flujo laminar	$Ce = d \times t \times h \times (1 - (m/100))$ (en horas / período (donde período: anual, mensual, semanal, otros))	Ce = Capacidad unitaria del equipo en el proceso d = Cantidad de días laborables en el período que se analiza. t = Número de turnos de trabajo por día h = Número de horas laborables por día. m= % del fondo de tiempo destinado para las actividades de mantenimiento
	$Ne = Q / Ce$ (en número de equipos del proceso)	Ne= Cantidad de equipo Q= Carga ( o plan ) de producción en el proceso
	$Ctoteq = Ce \times Nr \times Ne$ (en unidades físicas/ período)	Ctoteq= Capacidad total de equipos Ce = capacidad unitaria de equipo en el proceso Nr = Norma de rendimiento por trabajador en unidades / día Ne=Numero de equipos existente en el proceso
	$AC = (Clim / Ce) \times 100$ o $(Clim / De) \times 100$	AC= Índice de aprovechamiento de las capacidades productivas del equipo Clim: Capacidad productiva del proceso limitantes o cuello de botella De: Demanda de producción del cliente

**Tabla 5.** Expresiones de cálculo de las capacidades productivas instaladas de procesos manuales de la biofábrica.

Ejemplos de equipos y procesos manuales	Expresiones para el cálculo de las capacidades instaladas	Definición de los términos
Cabinas de flujo laminar	$Co = d \times h \times (1 - (a/100))$ (en horas / período)	Co= Capacidad unitaria de operario en el proceso d = Cantidad de días laborables en el período que se analiza h = Cantidad de horas laborables por día. a = % de ausencia planificada
	$Co = Nr$ (en unidades físicas / día)	Nr = Norma de rendimiento por trabajador en unidades / día
Proceso de siembra manual de plantas en la fase de aclimatización	$No = Q / Co$	No= Cantidad de operario en el proceso Q= Carga ( o plan ) de producción en el proceso
Autoclave vertical	$Ctotop = Co \times Nr \times No$ (en unidades físicas / período)	Ctotop= Capacidad total de operarios en el proceso Co = Capacidad de operario Nr = Norma de rendimiento por trabajador en unidades / día No= Cantidad de operario en el proceso
	$Iajl = (Noreq / No) \times 100$ (en por ciento)	Iajl= Índice de aprovechamiento de la jornada laboral de los operarios en el proceso Noreq= Cantidad de operarios requeridos en el proceso No= Cantidad de operario en el proceso

**Tabla 6.** Expresiones de cálculo de las capacidades productivas instaladas de las cámaras de crecimientos y la fase de aclimatación de la biofábrica.

Área	Procesos	Procedimiento de cálculo	Definición de los términos
Cámaras de crecimientos	Multiplicación y Enraizamiento de las plantas <i>in vitro</i>	Determinación del área neta del frasco (ABF) y el número de explantes por frasco de cultivo (NPF) (en unidades físicas)	ABF= Área neta del frasco de cultivo NPF= Cantidad de explantes por frasco
		Cálculo del área física de un estante $AFE = (A_{BASE} \times ND)$ (en unidades de longitud)	AFE = Área física de un estante $A_{BASE}$ = Área base de un estante ND= Numero de divisiones por estante
		Definición de cantidad de estantes disponibles (NE) (en unidades físicas)	NE= Cantidad de estantes disponibles
		Determinación del área total de estantes disponibles $A_{Ettotal} = AFE \times NE$ (en unidades de longitud)	$A_{Ettotal}$ = Área total ocupada por estantes AFE = Área física de un estante NE= Cantidad de estantes disponibles
		Cantidad de ciclos tecnológicos en cámaras de crecimientos $N_{ciclos} = FTA / T_{ciclo}$ (en unidades)	$N_{ciclos}$ = Cantidad de ciclos tecnológicos en cámaras de crecimientos FTA = Fondo de tiempo anual $T_{ciclo}$ = Tiempo del ciclo tecnológico en cámaras de crecimientos
		Cálculo de la capacidad productiva instalada $CC_{crem} = ((A_{Ettotal} / ABF) \times NPF) \times N_{ciclos}$ (en unidades físicas)	$CC_{crem}$ = Capacidad productiva instaladas en las cámaras de crecimientos ABF= Área neta del frasco de cultivo NPF= Cantidad de explantes por frasco $N_{ciclos}$ = Cantidad de ciclos tecnológicos en cámaras de crecimientos

**Tabla 7.** Expresiones de cálculo de las capacidades productivas instaladas en la fase de aclimatación *ex vitro* de la biofábrica

Procedimiento de cálculo	Definición de los términos
Determinación de la cantidad de canteros disponibles ( $N_{can}$ ), sus dimensiones ( $A_{can}$ ), el área de un contenedor ( $A_{con}$ ) y el número de plantas por contenedor ( $N_{pcon}$ )	$N_{can}$ = Número de canteros disponibles (en unidades físicas) $A_{can}$ = Área de un cantero (en unidades de longitud) $A_{con}$ = Área de un contenedor para la siembra de plantas <i>in vitro</i> $N_{pcon}$ = Número de plantas por contenedor
Cálculo de la cantidad de ciclo tecnológico de las plantas <i>in vitro</i> al año $N_{ciclo} = (FTA / TC)$ (en unidades físicas)	$N_{ciclo}$ = Cantidad de ciclo tecnológico de las plantas <i>in vitro</i> al año FTA = Fondo de tiempo anual (en días) TC= Tiempo del ciclo tecnológico de las plantas (en días)
Cálculo de la cantidad de plantas <i>in vitro</i> por ciclo tecnológico de aclimatación $Pl_{ci} = Q / N_{ciclo}$	$Pl_{ci}$ = Cantidad de plantas <i>in vitro</i> por ciclo tecnológico de aclimatación Q= Carga (o plan) de producción en el proceso $N_{ciclo}$ = Cantidad de ciclo tecnológico de las plantas <i>in vitro</i> al año
Cálculo de la cantidad de contenedores por ciclo  $N_{conc} = (Pl_{ci} / N_{pcon})$ (en unidades físicas)	$N_{conc}$ = Cantidad de contenedores necesarios por ciclo $Pl_{ci}$ = Numero de plantas por ciclo tecnológico de aclimatación de plantas <i>in vitro</i> . $N_{pcon}$ = Número de plantas por contenedor
Cálculo de la cantidad de contenedores para plantas <i>in vitro</i> en un cantero  $N_{con-can} = (A_{can} / A_{con})$ (en unidades físicas)	$N_{con-can}$ = Cantidad de contenedores por cantero disponible $A_{can}$ = Área de un cantero (en unidades de longitud) $A_{con}$ = Área de un contenedor para la siembra de plantas <i>in vitro</i>
Cálculo de la cantidad de canteros para plantas <i>in vitro</i> por ciclo.  $N_{canc} = N_{conc} / N_{con-can}$ (en unidades físicas)	$N_{canc}$ = Cantidad de canteros para plantas <i>in vitro</i> por ciclo $N_{con-can}$ = Cantidad de contenedores por cantero disponible $N_{conc}$ = Cantidad de contenedores necesarios por ciclo
Cálculo de la capacidad productiva anual instalada de la fase de aclimatación  $Ca_{clim} = (N_{conc} \times N_{pcon}) \times N_{ciclo}$ (en unidades físicas)	$Ca_{clim}$ = Capacidad productiva anual instalada de la fase de aclimatación $N_{conc}$ = Cantidad de contenedores necesarios por ciclo $N_{pcon}$ = Número de plantas por contenedor $N_{ciclo}$ = Cantidad de ciclo tecnológico de las plantas <i>in vitro</i> al año

### Resultados de la aplicación del análisis del balance de carga y capacidad de la biofábrica objeto de estudio

Para el desarrollo de este balance de los principales procesos de la biofábrica objeto de estudio se tuvo en cuenta un grupo de datos iniciales (Tabla 8) y mediante expresiones de cálculo definidas en acápite anteriores (Tablas 4, 5, 6 y 7).

**Tabla 8.** Datos de entrada para el balance de carga y capacidad de la biofábrica.

Variables	Datos
Plan anual de producción (Q)	1.000.000 plantas aclimatizadas
Días laborables al año (d)	270 días
Duración de la jornada laboral (h)	8 horas
Número de turnos diarios de trabajo (t)	1 turno

Se realizó el análisis de la capacidad productiva en las cabinas de flujo laminar (CFL) en la biofábrica de caña de azúcar del INICA Villa Clara mediante la Filosofía “Justo a Tiempo” y se recomiendan las mejores variantes a desarrollar para cumplir con la producción y entrega de material propagado.

Con los resultados obtenidos en las Tablas 9, 10 y 11 se procedió al cálculo de las capacidades productivas instaladas. Se determinó, además, el balance de carga y capacidades, empleando un enfoque según el punto limitante (Teoría de las restricciones).

Se tomó como referencias que:

- La demanda anual de 1.000.000 millón de plantas *in vitro* -que para su cumplimiento requiere producir 1.050.000 considerando las pérdidas de producción planificadas- se puede satisfacer, ya que existe una capacidad productiva anual de 5.028.000 de plantas

- Existe subutilización de las capacidades productivas instaladas ( $Q < C$ ), tanto en cabinas de flujo laminar (doble plaza) como de operarias de esos equipos.

A partir de los resultados alcanzados se pueden tener las opciones siguientes para el personal que labora en las Cabinas de Flujo Laminar (CFL), pues con solo

cuatro operarios (el 50% de la mano de obra) es suficiente para cumplir la demanda del año o plan de producción. El resto de puede emplear en otras actividades. A continuación, se muestran variantes a tener en cuenta para lograr un adecuado aprovechamiento de la fuerza de trabajo:

I. Seleccionar las cuatro mejores operarias de CFL para el cumplimiento de la demanda (tanto por su producción como por la calidad) y ponerlas a trabajar en Cabinas de Flujo Laminar (CFL) independientes.

II. A las cuatro operarias de Cabinas de Flujo Laminar (CFL) sobrante se propone reubicarlas en otras actividades tales como limpieza de frascos, preparación de medios de cultivo y auxiliar de CFL. Este personal también quedaría para cubrir las CFL ante inasistencia, vacaciones, etc.

En la Tabla 10 se muestran los datos y operaciones para el cálculo las capacidades productivas instaladas en las cámaras de crecimiento de la biofábrica.

El análisis de la capacidad productiva (Filosofía “Justo a Tiempo”) en las cámaras de crecimientos en la biofábrica indica que la demanda anual de 1.000.000 de plantas aclimatizadas no puede satisfacerse. Esto se debe a que la capacidad de las mismas está limitada a 509.538 plantas *in vitro* por año. Para satisfacer la demanda habría que incrementar la capacidad de las cámaras o construir otra.

Para cumplir con la producción demandada, la dirección de la Biofábrica debe realizar mejoras al proceso productivo e introducir cambios en las tecnologías a emplear para propagar el material vegetal:

- Introducir la embriogénesis somática como tecnología a aplicar durante la propagación *in vitro* de plantas, que genera mayor producción por  $m^2$  de cámaras de crecimientos.

- Realizar estudios de pre inversión con el objetivo de cambiar o modificar los estantes por otros móviles y con mayor cantidad de pisos que permitan reducir las áreas de pasillos.

- Emplear frascos de cultivo de mayor capacidad de explantes y menor área ocupada.

- Introducir los Sistemas de Inmersión Temporal.

A continuación, se muestran en la Tabla 11 los

**Tabla 9.** Cálculo de las capacidades productivas instaladas en cabinas de flujo laminar de la biofábrica de caña de azúcar.

Datos del proceso	Capacidades productivas calculadas
Cantidad de cabinas de flujo laminar existentes (CFL)= 4	2050 horas / año
Cantidad de operarios (No)= 8	2 460 000 plantas <i>in vitro</i> / año
Norma de rendimiento: (Nr) = 1800 explantes / día = 300 explantes/ hora	Cantidad de CFL necesarias = 2 Índice de aprovechamiento del equipo (AC) = 41 %
Índice de mantenimiento de las CFL:(m) = 5 %	2095 horas / año
Índice de ausentismo (a) = 3 %	5.028.000 plantas <i>in vitro</i> /año
	4 operarios
	Índice de aprovechamiento de la fuerza de trabajo (AJL) = 50%

**Tabla 10.** Cálculo de las capacidades productivas instaladas en el proceso de cámaras de crecimientos de la biofábrica.

Datos del proceso	Capacidades productivas calculadas
Área base del estante ( $A_{BASE}$ )= 1.05 m <sup>2</sup>	Área física de un estante= 5.25 m
Numero de divisiones de los estantes (ND)= 5	
Área neta del frasco (ABF) = 0.09 m	
Cantidad de estantes disponibles (NE) = 70	Área total de estantes disponibles= 368 m
Número de explantes por frascos (NPF) = 10	
Fondo de tiempo anual (FTA) = 365 días	Cantidad de ciclos tecnológicos en cámaras de crecimientos = 18
Tiempo de ciclo tecnológico en cámaras de crecimiento (Tciclo) = 21 días	Capacidad productiva instalada cámaras de crecimientos = 509 538 plantas <i>in vitro</i> /año

**Tabla 11.** Cálculo de las capacidades productivas instaladas en el proceso en la Fase de aclimatación *ex vitro*.

Datos del proceso	Capacidades productivas calculadas
Cantidad de canteros disponibles (Ncan)= 30	Nciclo= (FTA / TC) Cantidad de ciclo tecnológico de las plantas <i>in vitro</i> / año = 6
Área de un cantero (Acan)= 12 m	Plci= Q / Nciclo Cantidad de plantas <i>in vitro</i> / ciclo tecnológico de aclimatación = 166 667
Área de un contenedor (Acon) = 0.18 m	Nconc= (Plci / Npcon) Cantidad de contenedores / ciclo = 2778
Número de plantas por contenedor (Npcon)= 60	Ncon-can = (Acan / Acon) Cantidad de contenedores / cantero= 67
	Ncanc= Nconc / Ncon-can Cantidad de canteros / ciclo = 42
Fondo de tiempo anual: (FTA) = 365 días	Caclim = (Nconc x Npcon)) x Nciclo Capacidad productiva anual instalada de la fase de aclimatación = 1 000 080 plantas
Tiempo de ciclo tecnológico en fase de aclimatación (Tciclo) = 60 días	

resultados del cálculo de las capacidades productivas instaladas en la fase de aclimatación de la biofábrica.

Se realizó el cálculo aplicando el enfoque del balance de carga y capacidad según la demanda del cliente (Filosofía “Justo a Tiempo”). El análisis de la capacidad productiva en la fase de aclimatación de la biofábrica de caña de azúcar de INICA Villa Clara indica:

1. Que la demanda anual de 1.000.000 de plantas *in vitro* se puede satisfacer con el área actual, que permite aclimatar 1.000.080 plantas *in vitro*.

2. Existe una adecuada utilización de las capacidades productivas instaladas ( $Q = C$ ).

Como se aprecia, las capacidades productivas calculadas se sustentan en elementos clave tales como normas de trabajo de las operarias de cabinas de flujo laminar en el proceso de siembra, área del envase de cultivo que se emplea en la propagación *in vitro* para las cámaras de crecimiento y área del contenedor de siembra en el área de aclimatación. Por tanto las garantías de la tecno-

logía de propagación masiva de caña de azúcar en cuanto a la estabilidad genética de las plantas y las pérdidas en los procesos y productos terminados no influyen en estos valores.

## CONCLUSIONES

El análisis de balance de carga y capacidad en la biofábrica objeto de estudio demostró la validez de las expresiones y procedimientos de cálculo, así como tener informaciones esenciales para la toma de decisiones para el cumplimiento de los planes de producción con la eficiencia requerida.

Del balance de carga y capacidad realizado en algunos de los procesos (de alta dependencia entre ellos) de la biofábrica objeto de estudio, se desprende que las cámaras de crecimientos representan la capacidad limitante en el flujo productivo, lo que implica que existe una sub utilización de las capacidades de las cabinas de flujo laminar y en la fase de aclimatación, en correspondencia con la carga de producción definida.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Acevedo, J.; M. Gómez; J. Urquiaga; A. González; M. Gutiérrez y M. Hernández. 2010.** La Logística Moderna en la Empresa. Editorial Félix Varela. La Habana. Cuba.
- Bernal, A.; P. Machado; D. Núñez; E. A. Toledo; R. Gómez; A. S. Noguera y A. P. Castagnaro. 2021.** Establecimiento de un banco de plantas madre de caña de azúcar en condiciones semicontroladas para la propagación *in vitro*. *Biotecnología Vegetal* 21(1): 53 - 61.
- Cristofan, F. 2020.** Capacidad de producción: ¿cómo se calcula? [En línea] Disponible en <https://elnuevoempresario.com/glosario/capacidad-productiva/#gs.vv5sf9>.
- Chase, R.; Robert, F. y quilano, N. 2005.** Operations Management for Competitive Advantage. Mc Graw Hill : 12-23
- Heizer, J. y Render, B. 2009.** Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas (8ª Edición). Ed. Pearson. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i1.2540>.
- Ilen, L. 2010.** An Introduction to Stochastic Processes with Applications to Biology. 2 ed. Florida, USA: Chapman & Hall/CRC. 7
- FAO, 2020.** Seguridad alimentaria mundial. Informe anual. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Disponible en <http://www.gestiopolis.com/capacidad-del-sistema-de-produccion>
- Georgiev, V.; A. Schumann; A. Pavlov and T. Bley. 2014.** Temporary immersion systems in plant biotechnology. *Engineering in Life Sciences*, Weinheim 14 (6): 607-62.
- Kalenatnick, D.; C. A. López Bello y L. J. González. 2006.** Modelo de ampliación de la capacidad productiva. *Revista Ingeniería - Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas* 14 (2): 12-18.
- López-Calva, L. 2019.** ¿A dónde se fue toda la capacidad productiva? *Tecnología en Marcha* 29 (1).
- Naranjo, M.; L. González; D. Contreras; Y. Torres; Z. Gutiérrez; M. Cepero; A. Lazo; J. Villegas; O. Teruel y R. Chacón. 2019.** Comportamiento de capacidades y mermas en la producción del Instituto Finlay de Vacunas en el año 2017. *VacciMonitor* 28 (2): 55-61.
- Paredes, W., 2013.** "Capacidad del sistema de producción, conceptos generales." From <http://www.gestiopolis.com/capacidad-del-sistema-de-produccion>
- Orellana, P. y M. Suárez. 2017.** Informe del diagnóstico técnico y organizativo realizado en el laboratorio de cultivo de tejido de CEDEVA, Misión Tacaagle, Formosa, Argentina
- Pérez, A.; D. Leyva y C. Gomes. 2018.** Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (1)
- Pérez, J. 1998.** Aumento de la eficiencia en la micro propagación. En: *Propagación y Mejora Genética de Plantas por Biotecnología*. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Cuba, pp. 179-191.
- Romero, L. 2019.** Trabajo final integrador presentado como requisito para la aprobación de la Especialización en Biotecnología aplicada a cultivo de tejidos vegetales: "Análisis del comportamiento de la calidad en la producción *in vitro* en instalaciones del CEDEVA Misión Tacaaglé, Formosa. Argentina
- Schroeder, R. 2011.** Administración de operaciones. Conceptos y casos contemporáneos. México DF, Editorial McGraw Hill.