



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOVIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

*Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo
Departamento de Ingeniería Industrial*

Trabajo de Diploma

Desarrollo de ecuaciones funcionales para el apoyo a la toma de decisiones en la planificación de la producción masiva de plantas in vitro por embriogénesis somática en el IBP.

Autora: Nelys Anet Alvarez Valdés

Tutor: MsC. Ráynel Domínguez Martínez

Curso: 2013-2014



Bersanierto



Cuando las miserias morales asolan a un país, culpa es de todos los que por falta de cultura y de ideal no han sabido amarlo como patria: de todos los que vivieron de ella sin trabajar para ella.

José Ingenieros

Dedicatoria



Dedicatoria



Agradecimientos

Agradecimientos



Resumer

RESUMEN

El presente Trabajo de Diploma pretende mostrar una contribución al mejoramiento del proceso de planificación de la producción en el Instituto Biotecnológico de las Plantas (IBP/UCLV), que permita adecuarse a las características propias del proceso de producción de plantas *in vitro*. El objetivo fundamental de esta investigación es desarrollar una herramienta que le permita al planificador de la producción conocer en cualquier momento las necesidades de material vegetal por cada fase del proceso productivo para realizar una producción determinada.

La aplicación de esta herramienta permitirá el cumplimiento de los plazos de entrega de los pedidos, mayor exactitud en la fijación de las fechas de entregas permisibles por la biofábrica, precisión en las cantidades de material vegetal por fase para un pedido ocasional y permitirá evaluar diferentes escenarios del proceso de planificación sin tener que desarrollar los planes.



Summary



SUMMARY

This research aims to show a contribution to improving the process of production planning at the Plant Biotechnology Institute (IBP / UCLV), which allows to adapt to the characteristics of the production process of in vitro plants. The main objective of this research is to develop a tool that allows the production planner know at any time the needs of plant material for each phase of the production process for a given crop. The application of this tool will allow compliance with delivery of orders, greater accuracy in setting dates for deliveries permissible biofactory, precise quantities of plant material per phase for an occasional order and will evaluate different scenarios the planning process without having to develop the plans.

Índice



Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Marco teórico y referencial de la investigación	4
1.1 Sistemas de Planificación y Control de la Producción.....	5
1.2 Herramientas para la toma de decisiones en la planificación de la producción.....	11
1.3 Sistemas de ecuaciones funcionales	24
1.4 Planificación de la producción en biofábrica en Cuba	24
1.5 Variables para la planificación en biofábricas	25
1.6 Sistemas de planificación en el IBP.....	27
1.7 Conclusiones parciales	34
Capítulo 2: Definición de las ecuaciones funcionales para el proceso de toma de decisiones en la planificación de plantas in vitro.	36
2.1 Caracterización del proceso productivo de producción de vitro plantas mediante embriogénesis somática.....	36
2.2 Premisas para la planificación de la producción en una biofábrica.....	39
2.3 Definición de las ecuaciones funcionales	40
2.4 Ventajas de la aplicación de las ecuaciones funcionales en la planificación de la producción en el IBP	45
2.5 Conclusiones parciales	46
Conclusiones generales	47
Recomendaciones.....	48
Bibliografía	
Anexos	

Introducción



Introducción

En los últimos años han tenido lugar importantes transformaciones en el funcionamiento de la economía mundial, entre ellas se distinguen el proceso de globalización impulsado por los avances científicos y tecnológicos, la acción a gran escala de las empresas transnacionales cada vez más poderosas y el auge del neoliberalismo como “teoría y práctica” que tratan de imponer los gobiernos de las naciones más desarrolladas y los organismos económicos y financieros internacionales a los países del denominado Tercer Mundo.

En resumen, el panorama económico mundial se está modificando continuamente y como consecuencia directa e inevitable, el mercado se está ampliando al extremo de que está siendo ya considerado como un gran mercado global; sin embargo, no todas las empresas tendrán éxito en acceder y mantenerse en el mismo, sino sólo aquellas que evidencien una alta competitividad, e incluso, excelencia. Tanto la competitividad como la excelencia no son estadíos estáticos, sino altamente dinámicos de la capacidad inmediata y futura, así como de la posibilidad de una empresa de diseñar, producir y vender bienes y servicios cuyos precios y otras cualidades formen un conjunto más atractivo.

En el contexto económico actual, el propósito inmediato de las organizaciones es lograr ventajas competitivas sostenibles, como escalón para lograr sus objetivos de supervivencia, crecimiento real y de rentabilidad. Cualquier empresa necesita conseguir algún tipo de ventaja competitiva con respecto a sus competidores, no contar con ninguna ventaja supone un peligro para la supervivencia de la organización. De ahí que los sistemas productivos deban encaminarse a lograr la cantidad y la calidad requerida de sus producciones y dar respuesta a las necesidades del mercado con la rapidez exigida y disminución en los costos que le permita elevar los niveles de eficiencia. Sin embargo, estos esfuerzos deben comenzar por la planeación de la producción para anticipar las necesidades cada vez más variables de una sociedad en continuo cambio, que eleva progresivamente sus requerimientos y niveles de cultura y conciencia empresarial.

En la recuperación económica de un país como Cuba, la micropropagación masiva de plantas constituye un elemento de extraordinaria relevancia, ya que el éxito de estas

empresas garantizará la semilla para la producción de alimentos a nivel de país por lo que el sector de la agricultura se verá beneficiado y la población.

El sistema de planificación y control de la producción para la micropropagación masiva de plantas vía Embriogénesis Somática desarrollado en el IBP de la UCLV, esta basado en información estadística y la experiencia del personal que labora en la biofábrica. No obstante, como aún está en su fase de introducción y escalado a nivel de biofábrica el uso de esta tecnología, para la elaboración de los planes no se utilizan otras herramientas que le brinden mayor objetividad. Tienen pérdidas de oportunidades de contratos debido a que no tienen en cuenta previsiones de la demanda basadas en métodos matemáticos para la planificación. No se aprovecha al máximo la capacidad de producción de las instalaciones y los costos de producción están siendo altos, debido a que la planificación del proceso productivo solo está diseñado para la tecnología de organogénesis.

Tras la aprobación e inicio de la implementación de los lineamientos de la política económica y social y la apertura del mercado se ha dado un incremento de la demanda de plantas y el sistemas de producción con que se cuenta para la tecnología es incapaz de hacerle frente a esta oportunidad. Tras llegar un pedido se dificulta conocer la cantidad de material inicial y en proceso que debe haber para cumplir con el mismo, pues no existe la herramienta que vincule las diferentes fases del proceso de producción para la tecnología de embriogénesis somática. Por lo que en síntesis esta es la **situación problemática** a la que se enfrenta la presente investigación.

El **problema de investigación** se puede resumir entonces: ¿Cuáles deben ser las herramientas que permitan apoyar la toma de decisiones para la planificación de la producción en el IBP/UCLV?

El **objetivo general** de la investigación consiste en: desarrollar una herramienta que permita el apoyo a la toma de decisiones en la planificación de la producción masiva de plantas in vitro por embriogénesis somática en la biofábrica del IBP/UCLV.

Este objetivo general se desglosa en los siguientes **objetivos específicos**:

1. Seleccionar la herramienta que se va a utilizar para apoyar la toma de decisiones en la planificación de la producción masiva de plantas *in vitro* por embriogénesis somática en la biofábrica del IBP/UCLV

2. Definir las variables de cada fase del proceso tecnológico y de producción de plantas obtenidas por Embriogénesis Somática que influyen en la planificación de la producción.
3. Desarrollar el sistema de ecuaciones y sus herramientas de apoyo.
4. Aplicar el sistema para comprobar su efectividad.

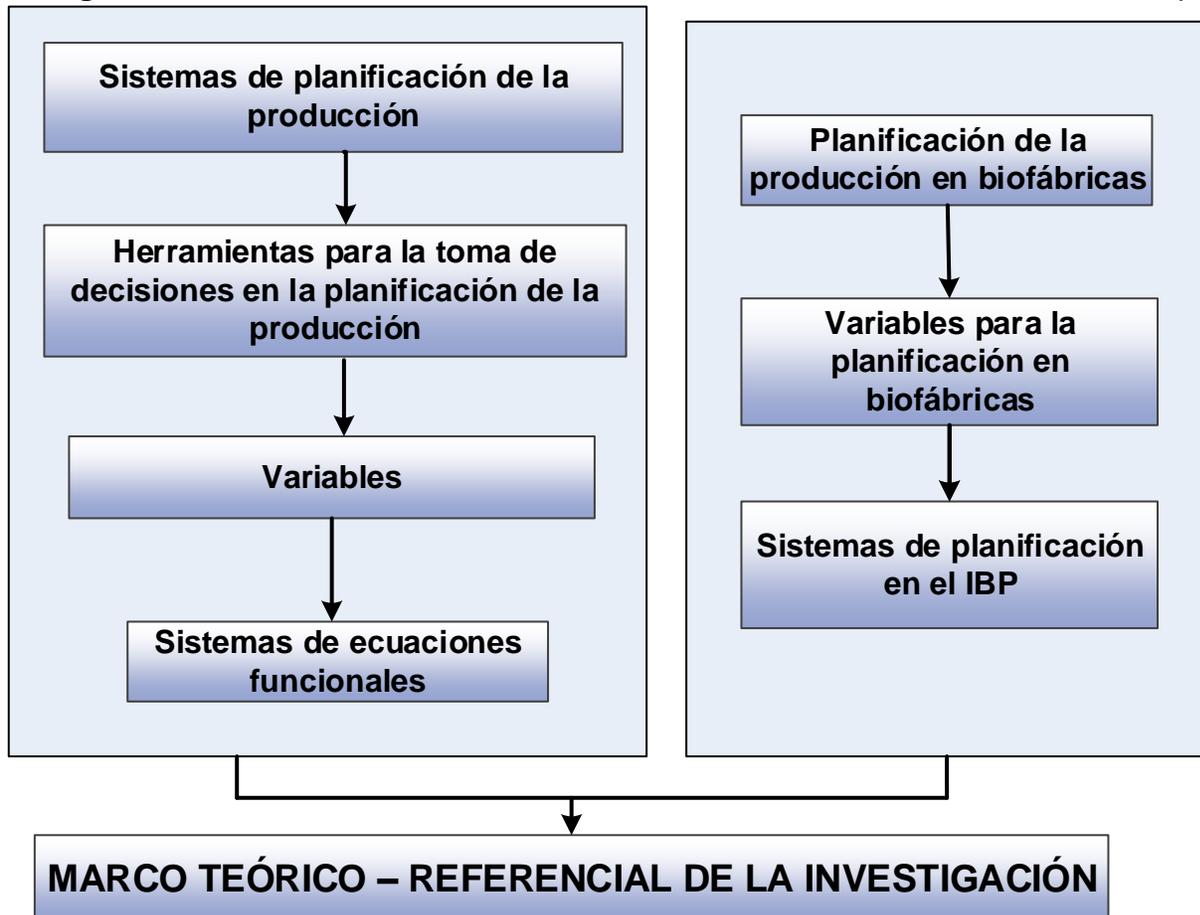
Capítulo 1



Capítulo 1: Marco teórico y referencial de la investigación

La estrategia seguida para la revisión bibliográfica de la literatura nacional e internacional accesible considera el análisis de conceptos, enfoques, herramientas, técnicas y métodos relacionados con el entorno de los sistemas de planeación de la producción, la embriogénesis somática como tecnología del cultivo de tejidos vegetales in vitro, la situación de las biofábricas en Cuba y los sistemas de ecuaciones funcionales, considerando herramientas factibles a utilizar para satisfacer la exigencia del mercado. Estos temas serán abordados como lo muestra la figura 1.1 de manera que constituya la fundamentación teórica a las interrogantes que se derivan del problema de la investigación y facilite la comprensión del estado del arte y de la práctica sobre el tema.

Figura 1.1: Hilo conductor del marco teórico – referencial. **Fuente:** Elaboración propia.



1.1 Sistemas de Planificación y Control de la Producción

Para muchas compañías manufactureras es muy difícil elegir un sistema de control adecuado, que asegure un correcto funcionamiento en las líneas de producción. Sin embargo hoy en día, es conocido por muchos, como los sistemas de control de la producción tipo "Pull", aventajan a los sistemas de producción tradicionales en aspectos fundamentales como por ejemplo, en la eliminación de desperdicios y el control de inventarios. El problema surge cuando las compañías tratan de identificar cuál de los diversos sistemas de control de la producción tipo "Pull", es el que mejor se adapta a sus líneas de producción y cuáles son las diferencias entre un sistema y otro, ya que existe poca información relacionada con los mecanismos de funcionamiento de algunos de estos sistemas.

Según Al Hussien, [1995] en la actualidad existen diferentes alternativas de Sistemas de Gestión de la Producción, acorde a las características propias del proceso productivo [variedad, volumen de producción, complejidad del producto, nivel técnico y tecnológico, etc.], cuyo objetivo es planificar, organizar y controlar el proceso de producción dentro del sistema empresarial. La utilización de un sistema u otro depende de la estrategia de producción que siga la organización y la estructura espacial del proceso productivo. La clasificación de los sistemas de planificación y control de la producción en clásicos y modernos dada por Al Hussien, [1995] facilita su estudio y permite además identificar las ventajas de los sistemas modernos.

Otros autores [González Riesco, 2006; Welsch & Welsch, 2005] los agrupan en cinco escuelas básicas: Clásica, Planificación de Necesidades de Materiales [MRP, por sus siglas en inglés], Justo a Tiempo [JIT, por sus siglas en inglés], Tecnología de Producción Optimizada [OPT, por sus siglas en inglés] y Teoría de las Limitaciones [TOC, por sus siglas en inglés]. A los efectos de esta investigación serán estudiados como sistemas clásicos y modernos.

1.1.1 Sistemas Clásicos

Los métodos utilizados en las primeras décadas del siglo XX son los llamados clásicos, que surgen desde que Taylor y sus seguidores [Gilbreth, Rowan, Gantt y otros] crearon la dirección científica de las plantas industriales, ocupando un lugar preponderante en la teoría e incluso en la práctica, debido a razones históricas y a que su herramienta básica,

la estadística matemática, era totalmente conocida y estaba perfectamente asimilada en el ámbito académico [Maynard, 1984; Salvendy, 1990].

Dentro de estas técnicas y métodos se incluyen, entre otros, el punto de pedido, gráfico de Gantt, Ruta Crítica, Línea de Balance [LOB] y el estudio del trabajo. Estas parten de la descomposición del sistema de toma de decisiones en diferentes niveles jerarquizados con la ayuda de un sistema información fundamentalmente manual, que debe garantizar la retroalimentación de la información generada en las diferentes partes del sistema físico para la toma de decisiones [Maynard, 1984; Fundora Miranda, et al. 1987; McLeod R., 2000; Muns, 2005].

Como aspectos comunes de estos sistemas clásicos se encuentran los siguientes:

- Énfasis en el enfoque analítico [diferenciación de funciones y su especialización].
- Énfasis en la racionalización científica de las funciones aisladas, tratando de buscar estándares objetivos de control, sobre todo para optimizar el desempeño.
- Prima el aspecto funcional frente al global o sistémico.

En la práctica, estos métodos clásicos pasan a ser métodos de gestión de existencias, debido a la imposibilidad de calcular exactamente en plazos razonables [por falta de datos y capacidad para procesarlos] las cantidades exactas de material necesario en función de la demanda, realmente lo que se calcula es el nivel de existencias que debería haber de cada material en el almacén en función de la historia de consumo, para garantizar con determinada probabilidad que dichos productos estarán disponibles cuando se lance la orden de fabricación. Aun así, es habitual que en el momento de lanzar la orden de fabricación no estén los materiales necesarios disponibles por diferentes causas, entre ellas:

- El cálculo probabilístico del inventario [*stock*] de seguridad.
- El consumo previsto se supone una función continua.
- Errores en el procesamiento de los datos.

Lo anterior, sumado a los cambios ocurridos a partir de los años 60 caracterizados por lo siguiente provocó el declive de estos sistemas, [Aranna Pérez & Ochoa Laburu, 1991]:

- Desarrollo de la informática comercial para uso empresarial.
- Éxito de las empresas japonesas.
- Alta tasa de innovaciones tecnológicas.
- Cambios constantes en el mercado.

- Necesidad de las empresas de ser más competitivas cada día, apreciando un mejor servicio al cliente en calidad, precio, volumen y plazos.

Todo esto hace que los sistemas clásicos no estén en correspondencia con las condiciones actuales y resulta indispensable la búsqueda de nuevos sistemas.

1.1.2 Sistemas Modernos

Los países de punta en el desarrollo industrial son los primeros que toman conciencia de la extrema necesidad de implementar nuevos sistemas, mirando hacia los métodos y procedimientos para la planificación y control de la producción y su perfeccionamiento, ya que por lo general, se buscaba perfeccionar de los procesos, máquinas y equipos, y no se le daba la importancia requerida a los métodos y procedimientos para una gestión eficiente. Es así como a principio de la década del 60 aparece en los EE.UU. la primera divulgación, realizada por Joseph Orlicky de la compañía IBM, del ahora denominado sistema MRP [*Material Requeriment Planning*] [Vollmann & Whybark, 1991; Fundora Miranda, 1992; Waters D. & Waters J., 2002; Lütke, 2005].

El sistema MRP originario se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Está orientado al producto, dado que a partir de las necesidades de estos, planifica los componentes requeridos.
- Es prospectivo, pues la planificación se basa en las necesidades futuras de equipos.
- Realiza un desfase de tiempo de las necesidades de ítems en función de los tiempos de suministros, estableciendo las fechas de emisión y entrega de pedidos.
- No tiene en cuenta las restricciones de capacidad, por lo que no asegura que el plan de pedido sea viable.

Existen tres razones fundamentales, planteadas por Domínguez Machuca *et al.* [1995] para afirmar que este sistema no está exento de problemas. Estas razones son:

- La exactitud del Plan Maestro de Producción para lograr resultados correctos en el MRP llevó a la incorporación de un modelo de Programación Maestra de Producción.
- La programación se realiza sin tener en cuenta la restricción de capacidades.
- Las posibles dificultades derivadas de la ejecución de los planes materiales en los talleres.

El efecto de las dos últimas razones generó la necesidad de comenzar a utilizar en paralelo técnicas de planificación de capacidad y de gestión de taller, lo cual mejora los resultados, pero no propicia una integración real, la cual se logra en un nuevo sistema

MRP denominado Sistema MRP de Bucle Cerrado [MRP de BC] [Domínguez Machuca *et al.*, 1995; Anaya Tejero, 2007] y [Lewis & Slack, 2003] MRP II.

Este sistema parte de un PA de producción elaborado fuera del sistema, el cual será convertido en un PMP por el módulo de programación maestra. Este último es el punto de partida para la planificación de capacidad a medio plazo mediante una técnica aproximada [*Rough-Cut*]. Si el plan resultante es viable, el PMP pasará a servir de input al módulo MRP. Los planes de pedidos a proveedores de MRP están destinados a la gestión de compras, mientras que los pedidos a taller sirven para la planificación de capacidad [CRP]. Si el plan a corto plazo deducido de CRP es viable, los pedidos pasan a formar parte de la gestión de talleres, en la que el sistema controla las prioridades y programa de operaciones. La situación en los talleres y los planes de capacidad a corto plazo sirven al sistema para controlar la capacidad [Domínguez Machuca *et al.*, 1995]. El término “bucle cerrado” no solo incluye cada uno de esos elementos en el sistema global, sino que también hay retroalimentación para mantener planes válidos en cada momento. Este sistema MRP de BC se caracteriza por los aspectos siguientes:

- Sigue siendo prospectivo.
- Es integrador, ya que la base de datos y el sistema son únicos para todas las áreas de la empresa. Incluye el PMP, la planificación de necesidades de materiales, la planificación de capacidad a corto y medio plazo, el control de capacidad y la gestión de talleres.
- Tiene capacidad de simulación.
- Actúa desde la cúspide hacia abajo.

A pesar de que los sistemas MRP de BC significaron un gran avance hacia la integración de la gestión empresarial, aún quedan fuera importantes áreas empresariales. Sucesivos desarrollos han ido integrando otros campos como Finanzas y Marketing en un proceso todavía en evolución, dando lugar a los denominados Sistemas de Planificación de Recursos de Fabricación [*Manufacturing Resource Planning*], conocidos como MRPII. Aunque autores como [Schroeder, 2005 y Dale, 2007] lo denominan MRPIII; en esta investigación se prefiere la denominación MRPII.

Según [Domínguez Machuca, *et al.* 1995] el MRPII de forma integrada y mediante un proceso informatizado on-line y con una base de datos única para toda la empresa participa en la planificación estratégica, programa de producción planifica los pedidos de los diferentes componentes, programa las prioridades y las actividades a desarrollar por

los diferentes talleres, planifica y controla la capacidad disponible y necesaria y gestiona los inventarios. Además, partiendo de las salidas obtenidas realiza cálculos de costos y desarrolla estados financieros en unidades monetarias, todos ellos con la posibilidad de corregir periódicamente las divergencias entre lo planificado y la realidad.

Este sistema, además de las características del MRP de BC, tiene las siguientes:

- Participa en la planificación estratégica, en el cálculo de costo y en el desarrollo de estados financieros.
- Permite planificar, programar, gestionar y controlar todos los recursos de la empresa manufacturera.
- Es capaz de convertir en unidades monetarias las cifras derivadas de la explotación en unidades físicas.

Otro sistema moderno es el a Justo a Tiempo [JIT], filosofía y conjunto de técnicas que se integran en lo que puede llamarse “Escuela Japonesa” de la gestión de empresa que tiene su difusión en Europa a principios de los 80, como resultado del éxito de las empresas industriales japonesas. Conocida también como la filosofía de los ceros, por estar dirigida a eliminar todo tipo de despilfarro de recursos, incluido el tiempo [Schroeder, 2005; Hirano, 2009].

El enfoque JIT supone una nueva forma de gestión, cuyas estrategias básicas consisten en la eliminación de todas las funciones innecesarias o desperdicios en las operaciones industriales y en producir los distintos artículos y componentes en el momento en que se necesiten, en la cantidad en que se precise y con la máxima calidad [Schonberger, 1994; Render, 2004; Hirano, 2009].

La Tecnología de Producción Optimizada [*OPT- Optimized Production Technology*] fue creado por Goldratt [1998], quien lo define como: una alternativa mejorada del sistema MRP, en el que se brinda una versión completa para la planificación de la producción, materiales y recursos. La OPT es un sistema de control de la producción, basado en el procesamiento de una carga finita con el objetivo de maximizar el flujo de producción a partir de la valoración de la capacidad del puesto de trabajo “cuello de botella”. Bajo esta estrategia se planificar primero el cuello de botella y se supone que el resto de los procesos pueden acoplarse sin problemas a la fecha que les corresponde según la planificación de este [Jacobs, 1989; Buffa & Sarin, 1996; Arenas Donado-Mazarrón, 2005; Palet Martínez, 2005]. Según Ibarra Mirón [2005] el mismo constituyó un sistema

mediante computadoras para realizar la planeación de la producción, utilización de los recursos y necesidades materiales, cuyo software se basa en el equilibrio del flujo de producción y en la gestión, en base a los recursos con limitación de capacidad o "cuellos de botellas".

Siguiendo estos mismos principios surge en Japón la Manufactura Esbelta [*Lean Manufacturing*] [Pineda Mandujano, 2006; Stephens, 2006; Bernstein, 2008] que agrupa varias herramientas que contribuyen a eliminar todas aquellas operaciones que no le agregan valor al producto, servicio o procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Torres Guirola [2007] plantea que la Manufactura Esbelta agrupa un conjunto de herramientas de la filosofía JIT y entre los principales beneficios que aporta es la reducción de un 50% en costos de producción, la reducción de los inventarios, la reducción del tiempo de entrega, mejor calidad, menos mano de obra, mayor eficiencia de equipo y disminución de los desperdicios.

El propio [Goldratt, 1998] creador de la OPT, desarrolla posteriormente la TOC. El objetivo que persigue este sistema o teoría es desarrollar un sistema de gestión integral de la empresa a través del reconocimiento y aprovechamiento de sus recursos críticos.

Las principales características de la TOC radican en la existencia de un plan director basado en previsiones, un programa maestro basado en pedidos confirmados, una planificación agregada y una planificación operativa. La TOC adapta el cálculo del plan maestro a las restricciones que presenta la limitación y hace el cálculo agregado de las necesidades en función de dicho plan. Para hacer este cálculo, se puede utilizar perfectamente la lista de materiales de un sistema tipo MRP, para ayudar a reducir el número de datos a procesar, lo que implica más flexibilidad, así como eliminar pasos intermedios, ya que sólo pretende el cálculo del trabajo y planificar la entrada de materiales, suponiendo que el resto de las operaciones irán por sí solas [similar a lo que hace el JIT]. Según Goldratt [1998] el elemento más importante a considerar cuando se selecciona un sistema, es definir la meta que debe alcanzar la organización ya que es un modelo sistémico de gestión que pretende la óptima operatividad del sistema incrementando su tasa de generación de valor, por lo que busca la mejora del tiempo de respuesta; consigue reducciones del costo real y los inventarios.

Implementar uno u otro sistema de planificación y control de la producción requiere que se parta de un análisis de la situación actual que presenta el sistema objeto de estudio.

1.2 Herramientas para la toma de decisiones en la planificación de la producción.

Al hablar de planificación, los autores [Domínguez Machuca et. al, 1995; Alonso Martínez, 2002; Javier Leopoldo, 2005] consideran tres etapas básicas de la planificación empresarial:

Planificación Estratégica: etapa desarrollada por la alta dirección para establecer los planes a largo plazo, objetivos y estrategias, abarcando generalmente un período de tres a cinco años. Esta actividad es desarrollada por la alta dirección y se ocupa de problemas de gran amplitud, tanto en términos de actividades organizativas como de tiempo, debido a ello se emplean variables muy agregadas.

Según varias fuentes [González Riesco, 2006; Rubio Domínguez, 2006; García Higuera & Castillo García, 2007] los beneficios que aporta la planificación estratégica están dados por el reforzamiento de las estructuras tanto funcionales como económicas de una organización. En términos prácticos, se podría decir que potencia la dirección de la empresa, y sin ella, la empresa se movería como una barca sin vela. Una correcta planificación estratégica, propicia el ámbito idóneo en el que se pueden tomar las decisiones tácticas u operacionales. Así se logra un alto nivel de consistencia o de certeza, lo que llevará a mejorar las relaciones entre el personal directivo responsable de la gestión.

Planificación Operativa: es donde se concretan los planes estratégicos y los objetivos globales de la empresa para cada una de las áreas funcionales, llegando a un elevado grado de detalle. Así se establecen, además las tareas a desarrollar para que se cumplan los objetivos y planes a largo plazo, indicando dónde, cómo y cuándo se llevarán a cabo.

Planificación Adaptativa: se establecen las medidas correctivas necesarias para eliminar las posibles divergencias entre los resultados y los objetivos relacionados con ellas.

Sin embargo hay que señalar que existen planes difíciles de encuadrar de forma escrita en algunas de las fases mencionadas. Se trata de aquellos que concretan, para cada una de las áreas funcionales, la parte inicial del plan estratégico [normalmente uno o dos años] o de alguno de los planes a largo plazo que lo componen. Son planes que, por la

longitud de su horizonte temporal y por la menor amplitud de los problemas tratados, no pueden considerarse propiamente dentro del plan estratégico.

De acuerdo con algunos autores [Dilworth, 1993; Domínguez Machuca et. al, 1995; Heizer & Render, 2001], se considera un nivel intermedio entre la planificación estratégica y la planificación operativa, denominado plan táctico o de mediano plazo, en el que quedarán encuadrados los planes a los que se alude anteriormente.

En la figura 1.2 se puede observar la correspondencia lógica entre las fases desarrolladas en el área productiva y las que representan a la planificación en el ámbito del conjunto empresarial, donde las fases del área productiva son un subconjunto de la planificación empresarial.

La planificación y control deben seguir un enfoque jerárquico que permita la coordinación entre los objetivos, planes y actividades de los niveles estratégicos, tácticos y operativos. Existen varias formas de estructurar el proceso de planificación y control de la producción con un enfoque jerárquico de acuerdo al criterio de varios autores [Vollmann y Whybark, 2000; Pérez Sosa, 2009]. Aunque la esencia siempre sea la misma, se prefiere utilizar el criterio de [Domínguez Machuca *et al.*, 1995] que plantea los niveles siguientes:

- Planificación estratégica o a largo plazo.
- Planificación táctica o a medio plazo.
- Programación Maestra.
- Programación de Componentes.
- Ejecución y Control.

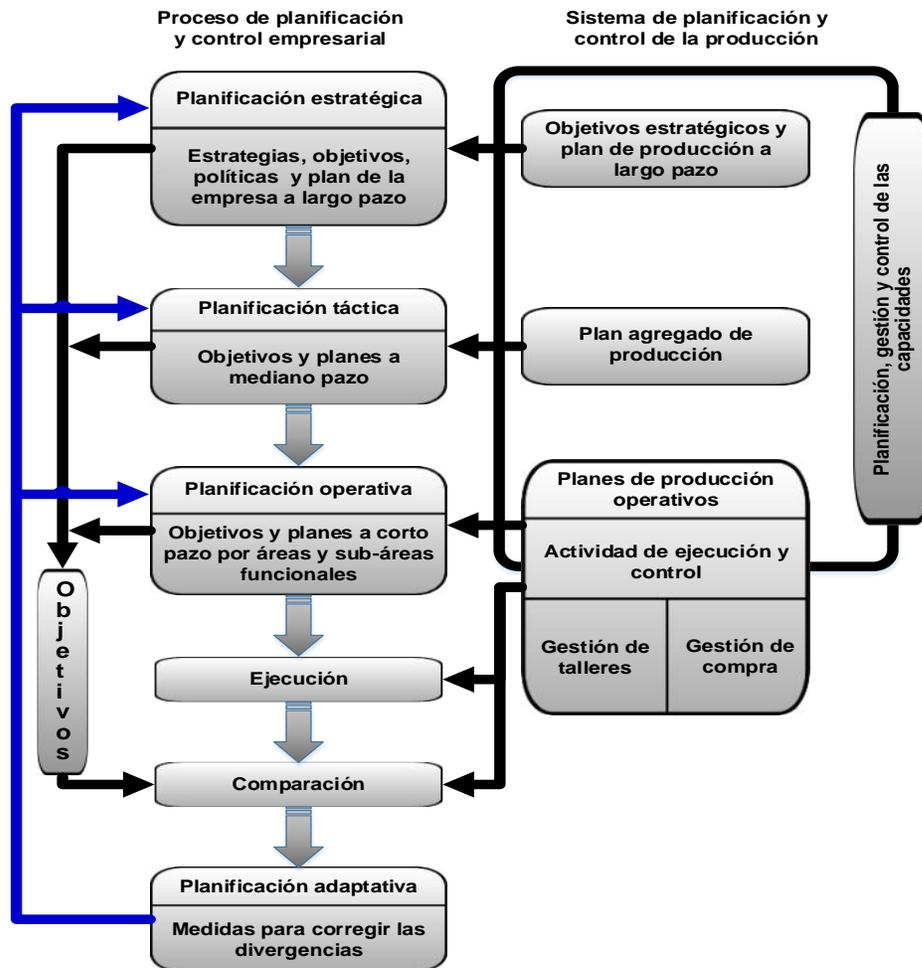


Figura 1.2. Correspondencia entre la Planificación y Control de la empresa y el subsistema de producción. **Fuente:** [Alonso Martínez, 2002].

Dado que dichos niveles de planificación van a utilizar distintos tipos de unidades conviene aclarar cada una de estas:

Componentes: cada una de las partes que integran el producto final.

Producto: el bien o servicio, resultado final de un proceso de producción, que se oferta directamente al consumidor.

Familia de producto: productos o servicios que tienen similares requerimientos de demanda, así como necesidades de procesamiento, trabajo y material comunes [Krajewski & Ritzman, 2000] se agrupan de acuerdo a los clientes y proveedores.

Tipos: grupo de familias que comparten una misma tendencia de comportamiento en su demanda.

Domínguez Machuca *et al.*, [1995] plantea la estructura jerárquica de la planificación y control de la producción como se muestra en la figura 1.3.

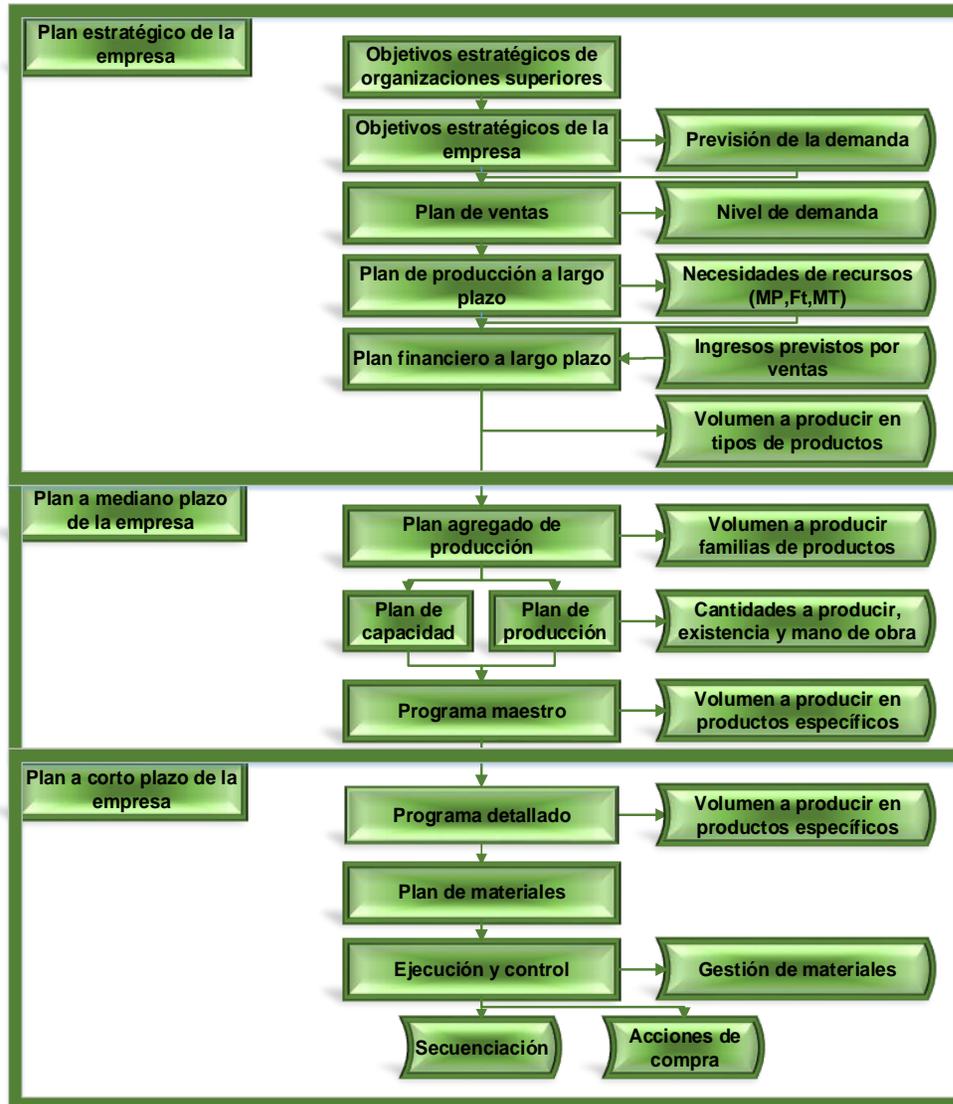


Figura 1.3: Enfoque jerárquico de la planificación y control de la producción. **Fuente:** Elaboración propia a partir de Domínguez Machuca *et al.*, [1995].

Métodos y las técnicas más usadas en cada nivel son:

1.2.1 Técnicas de pronóstico

Según Domínguez Machuca *et al.* [1998] el pronóstico es el primer paso dentro del proceso de planificación de la producción y sirven como punto de partida no sólo para elaborar los planes estratégicos, sino además, para el diseño de los planes a mediano y corto plazo, lo cual permite a las organizaciones visualizar de manera aproximada las

necesidades futuras, eliminar gran parte de la incertidumbre y reaccionar con rapidez a las nuevas condiciones con cierto grado de precisión.

Los encargados de la planeación generan y evalúan varios planes recurriendo a experiencias pasadas, datos sencillos de costos o la intuición; se utilizan gráficos para ilustrar los planes alternativos y comparar la capacidad y la carga generada por cada uno con el pronóstico de la demanda [Wayne & Noe, 2005].

Existen diversos criterios para la clasificación de las técnicas de pronósticos, algunos autores [Heizer & Render, 2001; Robbins, 2005] los clasifican en cualitativos, cuantitativos y causales. Otros [Chase, Aquilano & Jacob, 2005] ofrecen una clasificación similar en cualitativos, de series de tiempo y causales, donde se incluyen los modelos de simulación.

Los métodos cualitativos son los que usan el juicio de los gerentes y deben utilizarse cuando los datos del periodo no resultan confiables para inferir acerca del futuro o como complemento a los métodos cuantitativos. Los métodos de series de tiempo se utilizan para hacer análisis detallados de los patrones de demandas en el pasado, a lo largo del tiempo y para proyectar estos patrones hacia el futuro. Los métodos causales de pronósticos son los que desarrollan un modelo de causas y efectos entre la demanda y otras variables.

En la investigación se empleará la clasificación de los métodos aplicados en la elaboración de pronósticos descrita por Hanke & Deitsch [1996] y Schroeder [2005], la que se resume en la tabla 1.1.

Schroeder [2005] plantea que dependiendo del uso, se aplicará uno en particular o la combinación de métodos de pronóstico, como se muestra en la tabla 1.2

Las variables para alcanzar estos pronósticos se muestran a continuación:

Variables

- Demanda
- El juicio de los gerentes, su experiencia.
- Datos relevantes, datos de los estados financieros.
- Estudio de mercado
- Analogía histórica
- Proyección fundamental o estructura de la fuerza de venta
- Estructura de la fuerza de venta

Tabla1.1: Clasificación de los métodos de pronóstico y su horizonte temporal.

Clasificación		Nombre	Horizonte de predicción
Métodos cualitativos		Delphi	Mediano y largo
		Juicio informado	Corto plazo
		Analogía de ciclos de vida	Mediano y largo
		Estructura de la fuerza de venta	Corto y mediano
		Investigación de mercados	Corto y mediano
Métodos cuantitativos	Serie de Tiempo	No formales	Corto
		Promedio simple	Corto
		Promedio móvil	Corto
		Suavización exponencial	Corto
		Suavización exponencial lineal	Corto
		Suavización exponencial cuadrática	Corto
		Suavización exponencial estacional	Corto
		Filtración adaptativa	Corto
		Descomposición clásica	Corto
		Modelos de tendencia exponencial	Mediano y largo
		Ajuste de curva S	Mediano y largo
		Modelo de Gompertz	Mediano y largo
		Curvas de crecimiento	Mediano y largo
		Census II	Corto
	Box-Jenkins	Corto	
	Causales	Regresión simple	Mediano
		Regresión Múltiple	Mediano
		Indicadores anticipados o principales	Corto
		Modelos econométricos	Corto
		Modelo de insumo	Corto
Regresión múltiple de series de tiempo		Mediano y largo	

Fuente: Elaboración propia a partir de Schroeder, [1991] y Hanke & Deitsch, [1996].

Tabla 1.2: Métodos de pronósticos y su empleo

Uso de los pronósticos para las decisiones en operaciones	Horizonte de tiempo	Exactitud necesaria	Número de productos	Nivel de gerencia	Método de pronóstico
Diseño del proceso	Largo	Media	Uno o pocos	Alto	Cualitativo y causales
Planeación de la capacidad de instalaciones	Largo	Media	Uno o pocos	Alto	Cualitativo y causales
Planeación agregada	Mediano	Alta	Pocos	Mediano	Causales y serie de tiempo
Programación	Corto	La más alta	Muchos	Más bajo	Serie de tiempo
Administración de inventario	Corto	La más alta	Muchos	Más bajo	Serie de tiempo

Fuente: [Schroeder, 2005]

1.2.2 Técnicas empleadas en la Planificación Agregada [PA]

Según Ramos Gómez [2002] el establecimiento del plan agregado se puede considerar complejo, ya que viene condicionado por varios factores tales como: las distintas fuentes generadoras de demandas, los objetivos estratégicos y las disponibilidades de los recursos materiales y financieros. Este debe responder a las necesidades de producción derivadas de la demanda prevista, por lo que se tienen dos posibilidades:

- Actuar sobre la demanda, pudiéndose lograr a través de acciones comerciales como variación del precio, generación de nuevos productos y promociones.
- Actuar sobre la capacidad, aumentándola para adaptarse a la demanda mediante medidas de ajustes, siendo más comunes las siguientes:
 1. Contratación y despido.
 2. Horas extras.
 3. Utilización de tiempos ociosos.
 4. Programación de vacaciones.
 5. Subcontratación.
 6. Producir más en un periodo de baja y compensar la demanda en periodo de alta.

Dentro de las técnicas para llevar a cabo la PA se encuentran: las de prueba y error, los métodos analíticos y la simulación [Krajewski & Ritzman, 2000; Torres, 2001; Schroeder, 2005; Chase, Aquilano & Jacob, 2005].

La técnica de prueba de error es de fácil comprensión al ser tablas y gráficos, pero tiene como desventajas que la mecánica de cálculo es larga y muy difícil llegar a la mejor solución. Los Métodos analíticos requieren del uso de la informática entre ellos se encuentran: la programación lineal, programación lineal de transporte, programación cuadrática, técnicas heurísticas.

La simulación, fue empleada en Cuba por Ramos Gómez [2002] en su tesis doctoral donde elabora un modelo representativo del sistema estudiado, simulándose el resultado en dependencia de los cambios que se hagan en las variables que lo integran. Ofrece grandes ventajas con el desarrollo de la informática al poder probar a un gran número de alternativas. Las tres técnicas tiene como desventajas precisamente la complejidad inherente a su aplicación y por ende, la necesidad de personal capacitado.

Dentro del proceso de elaboración del plan agregado y en aras del cumplimiento de su objetivo fundamental, es importante el manejo de las variables que pueden influir en este, las cuales pueden ser clasificadas en dos grandes grupos [Schroeder, 1992]: En primer lugar, están las variables de oferta, las cuales permiten modificar la capacidad de producción a través de la programación de horas extras, contratación de trabajadores eventuales, subcontratación de unidades y acuerdos de cooperación; en segundo lugar, están las variables de demanda, las cuales pueden influir en el comportamiento del mercado mediante la publicidad, el manejo de precios, promociones, etc.

Otras variables de oferta:

- Materia prima recibida de los proveedores en el periodo.
- Horas de trabajo, por encima y por debajo, respectivamente, del valor de referencia en el periodo.
- Número de horas extras realizadas por el colectivo de los trabajadores que pertenecen a la plantilla en el periodo.
- Dimensión de la plantilla en el periodo.
- Número de productos que se fabrican en el periodo.

- Variable binaria utilizada para indicar la relación entre la dimensión de la plantilla necesaria y la capacidad de producción para cumplir con la demanda en el periodo Número de trabajadores temporales contratados para el periodo.
- Unidades de productos en stock al final del periodo.
- Unidades de materiales en stock al final del periodo.

1.2.3 Técnicas empleadas en la Programación Maestra de Producción [PMP]

Según Domínguez Machuca *et al.* [1998], la PMP es fundamental porque permite establecer la cantidad de productos a producir y en qué periodo de tiempo y para ello debe concretar el plan agregado, tanto en cantidad como en tiempo y obtener un plan aproximado de capacidad.

Para obtener la PMP se han desarrollado algunos modelos analíticos [Domínguez Machuca *et al.*, 1998; Fogarty *et al.*, 2000; Schroeder, 2005] y de simulación, que presentan los mismos problemas de las técnicas de la PA.

Después que se ha determinado el PMP, es necesario determinar si es factible desde el punto de vista de la capacidad, para esto pueden usarse técnicas como las sugeridas por [Vollmann & Whybark, 2000]: la planificación de capacidad usando factores agregados, la lista de capacidad y los perfiles de recursos.

Según [Ramos Gómez, 2002] esta etapa engloba un grupo de actividades dentro de las empresas fabriles, las cuales están encaminadas a programar, controlar y evaluar las operaciones de producción. De acuerdo con [Schroeder, 2005] los objetivos de esta etapa son lograr un programa que permita el cumplimiento del nivel de servicio al cliente y realizar la producción al menor costo posible.

Para el logro de estos objetivos es necesario realizar un conjunto de acciones que den respuesta a las interrogantes siguientes:

¿Cuándo se puede emitir una orden de producción?

¿Qué órdenes se ejecutan en cada puesto?

¿En qué orden se realizan los trabajos?

¿Cuándo debe comenzar y terminar cada trabajo?

¿Existen divergencias entre lo planificado y los resultados de la ejecución?

En lo referente a los insumos para la obtención del MPS es importante la consideración de los siguientes elementos [Domínguez Machuca *et al.*, 1995]: el plan agregado en unidades de producto, las previsiones de ventas a corto plazo en unidades de producto, los pedidos en firme

comprometidos con los clientes, la capacidad disponible de la instalación o el centro de trabajo y por último, otras fuentes de demanda.

1.2.4 Técnicas utilizadas en la Programación de materiales o componentes

Las distintas características mencionadas hacen aconsejable emplear distintos métodos, según el tipo de demanda, para responder a las dos preguntas básicas que se plantea la Programación de Componentes.

Cuándo[en que momento] deben realizarse los distintos pedidos de material?

Cuánto debe pedirse de cada material al emitir un pedido? O lo que es lo mismo, cual debe ser el tamaño de los lotes a solicitar?

Así, para la demanda independiente son aplicables las denominadas técnicas clásicas, basadas en la optimización de los costos totales que intervienen en la gestión de inventarios y en el cálculo de un cierto stock de seguridad en función de la aleatoriedad existente y del riesgo de ruptura de stocks que la empresa esté dispuesta a asumir. Por el contrario, ante una demanda dependiente, es fundamental la coordinación entre la planificación de inventarios y la de la producción con ella relacionada. En este contexto la gestión clásica no es eficiente y se acude a métodos relativamente nuevos como el denominado Planificación de Requerimientos Materiales [MRP por sus siglas en inglés] o el Justo a Tiempo [JIT por sus siglas en inglés][Domínguez Machuca, 1995].

Las respuestas a las preguntas antes formuladas van a depender de los factores que a continuación se describen,

1. Características de la demanda
2. Costes relacionados con los inventarios.
3. Tiempo de suministro [TS].

Por lo que las variables a considerar para realizar la planificación de requerimientos materiales son: el plan maestro de producción, la lista de materiales actualizada, la entrega de pedidos atrasados, el tamaño del lote de lanzamiento, la disponibilidad de inventario por componente y los datos de compra [para conocer las recepciones programadas].

1.2.5 Técnicas empleadas en la ejecución y control de la producción

En términos generales y en el caso más complejo, las actividades que se presentan en la programación y control de operaciones son [Domínguez Machuca et al, 1995; Schroeder, 1992; Chase & Aquilano, 1995]: Asignación de cargas, Secuenciación de

pedidos y programación detallada. A estas, Adam & Ebert [1991], agregan otras dos: Fluidez y Control de insumo/producto [control input/output].

Es importante dentro de esta fase de gestión, tomar en consideración el tipo de configuración productiva que tiene el taller, pues dependiendo de esta, así mismo será la técnica o procedimiento a emplear en su programación y control. Básicamente, la generalidad de los autores consultados, plantea, que la configuración de los talleres puede ser de dos tipos:

1. Talleres de configuración continua o en serie: Aquellos en donde las máquinas y centros de trabajo se organizan de acuerdo a la secuencia de fabricación [líneas de ensamblaje], con procesos estables y especializados en uno o pocos productos y en grandes lotes. En ellos, las actividades de programación están encaminadas principalmente, a ajustar la tasa de producción periódicamente.

2. Talleres de configuración por lotes: En los que la distribución de máquinas y centros de trabajo, se organizan por funciones o departamentos con la suficiente flexibilidad para procesar diversidad de productos. Estos pueden ser de dos tipos:

- Configurados en Flow Shop: Donde los distintos productos siguen una misma secuencia de fabricación.
- Configurados en Job Shop: Aquellos donde los productos siguen secuencias de fabricación distintas.

Asignación de carga:

Esta actividad es la que permite determinar qué operaciones se realizarán en cada centro de trabajo, teniendo en cuenta siempre que el tiempo total de procesamiento sea el menor posible para minimizar los costos.

En aproximación a los conceptos de Heizer & Render, [1997]; Adam & Ebert, [1991]; Schroeder, [1992] y Domínguez Machuca et al., [1995], esta se define como la asignación de tareas a cada centro de trabajo o de proceso, que permite controlar la capacidad y la asignación de actividades específicas en cada centro de trabajo. En general las técnicas más empleadas en la asignación de carga son: Gráficos Gantt, perfiles de carga o diagramas de carga, métodos optimizadores [algoritmo de Kuhn o método Húngaro] y soluciones heurísticas [método de los índices].

Secuenciación de pedidos:

El objetivo de esta actividad es establecer la secuencia de pasos de los pedidos por los centros de trabajo para cumplir las fechas de entrega con el menor volumen de inventario y recursos posibles. La forma de desarrollarla dependerá del tipo de configuración que se trate [Fundora Miranda et al., 1987; Vollman et al., 1991; Schroeder, 1991; Fernández Sánchez, E. & Vázquez Ordas, C. J. 1994; Domínguez Machuca et al., 1995; Heizer & Render, 1996].

Una recopilación realizada en las obras de varios autores, permite determinar que las reglas de prioridad más empleadas son [Adam & Ebert, 1991; Schroeder, 1992; Buffa & Sarin, 1995; Domínguez Machuca et al, 1995; Chase & Aquilano, 1995; Nahmias, 1997; Russell & Taylor, 1998]:

- FCFS: First come/ First serve[primero en llegar, primero en ser atendido].
- FISFS: First In System/ First Serve[primero en el sistema, primero en ser atendido]
- SPT: Shortes Processing Time[menor tiempo de procesamiento].
- EDD: Earliest Due date[fecha de entrega más próxima].
- CR: Critical Ratio[razón crítica o ratio crítico].
- LWR: Least Work Remaining[mínimo trabajo remanente].
- FOR: Fewest Operations Remaining[número mínimo de operaciones remanentes].
- ST: Slack Time[tiempo de holgura].
- ST/O: Slack Time per Operation[tiempo de holgura por operación].
- NQ: Next Queue[siguiente en la cola].

Domínguez Machuca et al. [1995] plantean que, además de estas técnicas, existen otras para resolver estos problemas [optimizadoras, heurísticas o de simulación]. Sin embargo, en muchos casos su aplicación práctica es difícil de implementar, debido a lo restrictivo de la hipótesis de partida y de la complejidad de los problemas, en los cuales el número de soluciones a rastrear es muy alto. Ello hace que, en la práctica, se utilicen con más frecuencia técnicas heurísticas o de prueba y error, lográndose soluciones que, sin ser óptimas, pueden considerarse aceptables.

Programación detallada:

Determina los momentos de comienzo y fin de las actividades de cada centro de trabajo, así como las operaciones de cada pedido para la secuencia realizada. [Adam & Ebert, 1991].

Esta actividad pretende dar respuesta a cuál debe ser el momento de inicio y fin de cada trabajo en los respectivos centros de trabajo. Las técnicas más usadas según el criterio de varios autores [Vollman et al., 1991; Schroeder, 1991; Fogarty et al., 1994; Arana Pérez, & Ochoa Laburu, [1995]; Chase et al., 2000; Heizer & Render, 2000; Klassen et al., 2002] son:

- Programación hacia adelante y hacia atrás utilizando Gráficos de Gantt.
- La lista de expedición.
- Gráficos de Gantt
- Programación a capacidad finita.

La última actividad dentro de esta etapa es el control, que no deja de tener importancia, ya que permite determinar cuál es el comportamiento del sistema con respecto a lo planificado, debiendo quedar claro que no sólo se desarrolla en este nivel, sino que debe cumplirse en cada uno de los restantes niveles.

Existe un conjunto de indicadores que sirven como herramientas para el control, pudiendo particularizarse en dependencia del nivel de agregación. Estos son:

- Volumen de producción.
- Aprovechamiento de las capacidades.
- Variación periódica de inventarios.
- Desviaciones sobre el costo estándar.
- Fechas de entrega.
- Índices de productividad y ocupación de los recursos.
- Tiempo de retraso en la entrega.
- Errores en las entregas.

Fluidez:

Permite verificar que los tiempos planeados se cumplan, de tal forma que, si existen desviaciones en la producción real, se puedan tomar medidas correctivas a tiempo. [Adam & Ebert, 1991].

Control de insumo / Producto:

Controlan los niveles de utilización de la capacidad de cada centro de trabajo, mediante los informes de entrada/salida.

Para concluir y en consonancia con lo planteado por Domínguez Machuca et al., [1995], el autor de esta investigación plantea que es importante aclarar, que con independencia de la técnica escogida [asignación de cargas, secuenciación de pedidos y programación detallada], la etapa de ejecución y control persigue dos objetivos básicos: la reducción de costos y el aumento del servicio al cliente, mediante la programación, el control y la evaluación de las operaciones de producción, propiciando además que se logre el plan de materiales y con ello, el programa maestro, el plan agregado y los planes y objetivos estratégicos de la empresa.

1.3 Sistemas de ecuaciones funcionales

Como muchas teorías matemáticas, el análisis funcional surgió de la necesidad de encontrar nuevas técnicas para resolver algunos problemas que con los métodos tradicionales no se podían resolver. Desde los comienzos del cálculo diferencial los matemáticos han visto la necesidad de construir conjuntos cuyos elementos no fuesen puntos, como en la geometría euclidiana, sino funciones, como en las ecuaciones diferenciales donde la solución de un problema conduce a estudiar el conjunto de funciones solución de dicho problema y al estudio de sus propiedades. El análisis funcional es el estudio de los espacios funcionales, los cuales son conjuntos formados por funciones, dotados de determinadas propiedades que permiten realizar en ellos gran parte de las operaciones habituales del análisis como límites de sucesiones, continuidad de funciones sobre ellos.

Para los problemas de planificación de la producción como es el caso de la investigación esta herramienta también es aplicable y fundamentalmente para la producción a escala masiva de plantas *in vitro*, pues este es un producto con características particulares por ser producción de organismos vivos que no pueden ser almacenados por largo períodos de tiempo, razón fundamental que hace que los sistemas comúnmente estudiados no sean totalmente aplicables.

1.4 Planificación de la producción en biofábrica en Cuba

En Cuba, se ha llevado a cabo un amplio programa de Biotecnología para la propagación *in vitro* de varias especies de plantas. Esto garantiza la disponibilidad de material vegetal de propagación libre de organismos patógenos y con alta pureza genética. Para dicho propósito se crearon 16

biofábricas distribuidas por todo el país, que aplican las tecnologías que se desarrollan en los institutos de investigación y cumplen con rigor las normas de calidad requeridas para este tipo de actividad. En las biofábricas cubanas la tecnología básica que se utiliza para la micropropagación masiva comercial, es el cultivo de tejidos vegetales in vitro mediante dos técnicas, la organogénesis y la embriogénesis somática, utilizadas ambas en el IBP/UCLV, objeto de estudio de esta investigación. La organogénesis, tecnología con más años de aplicación práctica ya se han desarrollado algunos estudios logrando una experiencia ardua del personal se gestiona adecuadamente la planificación, organización y control de la producción y la calidad. En el caso de la embriogénesis somática que se encuentra en su fase de introducción y escalado a nivel de biofábrica se han realizado algunos estudios aunque todavía no se logra diseñar e implantar un sistema de planificación y control de la producción que cree el escenario para responder a las siguientes interrogantes.

¿Es posible enfrentar la producción de un pedido determinado?

¿Cuándo comenzar a cultivar determinado tejido?

¿Qué cantidad de material inicial necesito?

¿Cuándo puedo entregar la producción?

¿Qué capacidad necesito para enfrentar producción?

1.5 Variables para la planificación en biofábricas

Para la realización de la planificación de la producción de vitroplantas en la biofábrica del IBP/UCLV se deben tener en cuenta un grupo de informaciones, variables y datos previos, que son indispensables para su desarrollo. En las investigaciones previas realizadas por Nodal Castillo & Suárez Castellá [2008], Jiménez Cowan et, al. [2012] y Rodríguez Govea et, al. [2012] se reflejan las variables para las tecnologías de propagación masiva de plantas implementadas en este centro como se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Variables a considerar en la planificación para las tecnologías de micropropagación masiva de plantas

Variables de la Organogénesis	Variables de la Embriogénesis Somática
Especie y variedad de plantas a producir	Cantidad de callos con estructuras embriogénicas tipo i de la variedad x en el período j
Estado del material solicitado [Fase II, III, o IV]	Cantidad de fascículo nodales sembrados de la variedad x y la línea z

Programación de entrega de vitroplantas	Coeficiente de formación de callos de tipo i de la variedad x y la línea z
Coeficiente de multiplicación	Cantidad de suspensión celular de la variedad x en el período j
Porcentaje de pérdidas admisibles por operación	Cantidad de callos con estructuras embriogénicas tipo i de la variedad x en el período j-1
Número de subcultivos que contempla la tecnología asociada al cultivo y especie a planificar	Índice de establecimiento de los callos de tipo i de la variedad x
Tiempo entre subcultivos por semana	Cantidad de mililitros de suspensión celular obtenidos de callos tipo i de la variedad x
Normas de rendimientos para las principales operaciones	Cantidad de mililitros de suspensión celular de la variedad x que se multiplicaron en el período j-1
Tiempo de aclimatación para la especie y variedad a planificar	Coeficiente de multiplicación de la suspensión celular de la variedad x en la multiplicación y
Normas de consumo para cada fase	Porcentaje de pérdidas admisibles.
Capacidades por área de trabajo de la biofábrica	Cantidad de embriones somáticos maduros de la variedad x en el período j
Capacidades productivas previstas para cada área de trabajo teniendo en cuenta las cantidades actuales y futuras de recursos	Cantidad de suspensión celular de la variedad x en el período j-1
Capacidades de la fuerza de trabajo o Fondo Productivo Disponible por área.	Número de magentas
Ordenes de producción de plantas y órdenes de compra de materiales	Número de mayas
Cantidades de productos	Mililitros de suspensión celular
Fases por las que ha de transitar el producto	Cantidad de plantas que pasan a crecimiento de la variedad x en el período j
Explantes que tendrá cada frasco	Cantidad de embriones somáticos germinados de la variedad x en el período j-1
Producción a realizar en cada fase	Índice de la primera germinación
Cantidad de obreros en cada fase	Cantidad de embriones somáticos de la variedad x que no germinaron en el período j-1
El tiempo operativo para cada fase	Índice de la segunda germinación
Tiempo tecnológico para cada fase y subcultivo.	Cantidad de embriones somáticos germinados de la variedad x en el período j
Fecha de terminación de las vitroplantas en cada fase	Cantidad de embriones somáticos maduros de la variedad x en el período j-1
Carga de la fuerza de trabajo	Coeficiente de multiplicación para la primera germinación.
Capacidad disponible para otras operaciones	

Capacidad de almacenamiento por espera tecnológica
Carga de almacenamiento en frascos
Capacidad disponible de almacenamiento para otras producciones
Cantidad de cada insumo
Existencias de los insumos en el almacén
Material vegetal necesario
Material vegetal en existencia
Disponibilidad de material vegetal

Fuente: Elaboración propia

1.6 Sistemas de planificación en el IBP

La planificación de la producción en el Instituto de Biotecnología de las plantas actualmente fundamentalmente tecnológicas, que se considera, rigen totalmente todo el proceso productivo. Si cierto es que se hace necesario conocer el proceso tecnológico para el cual se pretende diseñar el sistema de planificación y control de la producción, también es importante conocer las decisiones y variables que, desde el punto de vista de la planificación son importantes conocer para que este sistema se ajuste totalmente a la realidad y características de dicha organización y producción.

Varios han sido los estudios desarrollados para lograr un sistema de planificación de la producción en este centro pero resulta complejo, pues las producciones que aquí se realizan son organismos vivos que requieren un tiempo de desarrollo y aunque las tecnologías desarrolladas para la micropropagación masiva de plantas han alcanzado un alto grado de especialización aun resultan insuficientes las investigaciones realizadas.

Entre las investigaciones pioneras en el campo de la planificación y el control de la producción en el IBP para la tecnología de micropropagación masiva de plantas vía Organogénesis se encuentran las de Suarez Castellá et al.,[2006] para el cálculo de normas de trabajo de los operadores de cabinas de flujo laminar en la propagación masiva de plantas *in vitro*, luego Orellana Pérez et al., [2008] definió algunos métodos y elementos básicos para la planificación de la producción *in vitro* en biofábricas que permitieron definir con anticipación los requerimientos humanos y materiales para su realización para esta misma tecnología, Nodal Castillo & Suarez Castellá [2008] posteriormente con su trabajo Perfeccionamiento del proceso de planificación de la producción en la Biofábrica del Instituto Biotecnológico de las Plantas muestran un

resultado más acabado donde destacan un conjunto de ecuaciones que sirven de apoyo a la toma de decisiones para la realización de la planificación de la producción masiva de plantas vía Organogénesis. Los procedimientos variables y expresiones matemáticas son las que se reflejan a continuación.

Planificación general de la producción por contrato

Esta planificación se realizará cada vez que se realice la recepción de un pedido, para decidir si se puede cumplir con los requerimientos de fecha de entrega y cantidades solicitadas de los clientes.

Para el desarrollo del plan general es preciso seguir una serie de pasos ordenados en forma lógica, como se muestra a continuación.

Procedimiento:

- 1) Realizar una lista con los requerimientos del [los] cliente[s] en cantidades de producto y fechas de entrega deseadas.
- 2) Precisar para cada variedad, las fases por las que ha de transitar el producto y el número de subcultivos en la fase de multiplicación que debe realizarse para cumplir con los requerimientos del cliente y las cantidades solicitadas respectivamente, los explantes que tendrá cada frasco [es fijo para cada especie] el coeficiente de multiplicación [CM] y por ciento de pérdidas [%P] por baja calidad fitosanitaria de la especie a producir en las distintas fases por las que transita.
- 3) Definir la producción a realizar en cada fase, de acuerdo al CM y al % P y partiendo de la producción que se desea obtener, lo que se calcula de la forma siguiente:

$$Prod_i = \frac{Prod_{i+1}}{CM_i} * (1 + \% P_i)$$

Donde:

Prodi: cantidad de productos que se desea obtener en la fase i, explantes o vitroplantas.

Prodi+1: cantidad de productos que se desea obtener en la fase i+1, explantes o vitroplantas.

- 4) Precisarlas normas de rendimientos [Nr] la cual varía con la especie y además la cantidad de obreros [# obr.] en cada fase.
- 5) Definir el tiempo operativo [interviene el obrero] para cada fase teniendo en cuenta las Nr, # obr y la producción a realizar, obteniéndose a través de la siguiente expresión:

$$Top = \frac{Pr\ o\ di}{Nr*\#obr} \quad [d - obr]$$

6) Precisar el tiempo tecnológico [Tt] para cada fase y subcultivos que deben permanecer las vitroplantas en proceso bajo condiciones controladas, lo cual establece la tecnología para cada especie.

7) Este paso se realiza si se recepciona un pedido con más de una especie para saber cuál de ellas se debe realizar primero para cumplir con fecha de entrega y cantidades solicitadas. Si fuera un pedido y una especie este paso no se realiza puesto que la regla de prioridad es FIFO [Primero que entra primero que sale] de acuerdo al orden de llegada. Por tanto, en este paso se define la secuencia de producción en dependencia de Tt, Top y fechas de entregas solicitadas para lo que se aplicarán las reglas de prioridad: MINSOP [tiempo de desperdicio mínimo] y CR [razón crítica] debido a que lo que se persigue es el cumplimiento de las fechas de entrega para el cliente.

MINSOP:

Según la regla, para establecer la secuencia de producción de los pedidos, se ordenan de menor holgura o tiempo desperdiciado al mayor, y la holgura se calcula de la forma siguiente:

$$Holgura = Tf - Tpf$$

$$Tf = FE - FR$$

$$Tpf = Tmca + Tp$$

Donde:

Tf: tiempo que falta hasta la fecha de entrega.

Tpf: tiempo de procesamiento que falta.

FE: fecha de entrega.

FR: fecha de recepción del pedido.

Tmca: tiempo de movimiento, cola o ajuste.

Tp: tiempo de procesamiento.

CR:

Según esta regla, para establecer la secuencia de producción de los pedidos, se ordena de menor CR al mayor, y la CR se calcula de la forma siguiente:

$$CR = \frac{Tf}{Tpf}$$

Si:

CR < 1 No alcanza el tiempo para producir y entregar en la fecha deseada por el cliente.

CR = 1 Se logra producir justo a tiempo.

CR > 1 Existe suficiente tiempo para producir y entregar en tiempo.

Si cada regla proporciona una secuencia diferente se procede a aplicar las *medidas de efectividad* propuesta por Schroeder para saber cuál de las secuencias es más factible aplicar. Las medidas de efectividad son las siguientes:

- Tiempo medio de finalización o de flujo = $\frac{\sum TTP}{\#W}$
- % de utilización del puesto de trabajo = $\frac{\sum Top}{\sum TTP}$
- Número medio de trabajo en el sistema = $\frac{\sum TTP}{\sum Top}$
- Retraso medio de trabajos en el sistema = $\frac{Dtr}{\#W}$

Donde:

TTP: tiempo total de procesamiento.

#W: cantidad de trabajos a realizar.

Top: tiempo de operación.

Dtr: Días totales de retraso.

De las medidas de efectividad se le otorga mayor peso al retraso medio de trabajos en el sistema debido a que las mayores exigencias en el mercado es el cumplimiento estricto de los plazos de entrega motivado por las características del producto que es un ser vivo y no puede ser almacenado por lo que tiene su tiempo estricto para su utilización [siembra].

8) Definir el mes – día [M-D] en que deben terminar las vitroplantas en cada fase teniendo en cuenta:

- La secuencia anteriormente definida.
- El Top. Si al sumar el tiempo de terminación con el Top, este coincide con el tiempo utilizado por los mismos obreros en la elaboración de algún producto anteriormente planificado de acuerdo a la secuencia, entonces para hallar el día del mes que termina la

producción de esa fase sería la de terminación de la fase anterior más el tiempo que se encontrarán ocupados los obreros en otra producción.

- T_t que establece la tecnología.
- Fecha de inicio de la producción planificada = Fecha de recepción del pedido + Estimación del tiempo de confección del plan general + otros tiempos.
- La fecha de terminación de cada fase sería $M - D_{i+1} = M - D_i + T_{opi} + T_{ti}$

Comprobar que los tiempos en que interviene el obrero en cada fase no coincida con ninguno de los tiempos de la producción en proceso o anteriormente planificadas [sin llegar a ejecutarse la producción].

9) Comparar fecha de entrega exigida [FEe] por el cliente con la fecha de entrega planificada [FEp]. Si $FEe \geq FEp$ continuar con el procedimiento del plan general, si no negociar con el cliente sobre nueva fecha de entrega y/o las cantidades a entregar.

10) Definir:

a) Para fuerza de trabajo.

- ❖ Capacidad de la fuerza de trabajo [CAPft] en días/mes, según la cantidad de días laborales en mes y depende del producto anteriormente planificado.
- ❖ Carga de la fuerza de trabajo [Qft] en días/mes. Se obtiene sumando los tiempos operativos de los trabajadores para cada mes.
- ❖ Capacidad disponible para otras operaciones en días/mes. Se obtiene restando la CAPft al mes con la Qft.

b) Para el almacenamiento

- ❖ Capacidad de almacenamiento [CAPalm] por espera tecnológica para la fase i, [frascos]. Depende de la capacidad que ocupe la producción en proceso o la de los productos anteriormente planificados de acuerdo a la secuencia y el tiempo de estancia de estos en la fase.

$$CAP_{Da} = CAP_{est} * C_{est}$$

Donde:

CAP_{est}: capacidad de un estante, [frascos/estantes].

C_{est}: cantidad de estantes, [estantes]

- ❖ Carga de almacenamiento [Qalm] en frascos. Se obtiene dividiendo la producción a realizar en cada fase entre la cantidad de explantes/frasco en cada fase.

❖ Capacidad disponible de almacenamiento para otras producciones, en frascos. Se obtiene restando a la CAPalm la Qalm.

c) Para medios de cultivo.

❖ Definir para cada fase la cantidad de medios de cultivo [PMi] necesarios en Litros/fase.

$$PM_i = \frac{\frac{Prod}{Ef} * ML_{fi}}{1000}$$

Donde:

PMi: producción de medios de cultivos por la fase i, expresados en litros/fase.

Ef: cantidad de explantes / frasco.

ML_{fi}: mililitros por frasco, según las normativas que corresponda para la fase i.

❖ Definir la cantidad de cada insumo en litros o gramos que necesito [Qalm] para producir la cantidad de medios de cultivo necesarios para cada fase [PMi].

❖ Definir las existencias de los insumos en el almacén [CAPalm], en litros o gramos.

❖ Determinar la capacidad disponible de insumos, calculándose como las existencias en almacén – la necesidad de cada insumo [CAPdalm], en litros o gramos.

d) Para material vegetal.

❖ Material vegetal necesario, en explantes. Es la cantidad necesaria de producción en la fase 0.

❖ Material vegetal en existencia, en explantes. Es la cantidad de explantes que la biofábrica tiene almacenado.

❖ Disponibilidad de material vegetal, en explantes. Se obtiene restando al material vegetal en existencia el material vegetal necesario.

Negociar con el cliente en caso de no poder cumplir con sus requerimientos debido a los aspectos analizados anteriormente.

11) Si no se puede cumplir con las exigencias del cliente sobre fecha de entrega y cantidades solicitadas se debe establecer variante [s] de planes.

12) Evaluar las variantes según el costo que podría originar y escoger la más factible.

13) Realizar el contrato con el cliente.

Planificación detallada de la producción por contrato

Este plan se realiza para cada pedido de los clientes. Para dar cumplimiento a la fecha de entrega, establece las cantidades a realizar en cada día de la semana en dependencia de la carga máxima que puede soportar el obrero semanalmente.

El plan general le aportará al detallado las fechas de inicio y terminación de cada fase por la que debe transitar la especie solicitada. A continuación se muestra el procedimiento propuesto para el diseño del plan.

Procedimiento:

- 1) Obtener del plan general fecha de inicio y terminación de las cantidades a procesar según la fase, en días, semanas y mes, los % de pérdidas, coeficiente de multiplicación, tiempo tecnológico y tiempo operativo en cada fase.
- 2) Asignar las unidades a producir a los días de la semana de los meses que se va a ejecutar la producción según plan general.
- 3) Realizar un balance de la fuerza de trabajo teniendo en cuenta que el % de utilización de la fuerza de trabajo no debe exceder el 85 % y aunque se calcula en el plan general, no es suficiente con que se cumpla en meses y por tanto es necesario comprobar si se cumple también en semanas.
- 4) Tomar medidas de nivelación en dependencia del % de utilización de la fuerza de trabajo en caso de ser necesario, como:
 - Mover personal de un área más cargada hacia otra menos cargada.
 - Asignar trabajos investigativos relacionados con la labor que desempeñan en el tiempo libre, puesto que la biofábrica tiene como misión la investigación, mientras se toman decisiones para aumentar la demanda.
 - Subcontratar producciones.
 - Dejar de hacer producciones.
 - Correr las producciones hacia delante o hacia atrás siempre y cuando la tecnología lo permita o la fecha de entrega. Mover personal de un puesto de trabajo hacia otro.
 - Contratar personal extra.
 - Trabajar horas extras.
- 6] Elegir la mejor medida en dependencia de los costos que incurre.

Planificación diaria en las áreas productivas.

Esta planificación tendrá como objetivo principal informar a los obreros directos a la producción las actividades que deben realizar cada día de acuerdo con sus potencialidades y las cantidades a procesar para dar cumplimiento al plan.

Procedimiento:

- 1) Con las producciones a realizar en cada semana, confeccionar una lista con todas las actividades a realizar con su duración para cumplir con el plan detallado.
- 2) Construir un diagrama de Gantt en relación con las actividades a realizar, la cantidad de obreros y la duración de cada actividad.

Luego tomar medidas de nivelación en caso que sea necesario para cumplir con la producción.

1.7 Conclusiones parciales

1. En la bibliografía científica consultada se recoge una amplia base conceptual sobre el análisis de conceptos, enfoques, herramientas, técnicas y métodos relacionados con el entorno de los sistemas de planeación de la producción.
2. A pesar del auge que actualmente está tomando la producción comercial de plantas *in vitro* en el mundo y específicamente en Cuba, solamente se mencionan en la bibliografía consultada investigaciones relacionadas con el proceso de producción en sí o con la tecnología empleada para realizar dicha producción, existen pocas reseñas relacionadas con los procesos de planificación de dicha producción.
3. En la literatura científica consultada no se reporta la utilización o la aplicación de sistemas de ecuaciones funcionales para el apoyo a la toma de decisiones en la planificación de la producción que tomen en cuenta las características propias de las vitro plantas en biofábrica.
4. En las investigaciones previas realizadas por Nodal Castillo & Suárez Castellá [2008], Jiménez Cowan et, al. [2012] y Rodríguez Govea et, al. [2012] se reflejan las variables empleadas en el proceso de micropropagación masiva de plantas para las tecnologías de implementadas en este centro, sin embargo su análisis en la planificación de la producción es muy superficial.

Capítulo 2



Capítulo 2: Definición de las ecuaciones funcionales para el proceso de toma de decisiones en la planificación de plantas *in vitro*.

El siguiente capítulo tiene como objetivo principal definición de las ecuaciones funcionales que permitirá el perfeccionamiento del proceso de toma de decisiones en la planificación de la producción de plantas *in vitro* en la biofábrica del IBP. Estas permitirán mejorar la situación en la empresa en aras de aprovechar al máximo la capacidad instalada, darle un mejor servicio al cliente y responder de forma rápida y efectiva ante un nuevo pedido. Para lograr esto se hace necesario conocer exactamente las características, decisiones y variables que intervienen en el proceso de producción de plantas *in vitro*. A continuación se realiza la caracterización de este proceso.

2.1 Caracterización del proceso productivo de producción de *in vitro* plantas mediante embriogénesis somática

El proceso de micro propagación *in vitro* de plantas mediante la técnica de embriogénesis somática consta de 9 fases para la obtención del producto final (plantas listas para la siembra en campo).

La **Fase I** es la denominada **Selección de la flor masculina**, donde inicialmente se seleccionan en campo brotes florales masculinos de plantas adultas. Los brotes se colectan cuando se han abierto de 7 a 10 brácteas después de emitida la última flor femenina y se trasladan al laboratorio para su desinfección y posterior extracción de flores masculinas inmaduras, con la ayuda de un cuchillo.

Decisión tecnológica de esta fase: Para que pase a la próxima fase, a partir de las 20 semanas se debe observar callos con presencia de estructuras embriogénicas sobre determinadas regiones de su superficie.

La **Fase II** se denomina **Establecimiento de inflorescencias masculinas**, en esta fase se tienen como entradas las flores masculinas extraídas en la fase anterior. Primeramente dichas flores son llevadas al laboratorio para su desinfección, la cual se realiza con alcohol al 70% durante 15 minutos. Transcurrido ese tiempo y dentro de la cabina de flujo laminar, se enjuagaron las inflorescencias tres veces con agua destilada estéril, para eliminar los posibles residuos de alcohol. Posteriormente bajo un microscopio estereoscópico se extrajeron los 10 fascículos nodales más cercanos al meristemo floral (considerado este como cero) y se colocan desde el fascículo cinco hasta el catorce en

frascos de cultivo con el medio para la formación de callos, en el **Anexo 1** se muestran los materiales y las dosificaciones empleadas para la elaboración de dicho medio de cultivo; las condiciones de incubación fueron: oscuridad y temperatura de $27\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ durante 180 días, esta es considerada la **Fase III** llamada **Formación de callos embriogénicos**.

El **Establecimiento de las suspensiones celulares** es considerado la **Fase IV**, donde, los callos formados en la fase anterior son utilizados para el establecimiento de suspensiones celulares embriogénicas (SCE), las cuales se inician con 150 mg de masa fresca (MF) de estructuras embriogénicas en Erlenmeyers (25 mL de volumen total) que contienen 3.0 ml del medio de cultivo líquido (en el **Anexo 1** se muestran los materiales y las dosificaciones empleadas para la elaboración del medio de cultivo para la fase en cuestión), y luego se colocan en un agitador orbital modelo INFORS (HT), bajo condiciones de oscuridad, velocidad de 90 r.p.m y temperatura de $27\pm 2.0^{\circ}\text{C}$. A los 30 días de cultivo, las SCE son tamizadas con filtros de malla metálica de 0.5 mm de longitud de poro y su multiplicación se efectúa con la adición de 1.0 ml de agregados celulares sedimentados en Erlenmeyer de 250 ml de capacidad con 30 ml de medio de cultivo (Daniels *et al.*, 2002), igualmente en esta fase se emplean pipetas cortas de vidrio de 5.0 y 10 mL de volumen y una pipeta automática modelo PIPETBOY (TECNOMARA), además, es válido señalar que toda esta fase es realizada en cabinas de flujo laminar horizontal. Después se le pueden realizar cinco subcultivos cada 30 días, considerado en conjunto la **Fase V**, llamada **Multiplicación de suspensiones celulares**, pero se debe aclarar que esta fase es opcional, ya que con una sola multiplicación el proceso puede seguir adelante hacia la siguiente fase. Después de realizada la multiplicación, las SCE pueden ser utilizadas para la **Formación de embriones somáticos** a partir de los agregados celulares embriogénicos, considerada la **Fase VI**. Para la formación de embriones somáticos se utilizan dos densidades de inoculación (0.5 y 1.5 gMF) de agregados celulares embriogénicos. Estas se adicionan en Erlenmeyers de 250 ml de capacidad, que contienen 30 ml de medio de cultivo (materiales y dosificaciones se muestran en el **Anexo 1**). El pH se ajusta a 5.3 antes de la esterilización por autoclave. Se emplean cuatro Erlenmeyers de 250 mL de capacidad por tratamiento como repetición, cada 15 días se le renueva el medio de cultivo y a los 30 días de cultivo se

realizan las evaluaciones para determinar el número de embriones somáticos por litro de medio de cultivo (ES. L⁻¹) y el peso de la masa fresca. Para el conteo del número de embriones somáticos formados, se toma 1mL del cultivo con embriones somáticos y se adiciona a un beaker, que contiene una mezcla de Phytigel (2.0 g. L⁻¹) y agua. Posteriormente se vierte la mezcla en una placa de Petri de 70 mm de diámetro, se deja solidificar y se divide en cuadrantes. El conteo de se realiza bajo el microscopio estereoscópico modelo WILD M8 (LEICA). La masa fresca se expresa en miligramos de masa fresca por litro de medio de cultivo (mgMF. L⁻¹) y se determina al pesar el total de los embriones somáticos formados. El exceso de humedad de los embriones somáticos se elimina al ser colocados en discos de papel de filtro y exponerlos por un tiempo de 30 minutos a las corrientes de aire de la cabina de flujo laminar. Para el pesaje de las muestras se utiliza una balanza analítica SARTORIUS.

Decisión tecnológica de esta fase: A los 30 días de cultivo se observará en el microscopio estereoscópico la presencia de embriones somáticos agrupados e individuales con definición de la protodermis y la presencia de células meristemáticas.

La **fase** siguiente es la **VII, Maduración de embriones somáticos**, donde los embriones somáticos que se forman se colocan en medio de cultivo semisólido de maduración. En esta fase se utilizan 0.2 y 0.6 gMF de densidad de inoculación, en Erlenmeyers de 250 ml de capacidad que contienen 30 ml del medio de cultivo propuesto por Kosky et al. (2000) (los materiales y dosificaciones se muestran en el **Anexo 1**). El pH se ajusta a 5.8 antes de la esterilización por autoclave. A los 30 días de cultivo se observan las características morfológicas de los embriones somáticos, y se transfirieren a medio de cultivo semisólido de germinación.

Decisión tecnológica de esta fase: Los embriones se caracterizan por presentar forma redondeada y una coloración amarillo pálido.

La **Fase VIII**, denominada **Germinación de embriones somáticos**. Los componentes y dosificaciones de este medio de cultivo se muestran en el **Anexo 1**. El número de embriones somáticos germinados se cuantifica a los 30 días de cultivo.

Decisión tecnológica de esta fase: embriones germinados. Plantas listas para llevar a fase de aclimatización de 2,5 a 3,5 cm, más de dos hojas expandidas y de dos a tres raíces

Después de que los embriones están germinados pasan a la última fase, nombrada **Crecimiento**, donde los embriones ya germinados son colocados en un medio de cultivo semisólido, para luego pasar a una cámara de crecimiento, donde, recibirán luz natural para promover el rápido crecimiento de dichos embriones y donde obtendrán una altura apta para su comercialización.

2.2 Premisas para la planificación de la producción en una biofábrica

La forma en que se realiza la planificación para las diferentes etapas del proceso productivo deberá tener como punto de partida la definición de una serie de aspectos de carácter técnico, biológico y de tiempo, que de forma conjugada definen la proyección de esta, entre ellos:

1. Definición de un calendario al cual se refieran todos los ciclos o etapas de la producción. En este sentido la experiencia práctica indica que un sistema de planificación por semanas resulta adecuado para las diferentes actividades de una biofábrica, aunque en algunos procesos se requiere la planificación diaria.
2. Los protocolos o procedimientos para la propagación de cada especie, clon o variedad, deben definir con claridad los siguientes indicadores: Tasa o coeficiente de multiplicación para cada fase y total de multiplicaciones permisibles. De igual modo, el protocolo deberá establecer la cantidad de embriones por tipo de recipiente de cultivo recomendado para esa especie y fase in vitro, así como el tipo, estado y cantidad de medio de cultivo específico requerido. Igualmente incluirá los requerimientos de temperatura, tipo e intensidad de la luz en las cámaras de crecimiento.
3. Conocer los niveles de productividad para cada fase del proceso de los operarios de cabinas de flujo laminar, del área de preparación de medio de cultivo y de la fase de aclimatización.
4. Haber definido el nivel de producción que se puede lograr, para un proceso o producto específico, con el máximo aprovechamiento en el área del factor limitante o «cuello de botella».
5. En una primera etapa, para las bases de cálculo, aplicar los índices de rechazo de productos, según la experiencia nacional o internacional para cada proceso, fase o producto y finalmente, sobre la experiencia práctica y estadística de la propia biofábrica establecer los indicadores propios.

2.3 Definición de las ecuaciones funcionales

Las ecuaciones funcionales que se definen en este epígrafe servirán de base para la toma de decisiones en la planificación de la producción, permitiendo mejorar los plazos de entrega, la exactitud en la determinación de las necesidades de material vegetal y dar una respuesta de forma rápida y efectiva ante un nuevo pedido. Estas parten de las variables que son definidas por la tecnología de embriogénesis somática como medio para la producción de plantas *in vitro*, además fue preciso tener en cuenta cada fase por la que transita el material vegetal, desde su selección en el campo hasta la entrega de las plantas al cliente.

En el caso de las fases de selección de la inflorescencia masculina en campo y el establecimiento de inflorescencias masculinas, no se considera pertinente por parte de la autora de la investigación desarrollar ecuaciones funcionales, pues estas fases solo se desarrollan dos veces en el año (en los meses abril, mayo y junio y luego en septiembre, octubre y noviembre).

A partir de la fase formación de callos con estructura embriogénica la autora de la investigación desarrolló las ecuaciones funcionales donde se expresa la relación de las variables tecnológicas para la toma de decisiones en el proceso de planificación de la producción.

Ecuación para la formación de callos con estructura embriogénica.

$$CCEE_{ixj} = CFNS_{xz} * 0.1 * CFC_{ixz} \quad 2.1$$

$CCEE_{ixj}$: Cantidad de callos con estructuras embriogénicas tipo i (1, 2, 3) de la variedad x (FHIA-21) en el período j (junio).

$CFNS_{xz}$: Cantidad de fascículo nodales sembrados de la variedad x (FHIA-21) y la línea z (material vegetal extraído de misma inflorescencia).

CFC_{ixz} : Coeficiente de formación de callos de tipo i de la variedad x (FHIA-21) y la línea z (material vegetal extraído de misma inflorescencia).

Ecuación funcional para la fase de establecimiento y multiplicación de la suspensión celular.

$$CSC_{xj} = \sum (CCEE_{ixj-1} * \text{Índ est}_{ix} * CMLSC_{ix}) + CMLSC_{xj-1} * CM_{xy}(1 - p) \quad 2.2$$

CSC_{xj} : Cantidad de suspensión celular de la variedad x (FHIA-21) en el período j (junio).

CCEE_{ixj-1}: Cantidad de callos con estructuras embriogénicas tipo i (1, 2, 3) de la variedad x (FHIA-21) en el período j-1 (mayo).

Ind est_{ix}: Índice de establecimiento de los callos de tipo i (1, 2, 3) de la variedad x (FHIA-21).

CMLSC_{ix}: Cantidad de mililitros de suspensión celular obtenidos de callos tipo i (1, 2, 3) de la variedad x (FHIA-21).

CMLSC_{xj-1}: Cantidad de mililitros de suspensión celular de la variedad x (FHIA-21) que se multiplicaron en el período j-1 (mayo).

CM_{xy}: Coeficiente de multiplicación de la suspensión celular de la variedad x (FHIA-21) en la multiplicación y (índice con el que se multiplica una suspensión celular).

p: Porcentaje de pérdidas admisibles.

Ecuación funcional para la fase de maduración.

$$CESM_{xj} = CSC_{xj-1} * \frac{No_{mayas}}{MLSC} * \frac{No_{magentas}}{maya} * (1 - p) \quad 2.3$$

CESM_{xj}: Cantidad de embriones somáticos maduros de la variedad x (FHIA-21) en el período j (junio).

CSC_{xj-1}: Cantidad de suspensión celular de la variedad x (FHIA-21) en el período j-1 (mayo).

No_{magentas}: Número de magentas.

No_{mayas}: Número de mayas.

MLSC: Mililitros de suspensión celular.

p: Porcentaje de pérdidas admisibles.

Ecuación funcional para la fase de germinación.

$$CESG_{xj} = CESM_{xj-1} * CM_1 \quad 2.4$$

CESG_{xj}: Cantidad de embriones somáticos germinados de la variedad x (FHIA-21) en el período j (junio).

CESM_{xj-1}: Cantidad de embriones somáticos maduros de la variedad x (FHIA-21) en el período j-1 (mayo).

CM₁: Coeficiente de multiplicación para la primera germinación.

Ecuación funcional para la fase de crecimiento.

$$CPC_{xj} = CESG_{xj-1} * Ind Germ_1 * (1 - p) + CESG'_{xj-1} * Ind Germ_2 \quad 2.5$$

CPC_{xj} : Cantidad de plantas que pasan a crecimiento de la variedad x (FHIA-21) en el período j (junio).

$CESG_{xj-1}$: Cantidad de embriones somáticos germinados de la variedad x (FHIA-21) en el período j-1 (mayo).

Ind Germ₁: Índice de la primera germinación.

$CESG'_{xj-1}$: Cantidad de embriones somáticos de la variedad x (FHIA-21) que no germinaron en el período j-1 (mayo).

Ind Germ₂: Índice de la segunda germinación

p: porcentaje de pérdidas admisibles.

Para validar la aplicabilidad de estas ecuaciones se tomará como base la planificación de la producción del mes de junio del año 2014.

Para el mes de junio se requiere entregar 100000 plantas que deben salir de la fase de crecimiento y debe entrar una cantidad similar pues el contrato actual plantea entregas mensuales de 100000 plantas.

Por lo que se comenzará con la aplicación de las ecuaciones funcionales propuestas para cada fase, con el objetivo de demostrar su utilidad en la planificación de la producción en la empresa. Se utilizarán como datos el número de plantas que establece el contrato y parámetros dados por la tecnología como coeficientes de multiplicación, índices de establecimiento, números de mayas por mililitros de suspensión celular, porcentaje de pérdidas admisibles, entre otros.

Como una forma de mostrar la aplicabilidad del sistema de ecuaciones funcionales se realizará el cálculo de algunos parámetros a través de estas tomando como base la entrega planificada para el mes de junio del año 2014. Como las entregas mensuales son iguales para todos los meses, para esta investigación se asumirá que las cantidades de material vegetal a producirse en el mes anterior serán iguales a la calculada.

Se comenzará con la ecuación 2.5, la cual está diseñada para obtener la cantidad de plantas que pasan a crecimiento de la variedad FHIA-21 en el período junio pero como ese dato está establecido por el contrato, lo que se precisa determinar es la cantidad de embriones somáticos germinados de la variedad FHIA-21 en el período mayo.

Ecuación 2.5

$$CESG_{xj-1} = (CPC_{xj} - CESG'_{xj-1} * Ind Germ_2) / Ind Germ_1 * (1 - p)$$

$$CESG_{FM} = \frac{100000 - 0.98 * 72171}{0.45 * 0.9}$$

$$CESG_{FM} = 71483 \text{ embriones somáticos germinados}$$

La cantidad de plantas que pasan a crecimiento de la variedad FHIA-21 en el mes de mayo es 71483 embriones somáticos germinados.

Del resultado de esta ecuación se procede a obtener el valor de la cantidad de embriones somáticos maduros de la variedad FHIA-21 en el período mayo.

Ecuación 2.4

$$CESM_{xj-1} = CESG_{xj} / CM_1$$

$$CESM_{FM} = 71483 / 6$$

$$CESM_{FM} = 11913 \text{ embriones somáticos maduros}$$

La cantidad de embriones somáticos maduros de la variedad FHIA-21 en el mes de mayo es 11913 embriones somáticos maduros.

Luego de obtener este resultado se procede a determinar la cantidad de suspensión celular de la variedad x FHIA-21 en el período mayo.

Ecuación 2.3

$$CSC_{xj-1} = CESM_{xj} / \frac{No_{mayas}}{MLSC} * \frac{No_{magentas}}{maya} * (1 - p)$$

$$CSC_{FM} = \frac{11913}{10 \frac{mayas}{MLSC} * 1.5 \frac{magentas}{maya} * 0.9}$$

$$CSC_{FM} = 882 \text{ MLSC}$$

La cantidad de suspensión celular de la variedad FHIA-21 en el mes de mayo es de 882 MLSC.

Para continuar se hace necesario obtener la cantidad de callos con estructuras embriogénicas tipo 1, 2, 3 de la variedad FHIA-21 en el período mayo.

Ecuación 2.1

$$CCEE_{ixj} = CFNS_{xz} * 0.1 * CFC_{ixz}$$

$$CCEE_{1FM} = 1000 * 0.1 * 0.3 = 30 \text{ callos}$$

$$CCEE_{2FM} = 1000 * 0.1 * 0.3 = 30 \text{ callos}$$

$$CCEE_{3FM} = 1000 * 0.1 * 0.4 = 40 \text{ callos}$$

La cantidad de callos con estructuras embriogénicas tipo 1, 2, 3 de la variedad FHIA-21 en el mes de mayo es 30, 30 y 40 callos respectivamente.

Con los resultados de las ecuaciones anteriores se procederá a determinar la cantidad de suspensión celular que debe haber como resultado de la multiplicación para cumplimentar las necesidades de producción del mes de mayo.

Ecuación 2.2

$$CMLSC_{xj-1} = \frac{CSC_{xj} - \sum(CCEE_{ixj-1} * \text{Índ est}_{ix} * CMLSC_{ix})}{CM_{xy}(1 - p)}$$

$$CMLSC_{FM} = \frac{882\text{ml} - [(30 \text{ callos} * 0.2 * 0.8) + (30 \text{ callos} * 0.4 * 1.2) + (40 \text{ callos} * 0.6 * 1.8)]}{3 * 0.9}$$

$$CMLSC_{FM} = \frac{882\text{ml} - (4.8 + 14 + 43.2)}{2.7} = 303.7 \text{ ml}$$

La cantidad de suspensión celular que debe haber como resultado de la multiplicación para cumplimentar las necesidades de producción del mes de mayo es de 303.7 ml.

Una vez aplicadas las ecuaciones y determinados los parámetros correspondientes, se hace necesario determinar la cantidad de ml de medio de cultivo que se deben añadir a estos valores para obtener las plantas así como la cantidad de frascos que se van a utilizar.

Área de medios de cultivo

En el caso del área de medios de cultivo dependerá de las órdenes de las áreas antes mencionadas multiplicadas por las cantidades o dosificaciones requeridas para cada unidad de estas fases. Las expresiones se muestran a continuación así como los resultados.

$$CMC_i = NMC_i * CFR_i$$

CMC_i: Cantidad de Medio de Cultivo requerido para la fase i.

NMC_i: Norma o dosis del Medio de Cultivo para la fase i por frasco.

CFR_i: Cantidad de frascos requeridos para la producción en la fase i.

En esta área también son fregados y preparados los frascos para cada fase del proceso de producción, por lo que las órdenes de producción de frascos limpios también debe llegar a esta área y para determinar el tamaño de esta orden también se requiere del conocimiento de lo que van a procesar las otras áreas de la entidad y relacionarlas a través de una expresión como las que se muestra a continuación.

$$CFR_i = CMV_i / NMVF_i$$

CFR_i: Cantidad de frascos requeridos en la fase i.

CMV_i: Cantidad de material vegetal a procesar en la fase i.

NMVF_i : Norma o cantidad de material vegetal por frasco para la fase i.

Al aplicar estas ecuaciones para las cantidades de producción a realizar en cada una de las áreas antes mencionadas se obtiene el resultado que se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4:

Fases	Coeficiente de conversión	Cantidad de frascos	Norma de Medio de Cultivo	Cantidad de medios de cultivos
Formación de callos	5 fascículo/frasco	20	50 ml / frasco	1000 ml
Establecimiento y Multiplicación de suspensiones celulares	1ml/frasco	304	30 ml / frasco	9120 ml
Formación de embriones	20 embriones/frasco	30	60 ml / frasco	1800 ml
Maduración de embriones	20 embriones/frasco	45	60 ml / frasco	2700 ml
Germinación	20 embriones/frasco	596	60 ml / frasco	35760 ml
Crecimiento	20 plantas/frasco	3575	70 ml / frasco	250250 ml

Fuente: Elaboración propia.

Estas cantidades de medios de cultivo que fueron determinadas son las que será necesario producir para entregar 100000 plantas en el mes de junio y en los meses restantes hasta el cumplimiento del contrato. De aparecer otro contrato se volverá a determinar estas ecuaciones para tomar decisiones sobre el material vegetal y los recursos para cumplir con ese nuevo contrato, sabiendo que ya existe material en proceso.

2.4 Ventajas de la aplicación de las ecuaciones funcionales en la planificación de la producción en el IBP

A partir de las ecuaciones funcionales propuestas para el mejoramiento de la planificación de la producción, se considera que la aplicación de las mismas puede lograr impactos favorables en el proceso de planificación de la producción como son:

- ✓ Cumplimiento de los plazos de entrega de los pedidos.

- ✓ Mayor exactitud en la fijación de las fechas de entregas permisibles por la biofábrica.
- ✓ Precisión en las cantidades de material vegetal por fase para un pedido ocasional.
- ✓ Permiten evaluar diferentes escenarios del proceso de planificación sin tener que desarrollar los planes.

2.5 Conclusiones parciales

1. Las ecuaciones funcionales propuestas para la mejora del proceso de planificación de la producción en la biofábrica tiene en cuenta principalmente las características propias del producto y de la tecnología.
2. Para mostrar la funcionalidad de las ecuaciones solo se toma en cuenta una de las entregas realizadas en el año 2014, puesto que el objetivo es mostrar a grandes rasgos como se deben aplicar estas para la toma de decisiones en la planificación.
3. La aplicación de las ecuaciones funcionales puede ser efectuado en cualquier biofábrica que trabaje por pedidos y utilizando la tecnología de embriogénesis somática para la micropropagación masiva de plantas en medio semisólido.

Conclusiones



Conclusiones generales

1. El estudio bibliográfico realizado para la construcción del marco teórico referencial confirma la existencia de una amplia base conceptual sobre los sistemas de planificación de la producción y sus aplicaciones, sin embargo no se hallaron precedentes en la bibliografía consultada de la utilización o aplicación de ecuaciones funcionales para el apoyo a la toma de decisiones en la planificación de la producción.
2. El uso de las ecuaciones funcionales para el apoyo a la toma de decisiones en el proceso de planificación de las operaciones garantiza que se tomen en cuenta las características y variables propias de la tecnología de producción de vitro plantas en las biofábricas.
3. Las ecuaciones y variables que quedaron definidas para apoyar el proceso de planificación de la producción de vitroplantas consideran las fases desde la formación de callos con estructura embriogénica hasta el crecimiento de las plantas.
4. El desarrollo del sistema de ecuaciones funcionales definido resulta una contribución al proceso de planificación de la producción para la tecnología de embriogénesis somática pues permitirá estimar las cantidades de material vegetal necesario para el cumplimiento de los pedidos contratados, la consideración de varios escenarios al momento de contratar una producción y tomar decisiones sobre los recursos necesarios para enfrentarla.

Recomendaciones



Recomendaciones.

1. Dada la validez del sistema de ecuaciones desarrollado, se hace evidente su aplicación, teniendo siempre presente que cualquier irregularidad o cambio que se produzca, puede condicionar a la realización de mejoras dentro de la propuesta realizada.
2. Para dar continuidad a este trabajo se propone establecer un programa de implantación en toda su magnitud que facilite la obtención de mejores resultado en la biofábrica.
3. Diseñar un software propio para la implementación del sistema de ecuaciones establecido en la investigación.
4. Determinar los requerimientos de producción para las demás entregas a efectuarse en el 2014, utilizando el sistema de ecuaciones desarrollado.

Bibliografia



Bibliografía:

1. Acevedo, J. A. [1987]: Materiales complementarios sobre Esquema General de Organización, Ed. ISPJAE, La Habana.
2. Adam, E. & Ebert, R. [1991]: Administración de la producción y de las operaciones, cuarta edición, Ed. Prentice Hall, México D.F.
3. Agramonte, D. [1998]: Aclimatización. (Capítulo 11). En: propagación y mejora genética de las plantas por biotecnología. Editado por Instituto Biotecnológico de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp 193 – 202.
4. Alvarado, Y. et al [1997 /b/]: Contaminación bacteriana en la micropropagación de la caña de azúcar. Fase de establecimiento. Anales del tercer seminario internacional de sanidad vegetal. Ciudad de La Habana, Cuba. pp.133.
5. Alvarado, Y. et al [1997 /c/]: Control de la contaminación microbiana en la micropropagación de plantas. Anales del tercer seminario internacional de sanidad vegetal. Ciudad de La Habana, Cuba. pp. 76 – 77.
6. Armas, R. & Fernández, E. [2006]: Planificación. Consultado en 2008 en www.monografias.com/trabajos34/planificacion/planificacion.shtml.
7. Bera, H. [1996]: Computer aided Scheduling (CAS) and manufacturing. Segundo seminario sobre sistemas avanzados de manufactura, Pereira.
8. Buffa, E. & Sarin, R. [1995]: Administración de la producción y de las operaciones. Ed. Limusa, México D.F.
9. Carrazana, V. [1995]: Estudio comparativo de diferentes formulaciones de sustrato para la aclimatización de vitroplantas. Trabajo de diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 20 – 24.
10. Cassells, A. C. [1991]: Problemin tissue culture: culture contamination micropropagation: technology and application. Kluwer Academia Publisher Printed in Netherlands. pp. 31 - 45.
11. Cespón, R. & Auxiliadora, María [2003]: Administración de la cadena de suministro. Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica Centroamericana, UNITEC. Tegucigalpa, Honduras.
12. Chase, R. & Aquilano, N. [1995]: Dirección y administración de la producción y de las operaciones, 6ª. Ed., Editorial IRWIN, Barcelona.

13. Colectivos de autores [1999]: El Perfeccionamiento Empresarial en Cuba, Ed. Félix Varela, Ciudad de la Habana.
14. Companys Pascual, R. [1989]: Planificación y programación de la producción, Ed. Marcombo S.A., Barcelona.
15. De Feria Silva, M. [1995]: Resultados de la asesoría técnica desarrollada en el laboratorio comercial AGRICAR, Venezuela. (Informe Técnico). Instituto Biotecnológico de las Plantas. Universidad Central de las Villas. Santa Clara. pp.3-5.
16. Debergh, P. L. y Maene, L. J. [1981]: Schema for comercial propagation of ornamental plants by tissue culture. Hort. Science. № 14. USA. pp.335.
17. Delgado, L. [2000]. Micropropagación de Eucalyptus Grandis (HILL EX MAIDEN) a partir de segmentos nodales de árboles seleccionados. Tesis en opción al título académico de Magíster Scientae en biotecnología vegetal.
18. Domínguez Machuca, J.A. et. al [1995]: Dirección de operaciones. Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. Editorial Mc Graw Hill, Madrid.
19. Evans, D. A. y Bravo, J. E. [1985]: Phenotypic and genotypic stability of tissue cultured plants tissue culture as a plant production system for horticultural crops. USA. pp 73 – 91.
20. Falkinler, F. [1996]: Antibiotic in plant tissue culture and micropropagation. Abstract of international symposium on bacteria contaminants of plant tissue culture. University College, USA. pp 13.
21. FAO [1999]: La Biotecnología puede ayudar a alimentar a la población humana en aumento pero es necesario equilibrar sus aspectos positivos y negativos. Documento PR 99/2. Representación en Cuba. Ciudad de La Habana, Cuba. pp.5-8.
22. García, Noelia [2005]: Biotecnología. Consultado en 2008 en <http://www.portaley.com/biotecnologia/>
23. Gilbert, J. y Caligari, P. [1991]: The use of eliminate bacterial contamination in potato tissue culture. Annual of applied biology. № 119. USA. pp. 113.
24. Heizer, J. & Render, B. [1997]: Dirección de la producción. Decisiones tácticas. 4ª. Ed., Editorial Prentice Hall, Madrid.

25. Hernández, R. et al [1996]: Micrométodo para la detección de contaminantes bacterianos latentes en el cultivo in Vitro de *Solanum tuberosum*. H. Anales del cuarto coloquio internacional de biotecnología de las plantas. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Cuba.
26. Hu, C. V y Wang, L. P. [1983]: Meristem, shoot tip and bud culture. Handbook of plant cell culture. Mc Millan publishing. New York. Vol 1. pp. 177 -227.
27. Jiménez Pichardo, M. [1994]: Comportamiento de la producción de vitroplantas en las biofábricas cubanas. Conferencia magistral en la III Reunión Nacional de Directores de Biofábricas. Ciudad de La Habana, Cuba.
28. Jiménez, E. [1995]: Propagación in vitro de caña de azúcar (*Saccharum spp*) híbrido. Tesis en opción al grado de doctor en ciencias agrícolas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp 40 - 52.
29. Jiménez, E. [1998 /b/]: Cultivo de apices y meristemas. Capítulo 3. En propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Editado por Instituto Biotecnológico de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp 45 – 46.
30. Jiménez, E. y Caballero, C. [1990]: El cultivo industrial de plantas. Ediciones Horticultura. S.L. REUS. España. pp. 51 - 89.
31. Jiménez, F. [1998]: Instituto técnico para la aclimatización de vitroplantas. (Informe de investigación terminado). Universidad Central de Las Villas. Santa Clara. pp. 5 - 18.
32. Kalenatic, D. & Blanco, L.E. [1993]: Aplicaciones computacionales en producción, Fondo editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Santa fé de Bogotá D.C.
33. Kitto, S. L. [1997]: Comercial Micropropagation. Hort Science." vol 32. Netherland. pp. 6-8.
34. Meins, F. [1982]: Heritable variation in plant cell culture. Annual Report. Plant Physiology № 34. USA. pp. 327 -346.
35. Meredith, J. & Gibbs, T. [1986]: Administración de operaciones, Ed. Limusa, México D.F.
36. Monks, J. [1991]: Administración de operaciones, Ed. Mc Graw Hill, México D.F.

37. Nahmias, S. [1997]: Production and Operations Analysis, Third edition, Ed. IRWIN, Chicago.
38. Narasimhan, S. et. al [1996]: Planeación de la producción y control de inventarios, Editorial. Prentice Hall, México.
39. Orellana Pérez, P. [1997]: Resultados de la asesoría técnica a la gobernación de la Región de Antiquía, Colombia sobre Biotecnología Vegetal. (Informe Técnico). Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 2-10.
40. Orellana, P. [1994]: Tecnología para la micropropagación in vitro de Carica papaya. Tesis en opción al título de master en ciencias en biotecnología vegetal. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Santa Clara, Cuba pp 75 – 95.
41. Ortega, R. [1996]: Metodología para la micropropagación in Vitro de Carica papaya. Tesis en opción al título de master en ciencias en biotecnología vegetal. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Santa Clara, Cuba. pp. 20-25.
42. Pérez, J. N. [1987]: Instructivo técnico para la micropropagación in Vitro de clones de usa spp. Ediciones Internas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 3 - 9.
43. Pérez, J. N. et al [1998]: Propagación masiva de plantas en biofábricas. (Capítulo 14). En: propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Editado por Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
44. Piccola, A. [1992]: Control de un invernadero. Revista Mundo Electrónico. Nº136. España. pp. 71 -76.
45. Quesada, L. [1992]: Manejo de plantas en invernaderos. (Informe final de investigación). Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 4-15.
46. Quijano, A. [2003]: Pronósticos: modelo cualitativo de pronósticos y aplicaciones. Modelo de series de tiempo. Consultado en 2008 en <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/serietiempo.htm>.
47. Rancillac, M. et al [1987]: Influence de la multiplication in Vitro de compoment du plant frasier en France. Acta Horticulture. Nº 212, USA. pp. 55 -59

48. Resolución Económica V Congreso PCC [1997]. Editora Política, La Habana.
49. Russell, R. & Taylor, B. [1998]: Operations Management. Focusing on quality and competitiveness. Second edition, Ed Prentice Hall, New Jersey.
50. Santamaría, Juana & Villegas, Oxdali. [2005]: Planeación y Administración del Aprovechamiento. Consultado en 2008 en <http://www.monografias.com/trabajos17/aprovechamiento/aprovechamiento.shtml?monosearch>.
51. Santos, I. [1997]: Sistema de organización y estimulación del trabajo en la fase de aclimatación de plantas en el Instituto de Biotecnología de las Plantas. Trabajo de diploma. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba. pp. 25 – 45.
52. Sauvaire, D. y Galsy, P. [1983]. Micropropagation de la canne a sucre par bouturage in vitro. Action d' une auxine cytokinine. Paris, France.
53. Schroeder, R. [1992]: Administración de operaciones, toma de decisiones en la función de operaciones, 3ª. Ed., Editorial Mc Graw Hill, México.
54. Starr, M. [1979]: Administración de la producción. Sistemas y síntesis, Ed. Dossat S.A., Madrid.
55. Suárez Castellá, M. et. al [1999]: Programa Integral de productividad y calidad para biofábricas. Revista Centro Agrícola (aceptado para publicar). Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
56. Tawfik, L. & Chauvel, A.M. [1992]: Administración de la producción, Ed. Mc Graw Hill, México D.F.
57. Tovar, C. U. et. al [2005]: Planeación de requerimientos de materiales. Consultado en 2008 en <http://www.monografias.com/trabajos23/planeacion-requerimientos/planeacion-requerimientos.shtml?monosearch>.
58. Uribari, A. [1992]; Invernaderos y túneles. ITGC (octubre). Valencia, España. pp. 34 -45.
59. Vasil, I.K. [1994]: Automation of plant propagation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. № 39 USA. pp. 105-108.



Arneros

Anexos

Anexo 1 Componentes y dosificaciones de los medios de cultivo por fase

Tabla 1. Medio de cultivo para la formación de callos

Sales MS	4.3 g. L ⁻¹
Vitaminas MS	10 ml. L ⁻¹
Biotina	1.0 mg. L ⁻¹
AIA	1.0 mg. L ⁻¹
2,4-D	4.0 mg. L ⁻¹
ANA	1.0 mg. L ⁻¹
Sacarosa	30 g. L ⁻¹
Agar	4 g. L ⁻¹
pH	5.8

Tabla 2. Medio de cultivo para el establecimiento y multiplicación de las suspensiones celulares

Sales MS	4.3 g. L ⁻¹
Vitaminas MS	10 ml. L ⁻¹
Biotina	0.5 mg. L ⁻¹
L-glutamina	100 mg. L ⁻¹
Extracto de Malta	100 mg. L ⁻¹
2,4-D	3.0 mg. L ⁻¹
Sacarosa	45 g. L ⁻¹
pH	5.3

Tabla 3. Medio de cultivo para la formación de embriones somáticos

Sales MS	4.3 g. L ⁻¹
Vitaminas MS	10 ml. L ⁻¹
Biotina	1.0 mg. L ⁻¹
Ácido ascórbico	100 mg. L ⁻¹
Mioinositol	100 mg. L ⁻¹
Agar	4 g. L ⁻¹
Sacarosa	30 g. L ⁻¹
pH	5.3

Tabla 4. Medio de cultivo para la maduración de embriones somáticos

Sales MS	4.3 g. L ⁻¹
Vitaminas MS	10 ml. L ⁻¹
Biotina	10 mg. L ⁻¹
6-BAP (6-bencilaminopurina)	0.5 mg. L ⁻¹
AIA	1.0 mg. L ⁻¹
Mioinositol	100 mg. L ⁻¹
Agar	4 g. L ⁻¹
pH	5.8

Anexo 1 Continuación

Tabla 5. Medio de cultivo para la germinación de embriones somáticos

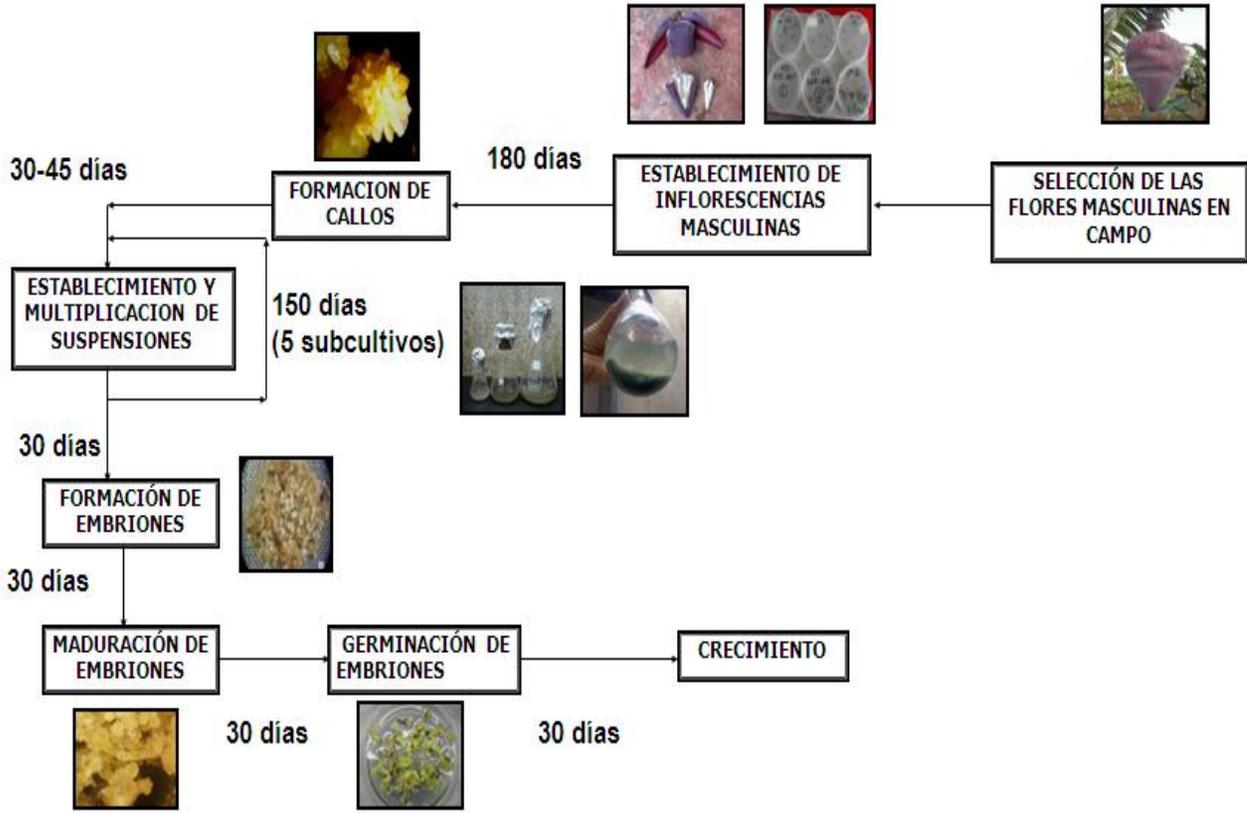
Sales MS	4.3 g. L ⁻¹
Vitaminas MS	10 ml. L ⁻¹
6-BAP (6-bencilaminopurina)	0.5 mg. L ⁻¹
AIA	2.0 mg. L ⁻¹
Mioinositol	100 mg. L ⁻¹
Agar	4 g. L ⁻¹
Sacarosa	45 g. L ⁻¹
pH	5.8

Tabla 6. Medio de cultivo para el crecimiento de plantas

Sales MS	2.15 g. L ⁻¹
Sacarosa	20 g. L ⁻¹
Agar	4 g. L ⁻¹

Fuente: Datos del IBP

Anexo 2 Proceso de producción de plantas *in vitro* de musa empleando la embriogénesis somática en medios de cultivo semisólido



Fuente: Datos del IBP