

Caracterización y distribución celular del proceso de producción de forraje hidropónico

Characterization and cellular distribution of the production process of hydroponics forage

MILTON MAURICIO HERRERA RAMÍREZ

Ingeniero de Producción y Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Pertenece al Grupo de Investigación en Gestión Tecnológica “Dédalo”, Bogotá, Colombia.
Correo electrónico: m_herrera26@yahoo.es.

CATALINA ECHAVARRÍA VEGA

Ingeniera de Producción de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Pertenece al Grupo de Investigación en Gestión Tecnológica “Dédalo”, Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: catalinaev@yahoo.com

Clasificación del artículo: reflexión (Re-creaciones)

Fecha de recepción: 11 de abril de 2008

Fecha de aceptación: 10 de junio de 2008

Palabras clave: sector lácteo, alimentación, forraje hidropónico, proceso.

Key words: dairy, food, forage hydroponic process.

RESUMEN

El proceso de producción de forraje hidropónico posee una característica de evolución en el sistema productivo latinoamericano. Su caracterización y análisis para futuros desarrollos en el campo hidropónico es necesario verlo desde el punto del sostenimiento alimentario. El artículo desarrolla la caracterización del proceso de producción de forraje hidropónico como una alternativa de alimentación bovina en el sector lácteo desde los antecedentes hasta los sistemas de producción existentes y finalizando con los trabajos futuros sobre el tema. Asimismo, tiene como objeto caracterizar y proponer una distribución celular para el proceso de producción de forraje hidropónico que permita

la flexibilidad en la producción de forraje como alternativa de alimentación bovina. Finalmente, se plantea la necesidad de investigar sobre la producción de forraje hidropónico como alternativa para la reducción de costos en el sector agrícola especialmente el de la cadena láctea.

ABSTRACT

The process of hydroponic forage production is a feature of developments in the Latin American production system. Characterization and analysis for future developments in the field need hydroponic seen from the point of sustaining food. The article develops the characterization of the process of hydroponic forage production as an alternative

feed for dairy cattle in from the background to the existing production systems and ending with the future work on the subject. The present work aims to characterize and propose a cellular distribution for the production of hydroponic fodder that allows

flexibility in the production of alternative forage as cattle feed. Finally, there is a need for research on hydroponic forage production as an alternative for reducing costs in the agricultural sector especially the dairy chain.

* * *

1. Introducción

Según investigaciones realizadas por [26], en Colombia la elaboración de una gran variedad de productos derivados de la leche, abastecen la demanda interna en el país; sin embargo, una gran parte de los remanentes de leche producida en los hatos colombianos es desechada, ya que existen falencias en la fabricación de yogurt y leche en polvo para lactantes, entre otros, lo que disminuye el superávit comercial. La producción de leche en el país se tipifica por contar con precios estacionales, los cuales se distribuye dependiendo del régimen de lluvia y sequía que afecta la disponibilidad de pasto y, por tanto, la leche producida [27].

Con el transcurrir del tiempo los procesos relacionados con el sector del agro en Colombia no confluyen del todo al desarrollo ni a la competitividad, por lo que se presenta una baja participación del sector lácteo en los mercados mundiales. Sin embargo la tendencia internacional de desarrollo se ha enfocado al fortalecimiento de sectores estratégicos, aunados en el impulso de políticas que propenden al desarrollo de capacidades científicas, tecnológicas y de innovación [11]. Como parte del mejoramiento en el sector lácteo se han analizado aspectos relacionados con la genética, la nutrición, los suplementos alimenticios, la utilización de tecnología para ordeño, entre otros, lo cual genera un aumento en la productividad; sin embargo, los volúmenes de producción de leche fresca presentan una variabilidad, por causa de los periodos de lluvias y sequías que afectan la disponibilidad de pastos, por lo que se presenta una disminución de la cantidad de leche producida [25].

Como consecuencia del régimen de lluvia y sequía que afecta la producción de pastos y aumenta el uso de concentrados, se hace necesario diseñar un proceso de producción de forraje como una alternativa a las necesidades alimentarias del bovino. Frente a esto, algunos analistas sugieren que los ganaderos colombianos deben aprovechar algunas condiciones particulares propias de la región, que permitan reemplazar progresivamente los granos y los concentrados [27]. Actualmente, la población basa su sustento en lo que es producido por el agro, la producción hidropónica puede ser una alternativa para el reemplazo y el mejoramiento en el uso de los terrenos para los ganaderos colombianos o latinoamericanos. Los factores climáticos afectan directamente los precios pagados por la leche, lo que causa problemas de competitividad para el sector lácteo [25], por esto el Consejo Nacional Lácteo [13] ha realizado esfuerzos para mitigar el impacto a través de la utilización de concentrados y de pastos tecnificados; sin embargo, esto representa una problemática que maneja variables no controlables por parte de la industria y, por tanto, se hace más difícil su manejo, lo que ha llevado al desarrollo de alternativas como la producción de forraje¹ bajo un sistema hidropónico de cultivo más barato durante cierta época del año [14].

¹ El Forraje verde hidropónico (FVH) es la germinación de granos (semillas de cereales o leguminosas) con crecimiento en condiciones controladas.

2. Antecedentes

La producción de forraje utilizando técnicas hidropónicas ha sido una alternativa de producción eficiente, al permitir una menor dependencia frente a algunos factores, tales como: las condiciones climatológicas, disponibilidad de terreno, de agua, y algunos factores nutricionales que son otorgados por soluciones nutritivas o por los mismos granos utilizados en el proceso [22].

Según Howard [24], el desarrollo de éste tipo de técnicas no es reciente, por el contrario, este proceso fue utilizado en los jardines flotantes de los Aztecas, en los jardines colgantes de Babilonia y en la China imperial. Hacia el siglo XVII Jan Van Helmont y posteriormente John Woodward realizaron los primeros experimentos de cultivos en agua, que desencadenaron en la investigación de las técnicas que actualmente se denominan de cultivo hidropónico; contiguamente hasta la utilización de este tipo de técnicas en lugares como Chernóbil, Kazakstan y Voronezh, afectados por radiación atómica, donde su utilización se realizó para la obtención de alimentos sanos y limpios, además de reducir la bioacumulación² de radiación en los animales y, por ende, en los consumidores de sus productos [31].

Los primeros trabajos de investigación en cultivos hidropónicos de forraje, realizados por John Woodward, estaban encaminados a comparar diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos y determinar la composición del forraje resultante, entregando como resultados un crecimiento del forraje de 3 a 4 centímetros en un tiempo de 12 a 15 días [31].

Arano [3] comprobó en investigaciones con sistemas hidropónicos de pasto que la producción de éste era

suficiente para el alimento diario de una vaca lechera con una producción de 16 a 18 kilos de forraje. Según estos estudios, Arano recogió pruebas en las cuales las unidades hidropónicas para el cultivo de pasto producen alimento para los animales a la mitad de los costos convencionales [24].

Por su parte, en América Latina se ha utilizado la producción de forraje como una alternativa de alimentación bobina, como Sánchez [31] lo presenta en el manual de la FAO, en el que describe el déficit alimentario dado por catástrofes naturales como la erupción del volcán Hudson (1991), que desencadenó la escasez de pasturas por la constante lluvia de ceniza en el sur de Chile y Argentina, llevándose consigo miles de vidas de animales; o la sequía de 6 meses en 1999 que tuvo similares consecuencias, en general, en el cono sur de América Latina, debido a éstos u otros factores, tanto en Argentina, Chile, Perú, Uruguay, entre otros, han realizado estudios y desarrollado pruebas frente a esta alternativa alimenticia, se ha podido sustentar en ella posibilidades importantes de aprovechamiento de recursos, así como una oportunidad de negocio; tal como lo presenta la empresa Argentina HidroForraje S.R.L, que incorporó la automatización y el control de variables al proceso hidropónico, para la obtención de una producción móvil y constante de forraje.

En otros países, como Perú, se logró establecer una unidad forrajera para el suministro de alimento para ganado de la región que presentaba una característica climática árida [24]. En otro caso el señor Enrique Valdivia Benavidez en Argentina logró una gran productividad en cultivos forrajeros hidropónicos para el consumo de ganado multipropósito [24].

En Colombia, al ser un país con cierta disponibilidad de recursos y un clima variado, aunque en los últimos años se ha visto afectado por los cambios climáticos y las pérdidas que éstos conllevan, los desarrollos enfocados a la hidroponía son pocos, en comparación con el gran potencial de esta alternativa, esto se ha evidenciado en otros países de América; por ejemplo, se han realizado estudios, como son la producción de

² Bioacumulación: es el efecto de acumulación natural de contaminantes en la grasa animal, después de consumir alimentos contaminados.

maíz hidropónico y su dosificación en la alimentación de cachama [29], o investigaciones relacionadas con la obtención de potenciales depuradores de algunos cultivos hidropónicos [16], que no se concentran como tal en la utilización de la hidroponía como alternativa alimentaria, sino como soporte frente a otros focos de estudio y como alternativa viable frente a carencias de espacio para la producción de éstos en la investigación. Es destacable la experiencia dada en la ciudad de Bogotá³, donde se implementó la capacitación de algunos sectores de la ciudad, en la producción hidropónica de vegetales, para estimular la dieta saludable y combatir la desnutrición de la población más pobre.

3. Caracterización de los sistemas hidropónicos

Una de las características que identifican los cultivos hidropónicos es el medio en que se encuentra cultivada la raíz. Los cultivos hidropónicos de forrajes se caracterizan por ser un cultivo en agua, es decir que las raíces están suspendidas sobre un medio líquido que no necesariamente debe contener nutrientes, puesto que éstos hacen parte de las semillas y para la germinación sólo requiere agua. En el artículo se hace énfasis en el sistema de producción de tipo cerrado⁴ con un medio de cultivo de raíz en líquido que evita la búsqueda y selección de sustratos⁵ de cultivo. Una de las ventajas que ofrece

el sistema NFT⁶ es su mayor eficiencia en cuanto a la utilización de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de las plantas [9].

Los sistemas básicos con la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT) se componen de una mínima cantidad de elementos que han sido adaptados a otros sistemas hidropónicos, según las necesidades y los recursos físicos disponibles, según Izquierdo y Carrasco [9], los elementos que constituyen el sistema hidropónico son el estanque colector que cumple con la función de almacenar la solución nutritiva, los canales de cultivo que permiten la sujeción de las plantas al nutriente y el flujo de éste, la red de distribución que pueden ser mangueras o tubería de PVC, por la cual circula la solución nutritiva, la bomba de tipo sumergible o no sumergible y la tubería colectora que permite recoger la solución nutritiva en los canales de cultivo, llevándola de retorno al estanque colector para de allí ser de nuevo circulada (sistema cerrado).

Los sistemas hidropónicos deben tener en cuenta algunos factores que hacen que el proceso de producción sea productivo. Los factores⁷ o elementos adicionales que se tienen en cuenta son:

- La solución nutritiva: es aquella que contiene todos los nutrientes que cada especie cultivada normalmente extrae del suelo.

³ Resultado del plan de Bogotá sin hambre 2005.

⁴ Los sistemas cerrados se caracterizan, porque la solución nutritiva circula a través del cultivo y va a parar a un tanque desde el cual puede ser reutilizada.

⁵ El sustrato es un material sólido que sirve de soporte a las raíces y cumple varias funciones físicas, químicas y biológicas en los cultivos. En los cultivos tradicionales el suelo es el sustrato natural.

⁶ Sistema hidropónico de recirculación de solución nutritiva "NFT" (Nutrient Film Technique), desarrollado en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década del sesenta. Técnica de cultivo en flujo laminar en la cual las raíces extendidas sobre canales reciben láminas delgadas de agua con nutrientes varias veces al día.

⁷ Una mejor descripción de los factores ambientales necesarios para la producción de cultivos hidropónicos se define en COLJAP S.A, [12]. En estos factores que influyen en la producción de pasto hidropónico también coinciden con [31].

- El oxígeno: una importante condición es la respiración de las raíces del cultivo.
- El drenaje: la evacuación del exceso de solución nutritiva que permite una buena respiración y desarrollo de las raíces, así como elimina los excedentes de sales.
- Temperatura: el grado de adaptación de una planta a temperaturas cambiantes varía según la especie.
- Lluvia: las precipitaciones atmosféricas de agua varían de una zona a otra.
- Viento.
- Humedad atmosférica: capacidad de vapor de agua que puede haber disuelta en el aire.
- Luz: la luz influyen con varios efectos en el crecimiento de las plantas.
- Plagas y enfermedades: este factor es limitante tanto para cultivos en tierra como hidropónicos.

Según el proceso de absorción de la solución nutriente, los cultivos hidropónicos se pueden clasificar en raíz en sólido, raíz en líquido y raíz en gaseoso. La raíz en líquido el medio en el cual se encuentra el cultivo es el nutriente mezclado con el agua, en la raíz en sólido ésta se encuentra en medio sólido, es decir posee un sustrato que reemplaza al suelo, el cual puede ser cascarilla de arroz, espuma, entre otros, y finalmente raíz expuesta a un medio gaseoso.

Igualmente, se clasifican dependiendo del sistema de flujo de los nutrientes en sistema cerrado el cual permite recircular el nutriente y el agua en todo el cultivo otra vez (teniendo en cuenta un límite de recirculación permitido) y sistema abierto en el cual el flujo de nutrientes y agua sólo circula una vez en el cultivo.

4. ¿qué es el forraje verde hidropónico?

El *forraje verde hidropónico* (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas⁸ a partir de semillas viables. El FVH o *green fodder hydroponics* es un pienso⁹ o forraje vivo, de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal [31] y [23]

Howard [24] precisa que el cultivo hidropónico se caracteriza por ser un cultivo de plantas sin tierra que presenta algunas ventajas frente al cultivo tradicional con suelo, entre las que se distinguen el control de agentes químicos y biológicos, una disminución significativa en la disponibilidad de tierra y la optimización en el uso del recurso del agua, sin embargo, estas prerrogativas no hacen que exista divergencia fisiológica entre lo cultivado en suelo (cultivo tradicional) o en un cultivo hidropónico, puesto que los nutrientes que son obtenidos por el cultivo tradicional, son reemplazados por soluciones nutritivas que contienen dichos elementos en la hidroponía. Con los cultivos hidropónicos se puede obtener una variedad de cultivos, que va desde las hortalizas hasta algunas variedades de frutas.

5. Características de un sistema hidropónico de forraje verde como alternativa de alimentación de bovinos

Los sistemas de producción de Forraje Verde Hidropónico se presentan de diversas formas y tamaños adaptados, como ya se mencionó, a la restricción de recursos físicos que se presenten en determinado

⁸ Plántula: Planta joven, al poco tiempo de brotar de la semilla.

⁹ Pienso: porción de alimento seco que se da al ganado.

contexto y dependiendo de la demanda que se presente o requiera en dicho medio; sin embargo, este tipo de producción en Colombia no ha tenido el crecimiento ni la importancia comercial que se ha presentado en otros países, por tanto, se han identificado varias técnicas, utilizadas de producción de forraje por Sánchez [31], Iglesias y Howard [24], en otros países; entre esas técnicas se encuentran la producción de forraje en estantes, la producción realizada sobre tambores rotativos y, por último, unidades automáticas de producción con control de variables en el invernadero, estas últimas utilizadas en Argentina.

La producción de forraje, indistintamente de la técnica utilizada, maneja básicamente tres etapas (Resh, Sánchez e Iglesias) para su producción que son:

- La humidificación (1 día).
- La germinación (de 2 a 6 días)¹⁰
- El crecimiento (de 4 a 5 días).

En los sistemas más eficientes se manejan tiempos de producción de forraje de 8 días desde granos secos, en otros sistemas más rudimentarios se manejan tiempos hasta de 12 y 14 días. Según [31], las operaciones necesarias en la producción de forraje hidropónico para garantizar una producción óptima deben ser:

- Selección de las especies de granos utilizados en el forraje (cebada, avena, maíz, trigo y sorgo).
- Selección de la semilla¹¹.

¹⁰ Los días varían dependiendo del control de las variables ambientales, de la calidad y especie de las semillas.

¹¹ Trabajos realizados a nivel heurístico son desarrollados con métodos de selección por [22], la cual arroja como resultado la selección de la semilla del maíz como la idónea en el proceso de producción de forraje hidropónico.

- Lavado de la semilla.
- Remojo y germinación de las semillas.
- Dosis de siembra.
- Siembra en las bandejas e inicio de los riegos.
- Riego de las bandejas.
- Riego con solución nutritiva.
- Cosecha y rendimientos.

Los alimentos naturales de los bovinos son los forrajes¹², los cuales se pueden consumir frescos y son denominados forrajes verdes y tras conservarse por secado (henos) o por ensilaje (forrajes ensilados) [7]. Las especificaciones del forraje hidropónico en la alimentación de bovinos se deben caracterizar por cumplir la ración mínima diaria. Dicha ración debe satisfacer dos componentes: de mantenimiento mínimo del animal y de producción de leche. Los cálculos que se presentan en la tabla 1 muestran las especificaciones mínimas para que el producto pueda satisfacer la ración bovina [22].

- Los factores fueron tomados de las investigaciones desarrolladas para la cría de ganado por el Ing. Vittorio Cappa, para cumplir con los requerimientos mínimos nutricionales de la ganadería.
- En las variables se determinaron el valor de (P) con base al peso promedio del animal (500 kg). Para el valor la variable (L) se escoge una producción diaria de leche de 17 litros/día, con base en la mejor producción del país que se presenta en la zona Atlántica.

¹² Los forrajes son las partes vegetativas de las plantas gramíneas o leguminosas que contienen una alta proporción de fibra.

Tipo de Ración diaria	Composición	Factor ^(a)	Variable ^(b)	Especificación del producto ^(c)
De Mantenimiento	Unidad Forrajera U.F. ¹³	0,80	Peso en vivo del animal en kilogramos (P)	400 U.F.
	Proteínas digeribles	60 g		30 kg
De Producción ¹⁴	Unidad Forrajera U.F.	0,30	Litros de leche producidos a diario (L)	5,1 U,F,
	Proteínas digeribles	60 g		1,02 Kg
	Calcio	3 g		0,051 Kg
	Fósforo	2 g		0,034 Kg
	Magnesio	0,8 g		0,0136 Kg
	Sodio	1 g		0,017 Kg

Tabla 1. Especificación mínima del pasto como ración diaria de alimentación de bovinos.

Fuente: Tomada de [22]

- El cálculo de las especificaciones es resultado del producto entre (a) y (b).

6. Distribución celular de un sistema de producción de forraje hidropónico

El diseño propuesto en este artículo se basa en la distribución con formato de tecnología de grupos¹⁵ o distribución celular. Este modelo de distribución o formato es utilizado para trabajar en productos que presentan formas y requisitos de procesamiento similares, debido a que existen una variedad de semillas

y tipos de forraje que se pueden sembrar para la producción. El formato de tecnología por grupos sirve como configuración flexible para la producción de forraje hidropónico. La configuración de diseño y la relación entre los componentes de la distribución de una célula¹⁶ de producción para el proceso de forraje hidropónico se define en la figura 1. Se propone una distribución que en un futuro pueda ser flexible con una diversidad de calidad en el producto para la alimentación bovina.

Por otra parte, el conjunto de instalaciones que componen un sistema hidropónico son denominados invernaderos [12]. El objetivo fundamental del invernadero es proteger el proceso de producción agrícola de aquellos factores ambientales anteriormente definidos. Las instalaciones para la producción de pasto hidropónico se encuentran clasificadas, según Sánchez [31] como:

¹³ La Unidad forrajera es aquella cantidad de cualquier alimento que es capaz de transformarse en tres litros de leche. Experimentalmente se ha demostrado que 1 U.F. es equivalente a 1 kg de cebada o 2,5 kg de heno de prado. Fuente: [7].

¹⁴ Cantidad necesaria para la producción de un litro de leche con un contenido de materia grasa normal (3,5% [7]).

¹⁵ Una distribución de tecnología de grupo es similar a una distribución por proceso en que las células están diseñadas para ejecutar una serie específica de procesos.

¹⁶ Cada célula de producción dentro de un invernadero se encuentra constituida por: dos módulos de germinación, un módulo de producción y un módulo auxiliar.

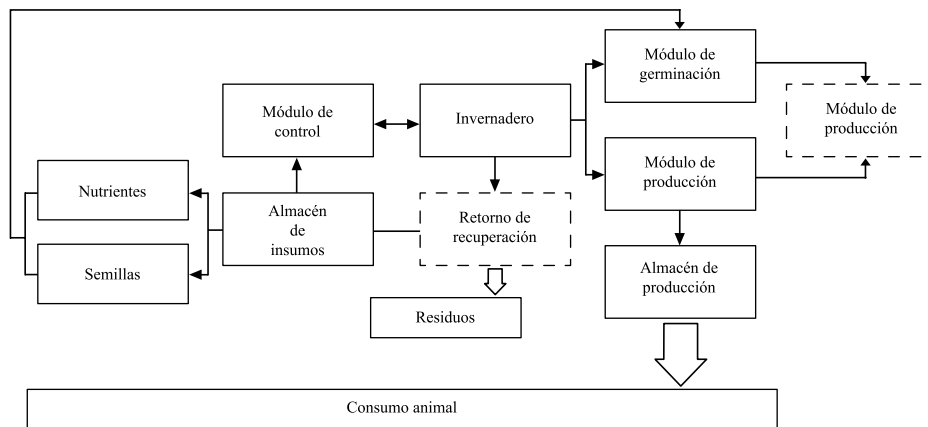


Figura 1. Relación entre los componentes de la distribución de un sistema de producción de pasto hidropónico.

Fuente: autores.

- Populares.
- Estructuras o recintos en desuso.
- Modernas o de alta tecnología.

Para el diseño de instalaciones para el proceso de producción de forraje se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Luz.
- Temperatura.
- Humedad ambiental.

Los aspectos de diseño se especifican en las tablas 2 y 3 como parámetros de especificación en el diseño de la instalación para el proceso de producción de forraje hidropónico.

Horas del día	Irradiación solar Foot candles (F.C.) ¹⁷
12	10.000
17	3.000
Día nublado	1.000
Luz neón a 10 cm	150
Luz para leer	20

Tabla 2. Intensidad de luz en instalaciones para la producción hidropónica.

Fuente: [7]

Temperatura exterior (°C)	Temperatura interior (°C)	Diferencia (°C)
0	2	2
5	8	3
10	16	6
15	24	9
20	32	12
25	40	15
30	48	18

Tabla 3. Variación de temperaturas en invernadero para la producción hidropónica.

Fuente: [7]

¹⁷ Un Foot Candles es la medida de la intensidad luminosa que produce una bujía situada a 1 pie (30 cm) de distancia. Para que una planta hortícola funcione bien debe llegarle entre 1.000 y 3.000 F.C. Fuente: [7]

7. Conclusiones

El uso e investigación de los sistemas cerrados de hidroponía han sido mínimos, por ende, la producción y comercialización de forraje verde, como una estrategia de mejoramiento continuo y competitividad en el mercado se ha visto afectada. Esto se debe a la ausencia de investigaciones en cuanto al diseño de un proceso de producción de pasto tendiente a la industrialización y posible comercialización. El diseño de sistemas flexibles que provean alternativas de producción de forraje para apalancar y solucionar problemas de tipo climático se convierte en una vía de investigación que se encuentra inmersa en el desarrollo científico y tecnológico en el que se aboca el país.

La producción de forraje hidropónico en Colombia se presenta como una opción encaminada para alcanzar una mayor productividad y competitividad del sector lechero, la cual, enriquecida con la utilización de técnicas de ingeniería como el diseño de proceso, la investigación de operaciones para la optimización del proceso de producción, control de proceso en las variables e investigación de estructuras y materiales, permitiría no sólo me-

jorar la relación costo/beneficio, sino que también propendería a la eficiencia del sistema en aras de fortalecer y estructurar los factores que inciden en la innovación que estratégicamente ubiquen al sector y particularmente a las pymes que lo integran.

Según las investigaciones realizadas por Howard [24] y Sánchez [31], los cultivos hidropónicos de forraje verde propenden al mejoramiento de la salud animal, ya que las raciones alimenticias tienen un efecto nutricional y de estimulación de crecimiento, generados no sólo por las vitaminas que contienen, sino también por el poder enzimático y amilásico que aumenta. Es decir, las investigaciones posteriores deben centrar su atención hacia el proceso de producción de calidad del forraje, ya que éste brinda los suficientes elementos que garantizan una buena nutrición animal.

Por otra parte, la distribución celular propuesta sirve como guía para la implementación de modelos flexibles en la agroindustria que satisfagan diversos sectores o cadenas productivas que tengan como objetivo mejorar los índices de productividad y competitividad.

Referencias bibliográficas

- | | |
|---|--|
| [1] ABC Semicol, <i>Precios de kilo de semillas de Cebada, Maiz, Sorgo y Trigo</i> , Bogotá D.C., 2008. | Asociación Nacional de Productores de Leche (ANALAC)". <i>Informe de coyuntura leche resumen 2006</i> , ANALAC, Bogotá D.C., 2006. |
| [2] F. Aguayo González & V.M Soltero Sanchez, <i>Metodología del Diseño Industrial. Un enfoque desde la ingeniería concurrente</i> , Alfaomega Rama, México D.F., 2003. | [4] BASF Química Colombiana S.A., <i>Nutrición Animal</i> , BASF, Bogotá D.C., 2003. |
| [3] S. Arano, "Forraje hidropónico y otras técnicas de cultivos sin tierra. Buenos Aires, Argentina. | [5] E.S. Buffa, <i>Dirección de operaciones. Problemas y modelos</i> , Limusa, México D.F., 1982. |
| | [6] F. Calderón Saenz, & L.F. Restrepo, <i>Dr. Calderon Laboratorios LTDA</i> . 18 de mayo de 2001. Disponible en: http:// |

- www.drcalderonlabs.com/index.html. Recuperado el 15 de agosto de 2007.
- [7] V. Cappa, *Cría de ganado y animales de granja*, España: Ediciones Ceac, Madrid, 2001.
- [8] C.D. Carballido Carlin, *Silvoagropecuarios*. 5 de agosto de 2005). Disponible en: www.usuarios.lycos.es/forrajehidroponico. Recuperado el 7 de enero de 2008.
- [9] G.P. Carrasco, & J.P. Izquierdo, “La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (‘NFT’)”. *FAO*, 1-61, 1996.
- [10] A.I. Castro Ramírez, “Capraispana”. *Forraje Hidropónico para alimentar cabras*. Disponible en: <http://www.capraispana.com/destacados/costarica/forraje.htm>. Recuperado el 22 de febrero de 2008.
- [11] Colciencias, *Visión Colombia II Centenario: 2019*, Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá D.C., 2006.
- [12] COLJAP Industria Agroquímica S.A., *Aprende fácil Cultivos Hidróponicos*, Ediciones Culturales VER LTDA, Bogotá D.C., 2000.
- [13] Consejo Nacional Lácteo CNL, *Generalidades de la Cadena Productiva Láctea*. Bogotá D.C, 2003.
- [14] E. Crampton & L. Harris, *Nutrición animal aplicada*, Acribia, Zaragoza- España, 1979.
- [15] N. Cross, *Métodos de diseño. estrategias para el diseño de productos*, Limusa, México D.F., 2003.
- [16] L.E. Cruz Torres, F.M. Cuervo & D.Y. Sanabria, *Determinación del potencial depurador del cultivo hidropónico de Phalaris spp y Pennisetum clandestinum Hochst, mediante la técnica de la película nutriente*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- [17] R.B. Chase, N.J. Aquilano & F.R. Jacobs, *Administración de producción y operaciones*, Mc Graw Hill, Bogotá D.C., 2000.
- [18] Federación Colombiana de Ganaderos, *FEDEGAN*. Disponible en: <http://www.fedegan.org.co>. Recuperado el 31 de mayo de 2007.
- [19] Grupo Latino Ltda., *Cultivo de pastos y forrajes*, Grupo Latino Ltda, Bogotá D.C., 2003.
- [20] G. Gutiérrez & C. De prada, *Diseño integrado de procesos*, Universidad de Valladolid. Departamento de Ingeniería de sistemas y automática, Valladolid, España, s.f.
- [21] R. Harmon & L.D. Peterson, *Reinventar la Fábrica*, Limusa Noriega Editores, México D.F., 1994.
- [22] M.M. Herrera Ramírez, *Diseño de proceso para la producción de pasto como alternativa en la alimentación de bovinos utilizando un sistema hidropónico de cultivo cerrado*. Tesis Méritoria Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., 2008.
- [23] M.M. Herrera Ramírez & C. Echavarría Vega, *Forraje hidropónico como alternativa de innovación y tecnología en los procesos de producción agroindustrial sustentable*, IBERGECYT, La Habana, Cuba, 2008.
- [24] R.P. Howard M., *Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción*, Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España, 2001.

- [25] IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, *Acuerdo de competitividad de la cadena Láctea Colombiana*. Colección documentos IICA, Serie Competitividad N° 12, Bogotá D.C., 1999.
- [26] H. Martínez Covadela, *Agrocadenas*. Diciembre de 2006. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co>. Recuperado en mayo de 2007.
- [27] H. Martínez Covadela, *Agrocadenas*. Diciembre de 2005. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co>. Recuperado en mayo de 2007.
- [28] Ministerio de Agricultura y desarrollo y Observatorio de agrocadenas, *La cadena de lácteos en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica (1991 - 2005)*.. Documento de trabajo N° 48 Noviembre de 2005. Disponible en: www.agrocadenas.org.co. Recuperado el 31 de mayo de 2007.
- [29] S.L. Posada Ochoa & N. Mesa, *Evaluación de distintas dosificaciones de maíz hidropónico sobre el crecimiento híbrido de Cachama blanca por Cachama negra bajo las condiciones de la estación piscícola de San Silvestre (Barrancabermeja)*, Universidad de Antioquía, Medellín, Antioquía, Colombia, 2005.
- [30] I.C. Ramírez Bonilla, “Promotora de materias primas orgánicas del Tolima Ltda.”, *Harina de Pasto Maralfalfa* . Bogotá, Colombia, 14 de junio de 2007.
- [31] A. Sánchez Cortazzo, *Manual técnico forraje verde hidropónico*, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO, Santiago, Chile, 2001.