

Producción más Limpia y Eficiencia Energética en una Industria de Lácteos

G. Calle¹ C. Pozo²

¹Ministerio de Industria y Productividad, MIPRO

²Consultor Producción más Limpia

E-mail: mauriciocallenaranjo@gmail.com; gpozoy@hotmail.com

Resumen

Dentro del proyecto del Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia propuesto por el Ministerio de Industrias y Productividad, en convenio con la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se realizó el proyecto de “Producción más Limpia y Eficiencia Energética en una Industria de Lácteos” durante el año 2014 con el propósito de analizar e implementar soluciones de mejora aplicando Producción más Limpia con la metodología de la ONUDI, donde se identificó oportunidades de optimización del uso de energía eléctrica y disminución del consumo de diésel. Se utilizó las siguientes metodologías: -Línea-base de la planilla eléctrica; manejo de DP y energía horas pico; aislamiento de tuberías de vapor; análisis termodinámico para retorno de condensado de yogurteras, marmita y pasteurizador; evaluación termodinámica de una cámara de refrigeración. Se logró identificar operaciones unitarias donde se cuantificó los parámetros que la caracterizan, desde el punto de vista económico, ambiental y tecnológico. Se propone mejoras con incidencia en el consumo eficiente de energía eléctrica, y consumo de diésel. Se demostró que con poca inversión se obtiene considerables ahorros anuales con un periodo corto de recuperación de la inversión.

Palabras clave— Producción más Limpia, eficiencia energética, termodinámica, lácteos.

Abstract

Within the project of the Ecuadorian Center for Resources Efficiency and Cleaner Production proposed by the Ministry of Industry and Productivity, in agreement with the United Nations Organization for Industrial Development (UNIDO) and the United Nations for the environment programme (UNEP), it was carried out the project “Cleaner Production and Energy Efficiency in a Dairy Industry “ during the year 2014 with the purpose of analyzing and implementing improvement solutions by applying Cleaner Production with the methodology of UNIDO, where the opportunities for optimizing the use of electricity and decrease diesel consumption were identified. It was applied the following methodologies: energy demand management and peak hours energy; steam pipe insulation; thermodynamic analysis for the condensed return in yoghurt-makers, marmite and pasteurizer; Thermodynamic evaluation of a refrigerating Chamber. It was possible to identify unitary operations where the parameters that characterize it from an economic, environmental and technological view is quantified furthermore, improvements that impact on the efficient use of electricity and diesel consumption were proposed. It was showed that with little investment it is obtained considerable annual savings in a short recovery period.

Index terms— Cleaner production, energy efficiency, thermodynamics, dairy.

Recibido: 11-10-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015.

Forma sugerida de citación: Calle, G. y Pozo, C. (2016). “Producción más Limpia y Eficiencia Energética en una Industria de Lácteos”. Revista Técnica “energía”. N° 12, Pp. 209-215.

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia en uso de recursos y producción más limpia P+L, bajo el enfoque de la ONUDI, es una metodología que sirve a las empresas para ser más eficientes y competitivas, ya sea en los procesos, en el producto terminado o en los servicios, lo que va a reducir el impacto ambiental y generar recursos económicos para la empresa [1].

Los beneficios logrados al aplicar estos principios son la optimización de los costos de producción al ser más eficientes en los procesos, aumentar la producción utilizando menos recursos naturales, y mejorar la rentabilidad de la empresa.

2. OBJETIVOS

- Identificar el ahorro de energía eléctrica utilizando una línea-base de la planilla eléctrica, manejo de DP y consumo de energía en horas pico.
- Calcular el ahorro de energía térmica mediante el aislamiento de tuberías de vapor.
- Analizar termodinámicamente el retorno de condensado de yogueteras, marmita y pasteurizador con el objeto de generar ahorro en el consumo de diésel para generación del vapor de la caldera.
- Evaluar termodinámicamente una cámara de refrigeración para reducir costos de consumo de energía eléctrica.

3. DESARROLLO

3.1 Ahorro de energía eléctrica utilizando una línea-base de la planilla eléctrica, manejo de DP y consumo de energía en horas pico

3.1.1 Metodología utilizando una línea-base de la planilla eléctrica

Aplicando una regresión lineal como se muestra en la Fig.1, entre el consumo histórico de kW-h vs. m³ de producción de leche de la empresa obtenemos la siguiente ecuación:

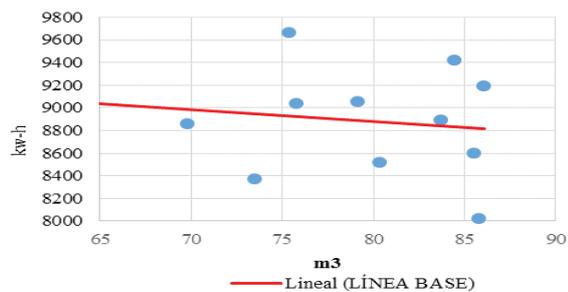


Figura 1: Línea Base situación actual kW-h vs m³ de producción de leche

$$y = -10,555x + 9723,2 \quad (1)$$

Reemplazando en (1) los valores de x con los m³ de producción de leche, obtenemos la Fig2., con una nueva línea base calculada y la siguiente ecuación:

$$y (Base) = -13,682x + 9837,5 \quad (2)$$

Se realiza una diferencia entre los kW-h históricos con los kW-h obtenidos de la ecuación (2) para obtener la línea meta con los mejores valores de operación menores a cero, obteniéndose (3):

$$y (Meta) = -7,538x + 8994,6 \quad (3)$$

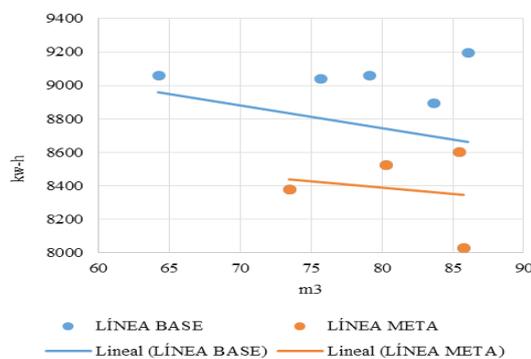


Figura 2: Línea Base expectativa generada kW-h vs m³ de producción de leche

Para determinar el potencial ahorro se realiza una diferencia de términos independientes de (2) y (3):

Potencial ahorro = 9837,5 kW-h – 8994,6 kW-h
 Potencial ahorro = 842,9 kW-h /mes
 Potencial ahorro = \$67/mes
 Porcentaje de ahorro =10%

Porcentaje calculado con base a la facturación normal de la empresa y un valor promedio del kW-h de \$0,079.

El valor obtenido se lo logrará simplemente realizando el correcto uso de la energía eléctrica con buenas prácticas operacionales que permite a la empresa disminuir el consumo eléctrico y de esta forma se contribuirá a disminuir el impacto ambiental, ya que los procesos serían más óptimos y adecuadamente controlados.

3.1.2 Metodología utilizando el manejo de DP y consumo de energía en horas pico

En la empresa de lácteos utilizada para el estudio, trabaja en jornada normal sin horario nocturno con un consumo mensual que asciende a los \$722,24. Por lo cual no se ha considerado las ventajas y beneficios que trae consigo operar en horarios donde el costo de la energía eléctrica es menor al que normalmente se adquiere.

En la Tabla 1 se han realizado varios escenarios mensuales para cuantificar el correcto manejo de DP y consumo de energía horas pico, observándose el mejor escenario es el número 1 con un consumo de \$556,72 generándose un ahorro de \$165,52 mensuales.

Tabla 1: Distribución acumulativa de energía pico

Escenarios	Potencia Demanda Pico	Energía LV 18-22H	Energía LV 08-18H	Factor de corrección	Pago antes de impuestos y tasas.
	KW X 10	kW-h	MW-h	FC	\$
1	1,5	1,03	2,7	0,50	556,72
2	1,7	1,71	2,7	0,50	572,49
3	1,9	2,40	2,7	0,68	588,89
4	2,1	3,08	2,7	0,78	605,88
5	2,3	3,77	2,7	0,89	623,59
6	2,5	4,45	2,7	1,20	641,86

3.2 Calculo del ahorro de energía térmica mediante el aislamiento de tuberías de vapor

La empresa de estudio, cuenta con 30 metros de tubería sin aislar de 1 pulgada de hierro galvanizado

como se muestra en la Fig. 3, la cual transporta vapor desde el distribuidor del vapor hacia el área de producción donde se encuentra las yoguterías y pasteurizador. El vapor que va por la tubería de estudio es producido por un caldero a diésel de 30 BHP. Las pérdidas de calor ascienden a un valor anual de \$104,06 lo que es equivalente a 101,02 galones de diésel. Al disminuir el consumo de diésel en la caldera, se evita un impacto ambiental ya que se mejorará la eficiencia de la caldera y se disminuirá los gases de combustión al entorno.

Según [2] el cálculo de las pérdidas de calor las obtenemos al desarrollar (4), (5) y (6):

$$q = U_i A_i (T_i - T_\infty) \tag{4}$$

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{(r_o - r_i)r_i}{k r_{im}} + \frac{r_i}{h_o r_o} \tag{5}$$

$$r_{im} = \frac{r_o - r_i}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \tag{6}$$

Donde q es flujo de calor, A_i el área interior de la tubería y U_i es el coeficiente global de transmisión de calor basado en el área interior, h_i coeficiente de convección del lado interior, h_o coeficiente de convección del lado exterior, r_i radio interior, r_o radio exterior, k es la conductividad térmica del material de la tubería.



Figura 3: Imagen térmica de la tubería sin aislar

Tabla 2: Pérdidas de calor por tubería

Parámetros	Escenario sin aislante	Escenario con aislante de lana de vidrio con recubrimiento de aluminio
Pérdidas por tubería sin aislante (kW/año) =	3 311,70	315,27
Poder calorífico diésel (kW/kg) =	11,88	11,88
Diésel necesario (kg) =	278,70	26,53
Densidad del diésel (kg/m ³) =	832	832
Densidad del diésel (kg/gl) =	3,14	3,14
Pérdidas por tubería sin aislante / año (gl) =	101,02	9,58
Precio unitario diésel (\$) =	\$ 1,03	\$ 1,03
Pérdidas por tubería sin aislante / año (USD) =	\$ 104,06	\$ 9,87
Diésel necesario / año (gl) =	11 265,17	11 173,73
Diésel necesario \$ / año =	11 603,13	11 508,94

Como resultado del análisis de la Tabla 2, se aprecia que al recubrir con aislante, reducimos las pérdidas del consumo de diésel de 101,02 gl a 9,58 gl por año equivalente a una reducción de las pérdidas del 90% en consumo de diésel.

La alternativa estudiada evita pérdidas de calor por radiación. El aislante a utilizarse será lana de vidrio con recubrimiento de aluminio, material que es comúnmente utilizado para aislar tuberías de vapor, además de tener un valor económicamente bajo. Al evitar las pérdidas de calor por ésta tubería se considera un ahorro potencial en galones de diésel a utilizarse en la caldera y por ende una disminución del uso de agua para generación de vapor. Además de los beneficios del bienestar del operario ya que se disminuirá la temperatura del entorno del área de trabajo.

3.3 Análisis termodinámico del retorno de condensado de yoguteras, marmita y pasteurizador con el objeto de generar ahorro en el consumo de diésel para generación del vapor de la caldera

En la empresa caso de estudio, el área de producción de yogurt y de refrescos, se ocupan los siguientes equipos:

Proceso de elaboración de yogurt = 3 yoguteras
 Proceso de elaboración de refrescos = 1 pasteurizador
 Proceso de limpieza de equipos = 1 marmita

En estos equipos se ocupa vapor generado por una caldera de 30 BHP, que produce vapor a 139°C y un condensado a temperatura de 70°C según la Fig.4 con los siguientes caudales: 3 yoguteras de 210 l/h, pasteurizador de 20 l/h, 1 Marmita de 20 l/h.

En [3] y [4] se recomienda utilizar (7) para determinar la cantidad de calor necesaria para calentar cierta cantidad de masa a una temperatura buscada:

$$Q = m C_p \Delta T \quad (7)$$

Donde Q es la cantidad de calor, m es la masa, Cp el calor específico, ΔT es la variación de temperatura.

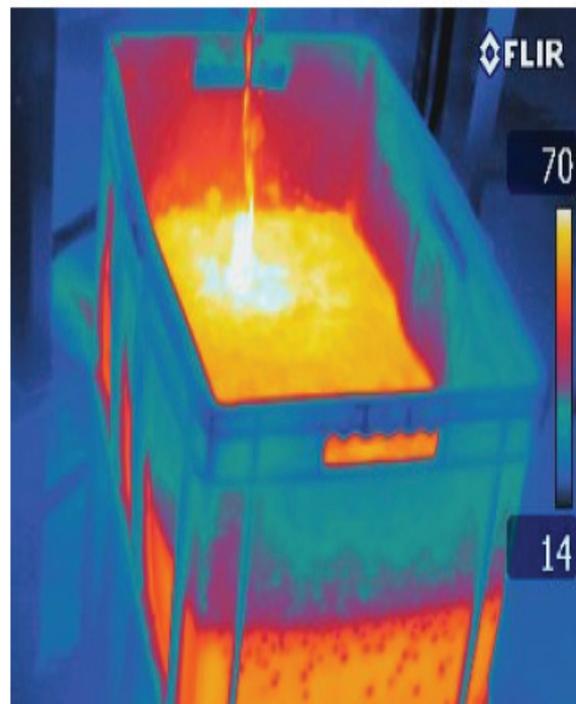


Figura 4: Imagen térmica de los condensados de las marmitas

Todo este condensado se lo desecha como effluente a la planta de tratamiento de aguas, por lo que representa una pérdida para la empresa ya que el condensado a esa temperatura se lo puede retornar al caldero y así mejoraríamos la eficiencia del mismo.

Se prevé utilizar el condensado a 70°C para mezclarlo con el agua que ocupa el caldero, a

través de una pequeña red de tuberías se puede recircular el condensado hacia la caldera de vapor como se muestra en la Fig. 5. Se estudió además la disminución en el consumo de agua del caldero, gracias a la recirculación del condensado generado en las yoguteras, marmita y pasteurizador.

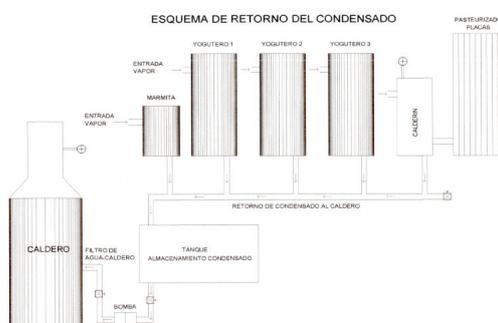


Figura 5: Esquema de retorno del condensado

Tabla 3: Ahorro generado con retorno de condensado al caldero

Parámetros	Situación actual Caldero	Estudio de caso Caldero
	sin retorno	con retorno
°T entrada agua a caldero (°C) =	12	50,4
°T salida de vapor del caldero (°C) =	139	139
Calor específico del agua (J/kg.°C) =	4 184	4184
Calor específico del vapor (kJ/kg.°C) =	1,84	1,84
Calor latente de evaporización del agua (kJ/kg) =	2 257	2257
Densidad del agua a 12°C (kg/l) =	0,99958	0,98802
Agua consumida l/h =	375	375
Agua consumida kg/h =	374,84	370,51
$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ de 12°C a 100°C (kW) =	38,37	21,38
$Q = m \cdot \text{Entalpia de evaporización}$ (kW) =	235,19	232,47
$Q = m \text{ vapor} \cdot C_p \cdot \Delta T$ a 139°C (kW) =	7,48	7,39
Q total (kW) =	281,04	261,25
Horas funcionamiento caldero (h) =	3,6	3,6
Q total (kW)/año =	369 285	343 285
Poder calorífico diésel (kcal/kg) =	10 221,00	10 221,00
Poder calorífico diésel (kW/kg) =	11,88	11,88
Diésel necesario (kg) =	31 077,64	28 889,57
Densidad del diésel (kg/m³) =	832,00	832,00
Densidad del diésel (kg/gl) =	3,14	3,14
Diésel necesario / año (gl) =	11 265,2	10 380,0
Precio unitario diésel (\$) =	\$ 1,03	\$ 1,03
Diésel / año (USD) =	\$ 11 603,13	\$ 10 691,57

Sumando los caudales de condensado se obtendrá 250 litros por hora a 70°C. Normalmente el caldero necesita 375 litros por hora por lo que por diferencia se necesitarán 125 litros adicionales a 12°C. Termodinámicamente la mezcla del condensado a 70°C y el agua restante a 12°C, se obtendrá 375 litros a 50,4°C. Según la Tabla 3 se observa que existe una reducción en el consumo de diésel al retornar el condensado de \$11 603,13 a \$10 691,57.

3.4 Evaluación termodinámica de una cámara de refrigeración para reducir costos de consumo de energía eléctrica

En la empresa de lácteos objeto del estudio se posee una cámara de frío de 50,9 metros cúbicos. La cámara de frío debe refrigerar yogurt a una temperatura de 4°C. La masa de producto a refrigerar es de 73,8 kg. Actualmente la empresa ocupa un compresor de 2,1 kW y enfría su producto en un tiempo de 12 horas. La empresa ocupa estanterías de madera para almacenar su producto dentro de la cámara.

Anualmente se necesita para este proceso 2,1 kW-h lo que significa que en este proceso ocupa 9 489 kW-h/año. El objetivo es reducir el consumo eléctrico de la empresa, ya que de ésta forma se obtiene un beneficio económico además de que la empresa es más amigable con el medio ambiente al ser más eficiente con el manejo de sus recursos energéticos.

Se estudiaron varias alternativas considerando que el cuarto frío pasa encendido solamente 12 horas/día en horario nocturno, siendo la mejor opción por los resultados obtenidos el cambio de estanterías de madera por estanterías de polietileno.

En la Fig.6 se puede visualizar que se necesita una 70% de energía del total solamente para enfriar a 4°C las estanterías de madera que se utilizan dentro del cuarto frío. En [4] señala que mediante el uso de (7) se calcula la cantidad de energía que se necesita para enfriar una determinada cantidad de materia, que en nuestro caso es el yogurt, pero al existir estanterías dentro de la cámara de frío, se debe calcular la cantidad de energía necesaria para enfriar todo lo que se encuentre dentro de la cámara de frío.

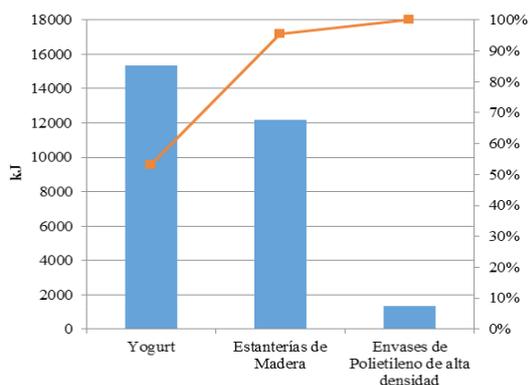


Figura 6: Diagrama de Pareto de la energía a retirar para llegar a 4°C con estanterías de madera

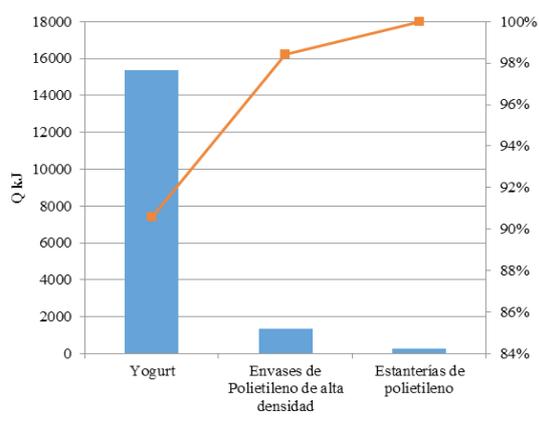


Figura 7. Diagrama de Pareto de la energía a retirar para llegar a 4°C con estanterías de polietileno

En la Fig.7 en cambio la energía del total se optimiza para enfriar a 4°C el producto solamente al cambiar las estanterías de madera por estanterías de polietileno.

Tabla 4: Ahorro generado con cambio de estanterías

Situación actual de la planta consumo kW/año =	106 720
Situación actual requerida para el proceso de refrigeración con estanterías de madera (kW/año) =	9 359
Energía requerida para el proceso de refrigeración con estanterías polietileno (kW/año) =	6 281
Ahorro (kW/h) =	3 078
% =	3
\$/kW-h promedio =	0,0791
\$/año =	243,37

En la Tabla 4 se demuestra que existe una reducción de consumo de energía eléctrica de 106 720 kW/año a 9 359 kW/año, ya que no se desperdicia energía enfriando las estanterías de madera que por su bajo calor específico de 0,384 kJ/(kg.K°) necesitan más trabajo del sistema de

frío para llegar a 4°C. Es por esto que al cambiar el material de las estanterías se evita el desperdicio de energía eléctrica.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Aplicando principios de Producción más Limpia en una industria de lácteos, se generan ahorros significativos acorde al tamaño de la empresa, sin necesidad de una alta inversión. Es así, con la aplicación de buenas prácticas operacionales y el uso de una línea base del consumo eléctrico se puede ahorrar \$67/ mes, y con el manejo de la demanda eléctrica en horas pico, se logra disminuir \$165,52 en el consumo de la planilla eléctrica.
- El análisis termodinámico de cámaras de refrigeración, tuberías y condensados de equipos a vapor, permite encontrar propuestas de mejora para optimizar el consumo de energía eléctrica y diésel. Aislado la tubería de vapor disminuimos el consumo de 91,44 galones de diésel. Con el retorno de condensados de los equipos ahorramos 885,2 galones de diésel, y con el cambio de estanterías dentro del cuarto frío generamos un ahorro de \$243,37/año.
- Con base a los principios básicos de producción más limpia y eficiencia de recursos, los cuales promueven reducir costos de producción a la vez que son propuestas amigables con el medio ambiente y viables económicamente, lo que resulta atractivo para el empresario debido al retorno de la inversión en un corto plazo.
- La legislación ecuatoriana apoya la producción limpia en las industrias, a través de iniciativas basadas en los principios de producción más limpia, y eficiencia energética, con el objeto de fomentar el cambio de matriz productiva y generar una industria ecológica con programas como el “Punto Verde” del Ministerio del Ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia del Ministerio de Industrias y Productividad MIPRO. A la ONUDI (Organización de la Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial).

A la empresa de estudio “Industria de Productos Lácteos Leito” y a nuestras familias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Centro de Producción más Limpia Nicaragua, “Metodología de Producción más Limpia,” ed. Santo Tomás Nicaragua, 2012.
- [2] P. Singh and D. Heldman, *Introducción a la ingeniería en alimentos*. Zaragoza España: Editorial ACRIBIA, S.A., 1993.
- [3] J. Rosenberg and L. Epstein, *Química General*. México: McGRAW-Hill, 1988.
- [4] P. Luna, “Proyecto de Quesería Industrial,” Tesis de Ingeniería, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, Universidad de Castilla La Mancha, Ciudad Real España, 2005.



Galo Mauricio Calle Naranjo.- Nació en Quito, Ecuador en 1984. Recibió su título de Ingeniero en Alimentos y Magister en Producción más Limpia de la Universidad Técnica de Ambato en 2008 y 2011

respectivamente; y su título de Magíster en Administración de Empresas en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en 2015. Sus campos de investigación están relacionados con la Producción más Limpia y Eficiencia de Recursos, Ingeniería de la Producción, Gestión de la Producción y Diseño de Plantas de Producción.



Cesar Germán Pozo Yépez.- Nació en Salcedo, Ecuador en 1962. Obtuvo su título de Ingeniero en Alimentos y Magister en Producción más Limpia en la Universidad Técnica de Ambato en 1996 y 2012 respectivamente; Sus campos de investigación

están relacionados a Producción más Limpia y Tratamiento de Aguas Residuales con Lechos Vegetales. Residuos Sólidos y Rellenos Sanitarios. Diseño e instalación de plantas de Producción Alimenticia.