

**OPTIMIZACION DEL SISTEMA MIXTO DE SECADO DE YUCA (*manihot
esculenta crantz.*) INSTALADO EN LA PLANTA AGROINDUSTRIAL DE
MORROA MINUTO DE DIOS MUNICIPIO DE MORROA SUCRE**

**ADOLFO DAVID HERNÁNDEZ GUEVARA
LILIANA VÁSQUEZ BARRETO**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO - SUCRE
2008**

**OPTIMIZACION DEL SISTEMA MIXTO DE SECADO DE YUCA (*manihot
esculenta crantz.*) INSTALADO EN LA PLANTA AGROINDUSTRIAL DE
MORROA MINUTO DE DIOS MUNICIPIO DE MORROA SUCRE**

**ADOLFO DAVID HERNÁNDEZ GUEVARA
LILIANA VASQUEZ BARRETO**

**Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Agrícola e Ingeniero
Agroindustrial**

**DIRECTOR
JAIRO GUADALUPE SALCEDO MENDOZA
Profesor programa Ingeniería Agroindustrial
Universidad de Sucre**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO - SUCRE
2008**

**El jurado calificador de este trabajo no se hace responsable de las ideas
emitidas por los autores**

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso mi protector hoy y siempre por haber permitido que este sueño se hiciera realidad, bendiciéndome con sabiduría y dotándome de la paciencia y fortaleza que tanto necesité sobretodo en los momentos difíciles.

A mi madre Lucy, motivo de todos mis esfuerzos por los sacrificios hechos para sacarme adelante y hacer de mí la persona y la profesional que hoy día me enorgullezco ser.

A mi padre José Jorge, mis hermanos Derlys, Martha Cecilia y José Jorge Jr. Al igual que mi cuñado Oswaldo y la integrante mas joven de la familia mi sobrina Sara Lucia por todo el apoyo brindado y la confianza que depositaron en mi.

A mis tías, primos y todas aquellas personas que me tendieron su mano cuando tanto lo necesité.

A mis amigas de toda la vida Maria Inés y Gina por la amistad incondicional que me han regalado a través de los años.

A todos aquellos amigos que hice a lo largo de mi carrera, especialmente a Maria Inés, Lizbeth, Gilmar, Mario, Beatriz, Erick, Francisco, Andrés y Harold, por todas las experiencias que compartimos juntos, en donde hubo momentos de tristeza, momentos de angustia, pero también momentos felices que quedarán para siempre en mi memoria. Sin duda alguna, ustedes han dejado una huella imborrable en mi vida.

Liliana.

A Dios por haberme llenado de inteligencia, sabiduría, paciencia y fortaleza.

A mis padres Manuel y Magali, por su amor, dedicación y esfuerzo que me han brindado en cada momento de mi vida.

A mis hermanos, Eduardo, Bleydis y Mario, por su comprensión y confianza.

A mis familiares que en todo momento me apoyaron y creyeron en mí.

A todos mis amigos por su inmenso apoyo y contribución.

Adolfo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

- El director de esta investigación JAIRO GUADALUPE SALCEDO MENDOZA por su valiosa colaboración.
- La planta agroindustrial de Morroa Minuto de Dios.
- Los trabajadores de la planta de secado, por su paciencia y colaboración.
- Programas de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería Agrícola de la Universidad de Sucre.
- El ingeniero BALMIRO DONADO Coordinador agrícola de la fundación Minuto de Dios (Sucre).
- Cuerpo de profesores de los programas de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería Agrícola por transmitirnos sus conocimientos a lo largo de nuestras carreras.
- A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización de la presente investigación.

NOTA DE ACEPTACION

Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Sincelejo, Febrero de 2008

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
0. INTRODUCCION	19
1. OBJETIVOS	22
2. ESTADO DEL ARTE	23
2.1. GENERALIDADES	23
2.2. ANTECEDENTES DEL SECADO DE YUCA EN LA COSTA ATLANTICA	25
2.3. PROCESO DE PRODUCCION DE YUCA SECA	26
2.4. METODOS DE SECADO	27
2.4.1. Secado Natural	27
2.4.2. Secado Artificial	27
2.4.3. Secado Mixto	28
2.5. CLASIFICION Y SELECCIÓN DE SECADORES	30
2.5.1. Tipos de Secadores	31
2.5.1.1 Secadores directos	31
2.5.1.2. Secadores por conducción	32
2.5.2. Secadores para Yuca	32

2.6. OPTIMIZACION	36
2.6.1. Procedimiento para la Optimización	36
2.7. USOS DE LA YUCA SECA EN LA INDUSTRIA	37
2.8. ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA AGROINDUSTRIAL DE MORROA MINUTO DE DIOS.	40
3.0. METODOLOGIA	49
3.1. LOCALIZACION	49
3.2. TIPO DE INVESTIGACION	49
3.3. VARIABLES E INDICADORES	49
3.3.1. Variables Independientes	49
3.3.2. Variables Dependientes	49
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL	50
3.5. PROCEDIMIENTO	50
3.5.1. Establecimiento de las restricciones del Proceso	50
3.5.2 Desarrollo de Corridas experimentales Iniciales	51
3.5.3. Determinación de las Condiciones Óptimas del Proceso de Secado	52
4.0. RESULTADOS Y ANALISIS	54
4.1. EVALUACION DEL PROCESO DE SECADO	54
4.2. CURVAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO	55
4.3. CALCULO DE PARAMETROS PARA LA OPTIMIZACION	60
4.3.1. Costos de Operación	60
4.3.1.1. Costos de Producción	61
4.3.2. Costos de Inversión	62
4.3.3. Ingresos del Proyecto	63

4.4. ANALISIS DE PARAMETROS OPTIMOS	63
5.0. CONCLUSIONES	84
6.0. RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFIA	86
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del secador optimizado.	34
Figura 2. Cámara superior del secador	35
Figura 3. Cámara inferior del secador	35
Figura 4. Patio de secado	41
Figura 5. Secador Artificial	41
Figura 6. Máquina Picadora	42
Figura 7. Esparcimiento de la Yuca en el patio de secado	43
Figura 8. Utilización de rastrillos	43
Figura 9. Almacenamiento en bodega	44
Figura 10. Utilización de recogedores	45
Figura 11. Recolección de la yuca preseca	45
Figura 12. Transportador de tornillo sin fin	46
Figura 13. Alimentación del secador	46
Figura 14. Cámara superior alimentada	47
Figura 15. Control de temperatura de aire secante	47
Figura 16. Pesaje del producto	48
Figura 17. Determinador de humedad	52

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Contenido nutrientes principales en la raíz.	39
Cuadro 2. Producción de yuca seca en Ton/Hora y resumen de curvas de operación para las diferentes corridas experimentales.	60
Cuadro 3. Resumen de la Información para un período de trabajo de 5 mese/año	72
Cuadro 4. Resumen de la Información para un periodo de trabajo de 8 mese/año	82

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Distribución geográfica de la producción de yuca seca a nivel nacional	37
Grafica 2. Comportamiento del secador con una alimentación de 2.5 Ton/Cám., Temperatura de 60°C y una humedad inicial de 45%	55
Grafica 3. Comportamiento del secador sin tiempo muerto para una alimentación de 2.5 Ton/Cám. y una humedad de 45%	56
Grafica 4. Comportamiento del secador con una alimentación de 1.5 Ton/Cám., temperatura de 60°C y una humedad inicial de 35%	57
Grafica 5. Comportamiento del secador sin tiempo muerto para una alimentación de 1.5 Ton/Cam., temperatura de 60°C y una humedad de 35%	58
Grafica 6. Comportamiento del secador con una alimentación de 2.0 Ton/Cám., temperatura de 60°C y una humedad inicial de 40%	58
Grafica 7. Comportamiento del secador sin tiempo muerto para una alimentación de 2.0 Ton/Cám, temperatura de 60°C y una humedad de 40%	59
Grafica 8. Superficie de respuesta para costos \$/año en un periodo de 5 meses/año en condición real.	64
Grafica 9. Carta de pareto estandarizada para costos \$/año en un periodo de 5 meses/año condición real	65

Grafica 10.	Superficie de respuestas para costos \$/año para un periodo de 5 meses/año condición ideal	65
Grafica 11.	Carta de pareto estandarizada para costos \$/año en un periodo de 5 meses/año condición ideal	66
Grafica 12.	Superficie de respuestas para utilidad \$/año en un periodo de 5 mese/año condición real	67
Grafica 13.	Carta de pareto estandarizada para utilidad \$/año en un periodo de 5 meses/año condición real	67
Grafica 14.	Superficie de respuesta para utilidad \$/año en un periodo de 5 meses/año condición ideal	68
Grafica 15.	Carta de pareto estandarizado para utilidad \$/año en un periodo de 5 meses/año condición ideal	69
Grafica 16.	Superficie de respuesta para TIR en un periodo de 5 meses/año condición real.	69
Grafica 17.	Carta de pareto estandarizada para TIR en un periodo de 5 meses/año condición real	70
Grafica 18.	Superficie de respuesta para TIR en un periodo de 5 meses/año condición ideal	70
Grafica 19.	Carta de pareto estandarizada para TIR en un periodo de 5 meses/año condición ideal	71
Grafica 20.	Superficie de respuestas para costos \$/año en un periodo de 8 meses/año condición real	74
Grafica 21.	Carta de pareto estandarizada para costos \$/año en un periodo de 8 meses/año condición real	74
Grafica 22.	Superficie de respuesta para costos \$/año en un periodo de 8 meses/año condición ideal	75

Grafica 23.	Carta de pareto estandarizada para costos \$/año en un periodo de 8 meses/año condición ideal	76
Grafica 24.	Superficie de respuesta para utilidad \$/año en un periodo de 8 meses/año condición real	76
Grafica 25.	Carta de pareto estandarizada para utilidad \$/año en un periodo de 8 meses/año condición real	77
Grafica 26.	Superficie de respuesta para utilidad \$/año en un periodo de 8 meses/año condición ideal	77
Grafica 27.	Carta de pareto estandarizada para utilidad \$/año en un periodo de 8 meses/año condición ideal	78
Grafica 28.	Superficie de respuesta para TIR en un periodo de 8 meses/año condición real	79
Grafica 29.	Carta de pareto estandarizada para TIR en un periodo de 8 mese/año condición real	79
Grafica 30.	Superficie de respuesta para TIR en un periodo de 8 meses/año condición ideal	80
Grafica 31.	Carta de pareto estandarizada para TIR en un periodo de 8 meses/año condición ideal	81

LISTA DE ANEXOS

		Pág.
ANEXO A	Diseño experimental.	90
ANEXO B	Curvas de operación del secador.	91
ANEXO C	Utilidad y costos de producción.	95
ANEXO D	Tasa interna de Retorno (TIR) para cada proceso.	103
ANEXO E	Ecuaciones de regresión para cada variable dependiente en un periodo de 5 mese/año	105
ANEXO F	Ecuaciones de regresión para cada variable dependiente en un período de 8 meses/año.	111

RESUMEN

En Colombia, la región más productora de yuca es la Costa Atlántica y los departamentos de esta zona con mayor producción son: Córdoba, Bolívar y Sucre. Dada la importancia que está tomando la yuca como materia prima para la industria de balanceados y teniendo en cuenta que los sistemas de secado de yuca existentes en la región no tienen estandarizado el proceso; es necesario determinar las condiciones óptimas de procesamiento con las cuales se obtenga la más alta rentabilidad. El presente trabajo fue realizado en la planta de secado mixto de yuca “PLANTA AGROINDUSTRIAL DE MORROA MINUTO DE DIOS”, se realizaron diferentes ensayos modificando la humedad con que entra la yuca preseca procedente de la pista de secado natural, la cantidad de yuca alimentada al equipo de secado artificial y la temperatura del aire secante a la entrada del secador; utilizando un diseño experimental de superficie de respuesta de Box-benhknen, completamente al azar en tres bloques. Para cada proceso se calcularon los costos de operación del secador, la utilidad anual y la tasa interna de retorno TIR, para periodos de 5 meses y 8 meses al año, y se analizaron por el método grafico de superficie de respuesta con el programa Statgraphics plus 5.1, determinando la función objetivo; obteniéndose una máxima rentabilidad de 32,8% y 55,62% respectivamente con un proceso cuyas condiciones son: temperatura del aire secante de 60°C, alimentación de 2,27 Ton, y un contenido de humedad del 35%bh para el periodo de 5 meses al año, y temperatura de 60°C, alimentación de 2,37 Ton y un contenido de humedad de 35% bh, para el periodo 8 meses al año.

ABSTRACT

In Colombia, the region more cassava producer is the Atlantic Costa and the departments with more production they are: Cordoba, Bolivar and Sucre. Given the importance that this taking the cassava like matter prevails for the industry of balanced foods, and keeping in mind that the existent systems of cassava drying in the region don't have standardized the process; it is necessary to determine the good prosecution conditions with which the highest profitabilities are gotten, the proyect se realize e plant of mixed drying of cassava Minute of God, were carried out different rehearsals, modifying the humidity with which the yucca preseca coming from the hint of natural drying, the quantity of cassava fed to the team of artificial drying and the temperature from the drying air to the entrance of the dryer enters; using an experimental design of surface of answer of Box-benhknen, totally at random in three blocks. For each process the costs of operation of the dryer, the annual utility and the internal cup of return TIR was calculated, for periods of 5 months and 8 months a year, and they were analyzed by the graphic method of answer surface with the program Statgraphics 5.1, determining the function objective; being obtained a maximum profitability of 32,8% and 55,62% respectively with a process whose conditions are: temperature of the drying air of 60°C, feeding of 2,27 tons, and a content of humidity of the 35%bh for the period of 5 months a year, and temperature of 60°C, feeding of 2,37 tons and a content of humidity of 35% bh, for the period 8 months a year.

INTRODUCCION

La yuca es un cultivo que se produce en todo el mundo, su producción anual es de 170 millones de toneladas y se destaca al continente Africano como el de mayor área sembrada y producción obtenida. América Latina produce 34 millones de toneladas aproximadamente la quinta parte de la producción mundial con una participación del 18.5%. Por su parte Colombia produce 1.8 millones de toneladas y ocupa el tercer puesto en Latinoamérica después de Brasil y Paraguay. La mayor zona productora de yuca de Colombia es la Costa Atlántica que participa con el 49% del área cultivada en el país. (Martínez R. 2003).

Este producto se transa en cuatro mercados según los usos principales del mismo: como raíz para consumo humano, como insumo en la industria alimenticia, como producto intermedio en la industria no alimenticia y como materia prima en la industria productora de alimentos balanceados para animales, siendo este ultimo unos de los principales usos que toma cada vez mayor importancia dentro del mercado de este tipo de producto, lo que ha motivado la conformación de diferentes cooperativas que orientan sus actividades a la producción y comercialización de yuca seca, en la Costa Atlántica principalmente en los departamentos de Bolívar, Córdoba y Sucre (2003).

En el municipio de Morroa, departamento de Sucre, se encuentra ubicada la planta secadora de yuca “PLANTA AGROINDUSTRIAL DE MORROA MINUTO DE DIOS” la cual comenzó a ser operada por la fundación CENDES (Centro de desarrollo productivo de Sucre), iniciando con la financiación del cultivo de yuca industrial a la población desplazada y vulnerable en el primer semestre del 2004, una vez instalada y puesta en marcha la planta en febrero del 2005 fue entregada

para su operación, manejo y control a la corporación minuto de Dios (Corporación Minuto de Dios, 2005).

Actualmente cuenta con un sistema de secado mixto de yuca, que consta de una pista con un área de 1.131 metros cuadrados, permitiendo una capacidad de 14.137 toneladas de yuca fresca, y un secador con cuatro secciones de secado, cuyas dimensiones son 6 metros de largo, 2 metros de ancho y 0.5 metros de altura, lo que da una capacidad de 1.5 toneladas a 2.5 toneladas de yuca semiseca por cada cámara del secador, el cual utiliza el gas natural como fuente de calentamiento de los gases secantes. (2005).

Este sistema está operando de una forma ineficiente, puesto que el secado se realiza generalmente en pistas utilizándose en escasas ocasiones el secador artificial, lo que retarda el proceso, y por ende afecta los volúmenes de producción de yuca seca, al sistema de secado artificial (secador) se le desconocen las condiciones óptimas de procesos (temperatura de aire secante, cantidad de yuca que se debe alimentar al secador y humedad con que debe entrar la yuca preseca a la etapa de secado artificial), para que produzca la máxima rentabilidad.

El desconocimiento de dichas variables, que reflejen la máxima utilidad en este proceso, crea incertidumbres sobre la rentabilidad del mismo, y convierte a estos sistemas de secado que tienen como finalidad la generación de ingresos a pequeños productores en proyectos no viables.

Los sistemas de secado de yuca que no cuenten con una estandarización en su proceso es difícil que se mantengan en un mercado que se vuelve cada día más competitivo, en donde la competencia no es solo en la calidad sino en el precio; si se tiene en cuenta que la globalización y la apertura de los mercados han hecho que los clientes sean más exigentes, más conocedores, más complejos y que

sepan cómo escoger entre un creciente número de oferentes cada vez mas especializados.

Con el presente estudio se busca determinar la mejor combinación de las condiciones descritas anteriormente para obtener la mayor rentabilidad, las más altas utilidades con el menor costo en el proceso de secado mixto de yuca, brindando alternativas de solución a la problemática regional y contribuyendo al mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades beneficiadas, quienes al conocer las ventajas o desventajas del sistema evaluado tomaran las decisiones pertinentes para su mejor operación.

Este trabajo hace parte del proyecto de investigación y extensión realizado por la Universidad de Sucre en convenio con la Corporación Minuto de Dios mediante el acuerdo número 18 del 2003, artículo 3, que tiene como objetivo la cooperación investigativa en el proyecto “optimización de proceso de secado mixto de la planta agroindustrial de Morroa Minuto de Dios”.

1. OBJETIVOS

Objetivo General

- Optimizar el proceso mixto de secado de yuca instalado en la “PLANTA AGROINDUSTRIAL DE MORROA MINUTO DE DIOS” ubicada en el municipio de Morroa-Sucre.

Objetivos Específicos

- Establecer las restricciones del proceso de secado mixto de la Planta Agroindustrial de Morroa Minuto de Dios.
- Determinar las tendencias de las variables del proceso que conduzcan hacia la optimización del mismo, con los datos obtenidos en corridas experimentales basadas en un Screening (barrido) completamente al azar.
- Determinar las condiciones óptimas del proceso que lo hagan económicamente viable y produzcan la máxima rentabilidad, basado en un diseño de superficie de respuesta.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 GENERALIDADES

La yuca es un cultivo de raíz amilácea originario de América Latina en donde se viene cultivando desde épocas prehistóricas, mejorando la alimentación y el ingreso de unos 500 millones de personas. Su adaptación a diversos ecosistemas, su potencial de producción y la versatilidad de sus mercados y usos finales, la han convertido en una base de la alimentación para la población rural y en una alternativa de comercialización en centros urbanos. (www.clayuca.org, 2003).

Es un arbusto leñoso perenne perteneciente a la familia *Euphorbiaceae* y al género *Manihot*, que cuenta con más de 180 especies, siendo la de mayor importancia económica la *Manihot Esculenta Crantz*. También conocida como mandioca o casava, está actualmente difundido en zonas tropicales de cerca de 90 países de América, Asia y África. Las raíces son la principal parte comestible de esta planta, aunque su follaje se aprovecha para alimentación animal en algunas zonas y, en África, se utiliza como verdura fresca para consumo humano. (www.cci.org.co, 2003).

Esta especie es de gran importancia socioeconómica para los agricultores y consumidores de pocos recursos económicos de países tropicales, ya que es un producto básico en su dieta alimenticia y ocupa el cuarto lugar en importancia como fuente de energía, después del arroz, el maíz y la caña de azúcar. (Ceballos H. y De la Cruz G, 2005).

Sin duda alguna, el principal valor económico del cultivo de la yuca depende de sus raíces. La raíz de la yuca, por ser el órgano de almacenamiento de energía, tiene diversos usos en la alimentación humana, animal y en la extracción de almidones. (2005).

La producción mundial de Yuca para el 2005 según datos (provisionales) de la FAO¹, estuvo alrededor de 203 millones de Ton.; África fue el continente que mayor producción alcanzó con aproximadamente un 54,20% del total mundial, destacándose Nigeria como el país más productor de este continente con 38 millones de Ton, superando así la cifra que produce toda América Latina y el Caribe con 37 millones de Ton. Para el mismo año, el continente asiático produjo el 27,42% de yuca del total mundial, siendo Indonesia, el país de mayor producción con 19, 4 millones de Ton., seguido por Tailandia con 16,9 millones de Ton. América Latina y el Caribe representa el 18,28%, del total de producción mundial; el país con mayor producción de yuca fue Brasil (alrededor de 26 millones de Ton), con una marcada distancia está Paraguay (cerca de 5 millones de Ton.), Colombia alrededor de 2 millones de Ton y el Ecuador alcanza solamente el 0,33% del total de la producción de esta región. (www.sica.gov.ec)

En Colombia, la yuca es un cultivo típico de economía campesina, presentando un promedio de área sembrada por finca que oscila entre una y cinco hectáreas, y gran parte de su producción se orienta hacia el mercado en fresco. (www.cci.org.,2003),sin embargo, el actual gobierno dentro del plan de desarrollo “Hacia un estado Comunitario” también definió como estrategia el trabajo con enfoque de cadenas productivas, fortaleciendo las cadenas ya existentes y promoviendo el surgimiento de nuevos núcleos productivos. En este momento se

¹ FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

continúa con el aumento del área cultivada en yuca, mejorando los rendimientos y la productividad, con el fin de sustituir las importaciones de materia prima para la industria de alimentos balanceados y la industria avícola. (www.corpoica.org.co 2003).

Para producir una tonelada de raíces seca, se requiere de 2.5 a 3 toneladas de raíces húmedas y entre 4 y 5 toneladas de follaje fresco. Tanto la raíz como el follaje contienen cantidades variables de los glucósidos *Linamarina* y *Lotaustralina*, los cuales al hidrolizarse mediante la acción de la enzima *Limarasa* dan paso al ácido cianhídrico libre, que puede ocasionar toxicidad en el organismo animal, cuando supera los niveles de seguridad. Los niveles de glucósidos Cianogénicos varían dependiendo de la variedad, yuca amarga o yuca dulce, donde se consideran variedades amargas aquellas con un contenido de ácido cianhídrico superior a 100 mg / Kg. (100 PPM) en el producto fresco. Temperaturas controladas entre 40 y 80 °C son efectivas para eliminar la mayor parte del ácido cianhídrico. (Buitrago et. al, 2001, p 25).

2.2 ANTECEDENTES DEL SECADO DE LA YUCA EN LA COSTA ATLÁNTICA

Esta región, la más productora del país, ha experimentado fuertemente las transformaciones de la economía nacional. En el período 1975-1982, ésta y todas las regiones yuqueras presentaron una tendencia negativa en la producción, un indicio de que la yuca era un cultivo de subsistencia no orientado hacia el mercado de insumos en la industria alimentaria y no alimentaria, ni al mercado de los alimentos balanceados para animales. En el período siguiente, gracias a la política del gobierno, el enfoque cambió y el cultivo mejoró su situación general (Ceballos H. y De la Cruz G, 2005).

En 1981 Surgió la agroindustria del secado de la yuca en la Costa Atlántica, y el área cosechada aumentó en este período en 7%, un porcentaje considerable que

incrementó a su vez la producción de la región en 7.5% anual; al mismo tiempo, el rendimiento creció en 0.5%. A partir de 1981 se impulsaron en la Costa Atlántica los proyectos integrados de yuca que pretendían superar los niveles de pobreza rural empleando tecnologías mejoradas para elevar los rendimientos de los cultivos y, por ende, los ingresos de los pequeños productores campesinos. (2005)

El CIAT² y otras instituciones, como el Fondo para el Desarrollo Rural Integrado (DRI), se encargaron de la implementación de estos proyectos. Se buscaba incentivar la investigación en yuca y el desarrollo de este cultivo mediante su penetración en el mercado, el desarrollo de nuevos productos (yuca seca para alimentación animal, por ejemplo) y el desarrollo de los mercados para esos productos. (2005).

En la Costa Atlántica se ha notado más el cambio en la situación de la yuca porque se ha trabajado mucho para modernizar el sector yuquero en esta zona. (2005).

2.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE YUCA SECA

El secado de la yuca es el proceso mediante el cual se elimina la mayor parte del agua contenida en las raíces de la planta, para así obtener un producto seco que se pueda almacenar por un período largo sin que se deteriore. Existen algunos factores que influyen en la velocidad de eliminación de agua en la yuca, estos son principalmente:

- Tamaño y geometría de los trozos.
- Carga de los trozos por unidad de área.
- Velocidad, temperatura y humedad del aire.
- Contenido inicial de materia seca en las raíces.

(www.ciat.cgiar.org, 2003)

² Centro Internacional de Agricultura Tropical

El proceso de producción de yuca seca consta básicamente de las siguientes etapas: recepción, pesaje, trozado de las raíces; secamiento, empaque y almacenamiento del producto seco (los trozos de yuca). Existen operaciones opcionales, como lavar las raíces antes de picarlas o moler los trozos ya secos, que dependen de las exigencias del mercado. (Alonso L. Best R. Viera M. 1986).



2.4 MÉTODOS DE SECADO

El secado de la yuca puede hacerse mediante métodos naturales o artificiales; que difieren unos de otros no sólo en la tecnología empleada sino también en su costo. La elección del método depende, en gran parte, de la cantidad de yuca que se requiere secar, de la disponibilidad de capital, del costo de la mano de obra, y de la disponibilidad de fuentes de energía relativamente baratas. (1986).

2.4.1 Secado natural: El secado natural aprovecha la energía solar y la acción de las corrientes de aire para evaporar la humedad contenida en los trozos de yuca. Se esparcen los trozos de yuca sobre pisos de concreto, de tal manera que queden expuestos a la acción directa de la radiación solar y del calor latente de las corrientes del aire circundante. El secado con energía solar es, generalmente, un método económico y muy útil en los sitios en que las otras fuentes de energía son escasas o muy costosas, Las desventajas de este sistema son su baja capacidad y eficiencia , lo que se traduce en periodos más largos de secado en épocas de menor radiación o en épocas de lluvias. (Fuentes, J, 1988).

2.4.2 Secado artificial: Este método utiliza otro tipo de energía, como la de los combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas) o la de los residuos agrícolas (bagazo

de caña, cáscara de arroz), y no depende de las condiciones climáticas, además permite una producción más rápida, continua e higiénica de la yuca seca, evitando que el producto permanezca mucho tiempo húmedo o expuesto a condiciones adversas. Una desventaja significativa de este método es el incremento en los costos de producción. (www.ciat.cgiar.org, 2003)

2.4.3 Secado mixto: Combina el método natural con el artificial en algunas etapas, aprovechando lo mejor de cada uno; inicialmente, el poder secante del aire ambiental y del sol, para terminar con un secado artificial. (2003).

Los métodos de secado más utilizados en la Costa Atlántica son: **el secado natural en piso** (SNP) y **el sistema combinado** (natural y artificial) el SNP es muy usado debido a su sencillez, escaso mantenimiento, facilidad de manejo que permite ser operado directamente por los propios agricultores, sugiere baja inversión y demanda poca tecnología; desde el punto de vista social tiene la ventaja de que su operación requiere de alta mano de obra. (Gómez, G. y Best, R., 1984).

El secado natural de la yuca se divide en dos etapas, en la etapa inicial los trozos frescos de yuca pierden humedad rápidamente, desde un 65% en base húmeda hasta un nivel de 35 % aproximadamente, en esta etapa es más importante la circulación de aire que la temperatura y la humedad relativa del mismo. En la etapa final la remoción de humedad es lenta y cobra importancia la temperatura y la humedad relativa del aire ambiente. (1984).

En el secado combinado la etapa inicial del proceso se realiza de manera natural en pisos, y la etapa final es realizada en un silo secador o utilizando sistema artificial. Resultados de diversos ensayos demuestran que el método combinado es una alternativa bastante eficiente para el secado de yuca. (Fuentes, J, 1988).

Best R. Y Alonso, (1984), hicieron los primeros ensayos con este sistema realizando la etapa de secado artificial en un secador de capa fija acoplado a un colector solar plano como medio de calentamiento del aire. En este ensayo

durante la etapa de secado natural se reduce la humedad del producto a un 42% y en la etapa artificial a un contenido del 12 % (base húmeda).

Fuentes, J, (1988), realizaron estudios con secado combinado utilizando carbón coque, colector solar y tocones de yuca como fuente de energía para el calentamiento del aire. Como resultado de este estudio se obtuvo que el sistema combinado con coque resulto ser el más eficiente (80%), con consumos de 30 a 40 Kg. / tonelada de yuca seca y un tiempo de secado de 5 a 7 horas.

González, M y Sotomayor, H., (1991). Al evaluar una planta de secado combinado de yuca en la cooperativa COOPIDELPA hallaron que: en la etapa de secado natural se disminuye el contenido de humedad desde 58% hasta un nivel promedio de 36% en base húmeda durante la exposición a un día de sol, y con las condiciones ambientales del aire; es decir, 69.6% de humedad relativa, y 26 °C de temperatura. En la etapa de secado artificial, utilizando carbón coque para el calentamiento del aire, temperatura promedio de 60°C y un flujo de 57 m³/min./tonelada, el contenido de humedad de los trozos semisecos se redujo hasta un 12% en un tiempo de secado de 8 a 10 horas. El consumo de coque fue de 50 Kg. /tonelada de yuca seca, la eficiencia térmica de 70% y la eficiencia global del sistema fue de 67.8%.

Alonso, L. Best, R. y Viera, M, (1986) evaluaron diversas Fuentes de calor en el secado artificial (colector solar, carbón mineral, gas propano y diessel) encontraron que la opción más favorable es el carbón mineral por los bajos costos de inversión y operación, seguido por el gas propano y el diessel.

Doria F. y Hernández A. (2005), en la evaluación del sistema mixto de secado de yuca que utiliza como fuente calefactora coque, instalado en la vereda los algarrobos municipio de Chinú Córdoba, realizaron diferentes ensayos, variando la humedad de entrada al secador de la yuca preseca procedente de la pista de secado natural, la cantidad de yuca alimentada al equipo y la temperatura del aire secante, lo cual arrojó como resultado que la condiciones optimas en las que debe operar el secador son: 70 °C temperatura de aire secante, y alimentación de 2.9

toneladas de yuca presea con un contenido de humedad de 35% base húmeda, para obtener una rentabilidad de 39.4% (máxima posible) con \$ 89.607.700/año de utilidad.

2.5 CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE SECADORES

Hay cientos de diseños de secadores disponibles en el mercado, y hacer una clasificación de los mismos es casi imposible.

Diversos autores lo han intentado atendiendo a diferentes criterios, como son el tipo de materia prima a secar o el modo en que el material se transfiere a través del secador. La clasificación más usual se basa en los siguientes aspectos:

- 1) Temperatura y presión del secador.
- 2) Modo de calefacción (radiación, solar, microondas, convección...).
- 3) Modo de transporte de la humedad a través del secador.
- 4) Posibles medios mecánicos para mejorar el secado.
- 5) Modo en que circula el aire.
- 6) Modo en que se soporta el material.
- 7) El agente de calefacción.
- 8) La naturaleza del alimento húmedo y la forma en que se introduce en el secador.

Cuando se selecciona un secador hay dos aspectos de gran importancia:

- a) Disponer de una lista de secadores capaces de mover el material a secar.
- b) Eliminar las alternativas más costosas basándose en los costes anuales (capital +costes de operación).

La mayoría de los secadores pueden aceptar materiales particulados de fácil flujo, mientras que los materiales en masa o con formas irregulares requieren normalmente de diseños específicos. Una vez que se ha seleccionado un grupo

de secadores, la selección puede restringirse considerando la forma en que operan las distintas unidades, por cargas o en continuo, etc. Además de las restricciones impuestas por el tipo de material, un factor importante a considerar es el modo de calefacción, si el sólido entra en contacto con una superficie sólida o es por convección y/o radiación. (Marcilla A. 1999).

2.5.1 Tipos de secadores: El secado se puede realizar ya sea por contacto directo del producto con el aire secante o de manera indirecta a través del proceso de conducción.

2.5.1.1 Secadores directos: La transferencia de calor para la desecación se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los gases calientes. El líquido vaporizado se arrastra con el medio de desecación; es decir, con los gases calientes. Los secadores directos son llamados también secadores por convección y se pueden clasificar en:

- Secadores Continuos: la operación es continua sin interrupciones, en tanto se suministre la alimentación húmeda. Es evidente que cualquier secador continuo puede funcionar en forma intermitente o por lotes, si así se desea.
- Secadores Por lotes: se diseñan para operar con un tamaño específico de lote de alimentación húmeda, para ciclos de tiempo dado. En los secadores por lote las condiciones de contenido de humedad y temperatura varían continuamente en cualquier punto del equipo.

En esencia, los secadores de contacto directo del producto con el gas constan de las siguientes partes:

- recinto o cámara donde se realiza el secado.
- sistema de calefacción.

- sistema de impulsión del aire.

Los principales tipos de secadores que utilizan este sistema son:

- Secadores de horno.
- Secadores de bandejas o armarios.
- Secadores de túnel.
- Secadores de cinta transportadora.
- Secadores rotatorios.
- Secadores de lecho fluidizado.
- Secadores por arrastre neumático.
- Secadores por atomización.

(Casp. A. y Abril, J. Pg. 354 – 370, 2003)

2.5.1.2 Secadores indirectos: En éstos, la transmisión de calor hasta el producto húmedo tiene lugar por conducción a través de una pared generalmente metálica. La fuente de calor puede ser vapor, agua caliente, aceites térmicos, gases de combustión y resistencias eléctricas. Los secadores indirectos son apropiados para la desecación a presiones reducidas y en atmósferas inertes, por lo que se usan para deshidratar productos termolábiles y fácilmente oxidables (2003).

2.5.2 Secadores para yuca: Existen diferentes sistemas para lograr la deshidratación de las raíces de yuca mediante equipos y procesos industriales. La elección del equipo adecuado depende de varios factores, especialmente relacionados con el costo del combustible o fuente de calor y con la cantidad de material que es necesario deshidratar. (Buitrago, J. Opina B. p 20, 2001).

Al considerar el alto porcentaje de agua que debe eliminarse en el proceso y el valor de mercado relativamente bajo del producto final (harina de yuca), para que

pueda competir con otras fuentes tradicionales de energía, el costo de deshidratación se torna demasiado sensible. Por esta razón, la utilización de combustibles de bajo costo y la eficiencia en el proceso, son factores decisivos en el sistema de deshidratación. (2001. p 20).

En la actualidad se conocen cuatro modelos con procesos probados experimentalmente: Industrias Protón Ltda. (Bogotá), Procesos Agroindustriales (Cali / Buga), Soyagro (Barranquilla) y Modelo Muskus (Medellín), empresas que basan sus procesos de deshidratación en la utilización de gas o vapor (2001).

Las etapas previas y posteriores a la deshidratación, generalmente, son similares en los cuatro modelos desarrollados, y constan de los siguientes elementos básicos:

- recepción de la materia prima a granel.
- Limpieza y lavado (opcional) de las raíces.
- Picado o triturado de la raíz.
- Proceso inicial del calor controlado para disminuir el nivel de ácido cianhídrico en las raíces.
- Proceso de deshidratación continua.
- Recepción y empaque.

La diferencia principal entre los equipos radica en el sistema de deshidratación y en el combustible utilizado, lo cual se refleja en los costos finales de procesamiento. (2001).

El secador optimizado en la planta agroindustrial de Morroa Minuto de Dios, que se muestra en la figura 1, consta de dos silos cada uno con dos secciones de secado: lecho 1 o cámara inferior y lecho 2 o cámara superior, cuyas dimensiones son 6 metros de largo, 2 metros de ancho, 0,5 metros de alto por cada cámara.

Figura 1. Secador optimizado.



Fuente: Archivo personal.

El silo o cámara superior consta de algunos orificios como se observa en la figura 2. Mientras el silo o cámara inferior posee un sistema de agitación mecánica, que permite un secado más uniforme como se muestra en la figura 3. Al extraer la yuca seca de la cámara inferior se procede al desplazamiento del producto de la parte superior a la inferior a través de los orificios mencionados anteriormente, haciendo éste un sistema semicontinuo.

Figura 2. Cámara superior del secador



Figura 3. Cámara inferior del secador



2.6 OPTIMIZACIÓN

La optimización de un proceso consiste en el uso de métodos específicos para determinar la mayor eficiencia con relación a un criterio establecido. Esta técnica es una de las principales herramientas para la toma de decisiones en la industria; y se pueden resolver gran cantidad de problemas de diseño, construcción, operación y análisis de plantas en muchos procesos industriales. (Edgar T. et al, 2001, Pág. 4).

El fin de la optimización es encontrar los valores de las variables en un proceso, con los que se obtengan el mejor desempeño para el criterio evaluado.

Los procesos de optimización se clasifican en tres categorías principales:

1. Al menos una función objetivo a ser optimizada (función de utilidad, función de costos, etc.)
2. Igualdad de restricciones (ecuaciones)
3. Desigualdad de restricciones (inecuaciones)

La categoría 1 es llamada categoría de modelo económico, mientras que las categorías 2 y 3 constituyen modelos de procesos o equipos. (2001, Pág. 14)

2.6.1 Procedimiento para la optimización: El método de optimización depende del carácter de la función objetivo y si ésta es conocida explícitamente, la naturaleza de las restricciones y el número de variables dependientes e independientes. (Pág. 18-19).

En la optimización, las restricciones deben ser aplicadas a un problema específico, debido a que los procesos describen combinaciones físicas en las variables, relaciones empíricas y leyes físicas. (Pág. 38)

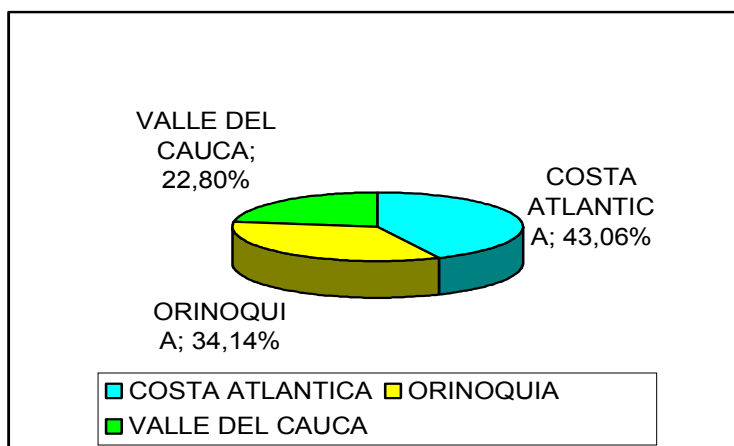
Existen dos tipos de modelos en general: el que se basa en teorías físicas y el que se basa estrictamente en descripciones experimentales (llamado Black Box models). (Pág. 41)

2.7 USOS DE LA YUCA SECA EN LA INDUSTRIA

La producción de yuca seca y de harina de yuca destinada a la alimentación animal presentada como trozos de yuca y como harina, respectivamente empezó a sustituir, a principios de los 80, las materias primas importadas (maíz y sorgo, por ejemplo) para fabricar alimentos ‘balanceados’ (o concentrados) para animales. Esta producción se centró en la costa norte, principalmente en los departamentos de Sucre y Córdoba. (Buitrago J, etal. 2001)

La Grafica N° 1 muestra la distribución geográfica de la producción de yuca seca, la cual ubica a la Costa Atlántica como la región más productora con 43.06% de la producción nacional, seguido por la Orinoquía el 34.14 y por último, el departamento del Valle con el 22.8%. (2001.).

Grafica 1. Distribución geográfica de la producción de yuca seca a nivel nacional



Fuente: Clayuca 2001.

La producción nacional de yuca seca se calcula en 11.193 toneladas cifra que podría aumentarse, por cuanto es evidente el crecimiento de la industria de balanceados que en este momento lo hace en un 6.8% según información de

FENAVI³. Las metas del actual gobierno son sembrar este año 7.500 nuevas hectáreas en todo el país. (2001).

El principal recurso que ofrece la yuca para alimentación animal se encuentra en las raíces, en forma de almidón. Normalmente, el contenido de materia seca en la raíz fluctúa entre 34 y 38%, con una concentración entre 75 y 80% de almidón. (2001).

El 100% de las empresas productoras de alimentos balanceados utilizan harina de yuca como materia prima para su fabricación en época de existencia, es decir, los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril. Cabe aclarar que el proceso de molienda de los chips para la obtención de la harina de yuca se lleva a cabo en la planta de concentrados, pues la industria es reacia a comprar harina bajo la afirmación de que ésta forma de presentación puede prestarse para cambiar la calidad del producto, combinándolo con elementos que pueden ser tóxicos. (2001).

El cuadro N° 1 ilustra la composición de las raíces de yuca procedentes de variedades industriales y con buenas condiciones de manejo. Cabe resaltar que al decir raíces se hace referencia al producto integral (con cáscara), con mínima contaminación de tierra y otros productos de desecho. La primera columna corresponde al producto en fresco y la segunda en forma de harina con 12 - 14% de humedad. (www.turipana.org.co., 2003).

³ Federación Nacional de Avicultores

Cuadro 1. Contenido de Nutrientes Principales en la Raíz %

NUTRIENTES	RAICES FRESCAS %	RAICES SECAS %
Humedad	65	12 – 14
E. Metabólica Mcal/Kg.	1.200	3.0 – 3.1
Proteína	1.10	2.70
Fibra	1.20	2.80
Grasa	0.4	1.2
Ceniza	0.70	1.70
Metionina	0.01	0.03
Cistina	0.008	0.020
Lisina	0.020	0.060
Treonina	0.010	0.030
Calcio	0.100	0.300
Fósforo	0.150	0.400
Potasio	0.250	0.650

Fuente: Buitrago, 1990.

La calidad de la yuca seca debe ajustarse a las exigencias del mercado procesador de alimentos balanceados y cumplir a su vez con las normas de calidad impuestas por la industria, basado en esto la yuca debe tener las siguientes características.

- Humedad máximo 12%
- Cenizas Máximo 3%
- Fibra máximo 4%
- Almidón Mínimo 65%
- Ácido cianhídrico menor de 100 ppm
- Hongos máximos 10^4 ufc
- Mesófilos máximo 10^5 ufc

- Coliformes máximo 10^4 ufc
- Escherichia coli Negativo
- Clostridium máximo 100 ufc
- Salmonella negativo

(www.turipana.org.co, 2003).

Además de estas normas, el producto debe estar fresco, no tener olor a fermento, y no presentar signos de ataque de insectos o de daño por contaminación.

2.8 ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA AGROINDUSTRIAL DE MORROA MINUTO DE DIOS.

En la actualidad la planta AGROINDUSTRIAL DE MORROA MINUTO DE DIOS está siendo administrada por la Corporación Minuto de Dios, se encuentra ubicada en el kilómetro 9 en la vía que conduce de Sincelejo a corozal, dicha planta comenzó a ser operada por la fundación CENDES iniciando con la financiación del cultivo de yuca industrial a la población desplazada y vulnerable con cómodos intereses, hecho que se mantiene en la nueva administración.

Actualmente cuenta con un sistema de secado mixto de yuca el cual consta de una pista de concreto y una serie de carpas donde se realiza el secado natural, su capacidad se encuentra entre las 30 y 35 toneladas de yuca fresca (figura 4.) y un secador con cuatro secciones de secado, un ventilador y un quemador que utiliza como combustible gas natural, como se muestra en la figura 5.

Figura 4. Patio de secado natural.



Figura 5. Secador artificial.



Las operaciones propias del proceso de secado de yuca son llevadas a cabo en la planta de la siguiente forma:

RECEPCION Y PESAJE: La materia prima es llevada a la planta por los diferentes productores y posteriormente es pesada por los operarios de la misma, para lo cual se utiliza una balanza.

PICADO: Luego de ser pesada, la yuca es sometida a la operación de picado, para este fin la planta dispone de una picadora tipo Colombia, con un motor de 4 Hp, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Maquina picadora.



SECADO DE LA YUCA: Esta es una de las etapas más importantes dentro del proceso de producción de yuca seca, comienza con el esparcimiento de los trozos de yuca, los cuales contienen una humedad alrededor del 65% bh, para lo cual son utilizadas palas y carretas, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Esparcimiento de la yuca en el patio de secado



Una vez esparcida y luego de un determinado tiempo, los trozos de yuca son volteados por los operarios de la planta para garantizar un secado mas uniforme y rápido, empleando para este fin rastrillos de madera, ver figura 8.

Figura 8. Utilización de rastrillos.



En ocasiones los trozos de yuca permanecen en la pista o carpas plásticas hasta que alcanzan una humedad lo más cercana posible al 12% bh., y posteriormente son recogidos , empacados en sacos y almacenados en la bodega de la planta, colocados encima de estibas de madera para protegerlo de la humedad y del ataque de roedores, ver figura 9.

Figura 9. Almacenamiento en bodega



Cuando se hace necesario el uso del secador artificial esta etapa implica la ejecución de nuevas labores. En la pista y carpas plásticas se realiza un presecado, donde se trata que el producto sea recogido en lo posible con una humedad cercana al 35% bh, para esto son utilizadas recogedores, palas y carretas como lo muestran las figuras 10 y 11.

Figura 10. Utilización de recogedores.



Figura 11. Recolección de yuca preseca



Los trozos de yuca preseca son depositados en el secador artificial por medio de un transportador de tornillo sin fin. Como se muestra en las figuras 12 y 13.

Figura 12. Transportador de tornillo sin fin



Figura 13. Alimentación del secador



Una vez llenos cada una de las cámaras del secador, éste es puesto en funcionamiento, controlando la temperatura del aire secante con la ayuda de un termostato y un termómetro. Ver figuras 14 y 15.

Figura 14. Camara superior alimentada.



Figura 15. Control de temperatura de aire secante



Luego de alcanzar una humedad cercana al 12% bh, el producto es extraído, empacado, pesado y almacenado en la bodega. Como lo muestra la figura 16.

Figura 16. Pesaje del producto



El sistema de secado mixto de yuca con el cual cuenta la planta está operando de una forma ineficiente, puesto que el secado se realiza generalmente en el patio de secado, utilizándose en escasas ocasiones el secador artificial. Al momento de utilizarlo no se tienen en cuenta algunas condiciones que afectan considerablemente el proceso como son la temperatura del aire secante, cantidad de yuca que se debe alimentar y humedad con la que entra la yuca preseca al secador, por estas razones se presentan pérdidas económicas considerables en el proceso y los funcionarios de la planta optaron por no utilizar este método de secado artificial sino el natural únicamente, por lo que se está produciendo aproximadamente 100 toneladas de yuca seca mensual con unos costos de de producción 35'796.028 \$/mes y genera una utilidad de 6'663.972 \$/mes, cabe decir que la planta está en funcionamiento 5 meses al año por lo tanto produce 500 toneladas de yuca seca anual aproximadamente para así tener una utilidad alrededor de 33'319.860 \$/año.

3. METODOLOGIA

3.1 LOCALIZACION.

Departamento de Sucre, municipio de Morroa, kilómetro 9 carretera troncal vía Sincelejo-Corozal.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La presente investigación es de tipo descriptivo.

3.3 VARIABLES E INDICADORES.

3.3.1 Variables independientes.

- a. Cantidad de yuca alimentada en el lecho superior del secador (ton).
- b. Temperatura de los gases secantes en la entrada del secador (°C).
- c. Humedad de la yuca alimentada al secador (% bh).

3.3.2 Variables dependientes.

- I. Costos de producción por ton y.s.
- II. Utilidad neta (\$/año).
- III. Tasa interna de retorno (%TIR).

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del proyecto, inicialmente se hizo un barrido a través de un diseño experimental tipo Screening, completamente al azar con tres factores experimentales, con el fin de predecir a través de un análisis de paso ascendente, la tendencia que muestra el máximo de nuestra función objetivo, posteriormente se utilizó un diseño experimental de superficie de respuesta de Box –Behnken, completamente al azar, con tres factores experimentales (alimentación en la cámara superior del secador (ton), temperatura de los gases secantes (°C) y humedad de la yuca en la alimentación (bh)). Para analizar los resultados se implementó un análisis de Anova, se determinó una función objetivo, con un análisis a través de un gráfico de Pareto y gráficos de superficies de respuesta, con un 95% de grado de confiabilidad.

3.5 PROCEDIMIENTO.

3.5.1 Establecimiento de las restricciones del proceso: El proceso de secado mixto de yuca se caracteriza porque parte de la deshidratación sucede en forma natural, aprovechando las condiciones climáticas, lo que genera ciertas restricciones que son impuestas por la dinámica del secado natural, por la misma materia prima y por los equipos que conforman el sistema de secado. Bajo estos criterios y bajo experiencias de trabajos recientes como los establecidos (Doria F. y Hernández A. (2005), se implementaron los parámetros para delimitar las variables independientes que se estudiaron en la optimización.

Las restricciones en las que se basó el estudio realizado fueron:

- La humedad final del producto no debe ser inferior al 11% bh,
- La temperatura máxima del aire secante no debe exceder 70°C para evitar problemas de autoignición de la yuca.

- La humedad de la yuca alcanzada en el piso durante el secado natural no es menor del 35% bh. Esto se debe a que el tiempo de exposición al sol no supera las 8 – 9 horas luz día
- La cantidad de yuca alimentada en cada cámara del secador no debe exceder los 2.5 ton, debido a que por sus dimensiones, cantidades superiores a ésta dificultan el proceso de secado.

3.5.2 Desarrollo de corridas experimentales iniciales: basado en un diseño experimental por barrido completamente al azar, se buscó mirar la tendencia de la función objetivo (rentabilidad), para esto se realizaron corridas experimentales, donde se midieron las variables independientes. Posteriormente para calcular costos, utilidad y rentabilidad. Se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Volumen de producción Ton / Año.
- Precio de venta por tonelada.
- Costo materia prima/Ton Y.S.
- Empaques yuca seca (bultos/Ton).
- Costo empaque/Ton.
- Mano de obra/Ton.
- Mantenimiento/Ton Y.S.
- Depreciación/Ton Y.S.
- Energía eléctrica (Kw. /Ton).
- Costo energía/Ton Y.S.
- Gas natural (Kg. /Ton).
- Costo gas natural/Ton Y.S.
- Total costos de producción.
- Costos administrativos.
- Costo de comercialización.

Entre los equipos necesarios para lograr estos objetivos se encuentran:

Voltamperímetro, Medidor de humedad relativa (Higrómetro), Medidor de velocidad de aire, Termómetro, Balanza y un medidor de humedad en base húmeda el cual se muestra en la figura 17.

Figura 17. Determinador de humedad.



3.5.3 Determinación de condiciones óptimas del proceso de secado: en el secado mixto de yuca intervienen diferentes variables (temperatura de aire secante, alimentación y humedad de la misma, entre otras) que tienen una incidencia directa en los resultados del proceso, teniendo en cuenta esto y tomando como base experiencias de estudios anteriores (2005), estas fueron las variables que se midieron en las diferentes corridas experimentales para determinar las condiciones óptimas de operación, tales mediciones se llevaron a cabo de la siguiente forma: se tomaron muestras representativas en diferentes puntos de la pista para determinar la humedad deseada de la alimentación, se alimentó el secador con la cantidad especificada por el diseño experimental y posteriormente se realizaron mediciones periódicas de la humedad de la yuca

alimentada en las distintas cámaras del secador, hasta que ésta alcanzara un 11 ó 12% bh, teniendo en cuenta que la temperatura del aire secante debía ser constante durante este proceso.

La optimización está basada en la determinación de la utilidad en el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) para cada uno de los experimentos. Para esto se utilizaron los siguientes métodos:

- Método grafico de superficie de respuesta a partir del grafico de los datos experimentales
- Método de determinación de una función objetivo lineal o no lineal

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

4.1 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO.

Para la evaluación y optimización del proceso de secado fue necesario realizar diferentes ensayos ver anexo A, modificando las condiciones en cada uno de estos, dichas condiciones fueron:

- la cantidad de yuca alimentada al secador, ésta varió de 1,5 - 2,5 ton en cada cámara, es decir, de 3 a 5 ton por silo.
- La temperatura del aire secante de 50°C y 70°C
- La humedad de entrada de la yuca preseca al secador, estuvo entre 35% - 45% bh

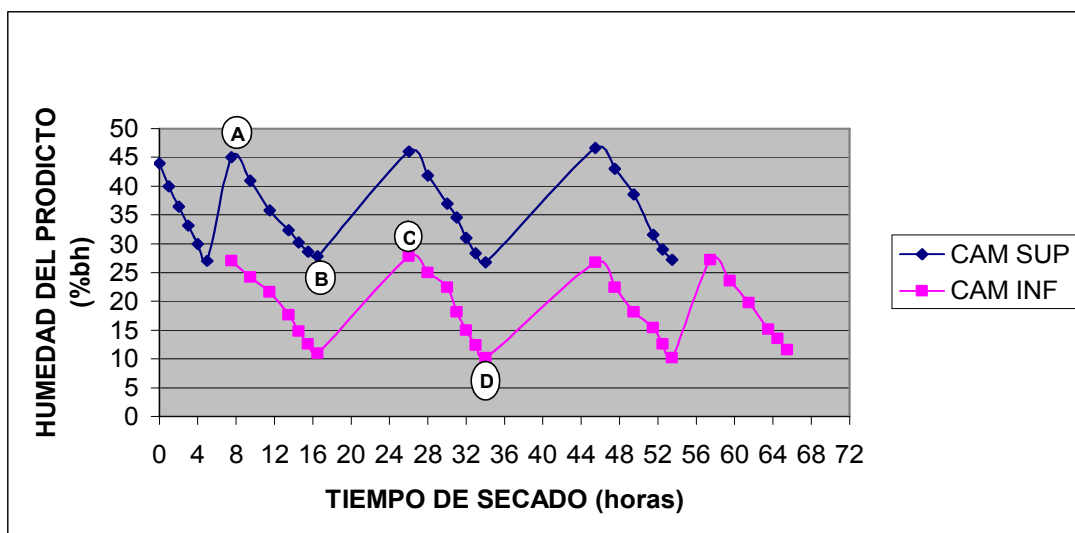
Se trabajó con un flujo constante de aire de 760 m³ /min. y una humedad relativa del medio circundante entre 50 y 60%, obteniéndose un tiempo de secado para cada combinación de variables y una producción por hora de yuca seca. El diseño experimental constaba de 15 ensayos, de los cuales solo se llevaron a cabo en la practica 11; los que comprendían temperaturas entre 60°C y 70°C, debido a que por la experiencia obtenida con trabajos anteriores como el de Doria F. y Hernández A. (2005), temperaturas de 50°C muestran una tendencia a disminuir la rentabilidad del proceso, por lo tanto para disminuir costos en la realización del estudio, se decidió simular los datos correspondiente a esta temperatura, a través de regresiones por medio del programa Statgraphics plus 5.1 con un grado de confiabilidad del 96% (ver anexo E). Con cada proceso se calcularon los costos de operación del secador, la utilidad anual, la tasa interna de retorno TIR y se

compararon para determinar las condiciones que generan la mayor rentabilidad para la empresa.

4.2 CURVAS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO.

Con los datos obtenidos en cada uno de los ensayos realizados se construyeron dos tipos graficas, en las cuales se compara el comportamiento real de operación del secador, con el comportamiento ideal que tendría el proceso si no existieran tiempos muertos (tiempo en el cual el secador no se encuentra en funcionamiento). Durante la realización de los diferentes ensayos se pudo establecer que dichos tiempos se vieron determinados por diversos factores; uno de ellos obedece a operaciones propias del proceso como son las operaciones de carga y descarga, mientras que en otras ocasiones el proceso fue paralizado porque no se contaba con la cantidad de yuca suficiente a la humedad requerida, para abastecer el secador.

Grafica 2. Comportamiento real del secador con una alimentación de 2,5 Ton/cámara; temperatura de 60°C; y una humedad inicial de 45% bh.



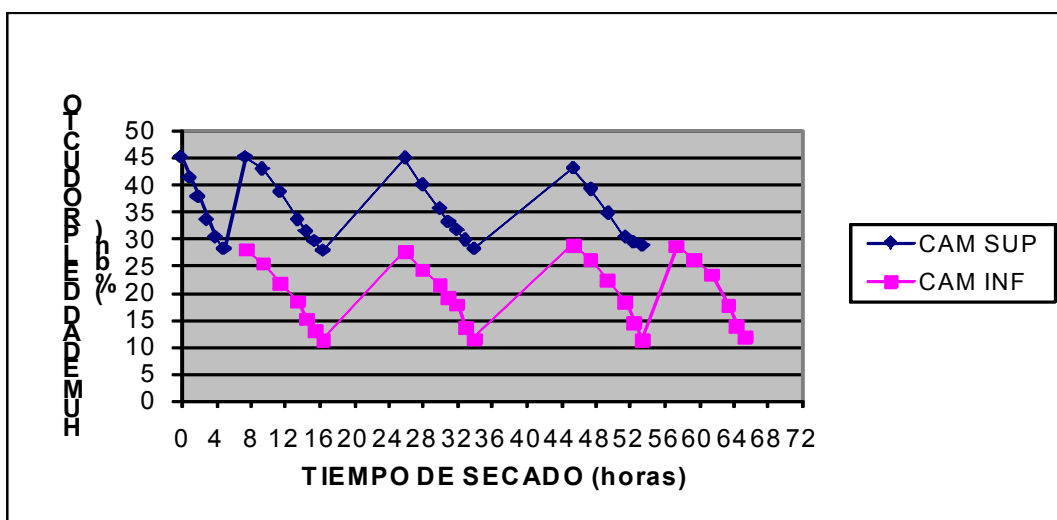
En donde:

- El punto A representa la humedad con que la yuca preseca procedente del patio, entra a la cámara superior.
- Los puntos intermedios B y C representan la humedad con que la yuca pasa de la cámara superior a la cámara inferior, la distancia comprendida entre estos dos puntos representan los tiempos de inoperancia del equipo, también llamados tiempos muertos.
- El punto inferior D representa la humedad final que posee la yuca cuando es descargada del secador.

Bajo estas condiciones el tiempo de residencia en la cámara inferior del secador es de 8,5 horas, para un proceso de 65,5 horas de operación

La grafica 3 muestra el comportamiento ideal de operación del secador, bajo las condiciones mencionadas anteriormente, en donde la única diferencia es que no se presentan tiempos muertos.

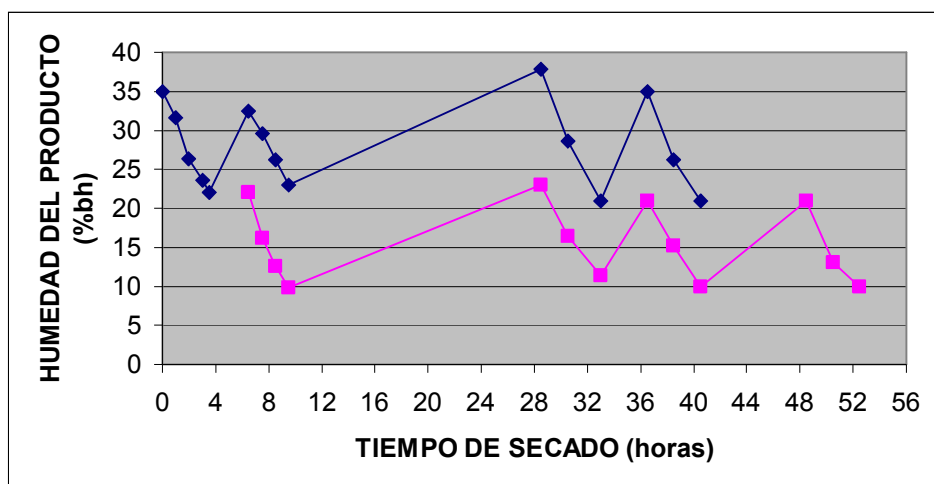
GRAFICA 3. Comportamiento del secador sin tiempos muertos para una alimentación de 2,5 Ton/cámara; temperatura de 60°C; y una humedad inicial de 45% bh.



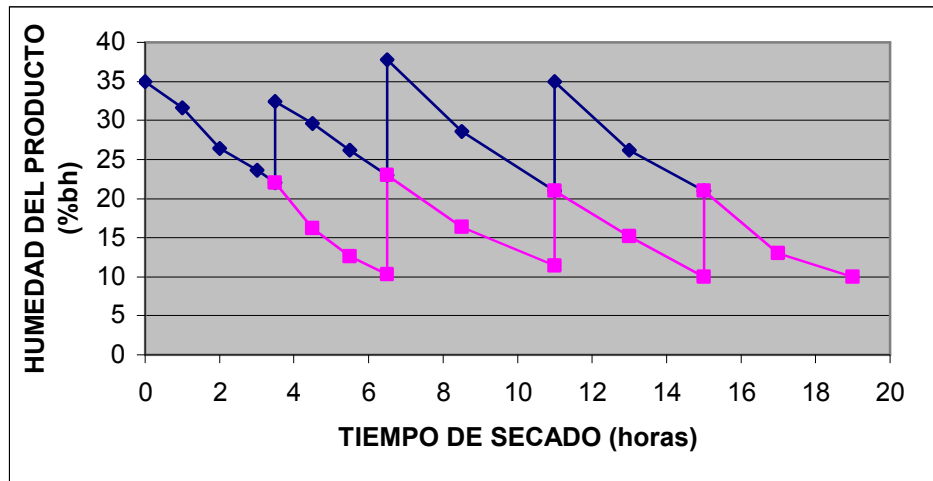
Se observa con mayor claridad que el tiempo total de secado para cada alimentación es de 16 horas, siendo el tiempo de residencia en la cámara inferior de 8,5 horas en promedio. Comparando las graficas 2 y 3 se puede notar que el tiempo de operación se reduce 65,5 a 38 horas, lo que significa que hay en total 27,5 horas de inoperancia del equipo.

A continuación se muestra otras curvas de operación del secador cuando se genera un cambio en las condiciones de trabajo.

GRAFICA 4. Comportamiento real del secador con una alimentación de 1,5 Ton/cámara; temperatura de 60°C; y una humedad inicial de 35% bh.

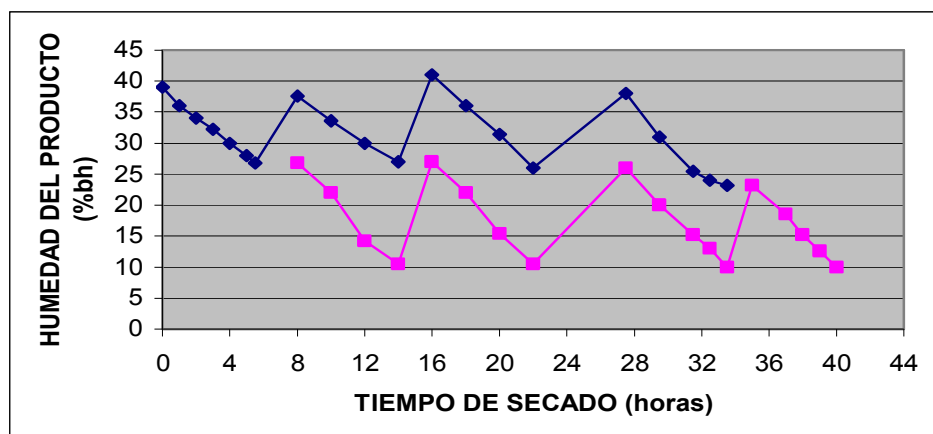


GRAFICA 5. Comportamiento del secador sin tiempos muertos para una alimentación de 1,5 Ton/cámara; temperatura de 60°C; y una humedad inicial de 35% bh.

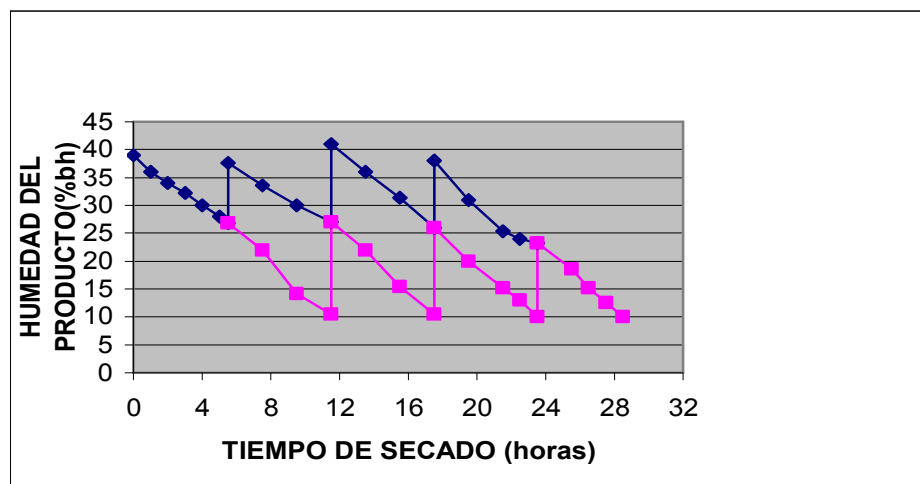


Para una alimentación de 1,5 Ton/cámara, temperatura de 60°C y una humedad inicial de 35% bh, el tiempo de residencia es de 4,5 horas promedio. Observando las graficas 4 y 5 se puede notar que el tiempo de operación se reduce de 52,5 a 19 horas, es decir, 33,5 horas de inoperancia del secador.

GRAFICA 6. Comportamiento real del secador con una alimentación de 2,0 ton/cámara; temperatura de 60°C y una humedad inicial de 40% bh.



GRAFICA 7. Comportamiento del secador sin tiempos muertos para una alimentación de 2,0 ton/cámara; temperatura de 60°C y una humedad inicial de 40% bh.



Bajo estas condiciones el tiempo de residencia de la alimentación en la cámara inferior es de 6 horas. Comparando las graficas 6 y 7 se puede notar que el tiempo de operación se reduce en 11,5 horas.

En el anexo B, se muestran el resto de curvas de operación para cada uno de las corridas realizadas.

En el cuadro 2 se presentan un resumen detallado de la información obtenida por medio de las curvas de operación para cada ensayo, en donde además se incluye la producción de yuca seca en Ton/hora, tanto para condiciones reales como para condiciones ideales.

Cuadro 2. Producción de yuca seca en Ton/Hora y Resumen de curvas de Operación para las diferentes corridas experimentales.

T (°C)	W _p (% bh)	Alimentación (Ton/Cám.)	Tiempo de secado (horas)	Tiempo Muerto (horas)	Producción de yuca seca (Ton/hora)	
					C. Real	C. Ideal
70	35	2,0	8,50	26,5	0,25939216	0,539959184
70	40	1,5	10,0	10,5	0,22480556	0,317372549
70	40	2,5	13,5	22,5	0,25376147	0,406764706
60	40	2,0	12,0	11,5	0,27074074	0,384736842
60	40	2,0	12,0	11,5	0,27074074	0,384736842
60	40	2,0	12,0	11,5	0,27074074	0,384736842
60	45	1,5	13,0	13,0	0,17441860	0,250000000
70	45	2,0	11,0	34,5	0,25526316	0,373076923
60	35	1,5	7.50	33,5	0,15462857	0,427263158
60	35	2,5	10,0	38,5	0,22860800	0,595333333
60	45	2,5	16,0	27,5	0,18839695	0,324736842

4.3 CALCULO DE PARAMETROS PARA LA OPTIMIZACIÓN.

En la optimización del proceso de secado, es necesario determinar los costos de este, los ingresos e inversiones de la planta; para posteriormente calcular las variables dependientes (Costos, Utilidad y TIR), que permitan comparar los diferentes procesos y elegir las condiciones optimas del proceso. Con el fin de presentar a la empresa posibles alternativas que le generen mejores resultados económicos, el cálculo de estas variables fue realizado en base a un periodo de 5 meses /año y 8 meses/año, para condición real e ideal.

4.3.1 Costos de operación: Durante el periodo de operación se puede identificar dos clases de costos: en primer lugar tenemos los costos ligados directamente a la producción de yuca seca; estos son los costos de producción y en segundo lugar los costos administrativos propios de la planta, la estimación de estos se hizo con

precios de febrero de 2007. Los costos de comercialización tales como cargue, descargue y transporte del producto no los asume la empresa, por lo tanto no son tenidos en cuenta.

4.3.1.1 Costos de producción: los costos de producción en el proceso de secado de yuca está constituido por los siguientes rubros:

Materia prima: son los desembolsos efectuados por la compra de materia prima, el precio de esta varía de acuerdo al contenido de materia seca en la yuca, y se encuentra entre \$100.000 y \$110.000 por tonelada; tomando un valor promedio de \$105.000 por tonelada.

Mano de obra directa: comprende el monto pagado a los operarios que intervienen en el proceso de secado, desde la recepción de las raíces frescas hasta el almacenamiento del producto seco. La forma de pago es por tonelada de yuca seca, la cual tiene un costo de \$30.000, incluyendo las prestaciones sociales.

Empaques para yuca seca: Este rubro está compuesto por los costales requeridos para empacar la yuca seca, y tiene un valor de \$400 por empaque, siendo necesario aproximadamente 25 empaques por tonelada, la pita requerida para el cierre de estos se estima en \$10,2856, lo cual da un total de \$10010,2856 por tonelada de yuca empacada.

Empaques de yuca fresca: Este insumo lo proporciona la empresa y es utilizado por los productores durante la cosecha de la yuca, se estima necesario para empacar una tonelada de yuca fresca 14 empaques, siendo este costo igual a \$5600 por tonelada. Considerando una relación de conversión de 2,7:1, se puede decir que una tonelada de yuca seca requiere aproximadamente 38 bultos de yuca fresca, lo que representa un costo total de \$15200.

Energía eléctrica: Este insumo se requiere para el funcionamiento tanto de la picadora como del equipo de secado y tiene un valor de \$241,64 por kilo-vatio (Kw.).

Combustible (Gas natural): Es utilizado en los intercambiadores de calor que proveen de aire caliente al equipo de secado, el consumo esta medido en m³ y tiene un valor de \$599 por m³.

Depreciación: Este rubro está conformado por la depreciación de la planta física y equipos, dentro de los cuales se encuentran: secador, picadora, palas, carretillas, carpas y utensilios de madera. El cálculo se realizó por el método de línea recta sin valor de salvamento, para la determinación de la vida útil fue preciso hacer consideraciones especiales para cada uno de los activos. La planta física fue depreciada a 20 años lo que corresponde a \$1'500.000 por año, el secador fue depreciado a 10 años por un valor de \$5'685.000 por año, mientras que el resto de equipos se depreció a 5 años por un valor de \$999.880 por año, dando como resultado \$8'184.880 por año.

Costos administrativos: Estos costos incluyen papelería utilizada, facturas, comunicaciones para la verificación de viajes, útiles de oficinas, sueldo y prestaciones del personal administrativo, que corresponde a un valor total de \$12160 por tonelada de yuca seca.

4.3.2 Costo total de inversión:

Terreno: El monto por este concepto equivale a \$5'000.000

Costo total de obra física: Contempla el valor de compra de la infraestructura de la planta y se estima en \$30'000.000.

Costo de maquinaria y equipos: Relaciona los costos de maquinaria y equipos existentes en la planta, lo cual equivale a un valor de \$61'849.400.

4.3.3 Ingresos del proyecto: Los ingresos del proyecto están representados por el dinero recibido por la venta de la yuca seca, calculados a partir del número de toneladas procesadas por tratamiento al año y multiplicados por el precio de venta de la yuca en la planta. Este valor se encuentra alrededor de \$425.000 por tonelada,

En los anexos C y D se muestra la tabla de costo, utilidad y tasa interna de retorno TIR para cada proceso.

4.4 ANALISIS DE PARAMETROS ÓPTIMOS.

Luego de determinar costos, utilidad y TIR para cada proceso, estos datos fueron sometidos a un análisis con la ayuda del programa estadístico Statgraphics plus 5.1, utilizando como herramienta dos tipos de gráficos:

Gráfico de superficie de respuesta: Permite visualizar la zona o área de trabajo donde se encuentran las condiciones óptimas para el proceso, en función de las variables analizadas.

Grafico de pareto: Este grafico es útil para conocer la incidencia que tiene cada una de las variables dentro de un proceso y la interacción entre estas.

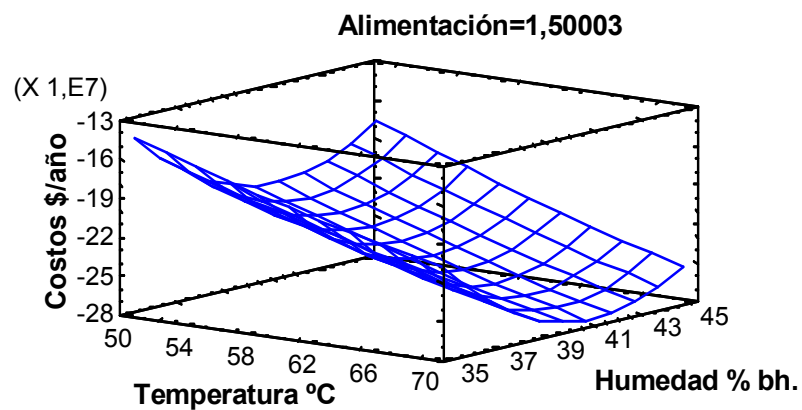
A continuación se hace un análisis de cada variable dependiente objeto del presente estudio (costo, utilidad y TIR), por medio de las graficas descritas anteriormente, para un periodo de 5 y 8 meses al año y bajo condiciones reales e ideales, así como sus respectivas ecuaciones objetivos.

Se toma un periodo de 5 meses/año, por ser éste el número de meses en los cuales la planta produce yuca seca en la actualidad. Con un periodo de trabajo de

8 meses/año se pretende mostrar como la planta puede aumentar su rentabilidad ampliando el tiempo de producción anual; teniendo en cuenta que esto es posible si conjuntamente con los cultivadores se generan estrategias que permitan obtener un abastecimiento de yuca fresca durante un periodo de tiempo mayor al que se trabaja actualmente.

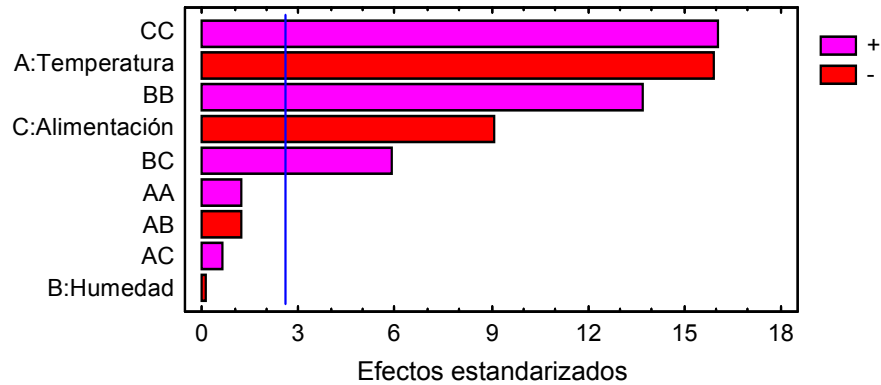
GRAFICOS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA Y PARETO PARA COSTOS, UTILIDAD Y RENTABILIDAD EN UN PERIODO DE 5 MESES AL AÑO.

GRAFICA 8. Superficie de respuesta para costos \$/Año (condición real).



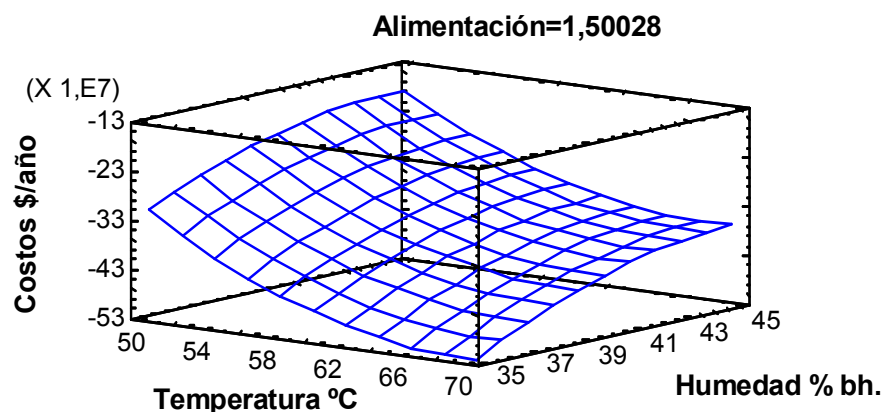
Esta gráfica indica que para reducir costos es necesario trabajar con temperaturas lo más cerca posible a 50°C, una alimentación alrededor de 1,5 ton por cámara y una humedad de presecado del producto de 35 %bh.

GRAFICA 9. Carta de pareto estandarizada para costos/ \$/año (condición real).



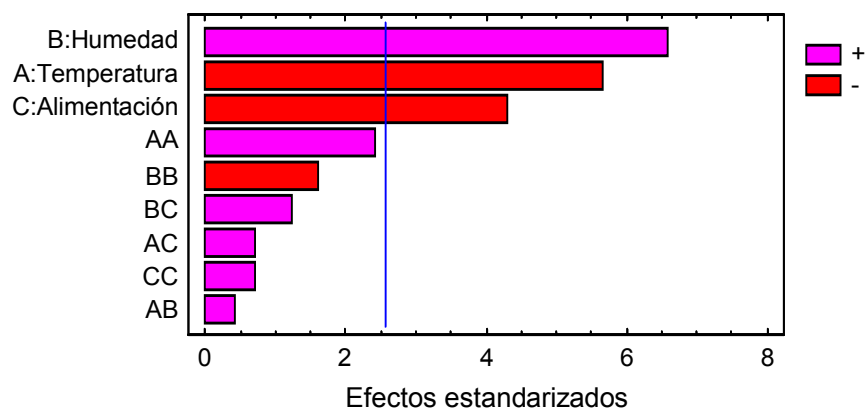
El análisis de efectos estimados para costos muestra que la temperatura y la alimentación son las variables que influyen de manera negativa en los costos de producción, el grafico también permite observar que la humedad es la variable que menos incidencia tiene sobre dichos costos. Es importante aclarar que una variación en la temperatura va a afectar en una mayor proporción los costos, que si se varía cualquier otra variable.

GRAFICA 10. Superficie de respuesta para costos \$/Año (condición ideal).



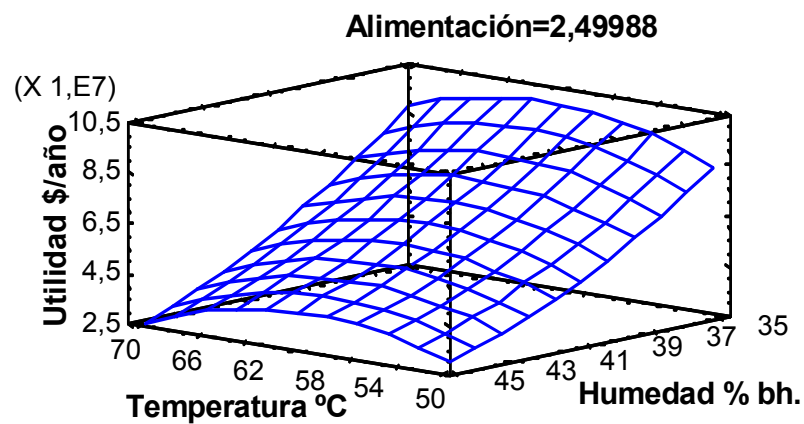
Según el grafico de superficie de respuesta para la condición ideal, los parámetros óptimos con los cuales se debe trabajar; si se desea disminuir costos son: temperatura 50°C, alimentación de 1,5 ton/Cam. y una humedad de presecado del producto alrededor de 45 %bh.

GRAFICA 11. Carta de pareto estandarizada para costos/ \$/año (condición ideal).



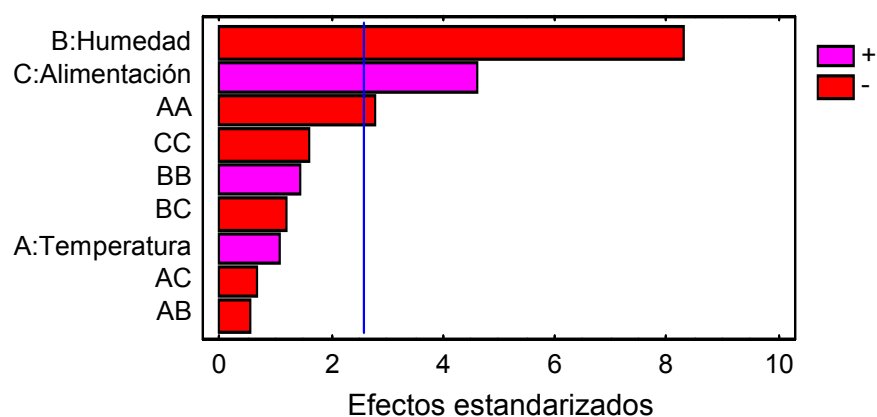
Aquí se puede notar que tanto la temperatura como la alimentación siguen siendo los factores que influyen de manera negativa en los costos, sin embargo, a diferencia del grafico de pareto anterior, la humedad influye positivamente, es decir, que entre más húmedo se encuentre el producto alimentado en el secador; menores serán los costos de producción.

GRAFICA 12. Superficie de respuesta para utilidad \$/Año (condición real).



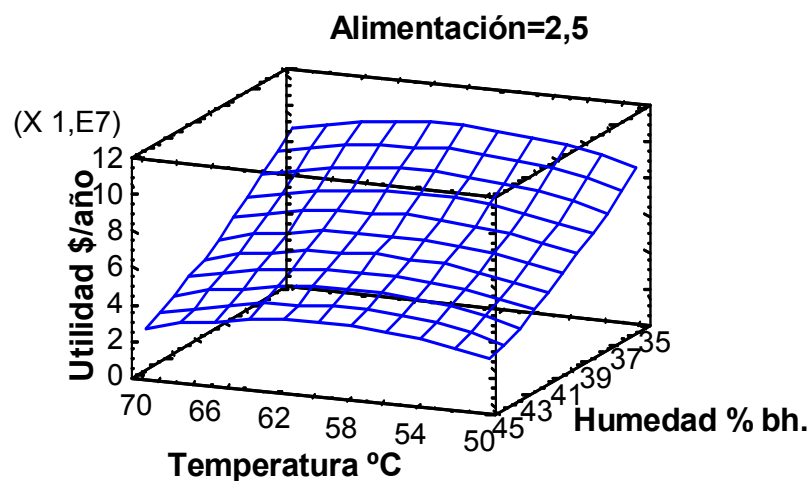
Este grafico nos indica que para obtener la mayor utilidad se debe operar la planta bajo los siguientes parámetros: temperatura de 61°C, alimentación de 2,5 ton por cámara y una humedad de 35 %bh.

GRAFICA 13. Carta de pareto estandarizada para utilidad \$/Año(condición real).



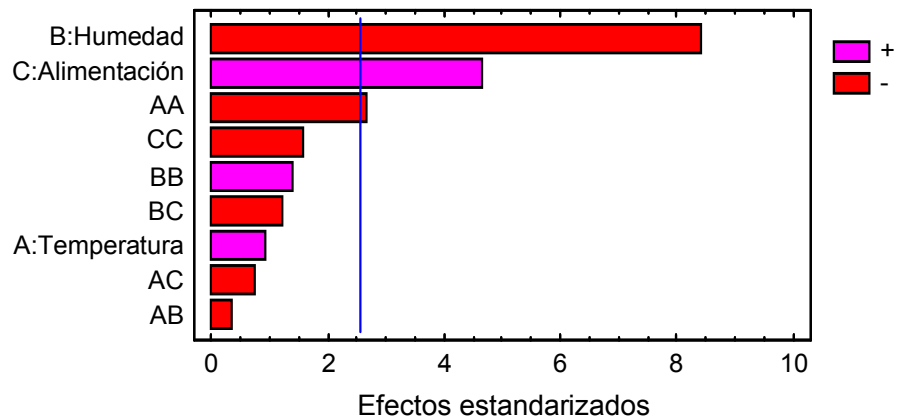
Por medio de este grafico se puede observar que la humedad es el factor que mayor incidencia negativa tiene sobre la utilidad, no obstante la alimentación es la variable que mayor efecto positivo tiene sobre esta, seguida por la temperatura. Entre mayor sea la alimentación y la temperatura con la cual se opere, mayor será la utilidad del proceso.

GRAFICA 14. Superficie de respuesta para utilidad \$/Año (condición ideal).



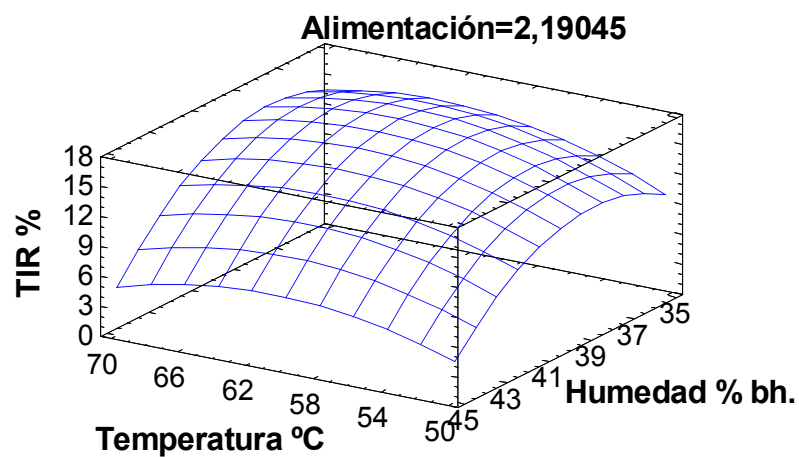
El grafico de superficie de respuesta para condición ideal, permite visualizar que los parámetros óptimos con las cuales puede trabajar la planta para obtener la mayor utilidad deben estar lo más cerca posible a una temperatura de 60°C, una alimentación de 2,5 ton por cámara, y una humedad de 35 % bh.

GRAFICA 15. Carta de pareto estandarizada para utilidad \$/Año (condición ideal).



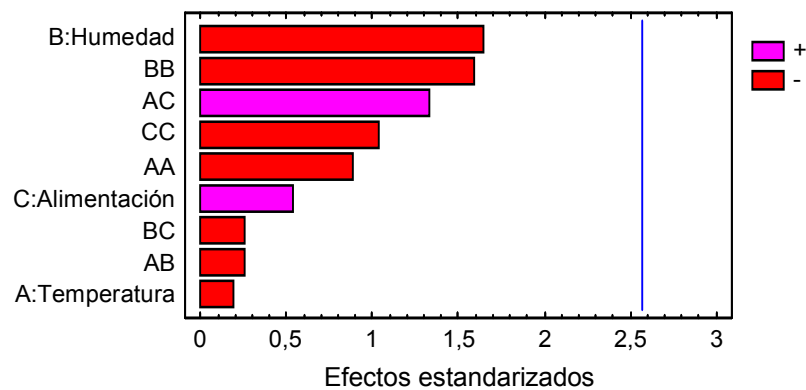
La carta de pareto estandariza para la utilidad muestra que tanto en la condición ideal como en la real, las variables presentan el mismo efecto dentro del proceso.

GRAFICA 16. Superficie de respuesta para TIR (condición real).



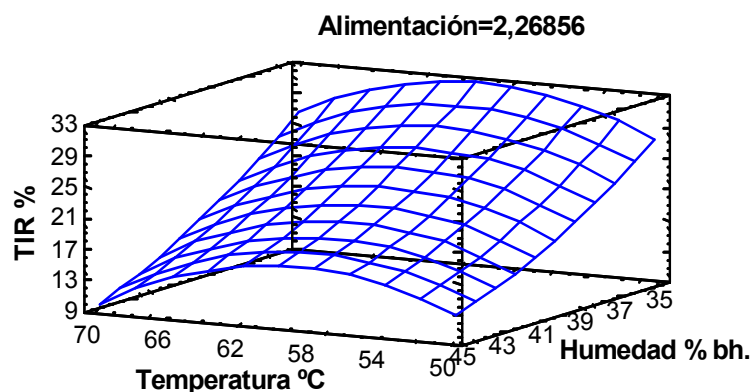
Las condiciones bajo las cuales se debe trabajar para obtener la mayor rentabilidad, según la grafica anterior, deben encontrarse lo más cerca posible a 63°C de temperatura, 2.2 ton por cámara de alimentación y 38 %bh. de humedad.

GRAFICA 17. Carta de pareto estandarizada para TIR % (condición real).



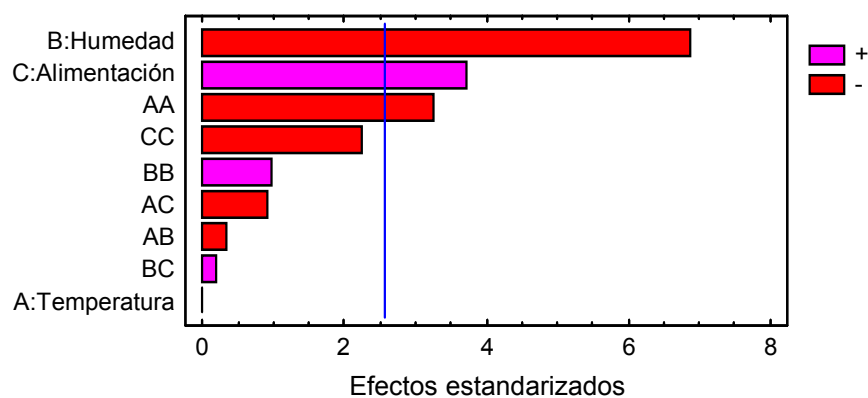
El grafico de pareto para la TIR muestra que de acuerdo a la manera como se realizaron los ensayos, las variables que presentan un efecto negativo sobre la rentabilidad del proceso son la humedad y la temperatura, mientras que la alimentación tiene una influencia positiva sobre dicha rentabilidad.

GRAFICA 18. Superficie de respuesta para TIR % (condición ideal).



Para operar la planta en condición ideal, los valores óptimos de las variables con los cuales se genera la mayor rentabilidad deben ser: temperatura 60°C, alimentación de 2,27 ton /Cam y humedad de 35 %bh.

GRAFICA 19. Carta de pareto estandarizada para TIR % (condición ideal).



Este grafico muestra que tanto en condiciones ideales como reales, la humedad y la alimentación tiene igual efecto sobre la rentabilidad del proceso, sin embargo, operando la planta en condiciones ideales, la temperatura no presenta una incidencia significativa.

Cuadro 3. RESUMEN DE LA INFORMACION PARA UN PERIODO DE TRABAJO DE 5 MESES/AÑO.

ITEM	CONDICION REAL	CONDICION IDEAL
Valores óptimos de variables para obtener mínimos costos.	Temperatura: 50°C. Humedad: 35,1 %bh. Alimentación: 1,5 Ton	Temperatura: 50°C. Humedad: 45 %bh. Alimentación: 1,5 Ton
Mínimos costos anuales.	\$146'307.000	\$181'763.000
Valores óptimos de variables para obtener máxima utilidad.	Temperatura: 61°C. Humedad: 35 %bh. Alimentación: 2,5 Ton	Temperatura: 60°C. Humedad: 35%bh. Alimentación: 2,5 Ton
Máxima utilidad anual	\$99'655.800	\$100'141.000
Valores óptimos de variables para obtener máxima rentabilidad.	Temperatura: 63°C. Humedad: 38 %bh. Alimentación: 2,2 Ton	Temperatura: 60°C. Humedad: 35%bh. Alimentación: 2,27 Ton
Máxima rentabilidad	16,8 %	32,8 %

Analizando el cuadro 3, se puede inferir que para un periodo de trabajo de 5 meses al año; bajo las condiciones en las cuales fue operada la planta durante los diferentes ensayos, la máxima rentabilidad que se puede obtener es de 16.8%, lo que convierte al proceso de secado mixto de la planta, en un proceso poco rentable, si se tiene en cuenta que esta rentabilidad se encuentra por debajo de la TMAR estimada para la evaluación del proyecto, la cual fue del 20% (ver anexos D), Sin embargo, como se observa en la tabla, es posible alcanzar una rentabilidad mayor (32,8%), si se logra reducir al máximo los periodos de inoperancia que se presentan durante el proceso y se mantienen constantes las condiciones de temperatura, humedad y alimentación que permiten dicha rentabilidad.

A continuación se presentan las ecuaciones (función objetivo) por medio de las cuales se obtuvieron los valores de costos mínimos, utilidad y rentabilidad máxima, mostrados en el cuadro 3.

Costos (condición real)

$$C = 4,15E9 - 5,84E6*T - 1,49E8*H - 1,16E9*A + 37312,3*T^2 - 68229,4*T*H + 330279,0*T*A + 1,73E6*H^2 + 7,16E6*H*A + 2,04E8*A^2$$

Costos (condición ideal)

$$C = 1,01E9 - 8,45E7*T + 1,01E8*H - 9,60E8*A + 529339,0*T^2 + 167158,0*T*H + 2,94E6*T*A - 1,40E6*H^2 + 1,03E7*H*A + 5,96E7*A^2$$

Utilidad (condición real)

$$U = -2,94E8 + 1,77E7*T - 1,85E7*H + 2,51E8*A - 122123,0*T^2 - 43599,6*T*H - 528239,0*T*A + 251733,0*H^2 - 1,99E6*H*A - 2,81E7*A^2$$

Utilidad (condición ideal)

$$U = -2,47E8 + 1,66E7*T - 1,91132E7*H + 2,53E8*A - 117611,0*T^2 - 26069,9*T*H - 596200,0*T*A + 244791,0*H^2 - 1,99E6*H*A - 2,74E7*A^2$$

TIR (condición real)

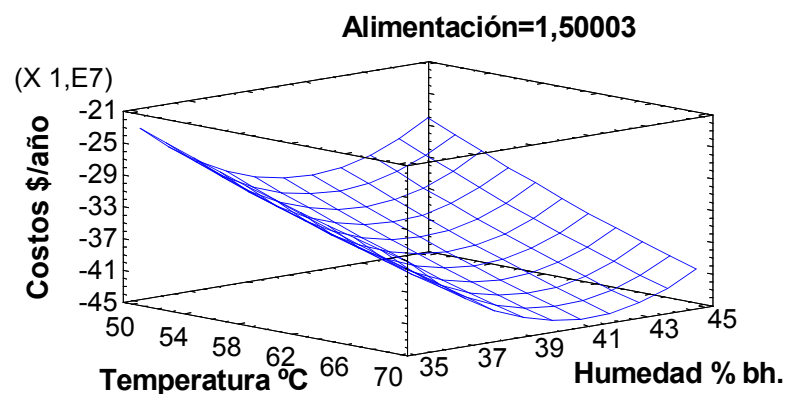
$$TIR = -393,25 + 2,2625*T + 16,8*H + 18,25*A - 0,02*T^2 - 0,015*T*H + 0,8*T*A - 0,2*H^2 - 0,3*H*A - 13,0*A^2$$

TIR (condición ideal)

$$TIR = -143,0 + 7,75*T - 6,42*H + 84,75*A - 0,05*T^2 - 0,01*T*H - 0,3*T*A + 0,06*H^2 + 0,1*H*A - 15,5*A^2$$

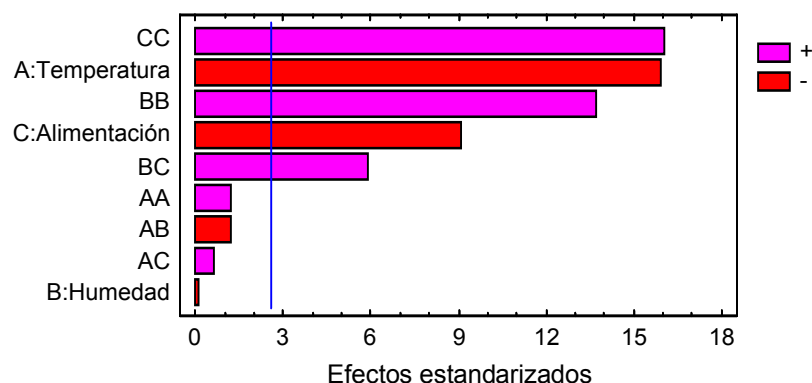
GRAFICOS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA Y PARETO PARA COSTOS, UTILIDAD Y RENTABILIDAD EN UN PERIODO DE 8 MESES AL AÑO.

GRAFICA 20. Superficie de respuesta para costos \$/Año (condición real).



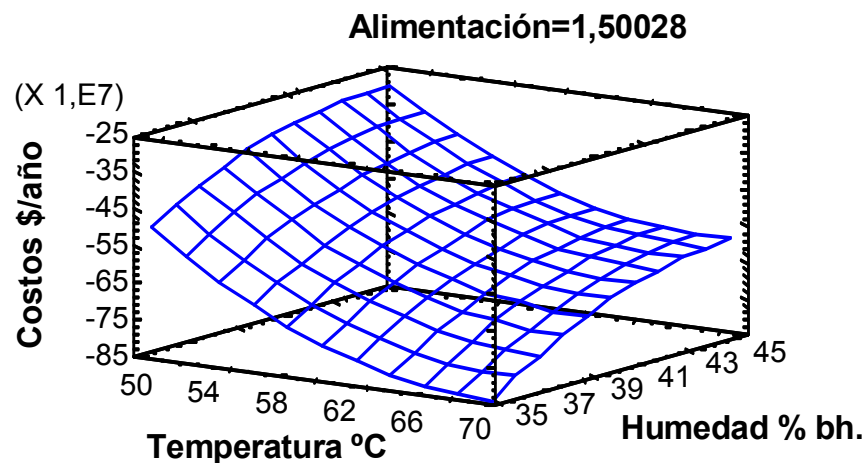
El grafico de superficie de respuesta para costos indica que es necesario trabajar con temperaturas lo más cerca posible a 50°C, una alimentación alrededor de 1,5 ton/Cam y una humedad de presecado del producto de 35 %bh.

GRAFICA 21. Carta de pareto estandarizada para costos \$/Año (condición real).



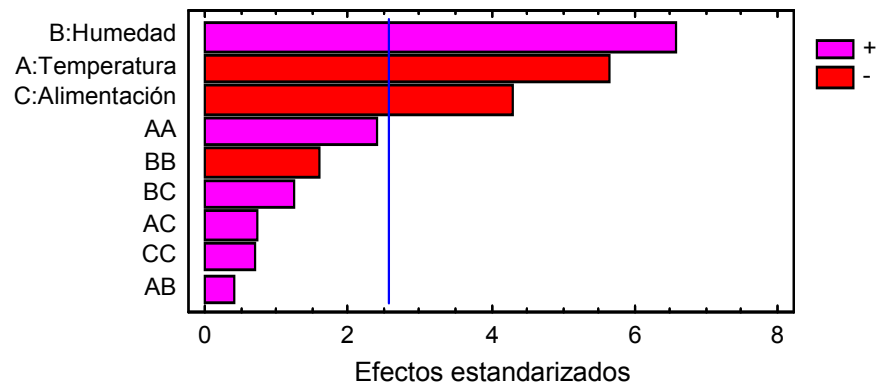
El análisis de efectos estimados para costos muestra que la temperatura es el factor que más influye de manera negativa en el proceso, seguido por la alimentación, es decir, una variación en cualquiera de estas dos condiciones o en ambas, va a afectar considerablemente los costos de producción, el grafico también permite observar que la humedad es la variable que menos incidencia tiene sobre dichos costos.

GRAFICA 22. Superficie de respuesta para costos \$/Año (condición ideal).



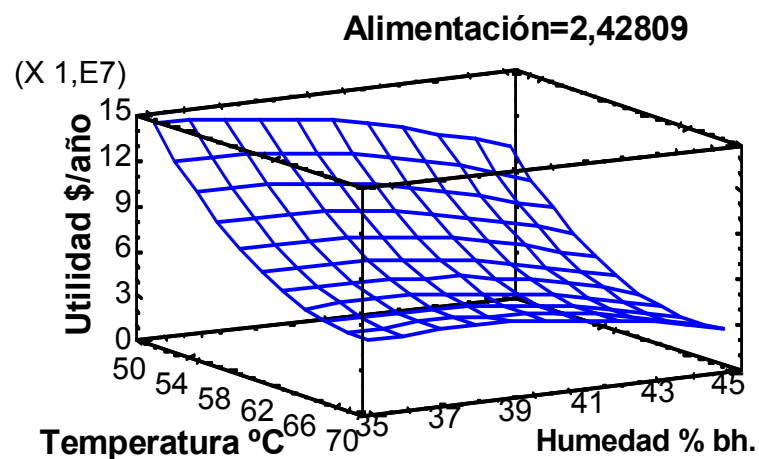
Según el grafico de superficie de respuesta para la condición ideal, los parámetros óptimos con los cuales se debe trabajar; si se desea disminuir costos son: temperatura 50°C, alimentación de 1,5 ton por cámara y una humedad de presecado del producto alrededor de 45 %bh.

GRAFICA 23. Carta de pareto estandarizada para costos \$/Año (condición ideal).



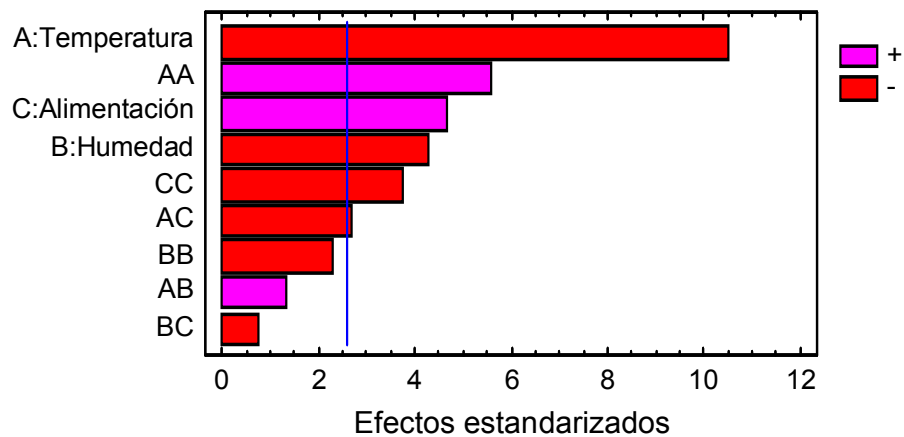
A diferencia del gráfico de pareto para costos en condición real, este, nos muestra que la humedad si influye y de manera positiva sobre los costos.

GRAFICA 24. Superficie de respuesta para utilidad \$/Año (condición real).



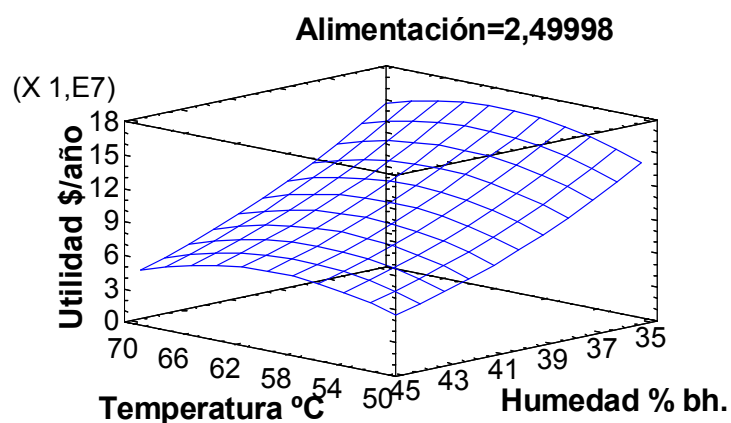
Este grafico nos indica que para obtener la mayor utilidad se debe operar la planta bajo los siguientes parámetros: temperatura de 50°C, alimentación de 2,43 ton/Cam y una humedad de 35 %bh.

GRAFICA 25. Carta de pareto estandarizada para utilidad \$/Año (condición real).



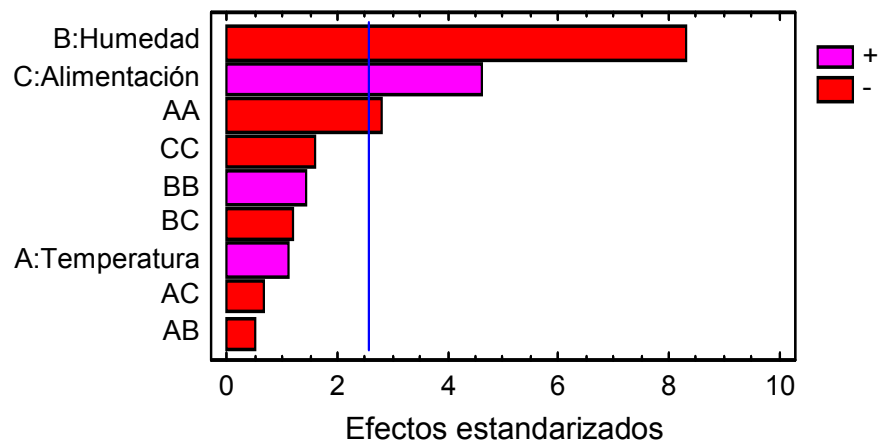
Por medio de este grafico se puede observar que la temperatura es el factor que mayor incidencia negativa tiene sobre la utilidad del proceso, seguida por la humedad, es decir, un incremento en la temperatura y/o humedad de presecado del producto puede generar una disminución en la utilidad, mientras que la alimentación presenta un efecto positivo.

GRAFICA 26. Superficie de respuesta para utilidad \$/Año (condición ideal).



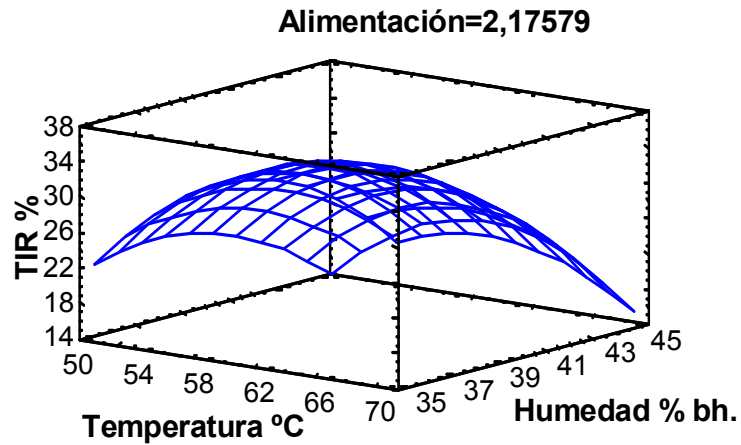
El grafico de superficie de respuesta para condición ideal, permite visualizar que los parámetros óptimos con las cuales puede trabajar la planta para obtener la mayor utilidad deben estar lo más cerca posible a una temperatura de 61°C, una alimentación de 2,5 ton/Cam y una humedad de 35 % bh.

GRAFICA 27. Carta de pareto estandarizada para utilidad \$/Año (condición ideal).



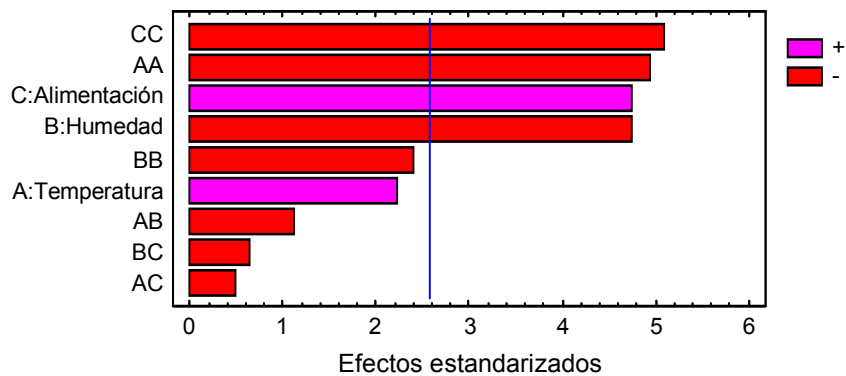
Este grafico indica que la humedad es la variable que mayor incidencia negativa tiene sobre la utilidad del proceso, comparando el grafico para condición ideal y condición real, se puede observar que la temperatura en condiciones de trabajo ideal pasa a ser una variable que influye de manera positiva.

GRAFICA 28. Superficie de respuesta para TIR % (condición real).



Las condiciones bajo las cuales se debe trabajar para obtener la mayor rentabilidad, según el grafico anterior, deben encontrarse lo más cerca posible a 62°C de temperatura, 2.18 ton/Cam de alimentación y 36 %bh de humedad.

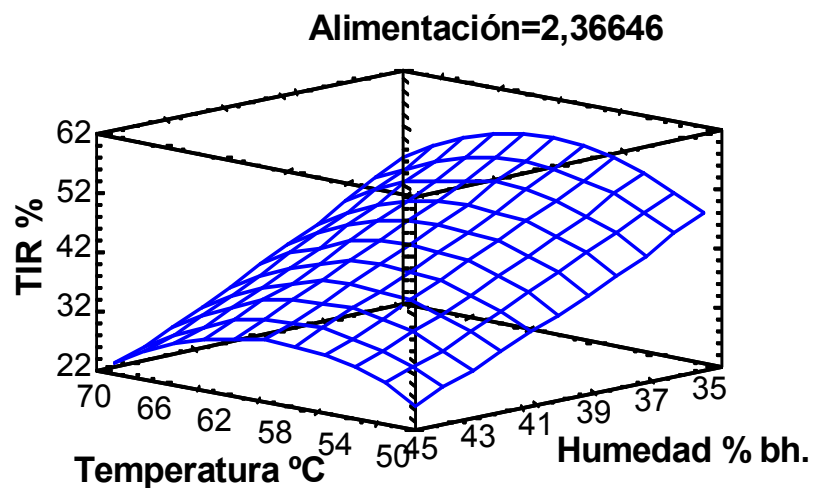
GRAFICA 29. Carta de pareto estandarizada para TIR % (condición real).



El grafico de pareto para la TIR muestra que de acuerdo a la manera como se realizaron los ensayos, las variables que presentan un efecto positivo sobre la

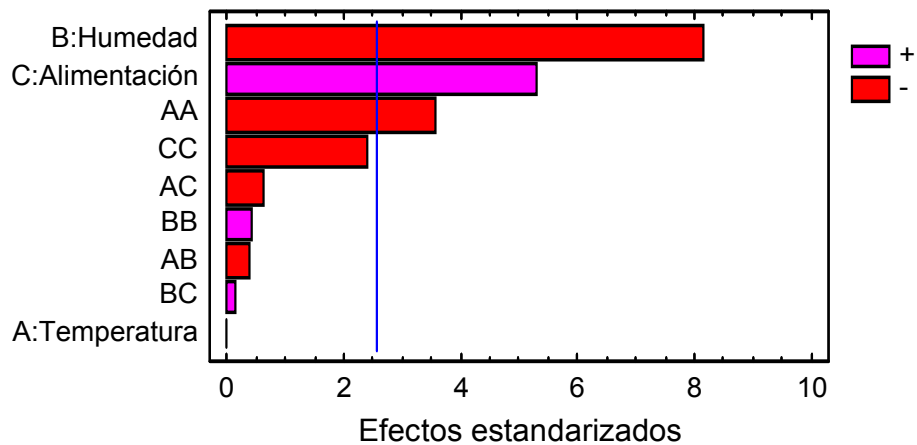
rentabilidad del proceso son la alimentación y la temperatura, mientras que la humedad tiene una influencia negativa sobre dicha rentabilidad.

GRAFICA 30. Superficie de respuesta para TIR % (condición ideal).



Para operar la planta en condición ideal, los valores óptimos de las variables con los cuales se genera la mayor rentabilidad deben ser: temperatura 60°C, alimentación de 2,37 ton /Cam y humedad de 35 %bh.

**GRAFICA 31. . Carta de pareto estandarizada para TIR %
(8 meses/año – condición ideal).**



Este grafico muestra que tanto en condiciones ideales como reales, la humedad y la alimentación tiene igual efecto sobre la rentabilidad del proceso, sin embargo, operando la planta en condiciones ideales, la temperatura no presenta una incidencia significativa

Cuadro 4. RESUMEN DE LA INFORMACION PARA UN PERIODO DE TRABAJO DE 8 MESES/AÑO.

ITEM	CONDICION REAL	CONDICION IDEAL
Valores óptimos de variables para obtener mínimos costos.	Temperatura: 50°C. Humedad: 35,1 %bh. Alimentación: 1,5 Ton	Temperatura: 50°C. Humedad: 45 %bh. Alimentación: 1,5 Ton
Mínimos costos anuales.	\$234'105.000	\$290'823.000
Valores óptimos de variables para obtener máxima utilidad.	Temperatura: 50°C. Humedad: 35 %bh. Alimentación: 2,43 Ton	Temperatura: 61°C. Humedad: 35%bh. Alimentación: 2,5 Ton
Máxima utilidad anual	\$144'142.000	\$165'336.000
Valores óptimos de variables para obtener máxima rentabilidad.	Temperatura: 62°C. Humedad: 36 %bh. Alimentación: 2,2 Ton	Temperatura: 60°C. Humedad: 35%bh. Alimentación: 2,37 Ton
Máxima rentabilidad	35,27%	55,62%

Si se compara el cuadro 3 con el cuadro 4, se puede notar que trabajar durante un periodo de 8 meses/año, generaría para la empresa una mayor rentabilidad, que trabajar por un periodo de 5 meses/año, teniendo en cuenta que en ambos casos es indispensable que se reduzca al máximo los periodos de inoperancia y se mantengan constante durante el proceso, las condiciones que permitan la máxima rentabilidad, que para este periodo como lo muestra la tabla 5 son: 60°C de temperatura, 35 %bh de humedad y 2,37 ton/Cam de alimentación.

A continuación se presentan las ecuaciones (función objetivo) por medio de las cuales se obtuvieron los valores de costos mínimos, utilidad y rentabilidad máxima, mostrados en el cuadro 4.

Costos (condición real)

$$C = 6,64E9 - 9,34E6*T - 2,39E8*H - 1,85E9*A + 59612,8*T^2 - 109167,0*T*H + 528887,0*T*A + 2,78E6*H^2 + 1,14E7*H*A + 3,26E8*A^2$$

Costos (condición ideal)

$$C = 1,63E9 - 1,35E8*T + 1,61E8*H - 1,53E9*A + 846932,0*T^2 + 267451,0*T*H + 4,71E6*T*A - 2,24E6*H^2 + 1,66E7*H*A + 9,55E7*A^2$$

Utilidad (condición real)

$$U = 1,80E8 - 3,36E7*T + 2,62E7*H + 4,93E8*A + 254722,0*T^2 + 112798,0*T*H - 2,32E6*T*A - 413926,0*H^2 - 1,26E6*H*A - 6,85E7*A^2$$

Utilidad (condición ideal)

$$U = -4,67E8 + 2,85E7*T - 2,97E7*H + 4,02E8*A - 197020,0*T^2 - 66116,8*T*H - 857262,0*T*A + 400569,0*H^2 - 3,19E6*H*A - 4,47E7*A^2$$

TIR (condición real)

$$TIR = -784,5 + 11,85*T + 14,62*H + 171,75*A - 0,08*T^2 - 0,035*T*H - 0,15*T*A - 0,16*H^2 - 0,4*H*A - 34,0*A^2$$

TIR (condición ideal)

$$TIR = -253,5 + 10,25*T - 4,5*H + 108,5*A - 0,076*T^2 - 0,015*T*H - 0,25*T*A + 0,035*H^2 + 0,1*H*A - 20,5*A^2$$

5. CONCLUSIONES

- Para obtener los mejores resultados en términos de rentabilidad, la planta debe operar de manera continua, por lo que es necesario reducir al máximo los periodos de inoperancia que se presentan durante las diferentes etapas del proceso, especialmente en la etapa de secado artificial.
- La pista de secado con la que cuenta la planta en la actualidad, no es lo suficientemente amplia para asegurar una alimentación continua del secador, por lo tanto bajo estas condiciones no es posible garantizar un proceso eficiente que genere la más alta rentabilidad.
- Al conocer las condiciones óptimas de operación del sistema mixto de secado de yuca, se debe trabajar lo más cerca posible a éstas, para que así, la rentabilidad se acerque también al punto optimo; es decir, que para un periodo de 5 meses/año, se debe mantener temperaturas cercanas a los 63°C, humedad de presecado del producto y alimentación alrededor de 38 %bh y 2,2 ton/Cam respectivamente. De igual forma para un periodo de 8 meses/año las condiciones del proceso que deben mantenerse constantes para hallar la más alta rentabilidad, deben encontrarse alrededor de 60°C de temperatura, 35 %bh de humedad y 2.37 ton/Cam de alimentación.
- La variable del proceso cuya modificación tiene el mayor efecto sobre los costos es la temperatura del aire de secado, mientras que la utilidad se ve mayormente afectada de forma positiva por la alimentación y la rentabilidad por su parte, es afectada negativamente en mayor proporción por la humedad de presecado de los trozos de yuca.

6. RECOMENDACIONES

- Deben adquirirse herramientas adecuadas que faciliten la operación de descarga, de tal forma que se realice de una manera más eficiente y fácil para el operario.
- Aumentar el área de secado natural principalmente con la ampliación de la actual pista, puesto que la recolección del producto preseco se hace más difícil cuando este se encuentra en las carpas plásticas, retardando la operación de carga en el secador.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo de los equipos, para evitar retrasos en el proceso por el mal funcionamiento de estos, especialmente la picadora, que no realiza un picado uniforme de la yuca, generando problemas en la etapa de secado.
- Programar con los productores, personal de la planta y compradores de yuca seca; las actividades que permitan garantizar la producción y venta del producto para un periodo de 8 meses al año, trabajando bajo las condiciones de temperatura, humedad y alimentación que hacen más rentable el proceso para dicho periodo.
- Realizar un estudio en donde se modele el secador de tal manera que se pueda predecir el comportamiento del mismo, con el fin de obtener una herramienta que permita comparar los datos teóricos con los obtenidos experimentalmente.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO L; BEST R. Y VIERA M. La investigación en el secado artificial de la yuca como apoyo al desarrollo agroindustrial de la Costa Atlántica de Colombia. Evaluación de varias fuentes de calor. Cali. CIAT, 1986

BEST R. Y ALONSO. Evaluación de un secador de capa fija acoplado a un colector solar plano. Palmira, CIAT, 1984.

BUITRAGO J. La yuca en alimentación animal. Centro internacional de agricultura tropical. Cali 1990. Pág. 446.

BUITRAGO J; GIL J y OSPINA B. La yuca en la alimentación avícola. Consorcio latinoamericano y del Caribe de apoyo a la investigación y desarrollo de la yuca, CLAYUCA. Bogotá, Colombia 2001, Pág. 20.

CASP, ANA y ABRIL J. Proceso de conservación de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid (España) ,2003.Pág. 354 - 370.

CEBALLOS, Hernán et al. La yuca en el tercer milenio sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, CIAT y CLAYUCA, Cali – Colombia, 2002.capitulo 1, 2, 3, 20, 22, 24, 25, 27, 28.

CIAT 2003. Centro internacional de agricultura tropical <http://www.ciat.cgiar.org>, visitado (14-09-2006).

CCI, Corporación colombiana internacional, <http://www.cci.org.co>, visitado (14-09-2006).

CLAYUCA 2003. Consorcio latinoamericano y del Caribe de apoyo a la investigación y el desarrollo de la yuca. <http://www.clayuca.org>, visitado el (20-09-2006).

CORPORACIÓN minuto de dios 2005, información suministrada por DONADO Balmiro, coordinador agrónomo de la planta.

EDGAR, Thomas; HIMMELBLAUD David y LASDON Leon. Optimization of Chemical Processes. Mc Graw Hill. Chemical Engineering series, second edition, international Edition, 2001, pág. 4 – 41.

FUENTES J; HERNANDEZ I y PEREZ F. Secado de yuca con energía solar y otros fuentes de calor por convección forzada. Sincelejo 1988, pág. 180. Tesis de grado, Universidad de sucre, facultad de ingeniería, departamento de Ingeniería Agrícola.

GONZALEZ M Y SOTOMAYOR H. Evaluación de una planta de secado combinado de yuca a nivel comercial. Sincelejo 1991. pág. 80. Tesis de grado, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de ingeniería agrícola.

GOMEZ G, Y BEST R. Secamiento de yuca para la alimentación animal. Cali, CIAT 1984 Pág. 2000.

MARCILLA, Antonio. Introducción a las operaciones de separación, Edición electrónica, *Espagracic*, Publicaciones de la universidad de Alicante, 1999.

MARTINEZ, Antonio. Seminario, La yuca como componente de la cadena avícola, julio de 2003.

SICA, Ministerio de agricultura ganadería, acuacultura y pesca del ecuador, <http://www.sica.gov.ec/cadenas/yuca/index.html>, visitado (20—09-2006).

TURIPANA 2003. Centro de investigación turipaná, MARTINES Antonio, <http://www.turipana.org.co>. Visitado (15-09-2006).

WIKIPEDIA, enciclopedia libre en Internet, http://es.wikipedia.org/wiki/Secado_de_s%C3%B3lidos#Operaciones_de_secado, visitado (20- 09-2006).

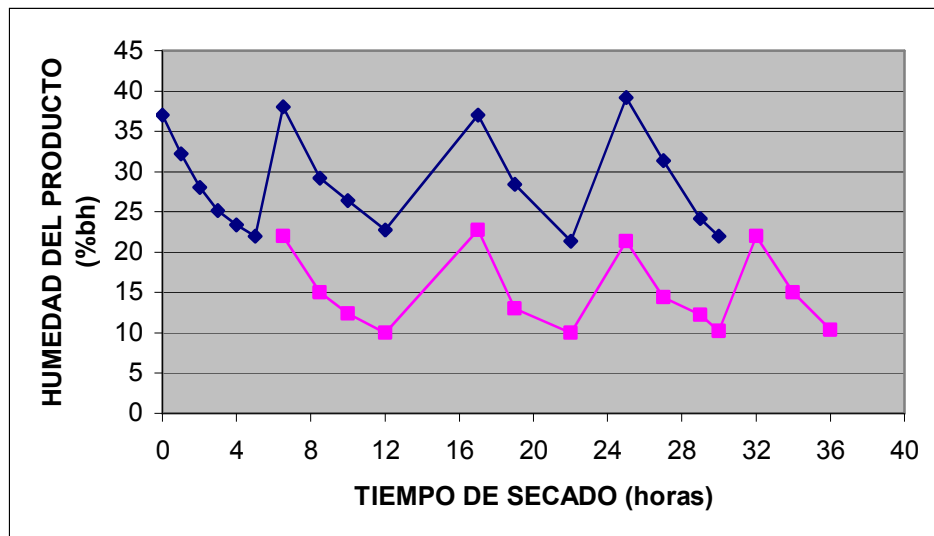
ANEXOS

ANEXO A. DISEÑO EXPERIMENTAL.

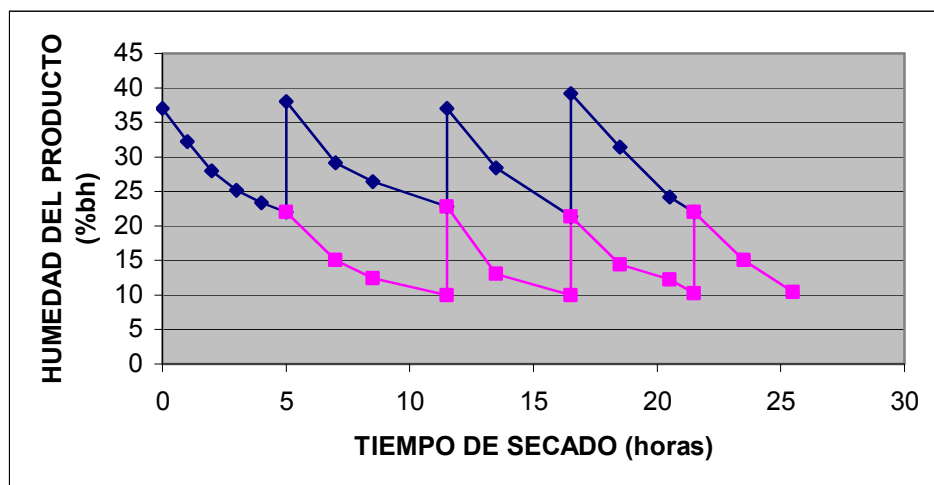
EXPERIMENTO	BLOQUE	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%bh)	ALIMENTACIÓN (ton)
1	1	50	45	2
2	1	70	40	1,5
3	1	60	45	2,5
4	1	60	35	1,5
5	1	50	40	2,5
6	1	60	35	2,5
7	1	60	40	2
8	1	70	35	2
9	1	50	40	1,5
10	1	70	45	2
11	1	60	40	2
12	1	50	35	2
13	1	70	40	2,5
14	1	60	40	2
15	1	60	45	1,5
16	2	50	45	2
17	2	70	40	1,5
18	2	60	45	2,5
19	2	60	35	1,5
20	2	50	40	2,5
21	2	60	35	2,5
22	2	60	40	2
23	2	70	35	2
24	2	50	40	1,5
25	2	70	45	2
26	2	60	40	2
27	2	50	35	2
28	2	70	40	2,5
29	2	60	40	2
30	2	60	45	1,5
31	3	50	45	2
32	3	70	40	1,5
33	3	60	45	2,5
34	3	60	35	1,5
35	3	50	40	2,5
36	3	60	35	2,5
37	3	60	40	2
38	3	70	35	2
39	3	50	40	1,5
40	3	70	45	2
41	3	60	40	2
42	3	50	35	2
43	3	70	40	2,5
44	3	60	40	2
45	3	60	45	1,5

ANEXO B. CURVAS DE OPERACIÓN DEL SECADOR

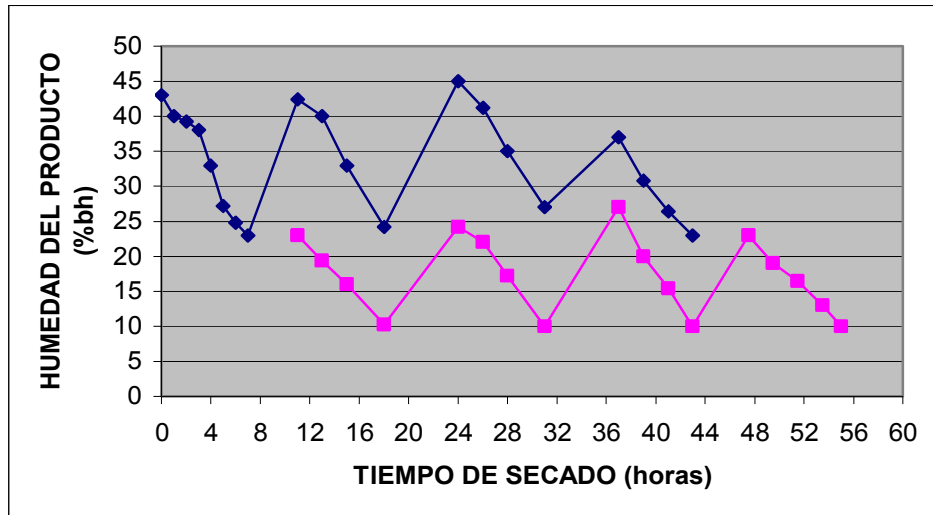
Comportamiento real del secador con una alimentación de 1,5 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 40% bh.



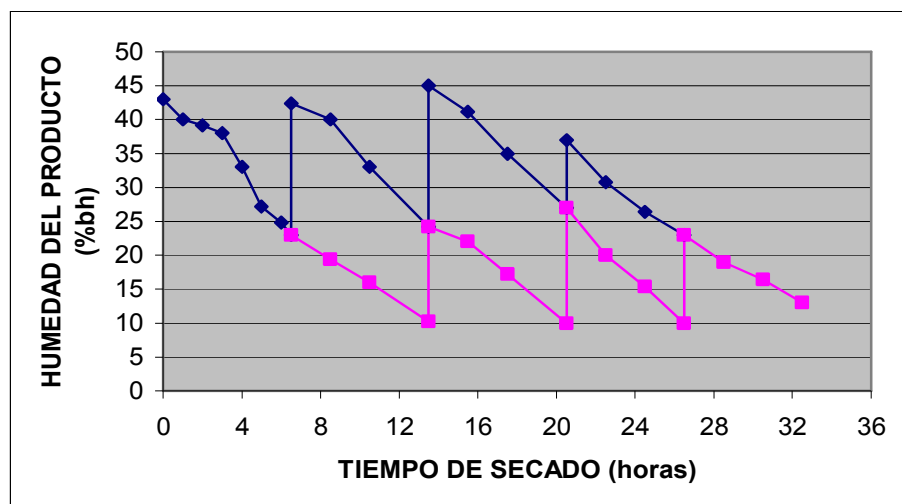
Comportamiento del secador sin tiempo muerto con una alimentación de 1,5 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 40% bh.



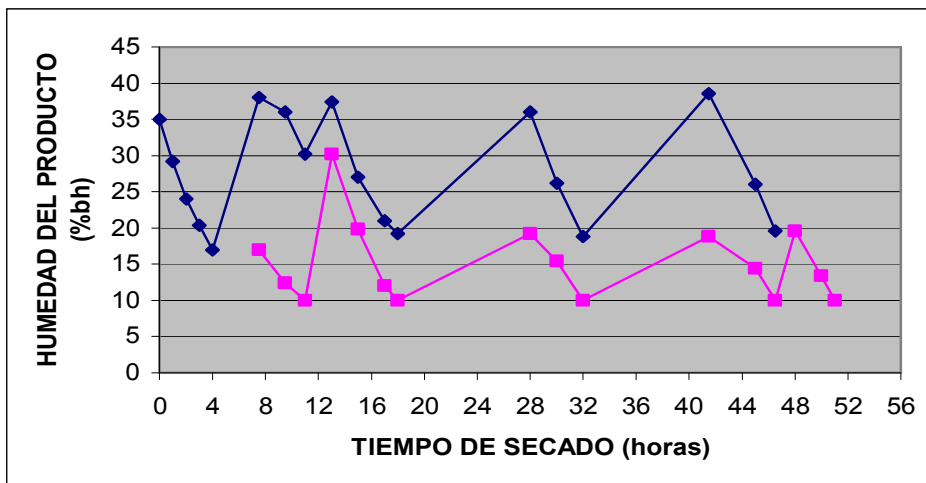
Comportamiento real del secador con una alimentación de 2,5 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 40% bh.



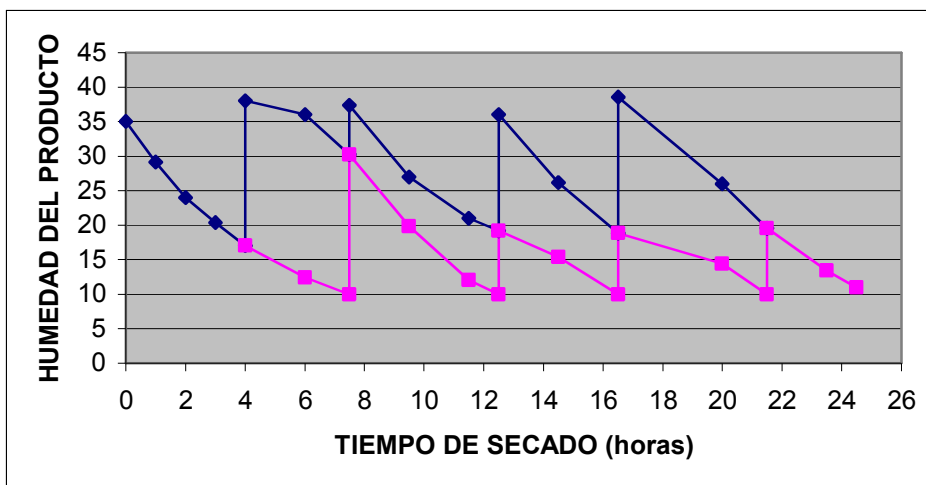
Comportamiento del secador sin tiempo muerto con una alimentación de 2,5 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 40% bh.



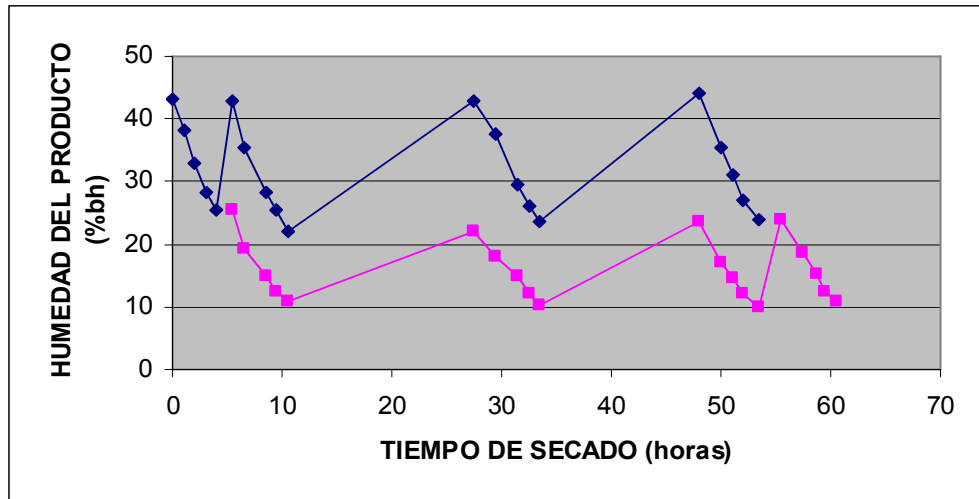
Comportamiento real del secador con una alimentación de 2,0 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 35% bh.



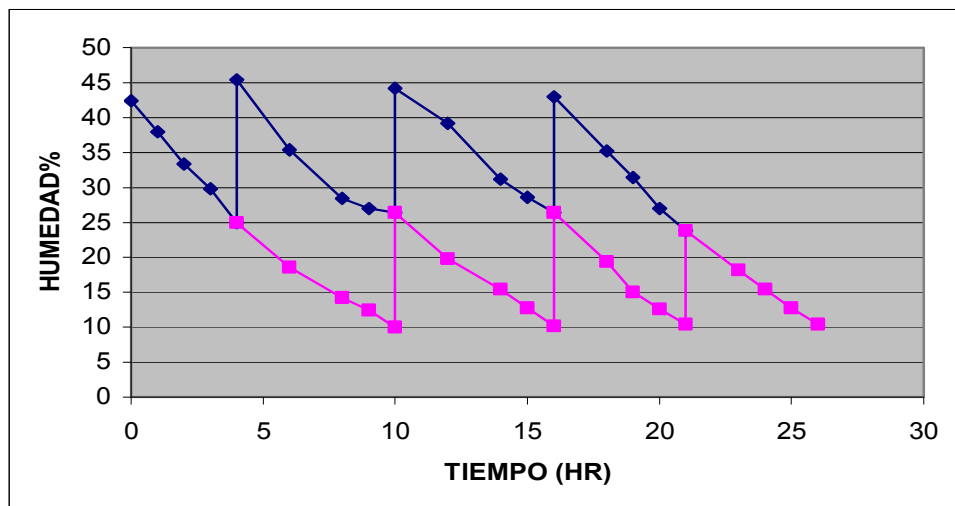
Comportamiento del secador sin tiempo muerto con una alimentación de 2,0 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 35% bh.



Comportamiento real del secador con una alimentación de 2,0 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 45% bh.



Comportamiento del secador sin tiempo muerto con una alimentación de 2,0 ton/cámara; temperatura de 70°C y una humedad inicial de 45% bh.



ANEXO C. UTILIDAD Y COSTOS DE PRODUCCIÓN
PERIODO DE 5 MESES/AÑO (CONDICIÓN REAL).

CONCEPTO	ENSAYO						
	1	2	3	4	5	6	7
Volumen de producción (ton/año)	809,30352	701,39333	791,73578	844,71111	844,71111	844,71111	544,18604
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton Y.S.)	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	4858,44	8265,87	6449,33	6818,58	6818,58	6818,58	10493,44
Costo de energía eléctrica (\$/ton Y.S.)	4166,9181	7435,5517	7921,9956	7142,8727	7142,8727	7142,8727	11698,4
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	25740,59	43077,961	37079,560	24123,377	24123,377	24123,377	39592,469
Total costos de Producción(\$/ton Y.S)	373476,23	397489,66	390161,17	376795,11	376795,11	376795,11	400494,59
Costos administrativos (\$/ton)	11892,942	13722,685	12156,833	11394,428	11394,428	11394,428	17686,965
COSTO TOTAL (\$/ton)	385369,17	411212,35	402318,00	388189,54	388189,54	388189,54	418181,56
Utilidad (\$/ton Y.S.)	39630,824	13787,646	22681,995	36810,456	36810,456	36810,456	6818,4388
UTILIDAD ANUAL (\$/año)	32073366	9670563,2	17958147	31094201	31094201	31094201	3710499,3

Continuación

CONCEPTO	ENSAYO							
	8	9	10	11	12	13	14	15
Volumen de producción (ton/año)	796,42105	482,44114	713,25696	587,79847	516.072	579.14	595.497	619.42
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton Y.S.)	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	7031,68	6139,91	4406,54	8078,41	4007.315	6463.8	3459.6	4331.13
Costo de energía eléctrica (\$/ton Y.S.)	9045,1546	6252,7124	7764,2385	6072,6029	4325.4	9341.8	4211.74	7214.5
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	39807,002	27340,175	17519,905	30469,476	29226.2	32295.2	24623.6	29564.2
Total costos de Producción (\$/ton Y.S.)	394594,12	378443,08	368400,96	383330,77	376269.4	386811.1	371005.2	379820.1
Costos administrativos (\$/ton)	12085,315	19950,620	13494,435	16374,659	18650.5	16619.5	16162.97	15538.7
COSTO TOTAL (\$/ton)	406679,43	398393,70	381895,40	399705,43	394919.9	403430.6	387168.2	395358.84
Utilidad (\$/ton Y.S.)	18320,561	26606,295	43104,595	25294,565	30080.1	21569.4	37831.8	29641.16
UTILIDAD ANUAL (\$/año)	14590880	12835971	30744652	14868107	15523497.4	12491702.3	22528723.4	18360327.3

PERIODO DE 5 MESES/AÑO (CONDICIÓN IDEAL).

CONCEPTO	ENSAYO						
	1	2	3	4	5	6	7
Volumen de Producción (ton/año)	1684,673	990,2024	1269,1058	1200,3789	1200,3789	1200,3789	780
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton YS)	25210,29	25210,29	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	4858,44	8265,87	6449,33	6818,58	6818,58	6818,58	10493,44
Costo de energía Eléctrica (\$/ton Y.S.)	4166,918	7435,552	7921,9956	7142,8727	7142,8727	7142,8727	11698,4
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	25740,59	43077,96	37079,560	24123,377	24123,377	24123,377	39592,469
Total costos de Producción(\$/ton Y.S)	373476,2	397489,7	390161,17	376795,11	376795,11	376795,11	400494,59
Costos administrativos (\$/ton)	5713,276	9720,235	7584,0795	8018,3012	8018,3012	8018,3012	12339,743
COSTO TOTAL (\$/ton)	379189,5	407209,9	397745,25	384813,41	384813,41	384813,41	412834,33
Utilidad (\$/ton Y.S.)	45810,49	17790,1	27254,749	40186,583	40186,583	40186,583	12165,661
UTILIDAD (\$/año)	77175680	17615795	34589162	48239128	48239128	48239128	9489215,6

Continuación

CONCEPTO	ENSAYO							
	8	9	10	11	12	13	14	15
Volumen de Producción (ton/año)	1164	1333,0610	1857,44	1013,1789	545.1	1107.8	661.764	995.08
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton YS)	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	7031,68	6139,91	4406,54	8078,41	10882.4	8706.6	10857.5	6523.5
Costo de energía Eléctrica (\$/ton Y.S.)	9045,1546	6252,7124	7764,2385	6072,6029	11488.1	11727.8	9823.97	8005.13
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	39807,002	27340,175	17519,905	30469,476	33546.8	34519.3	28241.9	26210.1
Total costos de Producción(\$/ton Y.S)	394594,12	378443,08	368400,96	383330,77	394627.6	393664.1	387633.7	379579.1
Costos administrativos (\$/ton)	8268,9003	7220,2244	5181,8632	9499,8026	17657.3	8688.4	14544.45	9672.6
COSTO TOTAL (\$/ton)	402863,02	385663,30	373582,83	392830,57	412284.9	402352.4	402178.2	389251.6
Utilidad (\$/ton Y.S.)	22136,976	39336,691	51417,167	32169,422	12715.1	22647.6	22821.8	35748.4
UTILIDAD (\$/año)	25767441	52438211	95504303	32593382	6931001.1	25089011.3	15102645.7	35572517.9

PERIODO DE 8 MESES/AÑO (CONDICIÓN REAL).

CONCEPTO	ENSAYO						
	1	2	3	4	5	6	7
Volumen de producción (ton/año)	1294,885	1122,229	1266,777	1351,537	1351,537	1351,537	870,6976
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton Y.S.)	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	4858,44	8265,87	6449,33	6818,58	6818,58	6818,58	10493,44
Costo de energía eléctrica (\$/ton Y.S.)	4166,918	7435,551	7921,995	7142,872	7142,872	7142,872	11698,4
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	25740,59	43077,961	37079,560	24123,377	24123,377	24123,377	39592,469
Total costos de producción (\$/ton Y.S.)	373476,23	397489,66	390161,17	376795,11	376795,11	376795,11	400494,59
Costos administrativos (\$/ton)	7433,088	8576,678	7598,020	7121,517	7121,517	7121,517	11054,35
COSTO TOTAL (\$/ton)	380909,32	406066,34	397759,19	383916,63	383916,63	383916,63	411548,94
Utilidad (\$/ton Y.S.)	44090,677	18933,653	27240,807	41083,366	41083,366	41083,366	13451,051
UTILIDAD ANUAL (\$/año)	57092385	21247901	34508035	55525722	55525722	55525722	11711798

Continuación

CONCEPTO	ENSAYO							
	8	9	10	11	12	13	14	15
Volumen de producción (ton/año)	1274,273	771,9058	1141,211	940,4775	824.776	898.97	923	985.8
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton Y.S.)	25210,285	25210,285	25210,285	25210,28	25210,28	25210,28	25210,28	25210,28
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	7031,68	6139,91	4406,54	8078,41	6967.3	12523.3	7813.97	6342.7
Costo de energía eléctrica (\$/ton Y.S.)	9045,154	6252,712	7764,238	6072,602	8541.2	17524.2	10254.2	8360.1
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	39807,002	27340,175	17519,905	30469,47	29534.5	36542.1	29548.8	29358.4
Total costos de producción (\$/ton Y.S.)	394594,12	378443,08	368400,96	383330,7	383753.3	405028.9	386327.25	382771.5
Costos administrativos (\$/ton)	7553,322	12469,13	8434,022	10234,16	11669.83	10706.7	10427.95	9763.64
COSTO TOTAL (\$/ton)	402147,44	390912,22	376834,99	393564,9	395423.1	415735.6	396755.2	392535.2
Utilidad (\$/ton Y.S.)	22852,554	34087,778	48165,008	31435,06	29576.9	9263.4	28244.8	32464.8
UTILIDAD ANUAL (\$/año)	29120409	26312554	54966444	29563971	24394317.3	8327518.7	26069950.4	32003799.8

PERIODO DE 8 MESES/AÑO (CONDICIÓN IDEAL).

CONCEPTO	ENSAYO						
	1	2	3	4	5	6	7
Volumen de producción (ton/año)	2695,476	1584,323	2030,569	1920,606	1920,606	1920,606	1248
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton Y.S.)	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	4858,44	8265,87	6449,33	6818,58	6818,58	6818,58	10493,44
Costo de energía eléctrica (\$/ton Y.S.)	4166,918	7435,551	7921,995	7142,872	7142,872	7142,872	11698,4
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	25740,59	43077,96	37079,56	24123,377	24123,377	24123,377	39592,469
Total costos de producción (\$/ton Y.S.)	373476,23	397489,66	390161,17	376795,11	376795,11	376795,11	400494,59
Costos administrativos (\$/ton)	3570,797	6075,147	4740,049	5011,438	5011,438	5011,438	7712,339
COSTO TOTAL (\$/ton)	377047,03	403564,81	394901,22	381806,55	381806,55	381806,55	408206,93
Utilidad (\$/ton Y.S.)	47952,96	21435,18	30098,77	43193,44	43193,44	43193,44	16793,06
UTILIDAD ANUAL (\$/año)	129256088	33960272	61117659	82957605	82957605	82957605	20957745

Continuación

CONCEPTO	ENSAYO							
	8	9	10	11	12	13	14	15
Volumen de producción (ton/año)	1862,4	2132,897	2971,90	1621,086	883.53	793.24	983.25	1492
Precio de venta (\$/ton Y.S.)	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000	425000
Costo de materia prima (\$/ton Y.S.)	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500	283500
Costo de empaque (\$/ton Y.S.)	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285	25210,285
Mano de obra (\$/ton Y.S.)	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Depreciación (\$/ton Y.S.)	7031,68	6139,91	4406,54	8078,41	7541.5	13254.7	14546.1	10789.6
Costo de energía eléctrica (\$/ton Y.S.)	9045,154	6252,712	7764,238	6072,602	6542.3	11637.44	10078.9	7689.5
Costo de gas natural (\$/ton Y.S.)	39807,002	27340,17	17519,90	30469,47	24123.5	38563.1	38678.7	32567.9
Total costos de producción (\$/ton Y.S.)	394594,12	378443,08	368400,96	383330,77	376917.6	402165.5	402014	389757.3
Costos administrativos (\$/ton)	5168,062	4512,640	3238,664	5937,376	10893.8	12133.7	9788.9	6451.1
COSTO TOTAL (\$/ton)	399762,18	382955,72	371639,63	389268,15	387811.4	414299.3	411802.9	396208.4
Utilidad (\$/ton Y.S.)	25237,81	42044,27	53360,36	35731,848	37188.6	10700.7	13197.1	28791.6
UTILIDAD ANUAL (\$/año)	47002905	89676138	158581886	57924411	32857.25	8488223.3	12976048.5	42957067.2

ANEXO D. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) PARA CADA PROCESO.

CONDICION REAL (5 MESES/AÑO)

AÑO	0	1	2	3	4	5	TIR	TMAR
ENSAYO 1	-186346504	36005318,5	36005318,5	36005318,5	36005318,5	182927423	16%	20%
ENSAYO 2	-195483900	15468189,4	15468189,4	15468189,4	15468189,4	171527690	4%	20%
ENSAYO 3	-194087097	23064312,5	23064312,5	23064312,5	23064312,5	177727009	8%	20%
ENSAYO 4	-190606387	36853931,8	36853931,8	36853931,8	36853931,8	188035919	16%	20%
ENSAYO 5	-190606387	36853931,8	36853931,8	36853931,8	36853931,8	188035919	16%	20%
ENSAYO 6	-190606387	36853931,8	36853931,8	36853931,8	36853931,8	188035919	16%	20%
ENSAYO 7	-160519356	9420882,91	9420882,91	9420882,91	9420882,91	130515839	1%	20%
ENSAYO 8	-189448267	20191058,7	20191058,7	20191058,7	20191058,7	170214925	7%	20%
ENSAYO 9	-150733711	15798117	15798117	15798117	15798117	127107428	6%	20%
ENSAYO 10	-174735868	33887648	33887648	33887648	33887648	169199116	16%	20%
ENSAYO 11	-163021230	19616584,2	19616584,2	19616584,2	19616584,2	143213414	8%	20%
ENSAYO 12	-125436781	15523497,4	15523497,4	15523497,4	15523497,4	125413643	32%	20%
ENSAYO 13	-110587952	12491702,3	12491702,3	12491702,3	12491702,3	101487232	30%	20%
ENSAYO 14	-125874364	22528723,4	22528723,4	22528723,4	22528723,4	129874315	25%	20%
ENSAYO 15	-104572369	18360327,3	18360327,3	18360327,3	18360327,3	101473654	26%	20%

CONDICION IDEAL (5 MESES/AÑO)

AÑO	0	1	2	3	4	5	TIR	TMAR
ENSAYO 1	-283149495	85360561	85360561	85360561	85360561	329085656	29%	20%
ENSAYO 2	-237014216	25800679,1	25800679,1	25800679,1	25800679,1	223390495	8%	20%
ENSAYO 3	-235029285	42774045,1	42774045,1	42774045,1	42774045,1	238378930	16%	20%
ENSAYO 4	-230083013	56424008,3	56424008,3	56424008,3	56424008,3	247082622	22%	20%
ENSAYO 5	-230083013	56424008,3	56424008,3	56424008,3	56424008,3	247082622	22%	20%
ENSAYO 6	-230083013	56424008,3	56424008,3	56424008,3	56424008,3	247082622	22%	20%
ENSAYO 7	-188109670	17674098,8	17674098,8	17674098,8	17674098,8	166359369	6%	20%
ENSAYO 8	-232186205	33952316,6	33952316,6	33952316,6	33952316,6	226714122	12%	20%
ENSAYO 9	-245740258	60623086,3	60623086,3	60623086,3	60623086,3	266938945	23%	20%
ENSAYO 10	-299678744	103689188	103689188	103689188	103689188	363943531	33%	20%
ENSAYO 11	-210908739	40778256,9	40778256,9	40778256,9	40778256,9	212262596	17%	20%
ENSAYO 12	-254875921	6931001,1	6931001,1	6931001,1	6931001,1	236541237	14%	20%
ENSAYO 13	-245871264	25089011,3	25089011,3	25089011,3	25089011,3	256317485	27%	20%
ENSAYO 14	-237425861	15102645,7	15102645,7	15102645,7	15102645,7	205239887	16%	20%
ENSAYO 15	-225419873	35572517,9	35572517,9	35572517,9	35572517,9	245687123	26%	20%

CONDICION REAL (8 MESES/AÑO).

AÑO	0	1	2	3	4	5	TIR	TMAR
ENSAYO 1	-186346504	63383509,7	63383509,7	63383509,7	63383509,7	210305614	32%	20%
ENSAYO 2	-195483900	30524103	30524103	30524103	30524103	186583603	12%	20%
ENSAYO 3	-194087097	42677900	42677900	42677900	42677900	197340597	19%	20%
ENSAYO 4	-190606387	64741290,8	64741290,8	64741290,8	64741290,8	215923278	32%	20%
ENSAYO 5	-190606387	64741290,8	64741290,8	64741290,8	64741290,8	215923278	32%	20%
ENSAYO 6	-190606387	64741290,8	64741290,8	64741290,8	64741290,8	215923278	32%	20%
ENSAYO 7	-160519356	20848412,7	20848412,7	20848412,7	20848412,7	141943369	9%	20%
ENSAYO 8	-189448267	38080693,9	38080693,9	38080693,9	38080693,9	188104561	17%	20%
ENSAYO 9	-150733711	31051987,1	31051987,1	31051987,1	31051987,1	142361298	17%	20%
ENSAYO 10	-174735868	59995236,8	59995236,8	59995236,8	59995236,8	195306705	32%	20%
ENSAYO 11	-163021230	37161534,7	37161534,7	37161534,7	37161534,7	160758365	20%	20%
ENSAYO 12	-150019873	24394317,3	24394317,3	24394317,3	24394317,3	164783219	13%	20%
ENSAYO 13	-163321479	8327518,7	8327518,7	8327518,7	8327518,7	170329874	27%	20%
ENSAYO 14	-150099873	26069950,4	26069950,4	26069950,4	26069950,4	160009871	20%	20%
ENSAYO 15	-160074139	32003799,8	32003799,8	32003799,8	32003799,8	169873218	25%	20%

CONDICION IDEAL (8 MESES/AÑO).

AÑO	0	1	2	3	4	5	TIR	TMAR
ENSAYO 1	-283149495	142351898	142351898	142351898	142351898	386076993	49%	20%
ENSAYO 2	-237014216	47056086,6	47056086,6	47056086,6	47056086,6	244645903	18%	20%
ENSAYO 3	-235029285	74213472,1	74213472,1	74213472,1	74213472,1	269818357	30%	20%
ENSAYO 4	-230083013	96053413,3	96053413,3	96053413,3	96053413,3	286712027	40%	20%
ENSAYO 5	-230083013	96053413,3	96053413,3	96053413,3	96053413,3	286712027	40%	20%
ENSAYO 6	-230083013	96053413,3	96053413,3	96053413,3	96053413,3	286712027	40%	20%
ENSAYO 7	-188109670	34053558,1	34053558,1	34053558,1	34053558,1	182738828	15%	20%
ENSAYO 8	-232186205	60098706,5	60098706,5	60098706,5	60098706,5	252860512	24%	20%
ENSAYO 9	-245740258	102771938	102771938	102771938	102771938	309087796	40%	20%
ENSAYO 10	-299678744	171677700	171677700	171677700	171677700	431932044	56%	20%
ENSAYO 11	-210908739	71020211,1	71020211,1	71020211,1	71020211,1	242504550	32%	20%
ENSAYO 12	-203698712	32857,25	32857,25	32857,25	32857,25	216547891	19%	20%
ENSAYO 13	-263698745	8488223,3	8488223,3	8488223,3	8488223,3	289887123	45%	20%
ENSAYO 14	-214527893	12976048,5	12976048,5	12976048,5	12976048,5	226543219	23%	20%
ENSAYO 15	-249871236	42957067,2	42957067,2	42957067,2	42957067,2	258521479	37%	20%

ANEXO E. ECUACIONES DE REGRESION PARA CADA VARIABLE DEPENDIENTE EN UN PERIODO DE 5 MESES/AÑO.

Costos (condición real)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: Costos

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
Temperatura	-3,31084E6	1,95654E6	-1,69219	0,1291
Humedad	330667,0	3,00549E6	0,110021	0,9151
Alimentacion	-3,74105E7	3,59225E7	-1,04142	0,3281

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	8,2043E17	3	2,73477E17	128,44	0,0000
Residuo	1,70336E16	8	2,1292E15		
Total	8,37464E17	11			

R-cuadrado = 97,9661 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,4576 porcentaje

Error estándar de est. = 4,61432E7

Error absoluto medio = 3,23602E7

Estadístico de Durbin-Watson = 1,27348

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,268491

Costos = -3,31084E6*Temperatura + 330667,0*Humedad - 3,74105E7*Alimentacion.

Costos (condición ideal).

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: COSTOS

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
Temperatura	-1,08204E7	3,13508E6	-3,45141	0,0087
Humedad	1,36446E7	4,81586E6	2,83327	0,0220
Alimentacion	-1,60541E8	5,75606E7	-2,78908	0,0236

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	2,46332E18	3	8,21107E17	150,20	0,0000
Residuo	4,37345E16	8	5,46681E15		
Total	2,50705E18	11			

R-cuadrado = 98,2555 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,8194 porcentaje

Error estándar de est. = 7,39379E7

Error absoluto medio = 5,06113E7

Estadístico de Durbin-Watson = 1,58489

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,166626

$$\text{COSTOS} = -1,08204\text{E}7 \cdot \text{Temperatura} + 1,36446\text{E}7 \cdot \text{Humedad} - 1,60541\text{E}8 \cdot \text{Alimentacion}$$

Utilidad (condición real)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: Utilidad

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 0,634294 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
LOG(Temperatura)	4,8768E7	1,13229E7	4,30704	0,0026
Humedad	-4,59287E6	1,05232E6	-4,36451	0,0024
Alimentacion	2,95405E7	1,06686E7	2,76893	0,0243

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	7,11524E16	3	2,37175E16	137,68	0,0000
Residuo	1,37815E15	8	1,72269E14		
Total	7,25305E16	11			

R-cuadrado = 98,0999 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,6249 porcentaje

Error estándar de est. = 1,31251E7

Error absoluto medio = 8,22297E6

Estadístico de Durbin-Watson = 1,40581

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,293785

BoxCox(Utilidad) = 4,8768E7*LOG(Temperatura) - 4,59287E6*Humedad + 2,95405E7*Alimentacion

donde

BoxCox(Utilidad) = 1 +
(Utilidad^0,634294-1)/(0,634294*4,72208E7^-0,365706).

Utilidad (condición ideal).

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: UTILIDAD

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 0,863519 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
LOG (Temperatura)	4,57051E7	1,15449E7	3,95888	0,0042
Humedad	-4,73661E6	1,07296E6	-4,41453	0,0022
Alimentacion	2,95244E7	1,08778E7	2,71418	0,0265

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	4,34525E16	3	1,44842E16	80,88	0,0000
Residuo	1,43274E15	8	1,79092E14		
Total	4,48852E16	11			

R-cuadrado = 96,808 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 96,01 porcentaje

Error estándar de est. = 1,33825E7

Error absoluto medio = 8,29508E6

Estadístico de Durbin-Watson = 1,45473

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,267719

BoxCox(UTILIDAD) = 4,57051E7*LOG(Temperatura) - 4,73661E6*Humedad + 2,95244E7*Alimentacion

Donde

BoxCox(UTILIDAD) = 1 + (UTILIDAD^0,863519-1)/(0,863519*4,72208E7^-0,136481)

TIR (condición real)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: TIR

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 0,549525 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
Humedad	-0,682899	0,369362	-1,84886	0,1017
LOG (Temperatura)	5,61989	3,97429	1,41406	0,1951
Alimentación	8,23486	3,74464	2,1991	0,0591

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	1886,44	3	628,812	29,63	0,0001
Residuo	169,787	8	21,2233		
Total	2056,22	11			

R-cuadrado = 91,7428 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 89,6785 porcentaje

Error estándar de est. = 4,60688

Error absoluto medio = 3,40107

Estadístico de Durbin-Watson = 1,64899

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,159705

BoxCox (TIR) = $-0,682899 \cdot \text{Humedad} + 5,61989 \cdot \text{LOG (Temperatura)} + 8,23486 \cdot \text{Alimentación}$

Donde

BoxCox (TIR) = $1 + (\text{TIR}^{0,549525} - 1) / (0,549525 \cdot 8,20023^{-0,450475})$

TIR (condición ideal)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: TIR

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 1,10332 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
Alimentación	10,4123	4,06444	2,56181	0,0336
Humedad	-1,51638	0,400906	-3,78238	0,0054
LOG (Temperatura)	13,922	4,3137	3,22738	0,0121

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	4063,99	3	1354,66	54,18	0,0000
Residuo	200,025	8	25,0031		
Total	4264,02	11			

R-cuadrado = 95,309 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 94,1363 porcentaje

Error estándar de est. = 5,00031

Error absoluto medio = 3,29446

Estadístico de Durbin-Watson = 1,39418

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,297267

BoxCox (TIR) = $10,4123 \cdot \text{Alimentación} - 1,51638 \cdot \text{Humedad} + 13,922 \cdot \text{LOG (Temperatura)}$

donde

$\text{BoxCox(TIR)} = 1 + (\text{TIR}^{1,10332-1}) / (1,10332 \cdot 17,107^{0,103316})$

ANEXO F. ECUACIONES DE REGRESION PARA CADA VARIABLE DEPENDIENTE EN UN PERIODO DE 8 MESES/AÑO.

Costos (condición real)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: Costos

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
Temperatura	-5,29734E6	3,13047E6	-1,69219	0,1291
Humedad	529068,0	4,80878E6	0,110021	0,9151
Alimentacion	-5,98568E7	5,74759E7	-1,04142	0,3281

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	2,1003E18	3	7,00101E17	128,44	0,0000
Residuo	4,3606E16	8	5,45074E15		
Total	2,14391E18	11			

R-cuadrado = 97,9661 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,4576 porcentaje

Error estándar de est. = 7,38292E7

Error absoluto medio = 5,17763E7

Estadístico de Durbin-Watson = 1,27348

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,268491

Costos = -5,29734E6*Temperatura + 529068,0*Humedad - 5,98568E7*Alimentacion

Costos (condición ideal).

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: Costos

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
Temperatura	-1,73127E7	5,01613E6	-3,45141	0,0087
Humedad	2,18314E7	7,70538E6	2,83327	0,0220
Alimentacion	-2,56866E8	9,20969E7	-2,78908	0,0236

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	6,3061E18	3	2,10203E18	150,20	0,0000
Residuo	1,1196E17	8	1,3995E16		
Total	6,41806E18	11			

R-cuadrado = 98,2555 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,8194 porcentaje

Error estándar de est. = 1,18301E8

Error absoluto medio = 8,0978E7

Estadístico de Durbin-Watson = 1,58489

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,166626

Costos = -1,73127E7*Temperatura + 2,18314E7*Humedad -
2,56866E8*Alimentacion

Utilidad (condición real)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: Utilidad

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 0,61077 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
LOG(Temperatura)	2,43382E7	1,2678E7	1,91972	0,0912
Humedad	-1,74996E6	1,17826E6	-1,4852	0,1758
Alimentacion	2,14869E7	1,19454E7	1,79876	0,1098

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	6,14053E16	3	2,04684E16	94,77	0,0000
Residuo	1,72776E15	8	2,1597E14		
Total	6,3133E16	11			

R-cuadrado = 97,2633 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 96,5791 porcentaje

Error estándar de est. = 1,46959E7

Error absoluto medio = 1,10214E7

Estadístico de Durbin-Watson = 1,37188

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,280303

BoxCox (Utilidad) = 2,43382E7*LOG (Temperatura) - 1,74996E6*Humedad + 2,14869E7*Alimentación

Donde

BoxCox (Utilidad) = 1 +
(Utilidad^0,61077-1)/(0,61077*4,4115E7^-0,38923)

Utilidad (condición ideal).

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: Utilidad

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 0,653883 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
LOG(Temperatura)	7,98219E7	1,83293E7	4,35487	0,0024
Humedad	-7,38335E6	1,70349E6	-4,33426	0,0025
Alimentación	4,72541E7	1,72702E7	2,73616	0,0256

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	1,9915E17	3	6,63835E16	147,05	0,0000
Residuo	3,61141E15	8	4,51426E14		
Total	2,02762E17	11			

R-cuadrado = 98,2189 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 97,7736 porcentaje

Error estándar de est. = 2,12468E7

Error absoluto medio = 1,32958E7

Estadístico de Durbin-Watson = 1,40777

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,292808

BoxCox(Utilidad) = 7,98219E7*LOG(Temperatura) - 7,38335E6*Humedad + 4,72541E7*Alimentacion

Donde

BoxCox(Utilidad) = 1 +
(Utilidad^0,653883-1)/(0,653883*8,2018E7^-0,346117)

TIR (condición real)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: TIR

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 0,57813 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
LOG (Temperatura)	11,5505	6,58951	1,75287	0,1177
Humedad	-1,0163	0,612414	-1,65949	0,1356
Alimentación	12,6058	6,20875	2,03033	0,0768

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	12019,4	3	4006,47	68,67	0,0000
Residuo	466,756	8	58,3445		
Total	12486,2	11			

R-cuadrado = 96,2618 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95,3273 porcentaje

Error estándar de est. = 7,63836

Error absoluto medio = 5,56058

Estadístico de Durbin-Watson = 1,45998

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,254118

BoxCox (TIR) = 11,5505*LOG (Temperatura) - 1,0163*Humedad + 12,6058*Alimentación

Donde

BoxCox (TIR) = $1 + (TIR^{0,57813} - 1) / (0,57813 * 21,2451^{-0,42187})$

TIR (condición ideal)

Análisis de Regresión Múltiple

Variable dependiente: TIR

Transformación Box-Cox aplicada: potencia = 1,22854 conversión = 0,0

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
LOG (Temperatura)	20,9993	6,76221	3,10539	0,0145
Humedad	-2,23713	0,628464	-3,55968	0,0074
Alimentación	16,1191	6,37147	2,52989	0,0353

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	11006,8	3	3668,94	59,71	0,0000
Residuo	491,543	8	61,4429		
Total	11498,4	11			

R-cuadrado = 95,7251 porcentaje

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 94,6564 porcentaje

Error estándar de est. = 7,83855

Error absoluto medio = 5,15312

Estadístico de Durbin-Watson = 1,40655

Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,294132

BoxCox (TIR) = 20,9993*LOG (Temperatura) - 2,23713*Humedad + 16,1191*Alimentación

Donde

BoxCox (TIR) = $1 + (TIR^{1,22854} - 1) / (1,22854 * 32,5664^{0,228542})$