

Control estadístico de procesos para pérdidas de sacarosa en el bagazo y productividad en el área de trapiche - Empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A.**Statistical control of processes for sucrose losses in bagasse and productivity in the sugar mill area - Andahuasi S.A.A.****Controle estatístico de processos para perdas de sacarosa no bagazo e produtividade na área de trapiche- Empresa Agrária Azucarera Andahuasi S.A.A.**

Banesa Mariluz Flores Trujillo¹, Christian Espinoza Aroni¹, Jaime Gutiérrez Ascón², Julio Amado Sotelo³.

Resumen

El objetivo fue medir la relación entre el control estadístico de procesos para pérdidas de sacarosa en el bagazo y la productividad en el área de trapiche. La investigación fue no experimental, con diseño descriptivo correlacional. La población y muestra fue de 35 personas del área de trapiche y laboratorio. Para la recolección de datos de las variables se aplicó la técnica de encuestas y la recopilación documental para datos de producción. Se aplicó la gráfica de control, estabilidad y capacidad de proceso, entre otras herramientas. Los cálculos se realizaron con el software estadístico Minitab v.17 y Microsoft Excel. El control estadístico de procesos logró un incremento de utilidad en S/6 569,774 respecto a la situación inicial. La gráfica de control mostró que el proceso estaba fuera de control; por consiguiente, se determinó la causa y se optimizó el proceso, logrando una disminución de la media en 0.29% en el periodo setiembre-diciembre del 2016. Se determinó que el proceso era estable con un índice de 1,22. También se determinó que el proceso era incapaz, con un índice de 0.275; con las mejoras respectivas se llegó al óptimo de 2%. Los resultados indicaron una mejora en la productividad de 2.25 bolsas de azúcar/t caña en la situación inicial a 2.32 bolsas de azúcar/t caña en la situación propuesta. Se concluyó que el control estadístico de procesos para pérdidas de sacarosa en el bagazo se relaciona significativamente con la productividad en el área de trapiche de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A.

Palabras clave: *Control estadístico de procesos, estabilidad y capacidad de procesos, producción, productividad.*

Abstract

The objective was to measure the relationship between statistical process control for sucrose losses in bagasse and productivity in the sugar mill area. The research was non-experimental, with descriptive correlational design. The population and sample was 35 people from the trapiche and laboratory area. For the data collection of the variables, the survey technique and the documentary collection for production data were applied. The graph of control, stability and process capacity was applied, among other tools. The calculations were made with the statistical software Minitab v.17 and Microsoft Excel. The statistical process control achieved an increase in utility in S / 6 569,774 compared to the initial situation. The control chart showed that the process was out of control, therefore, the cause was determined and the process was optimized, achieving a decrease of the average in 0.29% in the period September-December 2016. It was determined that the process was stable with an index of 1.22. It was also determined that the process was incapable, with an index of 0.275; with the respective improvements, the optimum of 2% was reached. The results indicated an improvement in the productivity of 2.25 bags of sugar / t cane in the initial situation to 2.32 bags of sugar / t cane in the proposed situation. It was concluded that the statistical control of processes for sucrose losses in bagasse is significantly related to the productivity in the sugar mill area of the Andahuasi agrarian sugar company S.A.A

Keywords: *Statistical control of process, stability and capacity of process, production, productivity.*

Resumo

O objetivo foi medir a relação entre controle de processo estatístico para perdas de sacarose no bagaço e produtividade na área do açúcar. A pesquisa não foi experimental, com design correlacional descritivo. A população e a amostra foram 35 pessoas do trapiche e área de laboratório. Para a coleta de dados das variáveis,

¹Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática. Bachiller. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú. banesaflor14@hotmail.com.

²Facultad de Ciencias. Bachiller. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú. ing_jagu@hotmail.com. <http://orcid.org/0000-0003-4065-3359>.

³Escuela de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática. Bachiller. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú. jamadosotelo@hotmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-9670-7796>.

Recibido: 31/10/2017

Aceptado: 9/11/2017

foram aplicadas a técnica de levantamento e a coleta documental de dados de produção. O gráfico de controle, estabilidade e capacidade de processo foi aplicado, entre outras ferramentas. Os cálculos foram feitos com o software estatístico Minitab v.17 e Microsoft Excel. O controle do processo estatístico alcançou um aumento na utilidade em $S / 6 569,774$ em comparação com a situação inicial. O gráfico de controle mostrou que o processo estava fora de controle, portanto, a causa foi determinada e o processo foi otimizado, atingindo uma diminuição da média em 0,29% no período de setembro a dezembro de 2016. Determinou-se que o processo era estável com um índice de 1,22. Também foi determinado que o processo era incapaz, com índice de 0,275; com as respectivas melhorias, atingiu-se o melhor de 2%. Os resultados indicaram uma melhora na produtividade de 2,25 sacos de açúcar / t cana na situação inicial para 2,32 sacos de açúcar / t cana na situação proposta. Concluiu-se que o controle estatístico de processos de perdas de sacarose no bagaço está significativamente relacionado à produtividade na área de açúcar de açúcar da empresa açucareira de açúcar Andahuasi S.A.A.

Palavras-chave: *Controle de processo estatístico, estabilidade e capacidade do processo, produção, produtividade.*

Introducción

El presente trabajo de investigación planteó como objetivo general del estudio determinar la relación entre el control estadístico de proceso para pérdidas de sacarosa en el bagazo y productividad en el área de trapiche de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A. Se usó el control estadístico de procesos para obtener un mejor control de las pérdidas de sacarosa en el bagazo, realizando gráficas de control, calculando la estabilidad del proceso y capacidad del proceso, logrando así determinar la relación con la productividad mediante un monitoreo en el proceso de extracción, permitiéndonos con esto saber cuándo el proceso se encontraba bajo control o fuera de control y así poder aplicar acciones correctivas frente a las desviaciones que se presenten en él proceso, para posteriormente ponerlo bajo control, lo cual conllevará a beneficiar a la empresa en su totalidad.

La empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A. es una empresa reconocida a nivel local y nacional, por lo que no está exenta a los cambios que se están presentando en los mercados, volviéndose cada vez más exigentes, además de la alta competitividad de la competencia. Para lograr el incremento de la productividad, es necesario lograr un mayor aprovechamiento de los recursos logrando una mayor producción con la misma cantidad de recursos utilizados, esto conlleva a que la productividad aumente. Por tal razón, resultó crítico aplicar el control sobre las pérdidas de sacarosa.

Heizar y Render (2014) sustentan en su obra que el “control estadístico del proceso es una técnica estadística usada ampliamente para asegurar que los procesos cumplan con los estándares. Todos los procesos están sujetos a cierto grado de variabilidad. En la actualidad muchas personas se refieren a estas variaciones que se pueden agrupar en causas naturales y causas asignables”.

Se define al control estadístico de procesos, como un concepto ligado con la calidad, y a la vez considerada como una herramienta o técnica estadística que ayuda a determinar si un proceso se encuentra o no bajo control en términos estadísticos, lo cual nos permite monitorearlo y establecer parámetros para tener un mejor control. Además, se dice que todos los procesos están sujetos a un cierto grado de variabilidad, donde a través de los gráficos de control determinaremos los límites superior e inferior del proceso que nos permitirá observar e identificar cuando, quien y donde se presenta cierta variación que afecta directamente al proceso.

Montgomery y Runger (2009) mencionan que “el control estadístico de procesos ayuda a controlar el proceso donde no es práctico inspeccionar la calidad dentro de un producto: el producto debe hacerse correctamente la primera vez, en consecuencia, el proceso de fabricación debe ser estable o repetible y tener la capacidad de operar con poca variabilidad en torno de la dimensión objetivo o nominal. El control estadístico de procesos en línea constituye una poderosa herramienta para conseguir la estabilidad de los procesos y para mejorar su capacidad mediante la reducción de la variabilidad”.

Escalante (2011) menciona que “La gráfica de control es una herramienta estadística que muestra

el comportamiento de cierta característica de calidad de un proceso o producto con respecto al tiempo, su objetivo, evaluar, controlar y mejorar procesos y productos”. Las gráficas de control se emplean para evaluar la estabilidad de un proceso, y posteriormente, evaluar el desempeño del mismo por medio de estudios de capacidad, mejorar el desempeño de un proceso al dar indicaciones sobre las posibles causas de variación, y por tanto poder eliminarlas, además de ayudar a la prevención de problemas y mantener el desempeño de un proceso al indicar el tiempo de ajuste del mismo. El gráfico de control permite analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo, el cual permitirá distinguir las variaciones que pueden ser comunes o especiales, el gráfico muestra cuales son los límites de control de los procesos y determinar si el proceso está bajo control o fuera de control.

Gutiérrez y De la Vara (2009) mencionan que “la estabilidad de proceso es la variación de un proceso a través del tiempo. Si está estable (o control estadístico) entonces es predecible en el futuro inmediato. Un proceso se considera estable cuando existe solo variación generada por las causas comunes de variación. Las causas comunes se originan de los básicos de un proceso de manufactura, las cuales son típicamente las 6M’s (maquinaria, mano de obra, métodos, mediciones, materiales, medio ambiente)”.

Índice de capacidad para procesos con doble especificación: Los procesos tienen variables de salida o de respuesta, las cuales deben cumplir con ciertas especificaciones a fin de considerar que el proceso está funcionando de manera satisfactoria. Evaluar la habilidad o capacidad de un proceso consiste en conocer la amplitud de la variación natural de éste para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones).

La capacidad de procesos permite conocer la variación natural de un proceso, en relación con las especificaciones de calidad, que son las tolerancias que deben cumplir un proceso para satisfacer las necesidades del cliente y cumplir con las especificaciones que el proceso establece, para determinar que el proceso es capaz se debe obtener un valor mayor a uno.

Heizar y Render (2014) mencionan que la productividad es la relación que existe entre las salidas (bienes y servicios) y una o más entradas (recursos como mano de obra y capital). El trabajo del administrador de operaciones es mejorar (perfeccionar) la razón entre las salidas y las entradas. Para mejorar la productividad significa mejorar la eficiencia. Esta mejora puede lograrse de dos formas: mediante una reducción en la entrada mientras la salida permanece constante, o bien con un incremento en la salida mientras la entrada permanece constante. Ambas formas representan una mejora en la productividad. En el sentido económico, las entradas son mano de obra, capital y administración integrados en un sistema de producción.

Para dar solución al problema y alcanzar el propósito de la investigación se formularon los siguientes objetivos específicos: Analizar la relación existente entre la gráfica de control del porcentaje de sacarosa, y la productividad; calcular la relación existente entre la estabilidad del proceso de obtención de sacarosa en el jugo y la productividad, y determinar la relación existente entre la capacidad del proceso de obtención de sacarosa en el jugo, y la productividad en el área de trapiche.

Se presentan los siguientes trabajos previos relacionados con el tema de investigación:

Farje (2008) estudió el sistema de control de procesos para el aseguramiento de la calidad en la producción de harina de pescado. Planteó como objetivo “Construir un sistema informático que sirva de apoyo al control del proceso durante la producción y de servicio para el aseguramiento de la calidad del producto final”. La metodología de la investigación también fue de diseño no experimental, en su variante descriptivo correlacional, La conclusión principal de la investigación fue que la construcción del modelo del sistema sirve como base para su posterior desarrollo e implementación. Gómez (2010) logró implementar el control estadístico en el proceso de beneficio de bovinos de la empresa Frigorífico Vijagual S.A. basado en la metodología seis sigma buscando que el personal relacionado con el proceso logre conocer el comportamiento real de las operaciones y adoptar criterios que le permitan identificar y controlar las variaciones anormales y

eliminar sus fuentes. La metodología de la investigación tuvo diseño no experimental en su variante descriptivo, la investigación reconoció el proceso de beneficio de bovinos describiendo en cada puesto de trabajo las operaciones que se desarrollan y la forma adecuada de ejecutarlas para que el producto terminado cumpla con los requisitos reglamentarios y los exigidos por el cliente. Luego de identificado el proceso se logró determinar cuáles son las variables críticas a controlar, estableciendo rangos y límites de medición para cada una de ellas y monitoreando su comportamiento el cual arrojó bases reales para tomar decisiones frente situaciones no deseadas dentro del proceso. Cargua y Gavilanes (2009) diseñó un sistema de operaciones en métodos y tiempos para mejorar la productividad en las líneas de producción de galleta y caramelo en industrias alimenticias FENIX. Contó con una población de 326 colaboradores, para el estudio se tomó una muestra de 177 colaboradores a las cuales se les realizara entrevistas, encuestas para la recolección de data. El periodo de estudio fue de todo el año 2013. La investigación concluyó que el nuevo diseño del sistema de operaciones permite obtener una mayor productividad aumenta la producción en 12.5% a la productividad actual. Torres (2009) aplicó el control estadístico de proceso (CEP) para mejorar los procesos de producción en el área de acabado sección esmaltado. Se realizó una medición del proceso, y se buscaron alternativas de solución para reducir el exceso de producto defectuoso. El autor concluyó que con el uso de herramientas de ingeniería, como la gráfica de Pareto, causa- efecto, carta de control, se pudo determinar que los principales defectos que producen importantes pérdidas a la empresa era el pelado, defecto que se produce por falta de control en los ajuste de los esmaltes, por eso era necesario implementar una hoja de registro que permita controlar este problema por hora, y una hoja de registro que permita controlar a diario el producto terminado y así poder controlar el reproceso.

Esta investigación se llevó acabo logrando los siguientes objetivos: Analizar la variabilidad de los datos históricos del porcentaje de sacarosa presente en el bagazo. Determinar la estabilidad del proceso, determinar la capacidad del proceso, identificar las causas de la inestabilidad del proceso, y establecer e implementar las propuestas de mejora.

Materiales y métodos

El trabajo de investigación tuvo un diseño no experimental en su variante descriptivo correlacional, por demostrar el grado de relación que existe en las variables: Control estadístico de procesos y productividad. Según su finalidad, es una investigación aplicada y, según su alcance temporal, es transversal puesto que se desarrolla durante un periodo de tiempo y se recolectaron datos en un solo momento, según su nivel o profundidad, es investigación explicativa, según su carácter de medida es investigación cuantitativa. La población estuvo comprendida por los 35 colaboradores del área de trapiche y el área de laboratorio de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A., definida en la sección de dueños del problema. (N=35). Se decidió tomar toda la población debido a que la población es pequeña, se realizó una muestra censal para obtener información confiable y exacta que contribuyó con la investigación. (n=35). Para la obtención del control estadístico de procesos fue necesario realizar la gráfica de control, estabilidad de proceso y la capacidad de proceso. La metodología empleada en la investigación combina herramientas y técnicas varias. Para la determinación de la gráfica de control se utilizó el software Minitab v. 17; para la estabilidad de proceso se utilizaron las formulas del índice de estabilidad y para la capacidad de proceso se ha utilizado el software Minitab v. 17. La correlación entre las variables y la determinación del modelo de regresión fue determinada con el software XLSTAT.

Resultados

Para el registro de la información, se obtuvieron los datos de los análisis de sacarosa en bagazo de los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2016, para determinar el estado del proceso a través de las gráficas de control, la estabilidad de procesos y la capacidad.

Gráfica de control. La muestra fue realizada para los meses de setiembre a diciembre del 2016, de los cuales se tomaron 25 muestras de un tamaño de 5 obteniendo al final 125 datos. Se construyó

la gráfica de control por variables para los meses de setiembre a diciembre, por separado para ver la variabilidad de los datos y determinar si el proceso está bajo control, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Muestras de sacarosa en el bagazo - setiembre año 2016.

Muestras de sacarosa en el bagazo (%)						
Numero de muestras	Fecha	Porcentaje de Pol de bagazo				
1	05-sep-16	2,31	2,21	2,41	2,21	2,14
2	06-sep-16	2,91	2,86	2,96	2,96	2,85
3	07-sep-16	2,50	2,70	2,80	2,73	2,65
4	08-sep-16	2,14	2,21	2,41	2,59	2,14
5	09-sep-16	2,41	2,69	3,10	2,41	2,21
6	10-sep-16	2,31	2,69	2,75	2,21	2,21
7	11-sep-16	2,20	2,04	2,31	2,31	2,21
8	12-sep-16	2,21	2,41	1,86	2,14	2,14
9	13-sep-16	2,41	2,37	1,86	2,21	2,21
10	14-sep-16	2,14	2,21	2,21	2,59	2,21
11	15-sep-16	2,21	2,21	2,41	2,21	2,69
12	16-sep-16	2,65	2,81	2,96	2,76	2,96
13	17-sep-16	2,14	2,96	2,14	2,21	2,69
14	18-sep-16	2,41	2,69	2,14	2,21	2,96
15	19-sep-16	2,21	2,41	2,14	2,14	2,14
16	20-sep-16	2,31	2,14	2,21	2,14	2,21
17	21-sep-16	1,77	2,00	2,10	1,90	1,96
18	22-sep-16	2,14	2,96	1,86	2,14	1,86
19	23-sep-16	1,86	1,86	2,96	2,14	2,14
20	24-sep-16	2,21	2,14	2,69	2,69	2,41
21	25-sep-16	2,41	2,14	3,23	2,21	2,69
22	26-sep-16	2,69	1,86	2,14	2,14	1,86
23	27-sep-16	2,96	2,69	2,69	2,14	1,86
24	28-sep-16	2,14	2,41	2,41	2,21	2,14
25	29-sep-16	2,96	2,21	2,41	1,86	2,41

Nota. Datos obtenidos de los reportes de operación en planta

La Figura 1 muestra que los puntos 2,12 y 17 estaban fuera de los límites de control, se encontraban datos alejados de la media de 2,361 que indicaba una variabilidad de los datos del análisis de sacarosa en el bagazo; para el mes de enero concluimos que el proceso estaba fuera de control para el mes de setiembre del año 2016.

En la Figura 2, se observa el comportamiento variable debido que la mayoría de los datos no tendrían acercarse al objetivo estándar que propone la empresa azucarera.

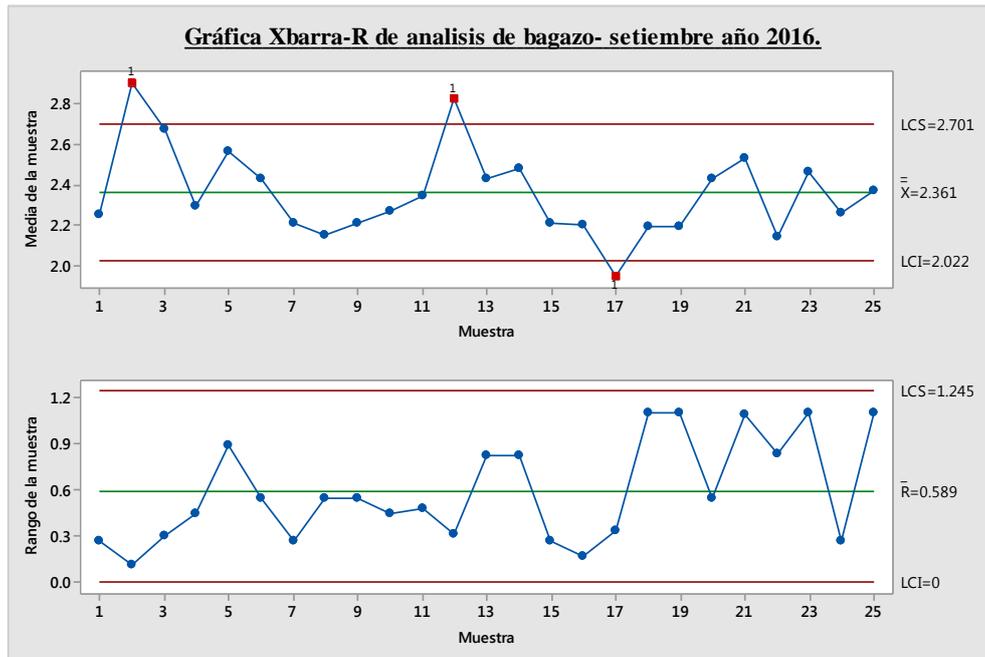


Figura 1. Gráfica de control de sacarosa en el bagazo del área de trapiche.

Nota. Elaboración propia

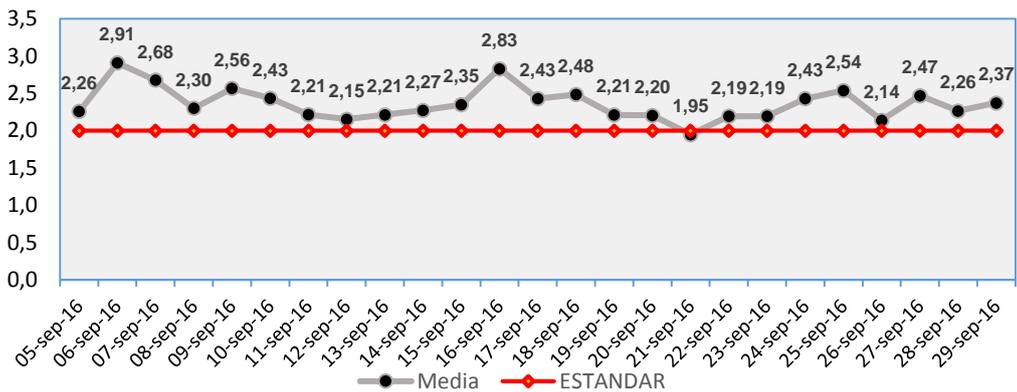


Figura 1. Comportamiento del porcentaje de sacarosa real vs el estándar.

Nota. Elaboración propia

Estabilidad de procesos, para los meses de setiembre-diciembre, se determinó la estabilidad de proceso. Los resultados obtenidos:

$$\delta_t = \frac{S_t}{S_p}$$

Donde:

S_t : Desviación estándar del total de la muestra
 S_p ó σ : Desviación estándar teorica de la población

Tabla 1
Resultados de la estabilidad de procesos (setiembre-diciembre) año 2016

Meses	Resultado
Setiembre	1,3037
Octubre	1,3453
Noviembre	1,1642
Diciembre	1,0645

Nota. Elaboración propia

Parámetros:

Si el $\delta_t \leq 1,4$ entonces el proceso es estable

Si el $\delta_t > 1,4$ entonces el proceso es inestable

De acuerdo al resultado obtenido en la Tabla 2, se determinó que para los cuatro meses el proceso se encontró estable, debido a que los valores obtenidos de acuerdo al parámetro de la estabilidad de procesos si son valores menores a 1,4 se determina que el proceso es estable.

Capacidad de procesos, se determinó la capacidad de procesos para los meses de setiembre – diciembre, se utilizó como herramienta el programa Minitab 17, donde se establecieron los límites de especificaciones inferior y superior, siendo (1,7% y 2,3%), establecido por la empresa agraria azucarera Andahuasi.

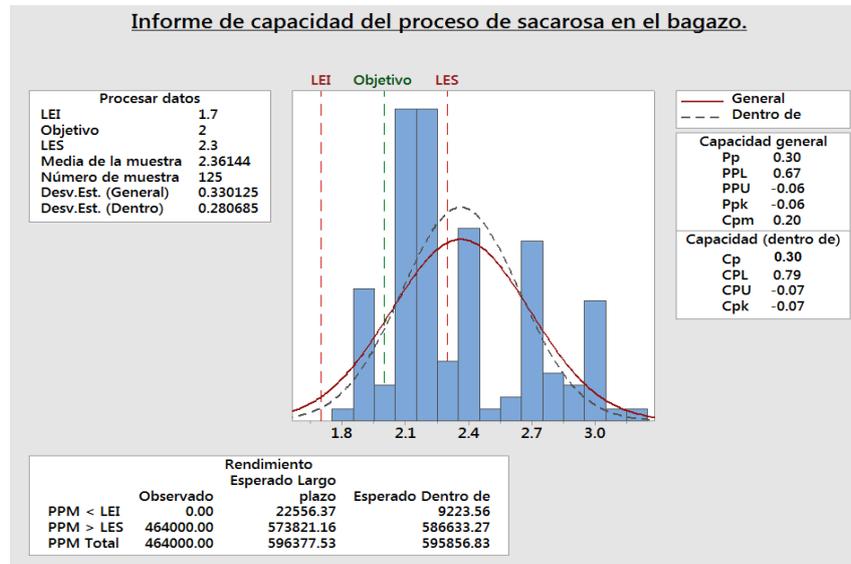


Figura 2. Capacidad de procesos del mes de setiembre del año 2016.

Nota. Software Minitab V.17

Parámetro:

Si el $c_p \geq 1,33$ entonces el proceso es capaz

Si $1 \leq c_p < 1,33$ entonces el proceso es apenas capaz

Si $c_p \leq 1,0$ entonces el proceso es incapaz

En la Figura 3, se observa la capacidad de procesos del mes de setiembre, se muestran los datos de los análisis de la sacarosa en el bagazo y se observa que el proceso de obtención de sacarosa en el bagazo no estaban cumpliendo con los límites de especificaciones de pérdidas de 1,7 a 2,3 % debido a la variabilidad que existe en el proceso, el valor obtenido de la capacidad es $c_p = 0,30$

de acuerdo a los parámetros establecidos podemos decir que el proceso era incapaz por el resultado menor a 1,0.

Se procedió con la identificación de factores o causantes de que ocurran pérdidas de sacarosa en el bagazo, en primer lugar se hizo consultas, entrevistas a las personas que laboraban en la empresa y específicamente en el área de trapiche, pues son los que están más cerca del problema, según ellos, un factor manejable para la investigación son las presiones de los molinos en el área de trapiche, las cuales están sujetas a parámetros comprendidos entre (2000 – 2500) psi.

Para el análisis de las presiones iniciales se recolectaron los datos de las presiones de los meses setiembre-diciembre del año 2016, de acuerdo a la Tabla 3, donde están incluidos los 5 molinos, determinando un media por día, para poder ver si se estaban cumpliendo o no con la presión ideal de molino (2500 psi) para poder lograr la mayor extracción de jugo y a la vez, la mayor extracción de % de sacarosa.

Tabla 2
Muestras de las presiones (psi) del mes de setiembre del 2016

Numero de muestras	Fecha	Presiones promedio (psi)					Media mensual
		Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5	
01	05-sep-16	2500	2400	2500	2400	2400	2440
02	06-sep-16	2200	2200	2300	2200	2300	2240
03	07-sep-16	2200	2300	2300	2300	2400	2300
04	08-sep-16	2500	2400	2500	2400	2500	2460
05	09-sep-16	2400	2400	2300	2400	2400	2380
06	10-sep-16	2400	2400	2400	2500	2400	2420
07	11-sep-16	2400	2500	2500	2400	2500	2460
08	12-sep-16	2500	2500	2500	2500	2400	2480
09	13-sep-16	2400	2500	2500	2400	2400	2440
10	14-sep-16	2400	2400	2400	2500	2500	2440
11	15-sep-16	2400	2300	2500	2400	2400	2400
12	16-sep-16	2100	2400	2300	2300	2300	2280
13	17-sep-16	2500	2400	2500	2500	2500	2480
14	18-sep-16	2500	2300	2400	2300	2300	2360
15	19-sep-16	2400	2500	2400	2500	2500	2460
16	20-sep-16	2500	2500	2400	2500	2500	2480
17	21-sep-16	2300	2500	2500	2500	2400	2440
18	22-sep-16	2400	2500	2500	2500	2500	2480
19	23-sep-16	2500	2400	2500	2500	2500	2480
20	24-sep-16	2500	2500	2500	2300	2500	2460
21	25-sep-16	2400	2500	2300	2500	2300	2400
22	26-sep-16	2400	2500	2500	2500	2500	2480
23	27-sep-16	2400	2500	2500	2400	2300	2420
24	28-sep-16	2400	2500	2400	2500	2400	2440
25	29-sep-16	2400	2400	2400	2400	2400	2400

Nota. Elaboración propia, basado en los reporte de operación de los molinos

Se realizó el análisis del comportamiento de las presiones de los meses setiembre – diciembre.

Tabla 3
Comportamiento de las presiones de setiembre – diciembre, 2016

N° muestras	Diferencia de presiones con el ideal (psi)				Promedio Mensual	Presión ideal	Diferencia con presión ideal (%)
	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			
01	-60	-200	-20	-80	-90,00	2500,00	-3,60%
02	-260	-200	-40	-40	-135,00	2500,00	-5,40%
03	-200	-140	-20	-20	-95,00	2500,00	-3,80%
04	-40	-140	-20	-20	-55,00	2500,00	-2,20%
05	-120	-100	-40	-100	-90,00	2500,00	-3,60%
06	-80	-60	-80	-140	-90,00	2500,00	-3,60%
07	-40	-160	-60	-60	-80,00	2500,00	-3,20%
08	-20	-160	-20	-20	-55,00	2500,00	-2,20%
09	-60	-20	-20	-40	-35,00	2500,00	-1,40%
10	-60	-60	-40	-60	-55,00	2500,00	-2,20%
11	-100	-100	-60	-80	-85,00	2500,00	-3,40%
12	-220	-40	-200	-100	-140,00	2500,00	-5,60%
13	-20	-80	-160	-80	-85,00	2500,00	-3,40%
14	-140	-60	-160	-60	-105,00	2500,00	-4,20%
15	-40	-60	-140	-40	-70,00	2500,00	-2,80%
16	-20	-40	-60	-40	-40,00	2500,00	-1,60%
17	-60	-100	-20	-80	-65,00	2500,00	-2,60%
18	-20	-20	-80	-80	-50,00	2500,00	-2,00%
19	-20	-20	-200	-100	-85,00	2500,00	-3,40%
20	-40	-40	-100	-40	-55,00	2500,00	-2,20%
21	-100	-80	-60	-40	-70,00	2500,00	-2,80%
22	-20	-160	-140	-60	-95,00	2500,00	-3,80%
23	-80	-40	-100	-140	-90,00	2500,00	-3,60%
24	-60	-40	-100	-180	-95,00	2500,00	-3,80%
25	-100	-160	-160	-40	-115,00	2500,00	-4,60%
TOTAL					-81,00		-3,24%

Nota. Elaboración propia, basado en los reporte de operación de los molinos.

En la Tabla 4 se determinó el promedio de pérdida de presión en los meses de setiembre a diciembre del año 2016, el cual dio un total de 81 psi. Con esta diferencia determinada se comparó con la presión óptima 2500 psi, dándonos un resultado de -3,24% de diferencia en presión.

Para las propuestas de mejora se consideró la presión como un factor influyente en la perdida de sacarosa en el bagazo, pues se mostró que a mayor presión, mayor es la cantidad de jugo extraído de los molinos; por lo tanto, será menor la perdida de sacarosa en el bagazo, pues se tomó como referencia la data histórica de las presiones y las muestras de análisis de sacarosa en el bagazo de los meses de setiembre a diciembre del 2016; además se tuvo la oportunidad de poder bajar las presiones de los molinos exactamente a 2400 psi, por directiva del gerente de planta, debido a la carga excesiva de piedra en la caña que ingresaba al área de trapiche en esos meses, por lo tanto, se recolectó data del % de sacarosa en el bagazo; analizando esta data pudimos determinar que una variación de 100 psi en los 5 molinos, aproximadamente, tienen un impacto de 0.473 de % de sacarosa en el bagazo. Se eligió este factor por ser manejable y contar con los datos suficientes para llegar a unos resultados favorables para la investigación.

Tabla 4
Media de presiones reales del mes de setiembre del año 2016

Molinos	Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5	Media
Promedio de presiones reales (psi)	2400	2428	2432	2424	2420	2420.8

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 5, se muestran las medias de las presiones reales correspondiente al mes de setiembre del 2016, de la misma forma, se realizó para los meses posteriores. Los escenarios considerados fueron con aumento del 1%, 2% y del 2,5% con respecto a las presiones reales sin exceder del ideal de 2500 psi para cada mes.

Tabla 5

Resultados de los escenarios de las presiones – setiembre 2016

Molinos	Escenario 1 (1%)	Escenario 2 (2%)	Escenario 3 (2.5%)
Molino 1 (psi)	2425	2450	2462,5
Molino 2 (psi)	2453	2478	2490,5
Molino 3 (psi)	2457	2482	2494,5
Molino 4 (psi)	2449	2474	2486,5
Molino 5 (psi)	2445	2470	2482,5
Promedio (psi)	2445,8	2470,8	2483,3

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 6, se resumen los tres escenarios con el aumento del 1%, 2% y 2,5%.

Tabla 6

Resultados de los escenarios de las presiones –octubre 2016

Molinos	Escenario 1 (1%)	Escenario 2 (2%)	Escenario 3 (2.5%)
Molino 1 (psi)	2445	2470	2482,5
Molino 2 (psi)	2425	2450	2462,5
Molino 3 (psi)	2429	2454	2466,5
Molino 4 (psi)	2433	2458	2470,5
Molino 5 (psi)	2437	2462	2474,5
Promedio (psi)	2433,8	2458,8	2471,3

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 7, se resume los tres escenarios con el aumento del 1%, 2% y 2,5%.

Tabla 7

Resultados de los escenarios de las presiones –noviembre 2016

Molinos	Escenario 1 (1%)	Escenario 2 (2%)	Escenario 3 (2.5%)
Molino 1 (psi)	2457	2482	2494,5
Molino 2 (psi)	2445	2470	2482,5
Molino 3 (psi)	2437	2462	2474,5
Molino 4 (psi)	2437	2462	2474,5
Molino 5 (psi)	2429	2454	2466,5
Promedio (psi)	2441	2466	2478,5

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 8, se resume los tres escenarios con el aumento del 1%, 2% y 2,5%.

Tabla 8
Resultados de los escenarios de las presiones –diciembre 2016

Molinos	Escenario 1 (1%)	Escenario 2 (2%)	Escenario 3 (2.5%)
Molino 1 (psi)	2457	2482	2494,5
Molino 2 (psi)	2457	2482	2494,5
Molino 3 (psi)	2461	2486	2498,5
Molino 4 (psi)	2453	2478	2490,5
Molino 5 (psi)	2449	2474	2486,5
Promedio (psi)	2455,4	2480,4	2492,9

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 9 se resume los tres escenarios con el aumento del 1%, 2% y 2,5%. Se realizó una data de las presiones reales para los meses siguientes. Y se analizó y se determinó que el mejor escenario es el tercero con una variación del 2,5 % a comparación de los anteriores.

Se calculó la productividad de los meses de setiembre a octubre del 2016 usando los datos de producción de bolsas de azúcar (50 kg) y los recursos caña de azúcar en toneladas, mediante la relación producción/recursos.

En el mes de setiembre:

$$\text{productividad} = \frac{89\ 768 \frac{\text{bolsas}}{\text{azúcar}}}{40\ 476 \frac{\text{t}}{\text{caña}}} = 2,217 \frac{\text{bolsas azúcar}}{\text{t/caña}}$$

Sacarosa obtenida=40476 * 0,1014 = 4 103,68 t/sacarosa.

Para **89 768** bolsas de azúcar teniendo una sacarosa de caña de 12,50% y una pérdida de sacarosa en el bagazo de 2,36% obteniendo como sacarosa en azúcar de 10,14 equivalentes a 4 103,68 t de sacarosa. Obteniendo como productividad de 2,13 bolsas de azúcar por cada tonelada de caña.

De acuerdo a la Tabla 10, en los meses de setiembre a diciembre del 2016 el área de trapiche de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A. trabajó con una presión (psi) media de 2408,80, con una sacarosa de caña de 12,69%, una pérdida de sacarosa en bagazo de 9,61%, obteniendo un total de producción de bolsas de azúcar de 355 862 de un total de caña ingresada de 157 654 toneladas, con lo cual se obtuvo 16 221 tonelada de sacarosa extraída que representa el total de sacos de azúcar obtenida en ese periodo. Para cada mes se determinó una productividad de 2,218; 2,235; 2,313 y 2,68 consecutivamente, y de los 4 meses se obtuvo una productividad de 2,257 bolsas de azúcar/t de caña.

La productividad de los escenarios propuestos. Se procedió a determinar cuánto es la productividad con las nuevas presiones planteadas, en base a ello se eligió al mejor escenario que nos permitió saber en cuanto aumentó nuestra productividad. Para los escenarios se considera aumentar las presiones medias en 1%, 2% y 2,5%, con referencias a la presión ideal, siendo el tercer escenario el que genera mayor aumento en la productividad de bolsas de azúcar/t caña.

De acuerdo a la Tabla 11, se evaluó el tercer escenario para los meses de setiembre a diciembre considerando como presiones de 2 455,40 psi, 2 469,00 psi y 2 481,3 psi consecutivamente para cada escenario, obtenemos como resultado que la pérdida de sacarosa en el bagazo disminuye a 2,11% con respecto a los escenario 2 y escenario 1, obteniendo una producción de sacarosa de 16 687,10 t/sacarosa, que representa un incremento de la producción de bolsas de azúcar a 366 087, considerando el ingreso de la misma cantidad de caña molida de 157 654 ton de caña, con una productividad media es de 2,322 bolsas de azúcar/t de caña.

De acuerdo a los resultados obtenidos de cada escenario, se eligió el tercer escenario como óptimo debido a los resultados encontrados. Al reducir la pérdida de 2,40% de sacarosa en el bagazo a

2,11% con el tercer escenario, se logró reducir esta pérdida de sacarosa en 0.29% mejorando las presiones en un 2.5% psi, por lo tanto se obtiene una mayor obtención de sacarosa en azúcar, teniendo como producto final el incremento de la producción de bolsas de azúcar de 355 862 a 366 087, obteniendo un incremento de 10 225 bolsas/azúcar para los meses de setiembre a diciembre del 2016, logrando aumentar la productividad de 2,257 a 2,322 bolsas de azúcar/t de caña, siendo esto un aumento de 0,065 bolsas de azúcar/t caña.

Tabla 9
Resumen de productividad de la sacarosa en el bagazo y la productividad

Mes	Presión promedio (psi)	Sacarosa de caña promedio (%)	Sacarosa en el bagazo promedio (%)	Sacarosa en azúcar (%)	Recursos de caña (t)	Producción de sacarosa (t)	Producción de bolsas de azúcar	Productividad bolsas de azúcar / t de caña
Setiembre	2420,80	12,50	2,36	10,14	40 476,00	4103,6835	89 768,00	2,218
Octubre	2408,80	12,70	2,56	10,14	38 337,00	3887,1056	85 684,00	2,235
Noviembre	2416,00	12,75	2,41	10,34	35 466,00	3666,1630	82 031,00	2,313
Diciembre	2430,40	12,80	2,28	10,52	43 375,00	4564,0861	98 379,00	2,268
Total					15 7654,00	16 221,0383	355 862,00	2,257

Nota. Elaboración propia

Tabla 10
Cálculo de la productividad con el tercer escenario (2.5%)

Mes	Presión promedio (psi)	Sacarosa de caña promedio (%)	Sacarosa en el bagazo promedio (%)	Sacarosa en azúcar (%)	Recursos de caña (t)	Producción de sacarosa (t)	Producción de bolsas de azúcar	Productividad bolsas de azúcar / t de caña
Setiembre	2483,3	12,50	2,07	10,43	40 476,00	4223,3407	92 385,50	2,282
Octubre	2471,3	12,70	2,27	10,43	38 337,00	4000,4393	88 182,23	2,300
Noviembre	2478,5	12,75	2,12	10,63	35 466,00	3771,0093	84 376,95	2,379
Diciembre	2492,9	12,80	1,98	10,82	43 375,00	4692,3135	101 142,94	2,332
Total					157 654,00	16 687,1029	366 087,63	2,322

Fuente: Elaboración propia

Modelamiento de la investigación

Se realizó el análisis de fiabilidad en el programa estadístico SPSS Statistics 22.0 al instrumento aplicado a los dueños del problema (35 trabajadores) de la empresa agraria azucarera Andahuasi. Se obtuvo una fiabilidad de 95,1%. Este instrumento estuvo conformado por 40 ítems, distribuidos en 3 dimensiones para la variable independiente (control estadístico de procesos) y una dimensión general para la variable dependiente (productividad).

Se realizó el análisis de los datos cuantitativos, para determinar el modelo matemático de la investigación, se utilizó el programa XLStat- Pro versión 7.5.2. El cual nos permitió obtener los coeficientes de correlación $R= 0,77$, de la relación de la variable Independiente (X) control estadístico de procesos que tienen como dimensión (gráfica de control, estabilidad de procesos y capacidad de procesos) con la variable dependiente (Y) productividad.

Para la contratación de hipótesis se empleó el test r de Pearson obteniendo los siguientes resultados.

Hipótesis General: como $X^2_{calculado} = 33,31$ es mayor a $X^2_{crítico} = 16,92$ y cae en la región de rechazo, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1 , a un nivel de significancia del 5%; es decir, que el control estadístico de proceso para perdidas de sacarosa en el bagazo, **se relaciona** significativamente con la productividad en el área trapiche de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A.

Hipótesis específica 1: como $X^2_{calculado} = 22,76$ es mayor a $X^2_{crítico} = 16,92$ y cae en la región de rechazo, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1 , a un nivel de significancia del 5%; es decir, que la gráfica de control del porcentaje de sacarosa en el bagazo, **se relaciona** con la productividad en el área de trapiche de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A.

Hipótesis específica 2: como $X^2_{calculado} = 18,588$ es mayor a $X^2_{crítico} 16,92$ y cae en la región de rechazo, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1 , a un nivel de significancia del 5%; es decir, que La estabilidad de procesos de obtención de sacarosa en el jugo, **se relaciona** con la productividad en el área de trapiche de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A.

Hipótesis específica 3: como $X^2_{calculado} = 28,527$ es mayor a $X^2_{crítico} = 16,92$ y cae en la región de rechazo, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_1 , a un nivel de significancia del 5%; es decir, que la capacidad de proceso de obtención de sacarosa en el jugo, **se relaciona** con la productividad en el área de trapiche de la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A.

Discusión

En la presente investigación, el uso de las herramientas del control estadístico de procesos, nos permitieron determinar la situación actual del proceso de molienda, específicamente en el incremento de la pérdida de sacarosa en el bagazo, ocasionando un efecto en pérdidas de productividad y económicas, además, el control estadístico permitió identificar las causas que ocasionaban este incremento de perdidas, logrando una disminución tanto en pérdidas de sacarosa, y a la vez generando un incremento en la productividad que se ve reflejado en mayores utilidades, coincidiendo con lo obtenido por Torres (2009), en cuyo trabajo se logró identificar los principales defectos que producen importantes pérdidas a la empresa, originado por una falta de control en los ajustes de los esmaltes.

Al igual que Sacoto y Esquivel (2008), consideraron como dimensión a las cartas de control de variables, en razón de que el proceso permitió su aplicación en el proceso; sin embargo, en el área de empaque se podría analizar una carta de control por atributos sin una opción de aplicar.

Al igual que Gómez (2010), se consideró como dimensión a la capacidad de procesos, realizando un análisis de capacidad para el variable porcentaje de carbonato de calcio. Donde se obtuvo para el primero y segundo turno para suela y caña un $cpk < 1$ y una clase o categoría de proceso igual a 4, lo que indicó que el proceso no era el adecuado para el trabajo debido a que no es capaz de cumplir con las especificaciones.

Conclusiones

Según datos cuantitativos, se determinó una correlación moderada entre el **control estadístico de procesos** y la productividad en la empresa Agraria Azucarera Andahuasi S.A.A., los cuales tuvieron una correlación de $R = 0,771$. Esto significa que el estado de los elementos que componen al control estadístico de procesos en conjunto han influido en la productividad de la empresa a lo largo de los meses y, con ello, también se puede hablar económicamente, la relación obtenida fue: Productividad = $2,49509857934769 - 2,81978666908716 * \text{Gráfico de control} - 0,130375175913318 * \text{Estabilidad del proceso}$.

Para los colaboradores que laboran en la empresa, se establece también una relación moderada entre ambas variables, siendo el $R = 0,698$. Esto significa que consideran que hay relación entre ambas variables, y aseguran de que un buen uso del control estadístico de procesos ayuda a mejorar la productividad.

Referencias bibliográficas

- Bosquez, L. (2005). Aplicación CEP (control estadístico de procesos) para mejorar el proceso de producción de tuberías plásticas en la recuperadora de plásticos Gallardo. Recuperada de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/5326>
- Cargua, R. C., y Gavilánes, D. I. (2009). Diseño de un sistema de operaciones en métodos y tiempos para mejorar la productividad en las líneas de producción de galleta y caramelo en industrias alimenticias FENIX (Tesis de pregrado). Recuperada de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1439/1/85T00147.pdf>
- Escalante, E. (2011). *Análisis y mejoramiento de la calidad*. México D.F.: Limusa, S.A. DE C.V
- Farje, L. (2013). Sistema de control de procesos para el aseguramiento de la calidad en la producción de harina de pescado (Tesis de pregrado). Recuperada de <http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/274091/1/LFarje.pdf>.
- García, R. (2011). *Estudio del trabajo, ingeniería y medición del trabajo*. México D.F: Mc-Graw Hill.
- Gómez, A. (2010). Control estadístico del proceso bajo la metodología seis sigma aplicado en el proceso de beneficio de bovinos de frigorífico Vijagual S.A. (Tesis de pregrado). Recuperada de <https://es.scribd.com/document/352425578/TESIS-SEIS-SIGMA-COLOMBIA-pdf>
- Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. México D.F: Mc Graw- Hill.
- Heizer, J., & Render, B. (2014). *Principios de la administración de operaciones*. México: Pearson educacion de México S.A.
- Montgomery, D., & Runger, G. (2009). *Probalidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México : Limusa Wyle.
- Torres, H. (2009). Aplicación CEP control estadístico de procesos para mejorar los procesos de producción en el area de acabado sección esmaltado (tesis de pregrado). Recuperada de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4373>