

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS MÉTODOS DE MUESTREO
DE RECEPCIÓN Y VARIEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN SU
CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR
EN EL INGENIO MONTE ROSA DURANTE LA ZAFRA 2017-2018.**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

Br. Diógenes Rafael Rivera Somarriba.

Br. Wilfredo Francisco Luna Blanco.

Para optar al título de

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR:

M.Sc. Sergio Enrique Álvarez García.

ASESOR:

Ing. Fanuel de Jesús Vásquez Vílchez.

Managua, Nicaragua 2021

AGRADECIMIENTO

Al llevar a cabo la realización de una obra tan importante para mí desarrollo profesional, así como fue la culminación de mis estudios universitarios por medio de este trabajo monográfico, es inevitable sentir que mi Ser se llena con sentimientos de inmensa satisfacción y orgullo, pero es justo y necesario el reconocer que esta ardua tarea no hubiese sido posible sin aquellas personas que siempre estuvieron a mi lado a lo largo de mis estudios para brindarme su apoyo de una forma u otra.

Es por eso que he decidido llenar este espacio con mi más humilde y sincero agradecimiento, principalmente para mi madre, Ing. Diana Dolores Somarriba Molina y mi familia, quienes siempre me han brindado su amor y apoyo de forma incondicional para que yo haya logrado alcanzar esta meta.

A su vez, con profunda sinceridad y gratitud quiero dirigirme a mis amigos y a todas las personas que me han ayudado, impulsado e influenciado de forma positiva entre ellas quiero destacar al Ing. Fanuel de Jesús Vázquez Vílchez, por haberme asesorado en cada paso que conllevó la realización de este trabajo, así como también haberme brindado sus consejos, amistad y respeto, lo cual aprecio mucho.

También quiero mencionar con mucho aprecio al coautor de este trabajo monográfico, mi compañero Wilfredo Francisco Luna Blanco por haber puesto de su parte mucha entrega, ya que sin él no hubiese sido posible la realización de este trabajo, así como también quiero agradecerle por brindarme su amistad y respeto a lo largo de toda nuestra carrera universitaria.

De forma especial, sincera y con mucho respeto quiero agradecer a la UNI y a todo el personal docente de la FIQ, quienes contribuyeron de forma positiva en mi formación profesional, en especial al Ing. Sergio Enrique Álvarez García, por haber aceptado ser mi tutor para lograr la realización de este trabajo monográfico de forma exitosa.

Por último, pero no menos importante quiero agradecer a la empresa Ingenio Monte Rosa por haberme permitido utilizar sus instalaciones, de forma especial quiero agradecer al Ing. Ronald Antonio Solís Mendoza, por haberme brindado la oportunidad de realizar esta investigación y a su vez poner a mi disposición los equipos y materiales necesarios para llevar a cabo este trabajo monográfico.

Diógenes Rafael Rivera Somarriba.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios que gracias a su infinita misericordia ha llenado mi vida de sus bendiciones al igual a toda mi familia.

A Mis padres: dicen que la mayor herencia que nos dejan son los estudios, sin embargo, no creo que sea el último legado del cual yo personalmente me siento agradecido ya que ellos trazaron el camino para que yo caminara con mis propios pies a mis hermanos, que se involucraron en esta etapa de mi vida.

La vida me ha me premiado con un verdadero amigo que es sinónimo de bendición que se convirtió para mí en una gran fuente de ayuda durante mis inicios y final de mi carrera y esa persona es el Ingeniero Marcos Geovanny Pomares Varela que más que un amigo, hermano y consejero agradezco lo bueno que me brindado no solo referente al proyecto si no incluso en mi vida personal.

También reconocer el afecto y agradecimiento de mi suegra Ángela Méndez que ocupa un lugar especial en mi objetivo gracias por verme como un hijo más por sus consejos, oraciones y apoyo incondicional a mi hijo Luis Alfredo Luna Montes y esposa Hilda Gabriela Moya De Luna que nunca dejaron de creer en mí y me dieron la fuerza del día a día para hacer posible este proceso.

De manera especial agradezco a mi tutor al Ingeniero Sergio Enrique Álvarez García que gracias a su entrega a su trabajo a sus observaciones, correcciones y consejos hoy pude culminar este trabajo.

A los demás profesores de mi Universidad UNI que me han visto crecer como persona y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento.

Y con una profunda sinceridad quiero agradecer entre las personas que nos alentaron y dedicó parte de su tiempo al Ingeniero Fanuel De Jesús Vázquez Vílchez por haber observado cada paso de este trabajo y también brindar su amistad y respeto. A mi compañero Diógenes Rafael Rivera Somarriba por ser el coautor de este trabajo monográfico por todo lo que compartí dentro y fuera de este trabajo gracias por confiar en mí y porque hicimos un gran equipo muchas gracias.

Y por supuesto a mi querida Universidad UNI y a todas sus autoridades por permitir concluir con éxito a los demás docentes que aportaron sus conocimientos y compromiso a la educación por su paciencia por orientarme y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

Wilfredo Francisco Luna Blanco.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente al Altísimo por haberme regalado vida, salud y sabiduría para culminar mis estudios universitarios.

A mi madre, Ing. Diana Dolores Somarriba Molina, quien me ha brindado su amor y apoyo de forma incondicional en todas las etapas de mi vida, lo cual me ha impulsado en mi desarrollo personal y profesional.

A mis abuelos, Diógenes Absalón Somarriba Navas y Luz Marina Molina Picado, quienes son como padres para mí, ya que en mi vida siempre han sido refugio, fuente de buenos valores y grandiosos ejemplos a seguir.

A mi tío Ing. Gonzalo Enrique Somarriba Molina, por haberme brindado su amistad y apoyo durante mis estudios universitarios.

A la memoria de quien fue mi hermano mayor Ing. Carlos Omar Carrillo Somarriba (R.I.P), por haber sido una excelente persona y haberme ayudado a superar momentos difíciles en mi vida.

Diógenes Rafael Rivera Somarriba.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme dado la oportunidad de haber llegado hasta el último momento tan importante para mí como lo es mi formación profesional.

A mis padres Antonia Blanco y Felipe Luna que mis esfuerzos y metas alcanzadas, refleja la dedicación, el amor que los padres invierten a sus hijos.

A mi hijo por darme la fuerza de seguir perseverando hasta llegar a la meta.

A mi esposa que ha estado conmigo en momentos de dificultad me ha iluminado con sus consejos, amor y paciencia me ha ayudado a concluir con mi mayor meta.

Wilfredo Francisco Luna Blanco.

RESUMEN

En este trabajo se llevó a cabo un estudio del proceso de muestreo de recepción de caña con el objetivo de determinar la influencia que ejercen los diferentes métodos de muestreo y variedades sobre la calidad y rendimiento de la caña. También se realizó un análisis comparativo del costo total de operación y mantenimiento por zafra del proceso de muestreo de recepción, para determinar el método de muestreo más económico.

El estudio inició con la extracción de muestras de caña de los vagones, mismas que fueron analizadas para determinar los valores de Materia Extraña Total y luego procesadas para obtener lecturas de Brix y Pol. Los datos obtenidos durante el estudio fueron procesados mediante las ecuaciones propuestas por el sistema CONSECANA-SP, de esta forma se obtuvieron los valores de las variables: Pol del Jugo Extraído, Pureza, Jugo%, Fibra%, Pol de la caña y Rendimiento, estas fueron sometidas a un análisis estadístico ANOVA DBCA, de esta forma se determinaron, establecieron y explicaron las diferencias entre los grupos de medias de las variables evaluadas.

Los mayores valores promedios fueron obtenidos por el método de alzada, resultados que significaron mejor clasificación de calidad y mayor rendimiento de la caña de azúcar. Sin embargo, estos resultados fueron contradictorios y poco confiables. Por lo tanto, el método de perforación con sonda oblicua resultó ser mejor método para evaluar la calidad de la caña de azúcar.

Por otro lado, el análisis del costo de mantenimiento y operación del proceso de muestreo de recepción demostró que el método de muestreo por alzada fue el más económico. No obstante, la implementación del mismo no es recomendable dado que carece de objetividad y confiabilidad.

Las principales limitaciones a las que se enfrentó el trabajo fueron: La escasez de caña en el cierre de zafra, las variedades de caña elegidas fueron las que estaban disponibles y el comparativo de costos se basó en la información facilitada por el área de laboratorio de caña.

ÍNDICE

| Contenido | Página |
|--|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. OBJETIVOS..... | 3 |
| 2.1 Objetivo General..... | 3 |
| 2.2 Objetivos Específicos..... | 3 |
| III. MARCO TEORICO..... | 4 |
| 3.1. La Caña de azúcar..... | 4 |
| 3.2. Propiedades que determinan la calidad en fábrica de la caña de azúcar. .. | 4 |
| 3.2.1 Materia extraña presente en la caña de azúcar..... | 4 |
| 3.3. Análisis Estadístico..... | 7 |
| 3.3.1. Análisis de varianza..... | 7 |
| 3.3.2. Diseño de bloques completos al azar (DBCA)..... | 8 |
| 3.4. Análisis Financiero..... | 10 |
| 3.4.1. Costos de los métodos de muestreo..... | 10 |
| 3.4.2. Costos Directos..... | 10 |
| 3.4.3. Método Unitario de estimación de costos..... | 10 |
| 3.4.4. Depreciación..... | 10 |
| 3.4.5. Depreciación impositiva..... | 11 |
| 3.4.6. Términos comunes para cálculo de la depreciación..... | 11 |
| 3.4.7. Método de Depreciación por Línea Recta..... | 11 |
| IV. HIPÓTESIS..... | 13 |
| V. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 14 |
| 5.1. Tipo de investigación..... | 14 |
| 5.2. Determinación del Universo..... | 14 |
| 5.3. Tamaño de la muestra..... | 15 |
| 5.4. Definición del foco de mejora..... | 15 |
| 5.5. Métodos y procedimientos para la caracterización de los métodos de muestreo..... | 16 |
| 5.6. Procedimientos para la determinación de las propiedades que definen la calidad de la caña de azúcar..... | 16 |
| 5.6.1. Extracción de muestra de los vagones..... | 16 |
| 5.6.2. Determinación de Materia extraña..... | 16 |
| 5.6.3 Preparación de la caña para determinación de las propiedades físico-químicas de la caña de azúcar..... | 17 |
| 5.6.3.1. Picado o Desintegrado de la muestra..... | 17 |
| 5.6.3.2. Homogeneizado de la muestra..... | 18 |
| 5.6.3.3. Pesaje de la muestra..... | 18 |
| 5.6.3.4. Extracción de jugo de caña por prensado..... | 18 |
| 5.6.3.5. Medición de Brix..... | 19 |
| 5.6.3.6. Medición de Pol..... | 20 |
| 5.7. Cálculos de las propiedades físico-químicas que determinan la calidad de la caña de azúcar..... | 20 |
| 5.8. Estándares de calidad de la caña en el Ingenio Monte Rosa..... | 21 |
| 5.9. Diseño experimental..... | 21 |
| 5.10. Metodología de superficies de respuesta (RSM)..... | 22 |
| VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1. Caracterización de los métodos de muestreo de recepción de caña de azúcar, aplicados en el Ingenio Monte Rosa. | 26 |
| 6.1.1. Método de muestreo de caña de azúcar con Alzadora. | 26 |
| 6.1.2. Ventajas y desventajas del muestreo con Alzadora. | 27 |
| 6.1.3. Método de muestreo de caña con sonda oblicua (Core Sampler)..... | 28 |
| 6.1.4. Ventajas y desventajas del muestreo con sonda oblicua. | 30 |
| 6.2. Determinación de las propiedades de la caña de azúcar que definen su calidad en el proceso de producción de azúcar de acuerdo al método de muestreo aplicado vs variedad de caña de azúcar. | 31 |
| 6.3. Factores o predictores categóricos que influyeron en los niveles de las variables que determinaron la calidad y rendimiento de la caña. | 31 |
| 6.4. Cálculo de los rendimientos proyectados de la caña de azúcar en el proceso de producción de azúcar en correspondencia con el método de muestreo de recepción aplicado. | 46 |
| 6.5. Establecimiento de la existencia de diferencias significativas entre los valores promedios de las propiedades que determinan la calidad de la caña de azúcar según el método de muestreo de recepción de caña de azúcar aplicado. | 47 |
| 6.6. Verificación de los factores que influyen sobre la variable dependiente: Pol de la caña y Rendimiento. | 50 |
| 6.7. Evaluación de los costos totales de la implementación de cada método de muestreo de recepción de caña de azúcar. | 52 |
| VII. CONCLUSIONES. | 55 |
| VIII. RECOMENDACIONES. | 56 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA. | 57 |
| X. ANEXOS. | 59 |
| ANEXO I. VARIEDADES DE CAÑA SELECCIONADAS. | 60 |
| ANEXO II. ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR. | 61 |
| ANEXO III. MATERIALES Y USO. | 64 |
| ANEXO IV. DATOS PARA ANOVA DBCA. | 65 |
| ANEXO V. GRÁFICOS FACTORIALES DE ANOVA DBCA. | 84 |
| ANEXO VI. DESARROLLO DE LA MATRIZ DEL DISEÑO RSM. | 93 |
| ANEXO VII. ANÁLISIS FINANCIERO. | 96 |

INDICE DE TABLAS

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| Tabla 3.1. Diseño de bloques completos al azar. | 9 |
| Tabla 3.2. Análisis de Varianza para el modelo de Tratamiento- Bloque para un diseño de bloques completos al azar. | 9 |
| Tabla 5.1. Clasificación de la calidad de la caña. | 21 |
| Tabla 5.2. Clasificación del lote de caña por su grado de dispersión. | 21 |
| Tabla 5.3. Variables, Alias de variables y Niveles. | 23 |
| Tabla 5.4. Tipos de punto. | 24 |
| Tabla 5.5. Condiciones del diseño experimental en MINITAB 19. | 24 |
| Tabla 6.1. Información de los factores para el modelo ANOVA | 32 |
| Tabla 6.2. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Hojas | 32 |
| Tabla 6.3. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Cogollos. | 33 |
| Tabla 6.4. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Mamonos | 33 |
| Tabla 6.5. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Lalas. | 33 |
| Tabla 6.6. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Corcho. | 34 |
| Tabla 6.7. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Cepas. | 34 |
| Tabla 6.8. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Raíces. | 34 |
| Tabla 6.9. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Caña Seca. | 35 |
| Tabla 6.10. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Caña Podrida. | 35 |
| Tabla 6.11. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Tierra. | 35 |
| Tabla 6.12. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Materia Extraña Total. | 36 |
| Tabla 6.13. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: PBU. | 36 |
| Tabla 6.14. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Brix. | 36 |
| Tabla 6.15. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Pol Jugo. | 37 |
| Tabla 6.16. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Pureza. | 37 |
| Tabla 6.17. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Jugo%. | 37 |
| Tabla 6.18. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Fibra%. | 38 |
| Tabla 6.19. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Pol de la caña. | 38 |
| Tabla 6.20. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Rendimiento. | 38 |
| Tabla 6.21. Información del factor para modelo ANOVA ajustado. | 39 |
| Tabla 6.22. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Cogollos | 39 |
| Tabla 6.23. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Mamonos. | 39 |
| Tabla 6.24. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Cepas | 40 |
| Tabla 6.25. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Raíces | 40 |
| Tabla 6.26. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Caña. | 40 |
| Tabla 6.27. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Tierra | 40 |
| Tabla 6.28. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: | 41 |
| Tabla 6.29. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: PBU. | 41 |
| Tabla 6.30. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Brix. | 41 |
| Tabla 6.31. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Pol del Jugo Extraído. | 41 |
| Tabla 6.32. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Pureza. | 42 |
| Tabla 6.33. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Jugo%. | 42 |

| | |
|---|----|
| Tabla 6.34. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Fibra%..... | 42 |
| Tabla 6.35. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: | 42 |
| Tabla 6.36. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Rendimiento | 43 |
| Tabla 6.37. Valores Promedio de las propiedades que determinan la calidad de la caña. | 44 |
| Tabla 6.38. Heterogeneidad del Lote por tratamiento aplicado..... | 46 |
| Tabla 6.39. Rendimiento y desviación por tratamiento aplicado..... | 47 |
| Tabla 6.40. Costo Total del muestreo de recepción por zafra utilizando el equipo Alzadora | 54 |
| Tabla 6.41. Costo Total del muestreo de recepción por zafra utilizando el equipo Core Sampler..... | 54 |
| Tabla 10.1. Materiales y Usos..... | 64 |
| Tabla 10.2. Datos de la variable Hojas para ANOVA DBCA..... | 65 |
| Tabla 10.3. Datos de la variable Cogollos para ANOVA DBCA | 66 |
| Tabla 10.4. Datos de la variable Mamones para ANOVA DBCA..... | 67 |
| Tabla 10.5. Datos de la variable Lalas para ANOVA DBCA..... | 68 |
| Tabla 10.6. Datos de la variable Corcho para ANOVA DBCA..... | 69 |
| Tabla 10.7. Datos de la variable Cepas para ANOVA DBCA..... | 70 |
| Tabla 10.8. Datos de la variable Raíces para ANOVA DBCA..... | 71 |
| Tabla 10.9. Datos de la variable Caña Seca para ANOVA DBCA..... | 72 |
| Tabla 10.10. Datos de la variable Caña Podrida para ANOVA DBCA | 73 |
| Tabla 10.11. Datos de la variable Tierra para ANOVA DBCA..... | 74 |
| Tabla 10.12. Datos de la variable Trash Total para ANOVA DBCA | 75 |
| Tabla 10.13. Datos de la variable PBU para ANOVA DBCA..... | 76 |
| Tabla 10.14. Datos de la variable Brix para ANOVA DBCA..... | 77 |
| Tabla 10.15. Datos de la variable Pol Jugo para ANOVA DBCA..... | 78 |
| Tabla 10.16. Datos de la variable Pureza del jugo para ANOVA DBCA..... | 79 |
| Tabla 10.17. Datos de la variable Jugo% para ANOVA DBCA..... | 80 |
| Tabla 10.18. Datos de la variable Fibra% para ANOVA DBCA..... | 81 |
| Tabla 10.19. Datos de la variable Pol de la caña para ANOVA DBCA..... | 82 |
| Tabla 10.20. Datos de la variable Rendimiento de caña para ANOVA DBCA..... | 83 |
| Tabla 10.21. Diseño Central Compuesto..... | 93 |
| Tabla 10.22. Continuación del Diseño Central Compuesto..... | 94 |
| Tabla 10.23. Continuación del Diseño Central Compuesto..... | 95 |
| Tabla 10.24. Costo de mano de obra en el proceso de muestreo de recepción..... | 96 |
| Tabla 10.25. Costo de combustible el proceso de muestreo de recepción..... | 96 |
| Tabla 10.26. Consumo de energía eléctrica del proceso de muestreo de recepción..... | 97 |
| Tabla 10.27. Costo de consumo eléctrico en el proceso de muestreo de recepción..... | 98 |
| Tabla 10.28. Costo de consumo de agua en el muestreo de recepción..... | 98 |
| Tabla 10.29. Cargo Anual de Depreciación Impositiva por Línea Recta..... | 99 |
| Tabla 10.30. Período de recuperación en base al cargo anual de depreciación impositiva por línea recta del Core Sampler..... | 99 |

INDICE DE FIGURAS

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| Figura 5.1. Picadora o Desintegrador de caña IRBI y tipo de cuchilla Mirrles. | 17 |
| Figura 5.2. Homogeneizador IRBI tipo raspador. | 18 |
| Figura 5.3. Sistema Prensa hidráulica y tazón horadado. | 19 |
| Figura 5.4. Dispositivo de filtración (A: embudo y papel filtro; B: vaso de precipitado) y muestra filtrada. De izquierda a derecha respectivamente. | 20 |
| Figura 5.5. Diseño Central Compuesto. | 23 |
| Figura 6.1. Alzadora o Cargadora para muestreo de recepción de caña. | 26 |
| Figura 6.2. Ilustración de toma de muestra con Alzadora. | 27 |
| Figura 6.3. Sonda oblicua perforadora para muestras de caña. | 29 |
| Figura 6.4. Sonda perforadora en acción, aplicada desde distintos puntos y a diferentes profundidades. | 29 |
| Figura 6.5. Gráfica de frecuencia y porcentaje de materia extraña total contenida en la carga promedio extraída por cada tratamiento. | 45 |
| Figura.10.1 y 10.2. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Hojas. De izquierda a derecha respectivamente. | 84 |
| Figura.10.3 y 10.4. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Cogollos. De izquierda a derecha respectivamente. | 84 |
| Figura.10.5 y 10.6. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Mamonos. De izquierda a derecha respectivamente. | 84 |
| Figura.10.7 y 10.8. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Lalas. De izquierda a derecha respectivamente. | 85 |
| Figura.10.9 y 10.10. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Corcho. De izquierda a derecha respectivamente. | 85 |
| Figura.10.11 y 10.12. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Cepas. De izquierda a derecha respectivamente. | 85 |
| Figura.10.13 y 10.14. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Raíces. De izquierda a derecha respectivamente. | 86 |
| Figura.10.15 y 10.16. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Caña Seca. De izquierda a derecha respectivamente. | 86 |
| Figura.10.17 y 10.18. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Caña Podrida. De izquierda a derecha respectivamente. | 86 |
| Figura.10.19 y 10.20. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Tierra. De izquierda a derecha respectivamente. | 87 |
| Figura.10.21 y 10.22. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Materia Extraña Total. De izquierda a derecha respectivamente. | 87 |
| Figura.10.23 y 10.24. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: PBU. De izquierda a derecha respectivamente. | 87 |
| Figura.10.25 y 10.26. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Brix. De izquierda a derecha respectivamente. | 88 |
| Figura.10.27 y 10.28. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Pol del Jugo Extraído. De izquierda a derecha respectivamente. | 88 |
| Figura.10.29 y 10.30. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Pureza. De izquierda a derecha respectivamente. | 88 |

| | |
|---|----|
| Figura.10.31 y 10.32. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Jugo%. De izquierda a derecha respectivamente. | 89 |
| Figura.10.33 y 10.34. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Fibra%. De izquierda a derecha respectivamente. | 89 |
| Figura.10.35 y 10.36. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Pol de la caña. De izquierda a derecha respectivamente. | 89 |
| Figura.10.37 y 10.38. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Rendimiento. De izquierda a derecha respectivamente. | 90 |
| Figura.10.39 y 10.40. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Cogollos y Mamones. De izquierda a derecha respectivamente. | 90 |
| Figura.10.41 y 10.42. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Cepas y Caña Podrida. De izquierda a derecha respectivamente. | 90 |
| Figura.10.43 y 10.44. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Tierra y Caña Materia Extraña Total. De izquierda a derecha respectivamente. | 91 |
| Figura.10.45 y 10.46. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: PBU y Brix. De izquierda a derecha respectivamente. | 91 |
| Figura.10.47 y 10.48. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Pol del Jugo Extraído y Pureza. De izquierda a derecha respectivamente. | 91 |
| Figura.10.49 y 10.50. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Jugo% y Fibra%. De izquierda a derecha respectivamente. | 92 |
| Figura.10.51 y 10.52. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Pol de la Caña y Rendimiento. De izquierda a derecha respectivamente. | 92 |

NOMENCLATURA

| | |
|--------------------------|--|
| °C | Símbolo para denotar temperatura en escala Celsius. |
| g | Gramo. (Unidad de medida de masa, pertenece al Sistema Internacional). |
| Kg | Kilogramo. (Unidad de medida de masa, múltiplo del gramo y pertenece al Sistema Internacional). |
| Kg/Cm² | Kilogramo por centímetro cuadrado. (Unidades de presión en gases). |
| KW | Kilowatts. (Unidad de medida de potencia, múltiplo del vatio o watts y pertenece al Sistema Internacional). |
| Hp | Horse Power (caballo de fuerza). (Unidad de potencia y pertenece al Sistema ingles). |
| m³ | Metro cubico (Unidad de medida de volumen, pertenece al Sistema Internacional) |
| mL | Mililitro. (Unidad de medida de volumen, submúltiplo del litro y pertenece al Sistema métrico decimal). |
| mm | Milímetro. (Unidad de medida de distancia, submúltiplo del metro y pertenece al Sistema Internacional). |
| PSI | Unidad de presión del sistema ingles equivalente a libra de fuerza por pulgada cuadrada. |
| Rpm | Revoluciones por minuto (Unidad de frecuencia que expresa velocidad angular). |
| s | Segundo. (Unidad de medida de tiempo y pertenece al Sistema Internacional, Sistema Cegesimal y Sistema técnico de unidades). |

ABREVIATURAS

| | |
|----------------|--|
| CP | Central Point (Código más serie numérica para identificar variedades de caña). |
| F | F-razón. |
| Fibra % | Cantidad de Fibra de caña en porcentajes. |
| Jugo % | Cantidad de jugo de caña en porcentajes. |
| SCT | Suma de cuadrados de Tratamientos. |
| SCB | Suma de cuadrados de Bloques. |
| SCR | Suma de cuadrados Residuales. |
| SCG | Suma de cuadrados Global. |
| SCM | Suma de Cuadrados medios. |
| scmT | Suma de cuadrados medios de Tratamientos. |
| scmB | Suma de cuadrados medios de Bloques. |
| scmR | Suma de cuadrados medios Residuales. |
| Valor-P | Criterio para rechazo o aceptación de hipótesis. |
| Trash% | Cantidad de materia extraña expresada en porcentaje. |

ACRÓNIMOS

| | |
|---------------------|---|
| ANOVA | Análisis de Varianza. |
| CENICAÑA | Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia. |
| CONSECANA-SP | Consejo de Productores de Caña de Azúcar, Azúcar y Etanol del Estado de São Paulo. |
| DBCA | Diseño de Bloques Completos al Azar. |
| DEDINI | Industrias Base, Proveedor de Maquinaria y Equipos. |
| DOE | Diseño de experimentos. |
| GL | Grados de libertad. |
| IRBI | Proveedor de Maquinaria y Equipos. |
| PBU | Siglas en portugués (Peso do Bagaço Úmido) traducido al español como Peso de Bagazo Húmedo. |
| RSM | Metodología de Superficie de Respuesta. |

GLOSARIO.

Alzadora

Es el conjunto trabajador/cargadora de caña, que se encarga de tomar una muestra de caña de azúcar del medio de transporte que la lleva hacia fábrica para luego analizar dicha muestra.

Azúcares

Son carbohidratos o hidratos de carbono solubles en agua, cuyas fórmulas moleculares son del tipo $C_n(H_2O)_m$.

Azúcares Reductores

Los azúcares reductores son el producto intermedio de la descomposición de la sacarosa en glucosa y fructuosa

Canuto

Pequeña sección del tallo de caña, de forma alargada y generalmente cilíndrica, cortada por ambos extremos.

Heterogeneidad

Es la variabilidad o grado de dispersión en el contenido de sacarosa que posee la caña debido a múltiples factores que la afectan, tales como: tipos de suelo, cultivo, control de plagas, riego, clima, tipo de corte, variedad, permanencia en patio de caña, etc.

Horómetro

Dispositivo de medición de tiempo acumulado en décimas, integrado en la alzadora.

Lignocelulosa

Se refiere al material compuesto por polímeros de carbohidratos (celulosa, hemicelulosa) y un polímero aromático (lignina).

No azúcar

Término común que denota los sólidos disueltos diferentes al azúcar contenido en cualquier flujo de proceso.

No sacarosa

Sólidos disueltos contenidos en cualquier flujo de proceso que sean diferentes a la sacarosa.

OCTAPOL

Agente clarificante (Dióxido de silicio), se utiliza en la clarificación de jugos previo a realizar una lectura de Pol en un polarímetro.

PBU

Hace referencia al peso de la torta resultante luego de la extracción de jugo de caña en una prensa hidráulica.

Polarímetro

Es un instrumento de laboratorio que utiliza para medir el efecto de la luz polarizada sobre los compuestos ópticamente activos. Por lo general es utilizado para la determinación de Pol en los jugos de caña.

Refractómetro

Es un instrumento óptico que sirve en la determinación de sólidos solubles en los jugos de caña, ya que se encuentran estandarizados para que el valor del índice de refracción sea leído como porcentaje de sólidos disueltos en la lectura del respectivo aparato.

Sacarosa

Es el azúcar de mayor uso doméstico e industrial, además es la más común en el reino vegetal. Es un disacárido soluble en agua que está formada por los azúcares monosacáridos, glucosa y fructuosa.

Trash

Se refiere a la materia extraña que tiene la caña al momento de molerla, ya que “*trash*” es un vocablo proveniente del idioma inglés para denotar “basura”.

I. INTRODUCCIÓN.

El ingenio azucarero PANTALEON-Monte Rosa pertenece al sector agroindustrial en Nicaragua, utilizan la caña de azúcar como materia prima para la obtención de azúcar, para ello tienen campos de cultivo de caña que al alcanzar su madurez se recolecta mediante máquinas que disminuyen el tiempo de corte y agilizan el proceso productivo.

No obstante, la implementación de la mecanización agrícola genera repercusiones negativas en la calidad de la materia prima que ingresa a la planta, debido a que la misma no recibe ningún control de calidad en los campos de cultivo y es transportada hacia la fábrica con altos niveles de materia extraña, perjudicando la maquinaria de trabajo, disminuyendo la eficiencia de la fábrica en general y encareciendo los costos del proceso de obtención de azúcar.

Por esta razón se lleva a cabo la evaluación de la calidad de la materia prima previo al proceso fabril, mediante un muestreo de recepción, en él se determina la cantidad de materia extraña y el contenido de sacarosa disponible en la caña. Este último se expresa en: Kg de azúcar/Ton de caña. De esta forma las etapas de producción posteriores al muestreo de recepción disponen de datos de referencia con los cuales preparan y ajustan sus operaciones productivas.

Sin embargo, en el muestreo de recepción, ocasionalmente se obtienen resultados cuantitativos que no reflejan el verdadero nivel de materia extraña detectado, ni del rendimiento de la caña. Este error se le atribuye a la mala práctica de llevar a cabo el muestreo con maquinaria inadecuada para la tarea.

Cabe destacar que esta problemática existe desde el año 2000, ya que se realizaba el muestreo de recepción con una sonda horizontal, pero era ineficiente porque esta no atravesaba los canutos de caña de forma adecuada y brindaba resultados erróneos.

En consecuencia, el año 2004 se optó por tomar las muestras directamente de las bandas que transportan caña picada hacia molienda, pero también se obtenían resultados erróneos porque la información que brindaba la muestra para la detección de materia extraña estaba sesgada, ya que se analizaba caña semi limpia.

En la actualidad se utiliza una alzadora, pero el muestreo es superficial, por ello se desconoce el contenido del fondo del vagón seleccionado y los resultados carecen de objetividad, volviéndose cuestionables.

Además, evaluar la calidad de la caña es una tarea difícil porque existen diversas variedades de caña en los campos del ingenio, y en su proceso de cultivo y recolección se presentan diversos factores que le confieren heterogeneidad a la caña recolectada. Monzón (2017).

Por las razones descritas previamente se hace necesario implementar una nueva forma de extraer la muestra del vagón, como la perforación con una sonda oblicua y así mejorar la veracidad de los resultados cuantitativos del nivel de materia extraña detectado y del rendimiento de la caña. De esta forma obtener datos que sean objetivos y confiables.

A su vez, tener disponibles dichos datos para que sean referencia en la toma de decisiones sobre encontrar una forma de minimizar la materia extraña que lleva la caña desde el campo hacia la fábrica.

Este trabajo se realiza en el laboratorio de caña del ingenio y pretende alcanzar la determinación de la influencia que ejercen los métodos de muestreo de recepción y variedades de caña sobre su calidad y rendimiento, mediante el estudio del método de recepción por alzada en comparación con el método de perforación con sonda oblicua, en relación a 3 variedades de caña.

También se propone realizar un comparativo del costo total de operación y mantenimiento por zafra del proceso de muestreo de recepción por ambos métodos para determinar cuál es más económico. De esta forma el ingenio podrá evaluar si desea implementar el nuevo método de muestreo en sustitución del método actualmente establecido.

Las principales limitaciones a las que se enfrenta el presente trabajo son: La escasez de materia prima en el cierre de zafra, las variedades de caña elegidas son las que se encuentran disponibles y el comparativo de costos se basa en la información facilitada por el área de laboratorio de caña.

II. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo General.

Determinar la influencia de los métodos de muestreo de recepción y variedades de la caña de azúcar en su calidad y rendimiento del proceso de producción de azúcar en el Ingenio Monte Rosa durante la zafra 2017-2018.

2.2 Objetivos Específicos.

- ❖ Caracterizar los métodos de muestreo de recepción de caña de azúcar aplicados en el Ingenio Monte Rosa.
- ❖ Determinar las propiedades de la caña de azúcar que definen su calidad en el proceso de producción de azúcar de acuerdo al método de muestreo aplicado.
- ❖ Calcular los rendimientos proyectados de la caña de azúcar en el proceso de producción de azúcar en correspondencia con el método de muestreo de recepción aplicado vs variedad de caña de azúcar.
- ❖ Establecer la existencia de diferencias significativas entre los valores promedios de las propiedades que determinan la calidad de la caña de azúcar según el método de muestreo de recepción aplicado vs variedad de caña de azúcar.
- ❖ Verificar la incidencia del método de muestreo de recepción vs la variedad de caña de azúcar en el rendimiento del proceso de producción de azúcar.
- ❖ Evaluar los costos totales de la implementación de cada método de muestreo de recepción de caña de azúcar.

III. MARCO TEORICO.

3.1. La Caña de azúcar.

La caña de azúcar es una planta herbácea de gran tamaño que se cultiva en países tropicales y subtropicales. Pertenece a la familia de las gramíneas y al género *Saccharum*, predominando las características de la variedad *S. Officinarum* como productora de azúcar.

La caña se propaga vegetativamente sembrando trozos de sus tallos. La nueva planta o retoño crece a partir de los cogollos o yemas de los nudos del tallo, asegurando así una descendencia uniforme. En el proceso de reproducción de la caña se desarrollan y ensayan continuamente nuevas variedades en búsquedas de nuevas y mejores plantas.

Este procedimiento se ha convertido en un factor fundamental para el mejoramiento de la productividad en la industria de la caña de azúcar. (Rein, 2012)

3.2. Propiedades que determinan la calidad en fábrica de la caña de azúcar.

El procesamiento de la caña de azúcar para la obtención de la sacarosa empieza realmente en el campo. La variedad de caña, el suelo en el cual se cultiva, las prácticas de manejo que incluyen las dosis y épocas de aplicación de los fertilizantes, y el grado de madurez determinan la calidad del material producido. La caña con óptima calidad brinda mayores rendimientos fabriles para beneficio, tanto de los ingenios como de los cultivadores del sector azucarero.

La calidad se reconoce en el momento de la molienda por la cantidad de azúcar recuperable o rendimiento que se obtiene por tonelada de caña molida, lo cual depende de características como:

- ❖ Alto contenido de sacarosa.
- ❖ Bajo contenido de materia extraña.
- ❖ Bajo contenido de sólidos solubles diferentes de la sacarosa.
- ❖ Bajo nivel de fibra.

A continuación, se detallan estas propiedades, las cuales se determinan en el laboratorio:

3.2.1 Materia extraña presente en la caña de azúcar: La materia extraña es todo aquel material de origen mineral o vegetal que se mezcla con los tallos de caña cosechados y aptos para la molienda, que no es un tallo de la caña. Estos materiales pueden contener niveles de sacarosa que no son extraíbles en la fábrica de forma económica. (CENICAÑA, 2005).

3.2.1.1 Materia extraña de origen vegetal.

- ❖ **Cogollos:** Son las puntas de la planta de la caña de azúcar y tienen una alta incidencia en los niveles de color y de impurezas, afectando el proceso de cristalización y la calidad final del azúcar en relación con su color. (Larrahondo J. , 1995). Otros autores aportan que por cada 1% de cogollo que ingresa al ingenio, la pureza de los jugos disminuye 0.1524 %. (Rivera & Chaces, 2003)
- ❖ **Hojas:** Se toman en cuenta dos clases de hojas: verdes y secas; la más dañina es la seca, ya que induce una mayor caída de azúcar (1.5 Kg) por unidad porcentual de basura. Las hojas secas en comparación de las verdes producen un aumento considerable en el contenido de bagazo porcentual de caña. A su vez inducen un incremento mucho mayor en la fibra y mayor disminución en la pureza del jugo con respecto a la materia verde (Rivera & Chaces, 2003).
- ❖ **Yaguas o Vainas:** No poseen cantidad de sacarosa con interés comercial.
- ❖ **Raíces:** Se ha demostrado que por cada 1% de raíces que ingresa al ingenio, hay asociado un incremento de 0.54 unidades en el contenido de fibra. (Fors & Arias, 1997).
- ❖ **Tallos secos:** Se refiere a tallos de caña rajados o quebrados, con bajos contenidos de sacarosa y humedad, por el hecho de no contener azúcar, al mezclarse con la caña y su jugo, atrapan sacarosa que consecuentemente se pierde en el bagazo sin recuperación alguna, aumentando la cantidad de bagazo e incrementando las pérdidas de azúcar en el proceso. (Rivera & Chaces, 2003).

Según Ralda (2002), por cada 1% de tallos secos ocurre una reducción de jugo 0.12% afectando la sacarosa en 1.49%.
- ❖ **Mamones:** Son retoños o renuevos de la cepa que surgen después de que la mayoría de los tallos han alcanzado su desarrollo normal de muy pobre en concentración de azúcar y limitado interés comercial, por los que no son industrializables, ni deseables. (Rivera & Chaces, 2003)
- ❖ **Lalas:** Son brotes que resultan de la germinación de las yemas cuando el tallo todavía no está en pie al morir el meristemo apical. Estos rebrotes se producen principalmente por cosechas tardías, aplicación de maduradores, floración o daño mecánico.
- ❖ **Malezas:** Son cualquier material vegetal extraño, identificable y diferente a los definidos por la caña de azúcar. Por lo tanto, no posee interés comercial, ni es deseable.

3.2.1.2 **Materia extraña de origen mineral.**

- ❖ **Tierra, piedras y arena:** Esta clase de impurezas se presentan generalmente cuando la caña es cosechada y cargada mecánicamente. Estos materiales son los más indeseables que pueden acompañar a la caña, esto desde el punto de vista físico y mecánico. (Rivera & Chaces, 2003).

Según Palacio (1986), al moler la caña que contiene tierra se producen desde el punto de vista químico jugos turbios de baja calidad para la clarificación. A su vez desde la perspectiva biológica, que con la incorporación de tierra en la caña que va a molienda, se introduce gran cantidad de microorganismos, los que actúan sobre los jugos de la caña y producen compuestos como manitol y dextranos, los cuales pasan por los clarificadores sin ser precipitados, a partir de lo cual aumentan la viscosidad de la meladura, reducen la transmisión de calor y disminuyen la capacidad de cocimiento de los tachos, afectando con ello la eficiencia general de toda la fábrica.

Otros problemas que puede causar la tierra en las fábricas no solo dependen de la cantidad que ingresa al proceso, sino también de su composición física, ya que los suelos con humedad excesiva y arenosos dificultan más la labor de cosecha mecánica por lo que se incorpora mayor cantidad de tierra a la fábrica y con esto se producen daños, desgastes o trastornos significativos en los ejes de las mesas alimentadoras, cadenas principales del conductor de caña, masas de los molinos, bombas de sacarosa, clarificador, calderas, entre otros. (Fors, 1983).

Además, la tierra influye básicamente en la extracción de sacarosa, aumentando considerablemente el contenido de bagazo% de caña y la fibra% de caña. (Rivera & Chaces, 2003)

- ❖ **Cepas:** Se refiere a la parte subterránea de la caña con sus respectivas raíces y tierra. Por la dificultad de separar la tierra del material vegetal, todo en su conjunto se llama cepa y hace parte del componente mineral de la materia extraña. (CENICAÑA, 2005). Al realizar la etapa de corta de caña en los campos de forma mecanizada es factible introducir restos de cepas que afectan la pureza de los jugos de caña y reducen el contenido de azúcar extraído en el proceso fabril. (Rivera & Chaces, 2003)

3.2.1.3 Efectos de la materia extraña y sus componentes en el proceso de producción de azúcar.

La materia extraña causa:

- ❖ Pérdida de azúcar en bagazo, cachaza y miel final.
- ❖ Atascamiento en las picadoras utilizadas para preparar la caña antes de su entrada a molinos.
- ❖ Atascamientos en los molinos en el caso de acumulación tallos secos y piedras de diámetro considerable.
- ❖ Reducción de la eficiencia de molienda.
- ❖ Aumento de color del azúcar.
- ❖ Pérdida de tiempo.
- ❖ Aumento de los costos de producción, ya que se procesa un material que no produce azúcar.
- ❖ Dificultad en la clarificación de los jugos.

3.2.2 Propiedades físico-químicas del jugo muestreado.

3.2.2.1 Sólidos Solubles Totales (Grados Brix): Es el porcentaje de los sólidos totales disueltos en solución. Donde el Brix constituye el porcentaje de sacarosa en peso que contiene una solución de azúcar puro, se mide con un refractómetro.

En los ingenios azucareros este parámetro es importante porque la cantidad de sacarosa varía según el porcentaje de extracción de los molinos y el Brix, así a mayor porcentaje de extracción y mayor Brix, mayor cantidad de sacarosa por tonelada de caña. (Cobeña & Chávez, 2016)

3.2.2.2 Sacarosa aparente (Grados Pol): Representa el contenido de sacarosa aparente presente en los jugos de caña, ya que los jugos de caña no son soluciones puras en contenido de sacarosa y son afectadas por la presencia de azúcares reductores. El contenido de sacarosa aparente o Pol, se mide utilizando un polarímetro.

Los valores determinados de Brix y Pol en jugo son los indicadores a utilizar para el cálculo de las variables detalladas en el ANEXO II. Estas propiedades deben complementarse con una determinación física de la materia extraña que acompaña a la muestra.

3.3. Análisis Estadístico.

3.3.1. Análisis de varianza.

Es una de las técnicas estadísticas más utilizadas para comparar grupos de medias y normalmente se emplea para establecer semejanzas y diferencias entre tres o más grupos distintos. A través de ANOVA se establece un análisis para evaluar comparativamente unos resultados en distintas clasificaciones o grupos. De esta manera, es posible calcular si los valores medios son iguales en los distintos grupos estudiados.

Este análisis comparativo se realiza en aquellos contextos en los que los grupos estudiados son independientes entre sí, pero la comparación global de ellos puede ofrecer resultados estadísticos que resulten de interés. Es decir, los resultados obtenidos indican si los valores medios entre dos grupos o más son semejantes o diferentes.

El análisis de la varianza parte de los conceptos de regresión lineal y permite determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren. También permite superar las limitaciones de hacer contrastes bilaterales por parejas que son un mal método para determinar si un conjunto de variables con $n > 2$ difieren entre sí.

Para llevar a cabo el análisis de varianza ANOVA deben cumplirse ciertas hipótesis o suposiciones.

- ❖ La variable dependiente debe medirse al menos a nivel de intervalo.
- ❖ Independencia de las observaciones.
- ❖ La distribución de los residuales debe ser normal.
- ❖ Las varianzas deben ser homogéneas (Homocedasticidad).

3.3.2. Diseño de bloques completos al azar (DBCA).

Es un diseño de “doble vía”, se aplica a grupos de variables heterogéneas. Las unidades experimentales homogéneas se agrupan formando grupos homogéneos llamados bloques.

Sus características son:

- ❖ Las unidades experimentales son heterogéneas.
- ❖ Las unidades homogéneas están agrupadas formando los “Bloques”.
- ❖ En cada bloque se tiene un número de unidades igual al número de tratamientos (Bloques completos)
- ❖ Los tratamientos están distribuidos al azar en cada bloque.
- ❖ El número de repeticiones es igual al número de bloques.

Las fuentes de variación para el análisis estadístico, están relacionadas con los grados de libertad:

- ❖ Tratamiento: = $(I-1)$
- ❖ Bloques. = $(J-1)$
- ❖ Error: = $(I-1)(J-1)$

Tabla III.1. Diseño de bloques completos al azar.

| Tratamientos | Bloque 1 | Bloque 2 | Bloque 3 | ... | Bloque (j) |
|------------------------|----------|----------|----------|-----|------------|
| Tratamiento 1 | | | | | |
| Tratamiento 2 | | | | | |
| Tratamiento 3 | | | | | |
| . | | | | | |
| . | | | | | |
| . | | | | | |
| Tratamiento (i) | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla III.2. Análisis de Varianza para el modelo de Tratamiento- Bloque para un diseño de bloques completos al azar.

| Resumen de ANOVA DBCA | | | | |
|---|--|--------------------|---------------------------------|---------------------|
| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | SCM | F |
| Tratamientos | $SCT = J \sum_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$ | I-1 | $scmT = \frac{SCT}{I-1}$ | $\frac{scmT}{scmR}$ |
| Bloques | $SCB = I \sum_j (\bar{y}_j - \bar{y})^2$ | J-1 | $scmT = \frac{SCB}{J-1}$ | $\frac{scmB}{scmR}$ |
| Residual | $SCR = \sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y})^2$ | (I-1)(J-1) | $scmR = \frac{SCR}{(I-1)(J-1)}$ | |
| Global | $SCG = \sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y})^2$ | (I*J) -1 | $scmG = \frac{SCG}{(IJ-1)}$ | |
| Rechazar $H_0^{(a)}$: $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_I$, según $p = p \left(\left(\frac{scmT}{scmR} \right) < F_{I-1, (I-1)(J-1)} \right)$ | | | | |
| Rechazar $H_0^{(b)}$: $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_J$, según $p = p \left(\left(\frac{scmB}{scmR} \right) < F_{J-1, (I-1)(J-1)} \right)$ | | | | |
| Nota: $H_0^{(a)}$ y $H_0^{(b)}$ hacen referencia a las filas Tratamientos y Bloques respectivamente. | | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

La eficacia de este diseño depende de los efectos de los bloques. Si éstos son pequeños, es más eficaz el diseño completamente aleatorio ya que el denominador en la comparación de tratamientos tiene menos grados de libertad. Sin embargo, si los bloques influyen es mucho mejor y más eficaz este modelo, ya que disminuye la variabilidad no explicada. Por ello, es mejor estudiar primero el modelo de bloques aleatorizados y, si los bloques no influyen, se pasa fácilmente al modelo de un solo factor sumando en la tabla ANOVA la fila del factor bloque con la de la variabilidad residual.

3.4. Análisis Financiero.

3.4.1. Costos de los métodos de muestreo.

La estimación de los costos es una actividad importante, propia de las etapas iniciales de prácticamente toda labor industrial, comercial o gubernamental. En general, se estiman costos para un proyecto o un sistema; sin embargo, son muy comunes las combinaciones. Los costos se componen de **costos directos e indirectos** y cuando estos giran en torno a un equipo o una pieza única, los componentes del costo se vuelven relativamente sencillos. (Blank & Tarquin, 2012)

3.4.2. Costos Directos.

Los costos directos están compuestos por los costos iniciales y los costos de operación y mantenimiento.

Los costos iniciales a considerar son:

- ❖ Costo del equipo
- ❖ Cargos de entrega
- ❖ Costo de instalación
- ❖ Cobertura de seguro
- ❖ Capacitación inicial del personal que utilizara el equipo.

Los costos de operación y mantenimiento están compuestos por:

- ❖ Costo directo de mano de obra para el personal de operación.
- ❖ Materiales Directos
- ❖ Costos de mantenimiento (diario, periódico, reparaciones, etc.)
- ❖ Reelaboración y reconstrucción.

3.4.3. Método Unitario de estimación de costos.

Es una técnica de estimación preliminar muy popular que se aplica virtualmente en todas las profesiones. El costo estimado total C_T se obtiene al multiplicar el número de unidades N por un factor de costo por unidad u .

$$C_T = N * u \quad (3.1)$$

3.4.4. Depreciación.

La depreciación es la reducción del valor de un activo tangible en libros (no en efectivo). El método para depreciar un activo es una forma de considerar el valor decreciente del activo para el propietario y para representar el valor de disminución de los fondos de capital invertidos en él. El valor de la depreciación anual no representa un flujo de efectivo real, ni refleja necesariamente el patrón del uso real del activo durante su posesión.

3.4.5. Depreciación impositiva.

La utiliza una corporación o negocio para determinar los impuestos por pagar con base en las leyes fiscales emitidas por la entidad gubernamental (país, estado, provincia, etc.). Aunque la depreciación en sí misma no es un flujo de efectivo, da lugar a cambios reales en él porque el monto de la depreciación fiscal es deducible para fines de cálculo de los impuestos sobre la renta que debe pagar la organización.

3.4.6. Términos comunes para cálculo de la depreciación.

3.4.6.1 El costo inicial P o la base no ajustada B.

Es el costo del activo entregado e instalado que incluye precio de compra, comisiones de entrega e instalación, y otros costos directos depreciables en los que se incurre con la finalidad de preparar el activo para su uso. El término base no ajustada B, o simplemente base, se utiliza cuando el activo es nuevo; se emplea el término base ajustada cuando se ha cargado alguna depreciación. Cuando no se han agregado al costo inicial costos depreciables, la base es el costo inicial, es decir, $P = B$.

3.4.6.2. El valor en libros VL_t .

Representa la inversión restante y no depreciada en los libros después de restar de la base el monto total de cargos de depreciación a la fecha.

3.4.6.3. El periodo de recuperación n.

Es la vida depreciable del activo en años.

3.4.6.4. El valor de mercado VM.

Es otro término del análisis de reemplazo; es la cantidad estimada que ingresaría si el activo se vendiera en el mercado abierto.

3.4.6.5. El valor de rescate S.

Es el valor estimado de intercambio o de mercado al final de la vida útil del activo.

3.4.6.6. La tasa de depreciación o tasa de recuperación d_t .

Es la fracción del costo inicial que se elimina por depreciación cada año t. Dicha tasa puede ser la misma cada año, en cuyo caso se denomina tasa en línea recta d, o puede ser diferente en cada año del periodo de recuperación.

3.4.7. Método de Depreciación por Línea Recta.

La depreciación en línea recta deriva su nombre del hecho de que el valor en libros disminuye linealmente con el tiempo. La tasa de depreciación es la misma $(1/n)$ cada año del periodo de recuperación n.

$$D_t = (B - S)d_t \quad \text{o} \quad D_t = \frac{(B-S)}{n} \quad (3.1)$$

Donde:

D_t = Cargo anual de depreciación.

B= Costo Inicial o Base no ajustada.

S= Valor rescate estimado.

n= periodo de recuperación.

d_t = tasa de depreciación $1/n$

El valor en libros puede obtenerse por medio de:

$$V_L = P - D_t \quad (3.2)$$

Donde:

P= Valor del Costo Inicial

D_t = Cargo anual de depreciación.

IV. HIPÓTESIS.

La hipótesis evaluada es la siguiente:

H₀: No existen diferencias significativas entre las propiedades físico-químicas que determinan la calidad de la caña de azúcar y su rendimiento al aplicar el método de muestreo de caña de azúcar por alzada vs el método de muestreo por medio de la sonda oblicua de perforación, en relación con las diferentes variedades de caña de azúcar.

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots = \mu_n$.

H₁: Dos o mas grupos son diferentes.

V. DISEÑO METODOLÓGICO.

5.1. Tipo de investigación.

El trabajo fue una investigación aplicada, predictiva con elementos de investigación descriptiva y explicativa, de corte transversal.

Según su aplicabilidad: Fue una investigación aplicada, estuvo orientada a establecer la incidencia que tienen los dos métodos de muestreo de recepción de caña de azúcar y la influencia de las distintas variedades de caña de azúcar utilizadas en el proceso de producción en la determinación de la calidad de esta misma y su rendimiento en la producción de azúcar, de tal forma que los resultados obtenidos contribuyan a formar los criterios necesarios para seleccionar el método óptimo de muestreo de recepción.

Según el nivel de profundidad del conocimiento: Se clasificó como una investigación predictiva, combinada con elementos de las investigaciones descriptiva y explicativa, dado que describió, explicó y evaluó la incidencia tanto de los métodos de muestreo de recepción como de las variedades en la determinación de la calidad de la caña de azúcar y el rendimiento de esta en el proceso de producción de azúcar, prediciendo el comportamiento de las propiedades físico-químicas que determinan la calidad de la caña de azúcar por medio del método estadístico de análisis de varianza y comparó los resultados obtenidos, estableciendo si estos resultados difieren significativamente entre sí o no y recomendó la adopción del método de muestreo que presente los resultados óptimos desde el punto de vista económico.

Según la amplitud con respecto al proceso de desarrollo del fenómeno: La investigación fue de corte transversal, dado que el estudio se situó en la zafra 2017-2018.

5.2. Determinación del Universo.

El universo de estudio de la presente investigación lo conformó el proceso de producción de azúcar a partir de caña de azúcar y específicamente los siguientes elementos:

- ❖ Las variedades de caña de azúcar utilizadas como materia prima para la producción de azúcar.
- ❖ Las propiedades físico-químicas de la caña de azúcar que determinaron su calidad y rendimiento del proceso productivo de azúcar.
- ❖ Los equipos, operaciones y procesos aplicados en el muestreo de recepción de caña de azúcar.
- ❖ El personal que participó en estas etapas del proceso productivo.

5.3. Tamaño de la muestra.

El espacio muestral correspondió a 840 muestras reduciendo a 60 valores promedios (14 repeticiones por cada promedio) en correspondencia con cada variable de respuesta : Materia extraña y sus componentes, PBU, Brix, Pol Jugo, Pureza del Jugo, Jugo%, Fibra%, Pol de la caña y Rendimiento , todas sometidas a las técnicas del análisis de varianza con dos tipos de tratamiento, T1 - Muestreo de recepción por alzada y T2 - Muestreo de recepción con Sonda Core Sampler y tres bloques completamente al azar, factores correspondientes a Variedad 1, Variedad 2 y Variedad 3 de caña de azúcar, conforme se muestra en la sección de tablas 6.2-6.20 de este apartado.

Se programó el ANOVA DBCA con los siguientes parámetros: el valor de tamaño de efecto previamente determinado fue de 0.20, nivel de confianza de 95%, errores estadísticos tipo I y II (α y β) de 0.05 y 95% respectivamente, grados de libertad residual equivalente a 2 y número de grupos involucrados en el análisis que fue de 6, ya que hubo 2 tipos de tratamientos y 3 bloques correspondientes a las variedades de caña.

Estos valores fueron determinados previamente al análisis estadístico mediante una estimación estadística en el software G*Power, aplicando la familia de análisis denominada "F Test", seleccionando el test estadístico ANOVA (para determinación de Efecto fijo, Especial, Efecto principal e Interacciones) y se seleccionó el tipo de análisis de potencia "A priori".

5.4. Definición del foco de mejora.

Las variables dependientes e independientes que se tomaron en cuenta para realizar la evaluación comparativa fueron las mencionadas en el tamaño de la muestra.

Para el caso del DOE, se realizó un cribado de las variables categóricas y cuantitativas previo a la construcción de la matriz de diseño, de tal forma, que las variables que resultaron de especial interés fueron: Materia extraña total, Pureza del jugo, Métodos de muestreo, Variedades de caña. Las variables seleccionadas se tomaron como variables independientes para determinar si influyen o no, sobre el Rendimiento y lograr optimizar el proceso de recepción de caña.

Es importante mencionar que los datos de las variables en estudio se tomaron en base a los datos proporcionados por el Ingenio Monte Rosa y tienen validez en período de tiempo determinado puesto que las condiciones climáticas que rigen las estaciones del año, tipos de suelo, etc., tienen influencia sobre la caña, de forma que podría haber variabilidad con los resultados obtenidos en investigaciones futuras.

A su vez cada uno de los análisis y mediciones de las variables fueron realizadas cada vez que el sistema del laboratorio de caña determinaba que había que evaluar una entrega de caña, se tomaron muestras a partir de las 6:00 am hasta las 10:00 pm siempre y cuando el flujo de equipos de transporte de caña se mantuviera estable.

5.5. Métodos y procedimientos para la caracterización de los métodos de muestreo.

Para la caracterización de cada método de muestreo de recepción de caña de azúcar se realizaron las siguientes actividades:

1. Vista in situ de las instalaciones de recepción de caña de azúcar.
2. Se identificaron las operaciones que se realizan durante el proceso de muestreo, estableciendo:
 - ❖ los procedimientos aplicados a cada operación de muestreo,
 - ❖ los lugares de toma de muestra en cada vagón,
 - ❖ la frecuencia y duración de cada toma de muestra,
 - ❖ el peso de cada muestra tomada.
3. Se determinaron las características técnicas de los equipos, instrumentos y accesorios utilizados en cada método de muestreo.
4. Se entrevistó al personal que labora en el área de recepción de caña de azúcar, con especial énfasis a los operadores de los equipos de muestreo.

5.6. Procedimientos para la determinación de las propiedades que definen la calidad de la caña de azúcar.

5.6.1. Extracción de muestra de los vagones.

La etapa de extracción se realizó de forma que se garantizó muestrear al menos 2 vagones de los equipos de transporte seleccionados para muestreo, formados de 2- 6 vagones, cada equipo a muestrear pasaba por el punto de control del laboratorio de caña cada 5 a 10 minutos.

De cada vagón se extrajeron 2 muestras integrales para representar la carga del vagón, 1 con cada método de muestreo, en puntos aleatorios para garantizar la validez del muestreo. El peso de la muestra extraída que debió garantizarse fue de 20 Kg, de los cuales 10 Kg se utilizaron para el análisis de materia extraña y los otros 10 Kg para el análisis de caña y su jugo. (Ver Figuras 6.2 y 6.4).

5.6.2. Determinación de Materia extraña.

Los operarios encargados del análisis de materia extraña procedieron a retirar la muestra extraída del punto de control donde fue depositada y luego la trasladaron a la báscula local del laboratorio para pesar y registrar la muestra en una hoja de control, luego del pesaje se procedió a colocar la muestra en mesas especiales para la separación y clasificación de sus componentes.

La separación de la muestra se llevó a cabo de forma manual y se agruparon sus componentes en una mesa según su clasificación, la cual estaba compuesta por:

Caña buena, caña podrida, cogollos, corcho, hojas verdes y secas, mamones, lalas, cepas, raíces, tierra, piedras u otro material ajeno a la caña.

Una vez separados y clasificados los componentes, se procedió a cuantificarlos por medio del pesaje individual de cada grupo de componentes de la muestra y se anotó en la hoja de control con el nombre y peso de cada uno de ellos respectivamente.

De esta forma se obtuvieron los pesos de cada grupo de componentes y la composición porcentual de la muestra se obtuvo mediante la ecuación:

$$\% \text{ Peso} = \frac{\text{Peso de componente}}{\text{Peso Total de la muestra}} * 100 \quad (5.1)$$

5.6.3 Preparación de la caña para determinación de las propiedades físico-químicas de la caña de azúcar.

5.6.3.1. Picado o Desintegrado de la muestra.

En esta etapa se procedió a introducir la muestra de carácter integral con respecto a su contenido de caña y materia extraña en picadoras electromecánicas IRBI con el objetivo de desintegrar la muestra y obtener material manejable, adecuado y que brindase mayor facilidad en la extracción de jugo en la etapa de prensado.

Las picadoras operaban a una velocidad de cuchillas de 2700 revoluciones por minuto (rpm), con una alineación de cuchillas vs contra cuchillas de 2 ± 5 mm y un peso de cuchilla de 580-585 gramos. En estas condiciones, el índice de preparación de la caña que se obtuvo fue de 92.

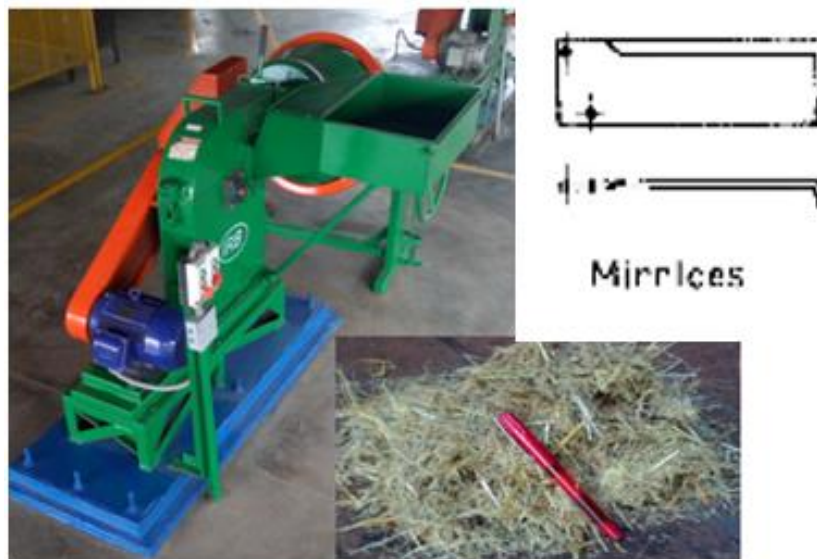


Figura 5.1. Picadora o Desintegrador de caña IRBI y tipo de cuchilla Mirrilces.

Fuente: Captura fotográfica propia y (Hugot, 1986, pág. 43)

5.6.3.2. Homogeneizado de la muestra.

Esta etapa consistió en batir la muestra desintegrada procedente de las picadoras hasta darle uniformidad a su composición, esta acción se realizó en un homogeneizador IRBI tipo raspador, el cual está adherido a la sección de salida de material de las picadoras, a la muestra desintegrada se le dio un tiempo de homogeneizado de 1 minuto, el cual se midió de forma automática, con un cronómetro integrado en el equipo homogeneizador.

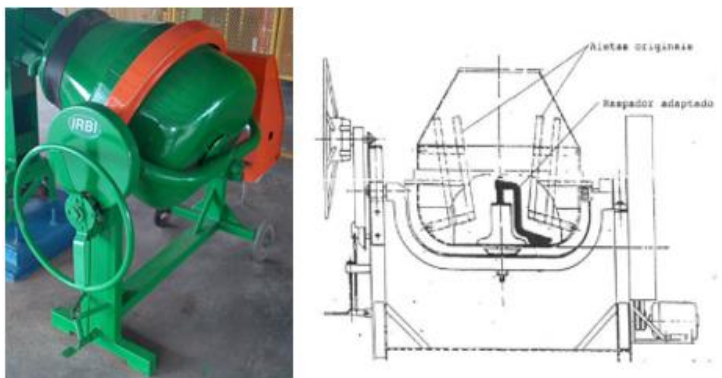


Figura 5.2. Homogeneizador IRBI tipo raspador.

Fuente: Captura fotográfica propia y catálogo IRBI.

5.6.3.3. Pesaje de la muestra.

En esta etapa se procedió a vaciar el contenido del homogeneizador en una sección longitudinal de barril, que sirvió de utilería para contener el material desintegrado. Luego se procedió a tomar una submuestra de aproximadamente 1 Kg de material desintegrado para trasladarlo a la sala de análisis.

El procedimiento continuó con el pesaje de una cubeta cuadrada seca con su tapa, en una balanza analítica de precisión, luego se procedió a anotar el peso de la cubeta en una hoja de control y simultáneamente a dar 'Tara' a la balanza para resetear su valor marcado en el pesaje de la cubeta, después se volvió a colocar la cubeta en la balanza para pesar 500 gramos de la submuestra que se destinaron para la etapa de prensado.

Luego se rotuló el recipiente que contenía la submuestra de 500 gramos con una etiqueta que mostraba los datos de la misma para llevar control y dar seguimiento a los resultados, de igual forma se hizo con un recipiente seco de 500 mL el cual se destinó para la recolección del jugo en la etapa de prensado.

5.6.3.4. Extracción de jugo de caña por prensado.

En esta etapa se procedió a tomar un tazón horadado de acero inoxidable, especial para el prensado y se colocó en la posición de carga en la prensa, para introducir los 500 gramos de submuestra en el tazón de forma que se aseguró que la misma cayera por completo dentro del tazón para garantizar que no hubiese

efectos secundarios en los resultados del prensado por la influencia de depositar una cantidad de submuestra inferior a los 500 gramos.

Luego se procedió a colocar el tazón ya cargado en la posición correcta para realizar el prensado, a su vez se colocó en posición el recipiente seco de 500 mL en el cual se recolectó el jugo de caña producto del prensado.

Las condiciones del prensado fueron: presión de prensado de 3550 psi (250 kg/cm²), tiempo de prensado de 1 minuto, tiempo que estaba programado por defecto y que fue cronometrado por el sistema de control de la prensa.

En estas condiciones se obtuvo una torta de fibra compacta y jugo oscuro de caña, se procedió al pesaje de la torta y se anotó en una hoja de control bajo el nombre de PBU (Peso de bagazo húmedo). De esta forma se pudo llevar el control de los datos correspondientes a la torta y el jugo de esa muestra, donde este último se trasladó a la sala de análisis de jugo donde se utilizó para la medición de Brix y Pol.



Figura 5.3. Sistema Prensa hidráulica y tazón horadado.

Fuente: Captura fotográfica propia.

5.6.3.5. Medición de Brix.

La medición de grados Brix del jugo de caña extraído se realizó por medio de un refractómetro digital. Se determinó el Brix a cada muestra obtenida, controlando la temperatura en condiciones estables a 25° C. Las mediciones se repitieron 3 veces, tomando los valores de lectura estables, calculando el valor promedio de las lecturas, el cual se anotó en una hoja de control como el resultado de la medición.

5.6.3.6. Medición de Pol.

Para la medición de Pol, inicialmente se 'curó o endulzó' un vaso de precipitado de plástico de 250 mL, vertiéndole una porción de jugo oscuro de caña para luego desecharlo, una vez realizado el curado, se midieron 150 mL de muestra de jugo oscuro de caña en el vaso de precipitado, se agregó de 1 a 1 ½ cucharadas de agente clarificante OCTAPOL (Dióxido de Silicio) al jugo y se procedió a homogeneizar la muestra con un agitador mecánico durante un tiempo de 1 minuto, a su vez se preparó un sistema de filtrado compuesto por un vaso de precipitado de cristal seco y un embudo del mismo material, en el cual se colocó papel filtro y una tapa de plástico para el embudo, una vez homogeneizada la muestra se procedió a verter la misma en el sistema de filtrado y se puso la tapa, con el objetivo de obtener al menos 75 mL de jugo claro para la medición de Pol.

Este procedimiento se repitió en cada muestra obtenida previo a la medición de Pol, la cual se realizó en un polarímetro con tubo continuo. La temperatura se mantuvo controlada, estable a 25 C°. La medición de Pol no tuvo repetibilidad, debido a que para cada repetición se necesitaban 75 mL de jugo claro, que debía prepararse para poder realizar la medición, las cantidades de jugo de caña por muestra no fueron suficientes para realizar 2 veces la clarificación del jugo de caña.

Como medida de garantizar una buena medición de Pol se realizó la preparación del jugo claro con meticulosidad y esmero, el valor de lectura que se anotó en la hoja de control fue el valor de lectura estable del polarímetro.



Figura 5.4. Dispositivo de filtración (A: embudo y papel filtro; B: vaso de precipitado) y muestra filtrada. De izquierda a derecha respectivamente.

Fuente: (Chen J. C., 1977, pág. 706) y Captura fotográfica propia.

5.7. Cálculos de las propiedades físico-químicas que determinan la calidad de la caña de azúcar.

Los valores obtenidos de Brix y Pol fueron utilizados para los cálculos de **Pol Jugo, Pureza del jugo, Jugo%, Fibra %** y **Pol de la caña**, y este último se proyectó para obtener el **Rendimiento de caña**. Este procedimiento se realizó por medio de las ecuaciones propuestas por el sistema CONSECANA – SP. Ver ANEXO II.

Los materiales, equipos y accesorios para realizar las determinación y ensayos de laboratorios usados en este trabajo se presentan en el ANEXO III.

5.8. Estándares de calidad de la caña en el Ingenio Monte Rosa.

Fueron los valores de referencia locales para determinar la calidad de la caña.

Tabla 5.1. Clasificación de la calidad de la caña.

| Propiedad evaluada | Calidad de caña | | | |
|--------------------|-----------------|-------------|---------------|------------|
| | Excelente | Buena | Aceptable | Indeseable |
| Materia Extraña % | ≤8 | >8 - ≤10 | >10 - ≤12 | >12 |
| Pol de la caña | ≥14 | <14 - ≥13.5 | <13.5 - ≥12.5 | < 12.5 |

Fuente: Elaboración Propia.

5.8.1 Heterogeneidad del Lote.

Es el grado de dispersión de los parámetros que tipifican la caña de un lote expresado por el coeficiente de variación. A mayor grado de dispersión se obtiene un lote más heterogéneo. (Monzon, 2018)

$$\% \text{ Heterogeneidad} = \frac{(S \text{ Pol J} * 100)}{\bar{X} \text{ Pol J}} \quad (3.2)$$

Donde:

S Pol J= Desviación Estándar de Pol Jugo.

X Pol J= Promedio de Pol Jugo.

Tabla 5.2. Clasificación del lote de caña por su grado de dispersión.

| Propiedad Evaluada | Dispersión del lote de caña | | | |
|--------------------|-----------------------------|---------|-----------|------------|
| | Excelente | Buena | Aceptable | Indeseable |
| % Heterogeneidad | ≤ 5 | >5 - ≤8 | >8 - ≤12 | > 12 |

Fuente: Elaboración Propia.

5.9. Diseño experimental.

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) y su correspondiente Análisis de Varianza (ANOVA), para comprobar la hipótesis de que las propiedades que determinan la calidad de la caña de azúcar pertenecen a una misma población y sus valores son independientes del método de muestreo de recepción aplicado y del tipo de variedad de caña de azúcar.

Se aplicaron dos tratamientos que fueron los métodos de muestreo de recepción:

- ❖ **Tratamiento 1:** Muestreo de recepción por el método de alzada.
- ❖ **Tratamiento 2:** Muestreo de recepción por el método de perforación con sonda oblicua.

Los bloques correspondieron a las variedades de caña de azúcar que fueron procesadas en el Ingenio Monte Rosa.

- ❖ **Bloque 1:** Variedad CP72-2086.
- ❖ **Bloque 2:** Variedad CP88-1165.
- ❖ **Bloque 3:** Variedad CP73-1547.

Las propiedades objetos de estudios que determinaron la calidad de la caña de azúcar y se tuvieron como variables de respuesta son las siguientes:

- ❖ **Materia extraña y sus componentes (Trash):** Peso en Kg.
- ❖ **PBU:** Peso en gramos.
- ❖ **Brix:** Grados Brix.
- ❖ **Pol Jugo:** Grados Pol.
- ❖ **Jugo%:** Porcentual.
- ❖ **Fibra%:** Porcentual.
- ❖ **Pureza del jugo:** Porcentual.
- ❖ **Pol de la caña:** Gramos de sacarosa real en caña/ Muestra extraída.
- ❖ **Rendimiento:** Kg de sacarosa en la caña /Tonelada de caña.

El proceso de muestreo, la determinación y clasificación de las propiedades que establecen la calidad de la caña de azúcar y análisis comparativos de las variables repuestas con relación a los tratamientos y bloques aplicados fueron realizados en el Ingenio Monte Rosa ubicado en el municipio de El Viejo, departamento de Chinandega, específicamente en el área de laboratorio de caña donde se recepcionó la materia prima para el control técnico de la producción.

Los datos del diseño de experimento para cada análisis de varianza aplicados se presentaron en el ANEXO IV.

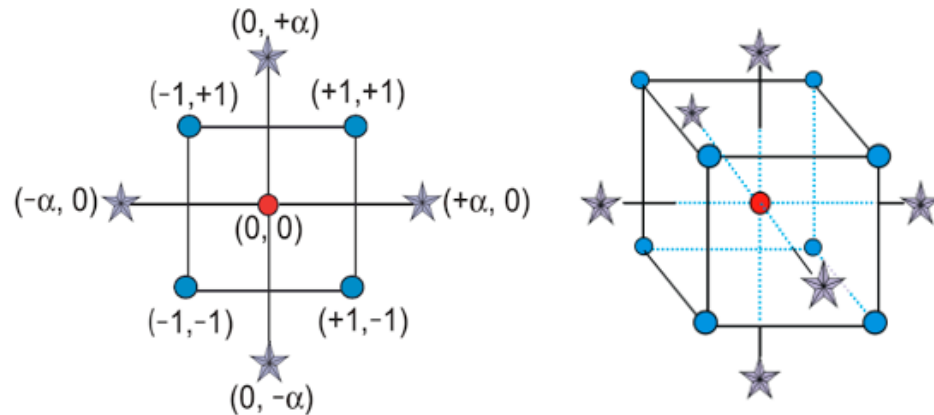
El procesamiento de la información obtenida y la aplicación de los métodos estadísticos se realizaron con el software MINITAB 19.

5.10. Metodología de superficies de respuesta (RSM).

Es un conjunto de técnicas avanzadas de diseño de experimento (DOE), las cuales fueron utilizadas para evaluar “variables clave” que definieron la calidad de la caña, y determinaron si estas influyen sobre la variable respuesta “Rendimiento”, con el objetivo de optimizar el proceso de muestreo de recepción de caña.

Para ello, se creó una matriz experimental basada en el diseño central compuesto (DCC), el cual es un diseño factorial o factorial fraccionado con puntos centrales, ampliado con un grupo de puntos axiales (también denominados puntos de estrella) que permiten estimar la curvatura.

Figura 5.5. Diseño Central Compuesto.



Fuente: Elaboración Propia

La figura representa la ilustración del DCC con las coordenadas de los puntos: central, cubo y axiales.

5.10.1. Variables y niveles de la matriz RSM.

Las variables seleccionadas y sus niveles se pueden observar a detalle, así como la codificación de las mismas para su identificación en la matriz del diseño RSM.

Tabla 5.3. Variables, Alias de variables y Niveles.

| Variables Originales | | | | Alias de variables | | | |
|-----------------------|-----------|-------|------|-----------------------|-------|-------|------|
| Variables Continuas | Nivel | | | Variables Continuas | Nivel | | |
| | Bajo | Medio | Alto | | Bajo | Medio | Alto |
| Trash | 8 | 10 | 12 | A | -1 | 0 | 1 |
| Pureza | 84 | 85.5 | 87 | B | -1 | 0 | 1 |
| Variables Categóricas | Nivel | | | Variables Categóricas | Nivel | | |
| Tratamiento | Alzada | | | C | 1 | | |
| | Sonda | | | | 2 | | |
| Bloque | CP72-2086 | | | D | 1 | | |
| | CP73-1547 | | | | 2 | | |
| | CP88-1165 | | | | 3 | | |

Nota: Para puntos axiales $\alpha = 1.4142$

Fuente: Elaboración Propia

5.10.2. Desarrollo de la matriz del diseño RSM.

La matriz experimental utilizada en el desarrollo del estudio está en la sección de tablas 10.21-10.23 en el ANEXO VI y se puede observar cada uno de los experimentos y las combinaciones de cada una de las variables que se tomaron en cuenta. En total se realizaron 84 experimentos con 1 réplicas cada uno. El diseño experimental está compuesto de 2 variables continuas y 2 variables categóricas, cada variable categórica posee 2 y 3 niveles respectivamente.

Tabla 5.4. Tipos de punto.

| | |
|-----------------------------|----|
| Puntos del cubo | 24 |
| Puntos centrales en el cubo | 18 |
| Puntos axiales | 24 |
| Puntos centrales en axial | 18 |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 5.5. Condiciones del diseño experimental en MINITAB 19.

| Resumen del diseño | | | |
|--------------------|----|-------------------|----|
| Factores | 4 | Réplicas | 1 |
| Corridas base | 84 | Total de corridas | 84 |
| Bloques base | 2 | Total de bloques | 2 |

Fuente: MINITAB 19

5.10.3. Análisis de datos.

El análisis estadístico mediante el método RSM incluyó:

ANOVA para determinar los términos cuadráticos, lineales e interacciones que tienen validez en el modelo y que, a su vez, conforman el modelo que explica mayor variabilidad respecto al ajuste de los datos con el modelo y así poder determinar las variables que inciden sobre el rendimiento de caña.

También brindó una regresión de superficie de respuesta y un resumen de los coeficientes del modelo ajustado con las ecuaciones de regresión que predicen con mayor precisión el comportamiento de la variable respuesta.

Esto permitió analizar la estimación de los efectos principales de los términos cuadráticos, lineales e interacciones mediante el uso de la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \varepsilon \quad (5.3)$$

Fuente: Revista Varianza 11, página 31.

5.10.4 Ajuste del modelo.

De la información proveída por el software MINITAB 19, se tuvo que determinar los factores que tenían significancia estadística en el modelo y eliminar del mismo aquellos que no aportaban información útil, con el objetivo de ajustar el modelo previo a la optimización.

5.10.5. Método de optimización.

La optimización se realizó utilizando el software MINITAB19 con el método que utiliza el software por defecto, en el cual se trabajó con el modelo ajustado.

5.10.6 Procedimiento de optimización.

Se debe seguir la siguiente ruta de trabajo: Estadísticas>DOE>Superficies de respuesta>Optimizador de respuesta.

Una vez dentro de la interfaz del optimizador de respuesta, es importante mencionar que la variable dependiente e independientes, ya estaban seleccionadas por defecto para el análisis, ya que MINITAB 19 guardó el modelo que se ajustó, por lo que sólo se eligió la cantidad de respuestas que se deseó obtener y el parámetro de lo que se consideró como óptimo, es decir, si se desea conseguir una maximización, una minimización o un valor objetivo.

Se seleccionó la maximización de la variable respuesta y la obtención de múltiples respuestas puesto que se necesita un valor máximo para cada tratamiento aplicado y se procedió a ejecutar el análisis.

Habiendo realizado el procedimiento descrito el programa arrojó cuales son los parámetros óptimos para obtener el rendimiento máximo para cada tratamiento aplicado en relación a cada variedad de caña evaluada.

VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

6.1. Caracterización de los métodos de muestreo de recepción de caña de azúcar, aplicados en el Ingenio Monte Rosa.

6.1.1. Método de muestreo de caña de azúcar con Alzadora.

El método consistió en que el equipo de transporte debía estacionarse en el punto de control para realizar el muestreo y la alzadora se posicionaba a un costado del vagón seleccionado, el punto a ser muestreado estaba determinado por la franja central en el sentido longitudinal del vagón, para tomar una muestra de aproximadamente 30-35 Kg de caña por cada repetición y luego se transportaba hacia la zona asignada para que el personal del área pudiese retirar la muestra.



Figura 6.1. Alzadora o Cargadora para muestreo de recepción de caña.

Fuente: Catalogo John Deere.

La alzadora 2254 de John Deere, es la cargadora de caña de azúcar más poderoso del mundo, brinda gran estabilidad, permite el mayor alcance y la mayor capacidad de agarre de la industria. Con un giro de 180° (grados), es el cargador más productivo y versátil del mercado.

Esta alzadora afronta el reto de aumentar la productividad, ya que cuenta con mejores características que cualquiera de sus predecesores.

6.1.1.1. Facilidad de Operación.

Se trata de una alzadora diseñada para la carga de caña, pero cabe destacar que es una máquina que debe ser operada por un trabajador debidamente capacitado. También se pudo observar que la única dificultad operativa se asociaba a la habilidad y destreza del operario al momento de realizar la operación.



Figura 6.2. Ilustración de toma de muestra con Alzadora.

Fuente: Captura fotográfica propia.

6.1.2. Ventajas y desventajas del muestreo con Alzadora.

6.1.2.1 Ventajas.

❖ **Capacidad de extracción.**

Su capacidad de extracción promedio fue de 34.69 Kg siendo mayor en comparación del método por perforación con sonda oblicua. Por ello se dio un aumento de la eficiencia del proceso de muestreo, ya que se requirió de 1 sola repetición para extraer la cantidad requerida para realizar los análisis.

❖ **Daño físico en la muestra.**

El daño físico fue de tipo rajadura de caña y el valor promedio cuantificado fue de 8% en peso del valor inicial de la muestra extraída, por lo que se observó poca pérdida de jugo en la caña ocasionado por daño físico.

❖ **Aumento de la eficiencia del análisis de materia extraña.**

Este método de muestreo agilizó el análisis de materia extraña ya que los componentes de la materia extraña se podían identificar y separar con facilidad, reduciendo el tiempo en que se realiza dicha operación.

❖ **Aumento de la eficiencia en el tiempo de operación.**

El tiempo en que se extrajo la muestra del vagón fue de 50-60 segundos, tiempo relativamente corto que permitió agilizar el proceso de muestreo y aumentar la eficiencia del mismo

6.1.2.2. Desventajas.

❖ **Aleatoriedad de los puntos de extracción de la caña.**

Por alzada se frecuentaba a obtener la muestra de la franja longitudinal del centro del vagón, para evitar la acumulación excesiva de hojas en los bordes. Sin embargo, en ocasiones la aleatoriedad de vio limitada a extraer de la zona cercana a los bordes del vagón porque la alzadora no lograba alcanzar la carga del centro por la altura del vagón.

❖ **Profundidad de muestreo.**

La profundidad de muestreo con alzadora fue limitada, su rango de profundidad osciló entre 30-40 cm. Como resultado se obtuvo una muestra superficial.

❖ **Incertidumbre de la composición de la carga en los vagones a niveles más profundos.**

A causa del muestreo superficial se desconoció el contenido del fondo del vagón por lo que se tuvo que suponer homogeneidad en la composición de la carga en el interior del vagón muestreado.

❖ **Introduce el criterio del muestreo sesgado por manipulación humana.**

Es la afirmación de que la persona que retira la muestra del punto de control donde fue depositada luego de extraerla del vagón, influye de forma negativa en el muestreo debido a que, al momento de levantar el recipiente contenedor, parte de la muestra se cae al suelo y se contamina.

❖ **Pérdida de muestra en el punto de recolección.**

Se confirmó el criterio del muestreo sesgado por manipulación humana, lo que impidió que la parte de la muestra contaminada formase parte del análisis de la determinación de calidad de caña, esto derivó en que la muestra disminuye su exactitud al representar el universo muestral, ya que hay una muestra sesgada.

6.1.3. Método de muestreo de caña con sonda oblicua (Core Sampler).

El método consistió en que el equipo de transporte debió estacionarse en el área bajo la plataforma donde se encontraba la sonda. El muestreo se hizo en la carga de caña de azúcar perforando de arriba hacia abajo con una inclinación de 55° (grados) en el plano horizontal proporcionando una recolección homogénea de muestras.

El punto a ser muestreado en el eje axial de la carga de la caña de azúcar estuvo definido por el posicionamiento de la propia carga bajo la sonda oblicua, mientras que el punto en el eje transversal de la carga fue definido por el desplazamiento del carro porta sonda sobre la carga de la caña de azúcar, dando posibilidad de escoger el centro, izquierda o derecha de la carga de caña, para extraer una muestra de 8-13 Kg por perforación, el ciclo de muestreo completo constó de 2 perforaciones a la carga de caña en el vagón.

En este método se realizaron 2 ciclos completos de muestreo, uno para obtener la muestra para análisis de materia extraña y la otra para análisis de la caña y su jugo.



Figura 6.3. Sonda oblicua perforadora para muestras de caña.

Fuente: Catálogo DEDINI.

La eficacia y eficiencia de este instrumento de evaluación, es más confiable cuando la caña es cosechada usando sistemas de corte manual que es más homogéneo (cañas largas) que la caña mecanizada (canutos de caña), debido a que este último sistema de corte proporciona una mayor cantidad de materia extraña.

6.1.3.1 Facilidad de operación.

Es una maquina diseñada para la extracción de muestras de caña, de modo que presentó muchas facilidades para realizar la tarea, cabe destacar que debe ser operada por un trabajador debidamente capacitado para el manejo del tablero de control de la máquina, pero al tratarse de un sistema semi automático, resulta muy intuitivo y la tarea de muestreo se vuelve muy fácil, reduciendo el error asociado a la habilidad y destreza del operario.



Figura 6.4. Sonda perforadora en acción, aplicada desde distintos puntos y a diferentes profundidades.

Fuente: Captura fotográfica propia.

6.1.4. Ventajas y desventajas del muestreo con sonda oblicua.

6.1.4.1. Ventajas.

- ❖ **Elimina el criterio del muestreo sesgado por manipulación humana.**
La sonda permitió mitigar el efecto de la manipulación humana dado que proveyó muestras más fáciles de manipular.
- ❖ **Elimina la pérdida de muestra al retirarla del punto de control.**
Se logró recolectar la muestra con mayor facilidad de manipulación. Debido a que la caña recolectada se acomodaba mejor en el recipiente contenedor y por ello se pudo eliminar la pérdida de muestra por exceso de la misma.
- ❖ **Aleatoriedad de los puntos de extracción de la caña.**
Con la sonda oblicua se logró obtener muestra de cualquier punto del vagón, pero se intentaba evitar los puntos muy cercanos a los bordes del vagón para evitar la fricción entre la sonda y el borde del mismo, debido que podía incurrir en daños materiales en ambos equipos de trabajo.
- ❖ **Profundidad de muestreo.**
La sonda oblicua permitió el incremento de la profundidad del muestreo para obtener muestras a 210 cm, que es el valor recomendado.
- ❖ **Confiabilidad en la composición de la carga de los vagones a niveles profundos.**
La muestra obtenida con la sonda oblicua fue más confiable, ya que brindó una muestra transversal del vagón a la profundidad deseada mostrando una composición de la carga más acertada que por alzada.

6.1.4.2. Desventajas.

- ❖ **Daño físico en la muestra.**
El daño físico fue de tipo desfibrado de caña y el valor promedio cuantificado fue de 20% en peso del valor inicial de la muestra extraída, provocando mayor derrame de jugo en la extracción. Por lo que se pudo observó mayor pérdida de jugo en comparación del método de alzada debido al daño físico.
- ❖ **Disminución de la eficiencia del análisis de materia extraña.**
Este método de muestreo retrasó el análisis de materia extraña, ya que los componentes minerales: tierra; y los componentes vegetales que resultaron muy dañados en la extracción de la muestra se mezclaron y se hizo difícil identificarlos y separarlos, aumentando el tiempo en que se realiza dicha operación.
- ❖ **Disminución de la eficiencia en el tiempo de operación.**
El tiempo de muestreo por sonda oblicua fue de 140 segundos, tiempo más prolongado en comparación del método de alzada por lo que el proceso de muestreo fue más lento y disminuyó la eficiencia del mismo.

❖ **Capacidad de extracción.**

Su capacidad de extracción promedio fue de 20.61 Kg siendo menor en comparación del método de alzada. Por ello se dio una disminución de la eficiencia del proceso de muestreo, ya que deben realizarse 2 ciclos de muestreo completo para obtener la cantidad necesaria para realizar los análisis.

6.2. Determinación de las propiedades de la caña de azúcar que definen su calidad en el proceso de producción de azúcar de acuerdo al método de muestreo aplicado vs variedad de caña de azúcar.

Se definió que las variables que determinaron la calidad de la caña fueron:

- ❖ **Materia extraña y sus componentes:** Este conjunto representó la cantidad y tipo de material perjudicial e indeseable para el proceso de determinación de la sacarosa disponible en la caña para el proceso de obtención de azúcar.
- ❖ **Brix, Pol Jugo, Pureza del jugo, Jugo%, Fibra% y Pol de la caña:** representaron el conjunto de valores que brindaron la información de interés sobre la calidad de los tallos molibles para el proceso fabril.

Los valores numéricos para cada variable se obtuvieron mediante el procedimiento descrito en la sección de diseño metodológico y se presentaron de forma resumida en las tablas en el ANEXO IV.

6.3. Factores o predictores categóricos que influyeron en los niveles de las variables que determinaron la calidad y rendimiento de la caña.

Para la determinación de los factores que influyeron en las variables dependientes: Materia extraña y sus componentes, Brix, Pol y Pureza del Jugo, Jugo%, Fibra%, Pol de la caña, se realizó un ajuste del “Modelo lineal general” con diseño de Bloques para cada variable dependiente.

Con el universo muestral reducido y llevado a cabo el bloqueo para cumplir con requisitos del modelo ANOVA DBCA, se introdujeron los datos a la interfaz del software MINITAB 19, en donde se ejecutó el procesamiento de los mismos. El software brindó como resultado la sección de tablas 6.2–6.20, en las cuales se muestran la información de los factores categóricos y su resumen de ANOVA para cada factor y su interacción entre sí.

En las tablas resumen de ANOVA, las columnas claves son: **Valor F**, **Valor F crítico** y **Valor P**. El criterio de decisión fue la comparación de los Valores F y F crítico, de ser mayor el valor F en relación al valor F crítico, se pudo interpretar que la prueba fue estadísticamente significativa para el factor evaluado. A su vez, si el Valor P correspondiente al factor en cuestión fue menor que el nivel de significancia de la prueba ($\alpha=0.05$), se puede decir que hubo suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa de la prueba asociada al factor.

De las tablas obtenidas y en base al criterio de decisión anteriormente descrito, se procedió a identificar y seleccionar las variables dependientes que presentaron influencia significativa causada por algún factor en el modelo, con la finalidad de ajustar el modelo y mejorar la precisión de la información que el mismo pudiese brindar.

De tal forma que, los factores que no contribuyeron con el modelo fueron retirados del mismo y se obtuvo la sección de tablas 6.22-6.36, en las cuales se muestran únicamente los factores que contribuyeron al modelo de las variables dependientes seleccionadas.

En esta sección se presentan las tablas resumen de ANOVA para las variables dependientes: “Componentes de la materia extraña (hojas, cogollos, mamones, lalas, corcho, cepas, raíces, caña seca, caña podrida y tierra), Materia extraña total, Pureza del jugo, Jugo%, Fibra%, Pol de la caña y Rendimiento”.

La información de los factores categóricos se puede apreciar en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Información de los factores para el modelo ANOVA

| Factor | Tipo | Niveles | Valores |
|-------------|------|---------|-------------------------------------|
| Bloque | Fijo | 3 | CP72-2086 CP73-1547 CP88-1165 |
| Tratamiento | Fijo | 2 | Alzada Sonda |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.2. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Hojas

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|-----------------------------|----|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.0781 | 0.03903 | 0.04 | 3.168 | 0.964 |
| Tratamiento | 1 | 0.1483 | 0.1483 | 0.14 | 4.02 | 0.712 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.1973 | 0.09867 | 0.09 | 3.168 | 0.913 |
| Error | 54 | 58.1079 | 1.07607 | | | |
| Total | 59 | 58.5316 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²=10.72% | | R² Ajustado=8.02% | | S=1.0373 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.3. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Cogollos.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.00471 | 0.002353 | 0.05 | 3.168 | 0.949 |
| Tratamiento | 1 | 0.20592 | 0.205915 | 4.56 | 4.02 | 0.037 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.10119 | 0.050596 | 1.12 | 3.168 | 0.334 |
| Error | 54 | 2.44008 | 0.045187 | | | |
| Total | 59 | 2.75189 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 11.33% | | R² Ajustado= 8.12% | | S= 0.2125 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.4. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Mamones

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.0137 | 0.006851 | 0.2 | 3.168 | 0.821 |
| Tratamiento | 1 | 0.27297 | 0.272972 | 7.87 | 4.02 | 0.007 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.02632 | 0.013159 | 0.38 | 3.168 | 0.686 |
| Error | 54 | 1.87194 | 0.034665 | | | |
| Total | 59 | 2.18493 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 14.33% | | R² Ajustado= 6.39% | | S= 0.1861 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.5. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Lalas.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.000111 | 0.000056 | 0.07 | 3.168 | 0.931 |
| Tratamiento | 1 | 0.001191 | 0.001191 | 1.53 | 4.02 | 0.221 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.000106 | 0.000053 | 1.23 | 3.168 | 0.263 |
| Error | 54 | 0.041955 | 0.000777 | | | |
| Total | 59 | 0.049364 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 15.01% | | R² Ajustado= 7.14% | | S= 0.0278 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.6. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Corcho.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|----------------------------|----|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.000123 | 0.000061 | 0.83 | 3.168 | 0.441 |
| Tratamiento | 1 | 0.000047 | 0.000047 | 0.64 | 4.02 | 0.428 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.000167 | 0.000083 | 1.13 | 3.168 | 0.330 |
| Error | 54 | 0.003981 | 0.000074 | | | |
| Total | 59 | 0.004318 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²=7.79% | | R² Ajustado=0.00% | | S=0.0085 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.7. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Cepas.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|-----------------------------|----|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.21690 | 0.10844 | 0.59 | 3.168 | 0.557 |
| Tratamiento | 1 | 1.07280 | 1.07284 | 5.85 | 4.02 | 0.019 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.09930 | 0.04967 | 0.27 | 3.168 | 0.764 |
| Error | 54 | 9.90960 | 0.18351 | | | |
| Total | 59 | 11.2987 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²=12.29% | | R² Ajustado=4.17% | | S=0.4283 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.8. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Raíces.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.000775 | 0.000387 | 1.96 | 3.168 | 0.151 |
| Tratamiento | 1 | 0.006264 | 0.006264 | 31.71 | 4.02 | 0.000 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.000251 | 0.000125 | 0.63 | 3.168 | 0.534 |
| Error | 54 | 0.010667 | 0.000198 | | | |
| Total | 59 | 0.017957 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 40.60% | | R² Ajustado= 35.10% | | S= 0.0140 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.9. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Caña Seca.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|----------------------------|----|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.000069 | 0.000035 | 0.01 | 3.168 | 0.990 |
| Tratamiento | 1 | 0.000504 | 0.000504 | 0.15 | 4.02 | 0.698 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.004283 | 0.002142 | 0.65 | 3.168 | 0.527 |
| Error | 54 | 0.178614 | 0.003308 | | | |
| Total | 59 | 0.183471 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²=2.65% | | R² Ajustado=0.00% | | S=0.9786 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.10. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Caña Podrida.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|-----------------------------|----|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.40560 | 0.20280 | 0.21 | 3.168 | 0.810 |
| Tratamiento | 1 | 8.2270 | 8.2270 | 8.59 | 4.02 | 0.005 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.46040 | 0.23020 | 0.24 | 3.168 | 0.787 |
| Error | 54 | 51.7229 | 0.95780 | | | |
| Total | 59 | 60.8159 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²=14.95% | | R² Ajustado=7.08% | | S=0.9786 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.11. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Tierra.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.01825 | 0.009124 | 1.02 | 3.168 | 0.368 |
| Tratamiento | 1 | 0.12717 | 0.127166 | 14.21 | 4.02 | 0.000 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.01655 | 0.008273 | 0.92 | 3.168 | 0.403 |
| Error | 54 | 0.48333 | 0.008951 | | | |
| Total | 59 | 0.64529 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 25.10% | | R² Ajustado= 18.16% | | S= 0.0946 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.12. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Materia Extraña Total.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.1129 | 0.05644 | 0.04 | 3.168 | 0.962 |
| Tratamiento | 1 | 8.2957 | 8.29569 | 5.7 | 4.02 | 0.020 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 1.1177 | 0.55884 | 0.38 | 3.168 | 0.683 |
| Error | 54 | 78.577 | 1.45513 | | | |
| Total | 59 | 88.1032 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 10.81% | | R² Ajustado= 2.55% | | S= 1.2062 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.13. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: PBU.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 3.561 | 1.781 | 0.15 | 3.168 | 0.863 |
| Tratamiento | 1 | 87.37 | 87.37 | 7.25 | 4.02 | 0.009 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 19.408 | 9.704 | 0.8 | 3.168 | 0.453 |
| Error | 54 | 651.19 | 12.059 | | | |
| Total | 59 | 761.53 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 14.49% | | R² Ajustado= 6.57% | | S= 3.4726 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.14. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Brix.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.4794 | 0.2397 | 1.01 | 3.168 | 0.370 |
| Tratamiento | 1 | 1.4216 | 1.4216 | 6.01 | 4.02 | 0.017 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.3765 | 0.1883 | 0.8 | 3.168 | 0.456 |
| Error | 54 | 12.7681 | 0.2364 | | | |
| Total | 59 | 15.0456 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 15.14% | | R² Ajustado= 7.28% | | S= 0.4862 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.15. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Pol Jugo.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.0545 | 0.02725 | 0.18 | 3.168 | 0.835 |
| Tratamiento | 1 | 2.8548 | 2.85477 | 18.97 | 4.02 | 0.000 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.2624 | 0.13121 | 0.87 | 3.168 | 0.424 |
| Error | 54 | 8.1273 | 0.15051 | | | |
| Total | 59 | 11.299 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 28.07% | | R² Ajustado= 21.41% | | S= 0.3879 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.16. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Pureza.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 3.4276 | 1.7138 | 2.65 | 3.168 | 0.080 |
| Tratamiento | 1 | 12.219 | 12.219 | 18.9 | 4.02 | 0.000 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.2859 | 0.1429 | 0.22 | 3.168 | 0.802 |
| Error | 54 | 34.9097 | 0.6465 | | | |
| Total | 59 | 50.8422 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 31.34% | | R² Ajustado= 24.98% | | S= 0.8040 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.17. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Jugo%.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.2053 | 0.1026 | 0.35 | 3.168 | 0.705 |
| Tratamiento | 1 | 1.665 | 1.665 | 5.71 | 4.02 | 0.020 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.248 | 0.124 | 0.43 | 3.168 | 0.656 |
| Error | 54 | 15.7456 | 0.2916 | | | |
| Total | 59 | 17.8638 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 11.86% | | R² Ajustado= 3.70% | | S= 0.5399 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.18. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Fibra%.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.13765 | 0.06882 | 1.09 | 3.168 | 0.344 |
| Tratamiento | 1 | 4.68246 | 4.68246 | 74.12 | 4.02 | 0.000 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.08626 | 0.04313 | 0.68 | 3.168 | 0.51 |
| Error | 54 | 3.41126 | 0.06317 | | | |
| Total | 59 | 8.31762 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 58.99% | | R² Ajustado= 55.19% | | S= 0.2513 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.19. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Pol de la caña.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 0.01135 | 0.005675 | 0.06 | 3.168 | 0.946 |
| Tratamiento | 1 | 0.7303 | 0.730295 | 7.09 | 4.02 | 0.010 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 0.13586 | 0.067931 | 0.66 | 3.168 | 0.521 |
| Error | 54 | 5.56116 | 0.102984 | | | |
| Total | 59 | 6.43867 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 13.63% | | R² Ajustado= 5.63% | | S= 0.3209 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.20. Resumen de ANOVA para la variable dependiente: Rendimiento.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Bloque | 2 | 1.135 | 0.5675 | 0.06 | 3.168 | 0.946 |
| Tratamiento | 1 | 73.03 | 73.0295 | 7.09 | 4.02 | 0.010 |
| Bloque*Tratamiento | 2 | 13.586 | 6.7931 | 0.66 | 3.168 | 0.521 |
| Error | 54 | 556.116 | 10.2984 | | | |
| Total | 59 | 643.867 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 13.63% | | R² Ajustado= 5.63% | | S= 3.2091 | | |

Fuente: MINITAB 19

En las de tablas anteriores se identificó que las variables dependientes: “Materia extraña Total y sus componentes (Cogollos, Mamones, Cepas, Raíces, Caña podrida y Tierra), PBU, Brix, Pol Jugo, Pureza del jugo, Jugo%, Fibra% y Pol de la caña”, se ven influenciadas de forma estadísticamente significativa y tienen en común que la fuente de donde proviene dicha influencia es el factor “Tratamiento”.

En la siguiente sección se presentan las tablas con los modelos ajustados para cada variable. La información del factor categórico se puede apreciar en la tabla 6.21.

Tabla 6.21. Información del factor para modelo ANOVA ajustado.

| Factor | Niveles | Valores |
|-------------|---------|-------------------|
| Tratamiento | 2 | Alzadora Sonda |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.22. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Cogollos

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 0.7303 | 0.7303 | 7.09 | 4.02 | 0.01 |
| Error | 54 | 5.5612 | 0.103 | | | |
| Total | 59 | 6.4387 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 17.48% | | R² Ajustado= 15.89% | | S= 0.2095 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.23. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Mamones

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 0.273 | 0.273 | 8.28 | 4.007 | 0.006 |
| Error | 58 | 1.912 | 0.033 | | | |
| Total | 59 | 2.1849 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 12.49% | | R² Ajustado= 10.98% | | S= 0.1815 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.24. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Cepas

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|-----------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 1.073 | 1.0728 | 6.09 | 4.007 | 0.017 |
| Error | 58 | 10.226 | 0.1763 | | | |
| Total | 59 | 11.299 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 9.50% | | R² Ajustado= 7.93% | | S= 0.4198 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.25. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Raíces

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 0.0063 | 0.0063 | 31.1 | 4.007 | 0.000 |
| Error | 58 | 0.0117 | 0.0002 | | | |
| Total | 59 | 0.018 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 34.89% | | R² Ajustado= 33.76% | | S= 0.0141 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.26. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Caña

Podrida

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 8.227 | 8.227 | 9.07 | 4.007 | 0.004 |
| Error | 58 | 52.589 | 0.9067 | | | |
| Total | 59 | 60.816 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 13.53% | | R² Ajustado= 12.04% | | S= 0.9522 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.27. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Tierra

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 0.1272 | 0.1272 | 14.2 | 4.007 | 0.000 |
| Error | 58 | 0.5181 | 0.0089 | | | |
| Total | 59 | 0.6453 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 19.71% | | R² Ajustado= 18.32% | | S= 0.0945 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.28. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente:

Materia Extraña Total

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|---------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 8.296 | 8.296 | 6.03 | 4.007 | 0.017 |
| Error | 58 | 79.808 | 1.376 | | | |
| Total | 59 | 88.103 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 29.42% | | R² Ajustado= 27.85% | | S= 1.1730 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.29. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: PBU.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 87.37 | 87.37 | 7.52 | 4.007 | 0.008 |
| Error | 58 | 674.16 | 11.62 | | | |
| Total | 59 | 761.53 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 11.47% | | R² Ajustado= 9.95% | | S= 3.4093 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.30. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Brix.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|-----------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 1.422 | 1.4216 | 6.05 | 4.007 | 0.017 |
| Error | 58 | 13.624 | 0.2349 | | | |
| Total | 59 | 15.046 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 9.45% | | R² Ajustado= 7.89% | | S= 0.4846 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.31. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Pol del Jugo Extraído.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 2.855 | 2.8548 | 19.61 | 4.007 | 0.000 |
| Error | 58 | 8.444 | 0.1456 | | | |
| Total | 59 | 11.299 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 25.27% | | R² Ajustado=23.98% | | S= 0.3815 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.32. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Pureza.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|-------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 12.22 | 12.219 | 18.35 | 4.007 | 0.000 |
| Error | 58 | 38.62 | 0.6659 | | | |
| Total | 59 | 50.84 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R² = 24.03% | | R² Ajustado=22.72% | | S= 0.8160 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.33. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Jugo%.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|-----------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 1.665 | 1.665 | 5.96 | 4.007 | 0.018 |
| Error | 58 | 16.199 | 0.2793 | | | |
| Total | 59 | 17.864 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 9.32% | | R² Ajustado=7.76% | | S= 0.5284 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.34. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Fibra%.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 4.682 | 4.68246 | 74.71 | 4.007 | 0.000 |
| Error | 58 | 3.635 | 0.06268 | | | |
| Total | 59 | 8.318 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 56.30% | | R² Ajustado=55.54% | | S= 0.2503 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.35. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Pol de la Caña.

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 0.7303 | 0.7303 | 7.42 | 4.007 | 0.009 |
| Error | 58 | 5.7084 | 0.09842 | | | |
| Total | 59 | 6.4387 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 11.34% | | R² Ajustado= 9.81% | | S= 0.3137 | | |

Fuente: MINITAB 19

Tabla 6.36. Resumen ANOVA ajustado para la variable dependiente: Rendimiento

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor F Crítico | Valor P |
|------------------------------|----|-------------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| Tratamiento | 1 | 73.03 | 73.03 | 7.42 | 4.007 | 0.009 |
| Error | 58 | 570.84 | 9.842 | | | |
| Total | 59 | 643.87 | | | | |
| Resumen del modelo | | | | | | |
| R²= 11.34% | | R² Ajustado=9.81% | | S= 3.1372 | | |

Fuente: MINITAB 19

Por medio del análisis estadístico ANOVA DBCA ajustado, se logró determinar el valor promedio de cada variable evaluada por tratamiento aplicado.

6.3.1 Factores categóricos o fuentes de variabilidad.

6.3.1.1 Bloque (Variedades de caña evaluadas).

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de las variables evaluadas, se puede afirmar con un nivel de confianza de 95% y una probabilidad de error de 5% que, el factor “Bloque” no influyó significativamente sobre los niveles de ninguna de las variables dependientes evaluadas.

Rodríguez (1983) afirma que la caña completa en su estado natural contiene de un 30 a un 45% de materia extraña que no conviene al proceso de fabricación. Esta materia extraña está relacionada directamente con la variedad, unas tienen follaje más denso que otras y éste se desprende con mayor o menor facilidad.

En contraste con el aporte del autor citado, las variedades evaluadas no presentaron diferencias significativas en el nivel evaluado, esto se debió a que las variedades elegidas para el análisis resultaron ser similares (Ver ANEXO I) y de existir diferencia numérica en sus valores promedio, esta fue menor al valor propuesto para el tamaño de efecto (0.2), por lo que no fue detectada. Cabe destacar que no se pudo proponer un tamaño de efecto más pequeño porque el tamaño muestral requerido era mucho mayor a las posibilidades de este trabajo.

6.3.1.2 Tratamiento (Forma de muestreo).

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de las variables: “Materia Extraña Total y sus componentes (Cogollos, Cepas, Raíces, Caña Podrida y Tierra), PBU, Brix, Pol Jugo, Pureza del jugo, Jugo%, Fibra %, Pol de la caña y Rendimiento”. Se puede afirmar con un nivel de confianza de 95% y una probabilidad error de 5% que, la variabilidad en los niveles de las variables mencionadas provino del factor categórico “Tratamiento”,

La diferencia existente entre los tratamientos estuvo relacionada con las características de la maquinaria observadas en el desarrollo de este trabajo, tales como:

❖ **Capacidad de extracción de caña.**

Por alzada en cada repetición se extrajo en promedio 34.69 Kg. En cambio, la sonda oblicua en 2 ciclos completos logró extraer 20.61 Kg.

❖ **Aleatoriedad de los puntos de extracción de la caña.**

Por alzada existió tendencia a extraer de la franja longitudinal del centro del vagón, aunque en ocasiones el muestreo estuvo limitado a extraer de puntos cercanos a los bordes del vagón por la altura del mismo. Por sonda oblicua se pudo escoger cualquier punto del vagón sin importar la altura del mismo.

❖ **Profundidad de extracción de caña.**

Por alzada la extracción fue superficial (40 cm). Por sonda fue ajustable al valor deseado (210 cm).

❖ **Daño físico a la caña extraída.**

Por alzada se cuantificó 8% en peso de daño físico en la carga extraída. En cambio, por sonda oblicua el valor del daño físico fue de 20% en peso.

Los valores promedio de las propiedades evaluadas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 6.37. Valores Promedio de las propiedades que determinan la calidad de la caña.

| Materia Extraña | Tratamiento | |
|----------------------------------|-------------|--------|
| | Alzada | Sonda |
| Cogollos | 1.6 | 1.48 |
| Mamones | 0.28 | 0.15 |
| Cepas | 1.4 | 1.67 |
| Raíces | 0.05 | 0.03 |
| Caña Podrida | 3.16 | 2.42 |
| Tierra | 0.14 | 0.05 |
| Materia Extraña Total | 11.13 | 10.39 |
| Propiedades de la caña y su jugo | Tratamiento | |
| | Alzada | Sonda |
| PBU | 140.87 | 138.45 |
| Brix | 19.48 | 19.17 |
| Pol Jugo | 16.74 | 16.30 |
| Pureza del jugo | 85.92 | 85.02 |
| Jugo% | 68.25 | 67.92 |
| Fibra% | 14.73 | 14.17 |
| Pol de la caña | 13.51 | 13.29 |

Fuente: Ingenio Monte Rosa

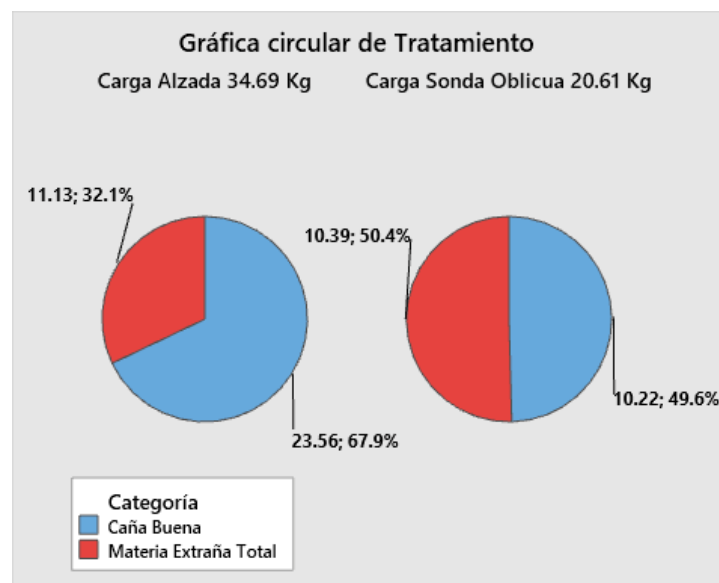
En la tabla 6.37 se puede apreciar que, debido a las características de cada tratamiento por alzada se obtuvieron promedios mayores de materia extraña total en comparación de la sonda oblicua. Sin embargo, a nivel de componentes la variable “Cepas” fue la excepción, este hallazgo es un indicador de que a nivel profundo en la carga de los vagones hubo mayor volumen de cepas en comparación de la superficie.

También se pudo agregar que los valores de las propiedades de la caña y su jugo fueron mayores por el tratamiento de alzada, derivando en que el valor calculado de Pol de la caña y posteriormente proyectado en Rendimiento sea mayor en dicho tratamiento.

Por su parte Rein (2012), aporta que el método de alzada o uñada conduce en general a un valor del contenido de sacarosa muy alto y de fibra muy bajo. Por lo que, ya no es usualmente utilizado y este sólo debería ser usado con tallos enteros de caña.

En referencia a la calidad de la caña, se encontró que el porcentaje en peso de materia extraña detectada con respecto al valor de carga de caña extraída por ciclo completo en el tratamiento por alzada y sonda oblicua fue de 32.1% y 50.4% respectivamente. (Ver figura 6.5). Ambos valores fueron comparados con los parámetros de la tabla 5.1 y coincidieron en que, el contenido de materia extraña fue “Indeseable”.

Figura 6.5. Gráfica de frecuencia y porcentaje de materia extraña total contenida en la carga promedio extraída por cada tratamiento.



Fuente: MINITAB 19

Sin embargo, la clasificación de la calidad de la caña en base al valor de Pol de la caña de ambos tratamientos, fue diferente que por cantidad de materia extraña. Ver tabla 5.1

Ante este escenario se tomó como referencia el valor de la Pol de la caña porque el cálculo de la misma incluyó los efectos de la materia extraña presente en las muestras extraídas. Los valores de Pol de la caña por alzada estuvieron dentro del rango de calidad “**Buena**”, en cambio la sonda oblicua estuvo en calidad “**Aceptable**”.

Para validar el criterio de la calidad basado en la Pol de la caña, se verificó el resultado por medio de la evaluación de la dispersión o heterogeneidad del lote, utilizando los valores promedio calculados para cada tratamiento para la variable Pol del Jugo Extraído y su desviación estándar.

Los valores utilizados para el cálculo de la heterogeneidad del lote por tratamiento aplicado se resumen en la tabla 6.38.

Tabla 6.38. Heterogeneidad del Lote por tratamiento aplicado.

| Datos | Alzada | Sonda |
|-----------------------|---------------|--------------|
| X Pol Jugo | 16.74 | 16.30 |
| S Pol J | 0.3655 | 0.3970 |
| Heterogeneidad | 2.1834 | 2.4354 |

Fuente: Elaboración Propia.

Los valores de heterogeneidad se compararon con los valores de referencia en la tabla 5.2 y ambos tratamientos coincidieron en que la dispersión del lote de caña fue “**Excelente**”

Este último resultado indica que en una corrida de 5 repeticiones los valores de Pol de la caña no experimentarían grandes variaciones en el lote evaluado, por ello la clasificación por medio de los valores de Pol de la caña son válidos y acertados.

Por lo que, se pudo afirmar que el tratamiento por sonda oblicua es más acertado y veraz para la tarea de clasificar la caña recepcionada en comparación del tratamiento por alzada.

6.4. Cálculo de los rendimientos proyectados de la caña de azúcar en el proceso de producción de azúcar en correspondencia con el método de muestreo de recepción aplicado.

Se calcularon los valores promedio de Pol de la caña y su desviación estándar para cada tratamiento aplicado y se proyectaron como Rendimiento utilizando la ecuación 10.9 en ANEXO II. Los resultados fueron resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 6.39. Rendimiento y desviación por tratamiento aplicado.

| Tratamiento | Rendimiento | S |
|-------------------------------------|--------------------|----------|
| Alzada | 135.1 | 2.9150 |
| Sonda | 132.9 | 3.3447 |
| Nota: S= Desviación Estándar | | |

Fuente: Elaboración Propia.

Para explicar de forma más clara y detallada el comportamiento del Rendimiento se decidió hacerlo de forma conjunta a la verificación de los factores que influyen sobre el mismo, ya que, se consideró que era la mejor forma de comprender como se vio afectado el valor del rendimiento por cada tratamiento aplicado.

6.5. Establecimiento de la existencia de diferencias significativas entre los valores promedios de las propiedades que determinan la calidad de la caña de azúcar según el método de muestreo de recepción de caña de azúcar aplicado.

6.5.1. Efecto sobre las variables dependientes que determinan la calidad de la caña de azúcar.

6.5.1.1. Materia Extraña y sus componentes.

Del análisis estadístico ajustado en la sección de tablas 6.22-6.28 correspondiente a los niveles de “Materia extraña y los componentes: Cogollos, Cepas, Raíces, Caña podrida, y Tierra”, se verificó que: **Existen diferencias estadísticamente significativas en los valores promedio de variables mencionadas y se puede afirmar con un nivel de confianza de 95% y una probabilidad de error de 5% que la variabilidad provino del factor: “Tratamiento” (Alzada y Perforación con sonda oblicua).**

La variabilidad en el contenido de materia extraña provino de “la diferencia en la capacidad de extracción de los equipos de muestreo, en combinación con la aleatoriedad de los puntos de donde se extrajo la carga y la profundidad de muestreo asociada a cada equipo de forma intrínseca”

Por alzada se extrajo 46.11% más carga de caña con respecto a la cantidad extraída por sonda oblicua luego de 2 ciclos completos. Generando una diferencia de carga promedio extraída de 14.4 Kg, esto ocasionó el incremento de 0.74% de materia extraña detectada por alzada en comparación del tratamiento de perforación con sonda oblicua.

Los componentes que destacaron por generar diferencias porcentuales en la composición de la carga extraída por tratamiento aplicado fueron: Cogollos 0.12%, Mamones 0.13%, Raíces 0.02%, Caña podrida 0.74% y Tierra 0.09%. A nivel de componente solo las Cepas generaron una diferencia de 0.27% mayor en el tratamiento por perforación con sonda oblicua.

Según Rivera & Chávez (2003), la perforación con sonda oblicua demuestra una mayor efectividad en la detección de materia extraña. Si en este trabajo los equipos de muestreo hubiesen extraído igual cantidad de caña del vagón, los resultados tendrían una tendencia a coincidir con lo descrito por los autores citados.

6.5.1.2. Brix, Pol del Jugo Extraído y Pureza.

Del análisis estadístico ajustado en la sección de tablas 6.30-6.32 correspondiente a los niveles de “Brix, Pol Jugo y Pureza del jugo”, se verificó que: **Existen diferencias estadísticamente significativas en los valores promedio de las variables mencionadas y se puede afirmar con un nivel de confianza de 95% y una probabilidad de error de 5% que la variabilidad provino del factor: “Tratamiento” (Alzada y Perforación con sonda oblicua).**

La variabilidad de los niveles de este conjunto de variables provino del daño físico a la carga de caña en el momento de la extracción, ello provocó la pérdida indeterminada de sacarosa por derrame del jugo de caña.

En el tratamiento por sonda se produjo 20% de daño físico con respecto al peso de la muestra extraída, el tipo de daño fue “desfibrado de caña”, esto ocasionó una reducción de masa de la muestra y a su vez derrame de jugo, este suceso derivó en un decrecimiento de Brix y Pol en la caña muestreada por pérdida indeterminada de sacarosa, afectando de forma negativa la pureza del jugo recolectado en el prensado de la muestra.

En contraste por alzada el nivel de daño físico fue de 8% de tipo “rajadura o seccionamiento de caña”, ocasionando que los canutos de caña se separasen en 2 o más partes, pero la pérdida de jugo no fue tan drástica como la observada en la sonda.

Según Monzón (2017), el daño físico en la caña puede causar un decrecimiento de la masa de la caña ocasionando una disminución del Brix del jugo de caña de 10% a 15% y al igual que la Pol de 15% a 20% haciendo que la pureza caiga de 2 a 3 unidades.

Habiendo descrito los efectos del daño físico presente en la carga de caña obtenida por cada tratamiento, se determinó que hubo una diferencia de 0.31%, 0.44% y 0.9% en los niveles de Brix, Pol del Jugo Extraído y Pureza respectivamente, reportando valores promedio mayores el tratamiento por alzada.

6.5.1.3. Jugo%.

Del análisis estadístico ajustado en la tabla 6.33 correspondiente a los niveles de “Jugo%”, se verificó que: **Existe diferencia estadísticamente significativa en los valores promedio de la variable mencionada y se puede afirmar con un nivel de confianza de 95% y una probabilidad de error de 5% que la variabilidad provino del factor: “Tratamiento” (Alzada y Perforación con sonda oblicua).**

La variabilidad en Jugo% provino del “porcentaje y tipo de daño físico” ejercido por cada tratamiento a la carga de caña extraída.

El daño físico causado por perforación con sonda oblicua dejó expuestas las celdas de material lignocelulósico que contienen el jugo de la caña. Debido a esto, el jugo se derramó. A su vez, la caña desfibrada se vio vulnerable previo a la etapa de picado, ya que la caña no ofreció resistencia al corte de las cuchillas de la picadora, por ello sufrió la compresión mecánica de las cuchillas y contra cuchillas de la misma, derramando jugo en esta etapa. También se vio afectada la extracción de jugo en la etapa de prensado, ya que se contaba con caña picada de menor contenido de jugo para ser extraído.

Por otra parte, el daño físico ocasionado por alzada fue de tipo “rajadura de caña”, de modo que, la carga de caña se vio afectada en menor grado, por ello la caña dañada por alzada entró y salió de la etapa de picado en mejores condiciones por lo que en el prensado de la misma se obtuvo 0.33 % mayor volumen de jugo extraído en comparación de la sonda oblicua.

6.5.1.4. Peso de Bagazo Húmedo (PBU) y Fibra%.

Del análisis estadístico ajustado en las tablas 6.29 y 6.34 correspondiente a los niveles de “PBU y Fibra%”, se verificó que: **Existen diferencias estadísticamente significativas en los valores promedio de las variables mencionadas y se puede afirmar con un nivel de confianza de 95% y una probabilidad de error de 5% que la variabilidad provino del factor: “Tratamiento” (Alzada y Perforación con sonda oblicua).**

La variabilidad de este conjunto de variables provino de la diferencia en la cantidad de materia extraña presente en la carga de caña extraída por cada tratamiento aplicado.

El tratamiento por alzada presentó mayor cantidad de materia extraña debido a que extrajo mayor volumen de caña en comparación del tratamiento de perforación con sonda oblicua. En consecuencia, ocurrió un incremento de 2.41g del valor del PBU de la torta resultante del prensado y ello derivó en un incremento de 0.56% del valor de Fibra%.

Larrahondo y Domínguez (1988) y CENICAÑA (1995) encontraron en estudios de laboratorio realizados en Colombia, en los cuales adicionaron fracciones de

materia extraña formadas por hojas (20% a 40%), cogollos (45% a 50%), suelo (10% a 15%) y mamones (5%), que la presencia de un 1% de materia extraña (en peso) ocasionó descensos entre 0,13% y 0,17% en el Pol y aumentos entre 0,2% y 0,3% en la fibra (% caña).

Por su parte Legendre (1990), indica que una materia prima que posea un 10% de materia extraña compuesta por 60% de cogollo y 40% de hojas secas, ocasiona un incremento de fibra del 1,8%.

6.6. Verificación de los factores que influyen sobre la variable dependiente: Pol de la caña y Rendimiento.

6.6.1. Pol de la caña y su proyección en Rendimiento.

Del análisis estadístico ajustado en las tablas 6.35 y 6.36 correspondiente a los niveles de “Pol de la caña y Rendimiento”, se verificó que: **Existen deferencias estadísticamente significativas en los valores promedio de las variables mencionadas y se puede afirmar con un nivel de confianza de 95% y una probabilidad de error de 5% que la variabilidad provino del factor: “Tratamiento” (Alzada y Perforación con sonda oblicua).**

La variabilidad de la “Pol de la caña” provino de las características de los equipos de muestreo para realizar la extracción de la caña en cada tratamiento aplicado, que fueron: capacidad de extracción, aleatoriedad y profundidad del muestreo, dado que estas causaron diferencias en la cantidad de carga extraída, la composición de la muestra y el daño físico que recibió la misma durante la extracción , provocando la variabilidad de los niveles de: Materia extraña y sus componentes, Brix, Pol del Jugo Extraído, Pureza, Jugo%, Fibra%.

Para poder comprender el comportamiento de la “Pol de la caña”, hubo que observar el efecto que provocó cada tratamiento en los valores de las variables implicadas en el cálculo de la misma. Ver ecuación 10.8 en el ANEXO II.

Por alzada se incrementó la materia extraña en 0.74% y el efecto fue el incremento de 2.41 gramos de PBU, derivando en el incremento de Fibra% de 0.56%. En cambio, por perforación con sonda oblicua hubo un incremento del daño físico de 12% en la carga de caña, ello produjo pérdida indeterminada de sacarosa por el derrame de jugo ocasionando una diferencia en volumen de Jugo% de 0.33% y el efecto fue que hubo decrecimiento de Brix y Pol del Jugo Extraído de 0.31% y 0.44% respectivamente, ocasionando directamente una caída de Pureza en el jugo recolectado de 0.9%.

La clave estuvo en interpretar que el tratamiento por sonda afectó los niveles de la variable Pol del Jugo Extraído que fue la más sensible en el cálculo de la Pol de la caña y por ello el valor promedio de esta última fue menor en el tratamiento por perforación con sonda oblicua en comparación del tratamiento por alzada.

De esta forma se logró evidenciar que existe una diferencia de la Pol de la caña de 0.22 gramos de sacarosa disponible en la caña entre los tratamientos aplicados y al proyectarse en Rendimiento la diferencia fue de 2.21 Kg/Ton de caña.

6.6.2. Diseño Central Compuesto y Optimización del proceso de muestreo de recepción de caña.

De las variables seleccionadas para el DCC, las variedades de caña fueron excluidas del diseño porque no presentaron influencias en el nivel evaluado. Además, la pureza del jugo destacó por su dificultad de proveer valores fijos para los niveles del diseño (alto, medio y bajo), ya que, es un valor real, en el sentido que no se pudo influenciar su nivel de manera controlada, sino que es un valor resultado de la relación porcentual entre Brix y Pol Jugo, de tal forma que, aunque el nivel de la materia extraña fue controlado, no garantizó que el valor de pureza se mantuviese fijo en correspondencia. Causando que la corrida experimental fuese una repetitiva y ardua tarea para obtener los datos necesarios e introducirlos en la matriz de diseño.

Esta característica de la variable predictora Pureza del jugo, en conjunto a las limitaciones que presentó el trabajo, específicamente la escasez caña en el último mes, imposibilitó poder obtener los datos necesarios para construir la matriz de diseño completa.

Ante este escenario se intentó hacer un ajuste de los datos, de tal forma que, las muestras que tuvieron niveles de materia extraña controlados tuvieron asociado valores de pureza dispersos, por lo que se realizó una tabla de frecuencia con ellos, donde los datos fueron clasificados en intervalos de clase, de modo que el intervalo que contuvo la media aritmética, representó una nube central de puntos y allí, se identificó el valor que tuvo tendencia de “mediana y moda” para que representase numéricamente el nivel medio en la matriz, así podrían parearse con la distancia “Alpha (α)” del diseño y ejercer la función de puntos axiales en el DCC.

A su vez este procedimiento permitiría que los intervalos superiores e inferiores alejados por una distancia numérica de interés de la nube de puntos central proveyesen nubes de puntos, donde se pudiese identificar valores moda en cada una de ellas y representasen el nivel alto y bajo respectivamente en la matriz y ejercieran la función de puntos de cubo del diseño. Con los valores de puntos de cubo y axiales establecidos, el valor del punto central estaría sobre determinado en (0,0).

El problema encontrado aquí fue que la moda de cada nube de puntos (alto, medio y bajo) no contó con las suficientes repeticiones para la construcción de la matriz completa, por lo tanto, el diseño estaba incompleto, por lo que, se hizo uso de la flexibilidad que ofrece el DOE de superficies de respuesta para realizar un análisis fraccionado, de modo que el diseño fraccionado permitiría realizar el análisis con menor número de puntos que el diseño completo.

El diseño fraccionado presentó resultados poco explicables, debido a que un diseño fraccionado tiende a confundir parte de los efectos principales y las interacciones de 2 factores y no se pueden separar de los efectos de otras interacciones de orden superior. (Soporte de MINITAB 19). Este hecho pudo haber dado lugar a realizar inferencias erróneas, ya que se le hubiese dado significancia estadística a algún que factor que no la tuviese o restar importancia a uno que si, por lo que se descartaron los resultados.

Sin embargo, se dejó planteado el DCC para que el área de laboratorio de caña pudiese obtener los datos precisos que establece la matriz del diseño y de esta forma se pudiese obtener ecuaciones de regresión que permitieran predecir el comportamiento de la variable respuesta Rendimiento con precisión y certeza. Este hecho permitiría que se pudiese optimizar el proceso de muestreo recepción de caña al maximizar el Rendimiento.

6.7. Evaluación de los costos totales de la implementación de cada método de muestreo de recepción de caña de azúcar.

Se realizó la evaluación de costos con el propósito de que sirvieran como criterio de evaluación financiera en la toma de decisión para seleccionar el método de muestreo de recepción óptimo desde el punto de vista técnico-económico, de modo que brindara los mayores beneficios y menores costos para su implementación.

6.7.1 Procedimientos para la determinación de los costos de muestreo de recepción de caña de azúcar.

6.7.1.1. Determinación de los Costos de Operación y Mantenimiento de los equipos de muestreo de recepción de caña de azúcar.

La información para calcular los valores del costo de operación y mantenimiento, al igual que el costo inicial de los equipos fue facilitado por el área de laboratorio de caña del Ingenio Monte Rosa

El costo de operación y mantenimiento se determinó conforme la siguiente ecuación:

$$CMO = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (6.1)$$

Donde:

C1 - Representa el costo de mano de obra: Estuvo constituido por los salarios que devengó el personal: calificado y no calificado, que trabajó directamente en el proceso de recepción de caña de azúcar: jefe del área, supervisores y el personal de operación en general. Ver detalles en la tabla 10.24 en el ANEXO VII.

C2 - Representa el costo del combustible: Estuvo constituido por el consumo de combustible y el costo de transportarlo hasta las instalaciones de la empresa. Cabe resaltar que el equipo alzadora, fue el único que uso combustible en el proceso de muestreo de recepción y se pagó un valor de alquiler a un tercero en

término de hora de uso del equipo, que incluyó el costo y transporte del combustible y a su vez la depreciación del equipo.

Para el cálculo se determinaron las horas acumuladas en horómetro por zafra y se multiplicó por el valor pagado por hora de uso del equipo. Ver detalles en la tabla 10.25 en el ANEXO VII.

C3 - Representa el costo de electricidad: Estuvo constituido por el consumo de energía eléctrica en calidad de potencia consumida por la maquinaria, equipos y accesorios y servicios auxiliares de la administración del proceso de producción. Ver detalles del cálculo de consumo y costo energético en las tablas 10.26 y 10.27 en el ANEXO VII.

C4 - Representa el costo del agua: Estuvo constituido por la cantidad de agua en metros cúbicos que se utilizó en las instalaciones del laboratorio de caña. Se calculó el agua que fue necesaria para el proceso de muestreo de recepción y se multiplicó por la tarifa de consumo unitario establecida por la empresa prestadora del servicio de abastecimiento de agua. Ver detalles en la tabla 10.28 en el ANEXO VII.

C5.- Representa el costo de mantenimiento de maquinarias, equipos y accesorios: Estuvo constituido por los costos correspondientes al consumo de aceites, lubricantes, repuestos, refacciones y partes, que utilizan los distintos equipos del área de recepción de caña de azúcar directamente relacionados al proceso de muestreo de recepción.

El valor de este costo fue facilitado por el laboratorio de caña para ambos equipos y es un valor presupuestado para cubrir mantenimiento preventivo e imprevisto. Los valores son de \$ 19,000 y \$ 30,000 dólares anuales para Alzadora y Core Sampler respectivamente.

6.7.2 Depreciación y Amortización de los equipos de muestreo de recepción.

La depreciación fue impositiva y siguió el método de línea recta, de forma que el valor de la tasa establecida según la Ley de Concertación Tributaria es de 10% del valor inicial del equipo, clasificado como Maquinaria y Equipo y catalogado como "Bien inmóvil". La información necesaria para determinar el valor inicial de los equipos de muestreo de recepción, incluyendo todos sus elementos fue facilitada por el laboratorio de caña. Ver detalles del cálculo de depreciación y período de recuperación en las tablas 10.29 y 10.30 en el ANEXO VII.

6.7.3. Resumen de Costo Total de Mantenimiento y Operación por tratamiento aplicado.

La información del costo total por zafra para cada tratamiento aplicado se resume en las siguientes tablas.

Tabla 6.40. Costo Total del muestreo de recepción por zafra utilizando el equipo Alzadora

| Concepto | Costo (Dólar/ Zafra) |
|------------------------------|-----------------------------|
| Mano de obra | \$ 39,183.87 |
| Electricidad | \$ 26,956.84 |
| Combustible | \$ 22,847.61 |
| Agua | \$ 164.48 |
| Mantenimiento | \$ 19,000.00 |
| Depreciación | --- |
| Costo Total por Zafra | \$ 108,152.80 |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6.41. Costo Total del muestreo de recepción por zafra utilizando el equipo Core Sampler

| Concepto | Costo (Dólar/ Zafra) |
|------------------------------|-----------------------------|
| Mano de obra | \$ 36,907.47 |
| Electricidad | \$ 32,343.28 |
| Combustible | --- |
| Agua | \$ 164.48 |
| Mantenimiento | \$ 30,000.00 |
| Depreciación | \$ 22,300.00 |
| Costo Total por Zafra | \$ 121,715.23 |

Fuente: Elaboración Propia.

VII. CONCLUSIONES.

Al finalizar el estudio sobre la determinación de la influencia de los métodos de muestreo de recepción y variedades de caña de azúcar en su calidad y rendimiento del proceso de producción de azúcar en el ingenio Monte Rosa durante la zafra 2017-2018 se plantean las siguientes conclusiones.

El factor "Tratamiento" fue el único que influyó sobre los niveles de las variables: Materia Extraña Total y sus componentes (Cogollos, Mamonos, Cepas, Raíces, Caña podrida y Tierra), PBU, Brix, Pol del Jugo Extraído, Pureza, Jugo%, Fibra%, Pol de la caña y Rendimiento.

De modo, que el tratamiento de perforación con sonda oblicua brindó valores promedio menores en los grupos de las variables evaluadas a excepción de Cepas, en comparación con el tratamiento por alzada. Sin embargo, el tratamiento de perforación con sonda oblicua permitió extraer muestra de forma transversal a lo largo del vagón seleccionado, acción que en conjunto con la interpretación y explicación de los resultados y su posterior comparación con los valores estándares de calidad de la caña, se obtuvo la claridad necesaria para afirmar con criterio que el tratamiento de perforación con sonda oblicua proveyó información más veraz, objetiva y confiable. Por ello, este es un mejor método para evaluar la calidad y rendimiento de la caña en comparación del tratamiento por alzada.

En contraste, la información proveída por el método de alzada se tradujo en resultados contradictorios y cuestionables, dejando al descubierto que este es un mal método de recepción para evaluar la calidad y rendimiento de la materia prima. Debido a que el muestreo por alzada fue superficial y se desconoció el contenido del fondo del vagón seleccionado. Y aunque por alzada se detectó 0.74% más cantidad de materia extraña esto sucedió debido a que la carga extraída promedio por alzada 34.69 Kg fue mayor en comparación con la perforación con sonda oblicua 20.61 Kg, ello provocó que la clasificación de la calidad de la caña por alzada no fuese acertada y que el rendimiento tuviese tendencia de presentar niveles altos, datos que no tienen correspondencia con la calidad y rendimiento real de la caña que ingresa a la fábrica.

Por otro lado, el comparativo del costo de operación y mantenimiento del proceso de muestreo de recepción reveló que el método de muestreo por alzada fue más económico, permitiendo ahorrar \$13,562.43 dólares por zafra en comparación del método de perforación con sonda oblicua. Sin embargo, el área de laboratorio de caña debe tomar conciencia al momento de elegir el método de muestreo de recepción que establecerá en su proceso productivo, dado que el método por alzada no garantiza resultados confiables.

VIII. RECOMENDACIONES.

Es importante que el área de laboratorio de caña del ingenio Monte Rosa pueda mejorar su proceso de muestreo de recepción de caña y así poder obtener resultados confiables, para ello puede tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ❖ Implementar el uso de la sonda oblicua de perforación como forma de muestreo de recepción de caña. Con la finalidad de obtener resultados objetivos y confiables.
- ❖ Realizar un cambio de accesorios en el cuerpo de la sonda oblicua, específicamente la corona, ya que sería una forma de reducir el daño físico y su impacto sobre la muestra extraída.
- ❖ Aumentar la cantidad de perforaciones del ciclo de muestreo, con el objetivo de extraer mayor cantidad de caña, para mejorar la representatividad de la muestra con respecto al universo muestral.
- ❖ En caso de no poder llevar a cabo la recomendación anterior debido al aumento en el tiempo de muestreo que ello implica, realizar ajustes en los sensores de la sonda con el objetivo que la misma logre perforar a mayor profundidad, de esta forma extraer mayor cantidad de caña en cada perforación del ciclo de muestreo.
- ❖ Evaluar económicamente la anexión de un sistema de transporte automatizado para las muestras de caña extraída por el método de muestreo por perforación con sonda, permitiendo la unión de la salida de la caña extraída de los vagones con la entrada de las picadoras de caña. Esto con el objetivo de eliminar el contacto de la muestra con los operarios y de esta forma reducir el error muestral producido por la manipulación humana de la muestra y acabar con los prejuicios que dicha acción implica.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

- A., L. F. (1983). La calidad de la caña de azúcar que entra en la fabrica con relacion a la cosecha mecanizada. *Sugar Journal*, 3. Recuperado el 13 de Marzo de 2018
- A., L. F., & Arias, R. (1997). Los distintos componentes de la materia extraña y como afectan el trabajo de los ingenios. *Sugar Journal*, 60, 25-31. Recuperado el 13 de Marzo de 2018
- Chen, J. C. (1977). *Manual del azúcar de caña. Para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados* (Año 2000 ed., Vol. 1). Limusa, Noriega Editores. Recuperado el 12 de febrero de 2018
- Hugot, E. (1986). *Manual de ingeniería de caña de azúcar*. Elsevier. Recuperado el 12 de Febrero de 2018
- Palacio, E. (1986). Factores que inciden en la fabricacion del azúcar. *TECNICAÑA*, 403-417.
- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. BARTENS. Recuperado el 10 de Febrero de 2018

CITAS WEB.

- Anonimo. (2018). *Blog de estadística*. Obtenido de dm.udc.es/asignaturas/estadistica2/sec5_2.html
- Bustamante, J. F. (2015). La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la produccion de panela. Caso Nordeste del Departamento de Antioquia. Medellin, Colombia. Recuperado el 12 de Marzo de 2018, de www.panelamonitor.org/documents/1101/la-cana-de-azucar...para-la.../download/
- Cardona, M. O. (2012). Comparacion de cinco metodos analiticos para determinar la calidad de la caña de azúcar. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 22 de Mayo de 2018
- Careaga, M. G. (Mayo de 2015). *Revistas Bolivianas*. Recuperado el Octubre de 2018, de [www.revistasbolivianas.org.bo › scielo](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo)
- Carta trimestral 3 y 4. (2005). *CENICAÑA*. Recuperado el 17 de Febrero de 2018, de www.CENICAÑA.org
- Chamo, J. A. (2004). Evaluacion de veinte metodos de estimacion de la produccion de caña en pie de unidades experimentales en ensayos de caña de azúcar (*Saccharum sp*). Guatemala. Recuperado el 3 de Marzo de 2018, de biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2130.pdf

- Cobeña, J., & Chavez, I. (2016). Caracterización físico-química del jugo de cinco variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la hacienda El Jardín. *ESPAMMFL (Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López)*. Recuperado el 17 de Febrero de 2018, de repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/264/1/TAI105.pdf
- Ixtapa, J. (2014). Comparación de métodos de muestreo para la detección de materia extraña en caña de azúcar, previo al procesamiento industrial; Ingenio Magdalena. *Universidad Rafael Landívar*. Obtenido de recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/17/Ixtapa-Jorge.pdf
- Larrahondo, J. (1995). *Calidad de la caña de azúcar*. Colombia, Cali: CENICAÑA. Recuperado el 1 de Febrero de 2018, de http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriadados/libro...cana/libro_p337-354.pdf
- Larrahondo, J. (s.f.). *CENICAÑA ATACORI*. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de Composición química de la caña de azúcar y determinación de la sacarosa en proceso azucarero: <https://es.scribd.com/document/375325034/Jesus-Larrahondo-ATACORI-2017-0111134322>.
- Orozco, C. C. (2014). *Repositorios IIDCA*. Recuperado el 07 de Junio de 2018, de Productividad de las variedades Cp88-1165, Cp73-1547 y Cp72-2086: www.repositorio.usac.edu.gt > ...
- Rivera, D., & Chaces, M. (2003). Determinación de los contenidos de materia extraña en las entregas comerciales de caña de azúcar (*Saccharum Spp*) en Hacienda Juan Viñas S.A., Costa Rica. *DIECA (Dirección de Investigación y Extensión de la caña de azúcar)*. Recuperado el 4 de Febrero de 2018, de <https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=2521&d...>
- [statistics/doe/how-to/response-surface/create-response-surface-design/create-central-composite-design/before-you-start/example/](https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet?c=443&s=2521&d...)

ENTREVISTA

- Monzon, O. (Febrero de 2018). Heterogeneidad de la caña de azúcar y su relación con la determinación de la calidad de la misma. (D. R. Somarriba, Entrevistador)
- Monzon, O. (Febrero de 2018). Muestreo de caña de azúcar vía mecánica. (D. R. Somarriba., Entrevistador)

X. ANEXOS.

ANEXO I. VARIEDADES DE CAÑA SELECCIONADAS.

Las variedades CP 72-2086, CP73-1547 y la CP88-1165 se encuentran sembradas en un porcentaje de 31.5, 22, 19 respectivamente para cada variedad antes mencionada, son variedades de muy buen tonelaje y altas productoras de azúcar.

A un nivel comercial han logrado alcanzar una gran preferencia debido a sus altos tonelajes en el campo y elevadas producciones de azúcar en la fábrica (CENICAÑA, 2002). Aunque hay que tomar en cuenta que va de la mano con el manejo que se les dé a la mismas, hay que considerar el control de malezas, el riego, programas de fertilización y un buen control de plagas (Solares, 2011).

Características generales.

1. Variedad CP72-2086.

Surge de la cruce de las variedades CP62-374 y CP63-588 y posee características generales de aspecto tales como:

- ❖ Poco deshoje natural.
- ❖ Hábito de crecimiento de tallos semi erecto.
- ❖ Cantidad de follaje intermedio.

2. Variedad CP88-1165.

Surge de la cruce de las variedades CL61-620 y CP81-1302 y posee características generales de aspecto tales como:

- ❖ Regular deshoje natural.
- ❖ Hábito de crecimiento de tallos semi erectos.
- ❖ Follaje escaso.

3. Variedad CP73-1547.

Surge de la cruce de las variedades CP66-1043 y CP56-63, y posee características generales de aspecto tales como:

- ❖ Regular deshoje natural.
- ❖ Hábito de crecimiento de tallos semi abiertos.
- ❖ Regular cantidad de follaje.
- ❖ Cogollo largo.

ANEXO II. ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE LA CAÑA DE AZÚCAR.

Se aplicaron los procedimientos y ecuaciones propuestas por el sistema CONSECAN - SP.

Pol Jugo o Pol del Jugo.

Es la Pol de los jugos de caña de azúcar obtenidos por el cálculo de la ecuación:

$$\text{Pol Jugo} = \text{LPol} * (0.2605 - 0.0009882 * \text{Brix}) \quad (10.1)$$

Donde:

L. Pol = Valor de lectura estable de Pol en el polarímetro.

Brix = Valor de lectura de Brix tomada mediante un refractómetro.

Peso de bagazo Húmedo – (PBU).

Es el peso de la torta compuesta principalmente por fibra húmeda de caña, resultante de la extracción de jugos de caña de azúcar por prensado de caña a escala de laboratorio.

Se calcula mediante la Ecuación 10.3:

$$m_2 = m_1 - (\text{Torta} + \text{Tare}) \quad (10.2)$$

m_2 = Peso del jugo extraído

(Torta + Tare) = Peso obtenido al pesar la torta resultante del prensado más el recipiente que contiene la torta al transportarla de la prensa hacia la balanza.

$$\text{PBU}(\text{Torta}) = m_1 - (m_2 + \text{Tare}) \quad (10.3)$$

Donde:

m_1 = Peso de la muestra. 500 gramos.

Tare = Peso del recipiente que trasportará la muestra m_1 hacia la prensa.

m_2 = Peso del jugo extraído en el prensado.

Pureza.

La pureza real representa el contenido de sacarosa expresado como porcentaje de la sustancia seca o el contenido de sólidos disueltos. Los sólidos comprenden el azúcar y no-sacarosas tales como invertidos, cenizas y elementos colorantes.

Se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Pureza} = \frac{\text{Pol Jugo}}{\text{Brix}} * 100 \quad (10.4)$$

Donde:

Pol Jugo= Valor calculado mediante la Ecuación 10.1.

Brix = Valor de lectura de Brix tomado mediante un refractómetro.

Jugo Porcentual.

Es el valor obtenido en porcentaje en peso del jugo obtenido en la etapa de prensado de caña a escala de laboratorio.

Se determina con la ecuación:

$$\text{Jugo}\% = \frac{(m - \text{PBU}) * 100}{m} \quad (10.5)$$

Si $m = 500 \text{ g}$. Entonces la ecuación queda de la forma:

$$\text{Jugo}\% = \frac{500 - \text{PBU}}{5} \quad (10.6)$$

Donde:

m= Peso de la muestra. 500 gramos.

PBU= Peso de la torta compuesta por Fibra húmeda de caña.

Fibra Porcentual.

Estructura fibrosa insoluble seca de la caña. Generalmente es referida a todo el material insoluble que llega con la caña a la fábrica, incluyendo por lo tanto el suelo u otra materia extraña insoluble en caña. (Rein, 2012, pág. 33)

La Fibra% se obtiene mediante la ecuación:

$$\text{Fibra}\% = (0.08 * \text{PBU} + 0.876) \quad (10.7)$$

Donde:

PBU= Peso de la torta compuesta por Fibra de caña.

Pol de la Caña.

Es la cantidad real de sacarosa que contiene la caña.

Se determina mediante la ecuación:

$$\text{PC} = \text{Pol Jugo} * (1 - 0.01 * \text{F}\%) * (1.0313 - 0.00575 * \text{F}\%) \quad (10.8)$$

Donde:

F%= Valor de Fibra% calculado mediante Ecuación 10.7.

Pol Jugo= Valor calculado mediante Ecuación 10.1

Rendimiento de la caña.

Es el valor de sacarosa real que contiene la caña, calculado a escala de laboratorio y proyectado a escala industrial. Este valor no refleja factores de pérdidas de sacarosa existentes a lo largo del proceso fabril. Sin embargo, es importante porque brinda referencia para las operaciones de campo y fabriles.

Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = (\text{PC} * 10) \quad (10.9)$$

Donde:

PC= Pol de la Caña

ANEXO III. MATERIALES Y USO.

Tabla 10.1. Materiales y Usos.

| Materiales | Uso |
|---|---|
| Equipos de protección personal <ul style="list-style-type: none"> ❖ Lentes claros ❖ Orejeras ❖ Guantes de nitrilo ❖ Bata | Son necesarios debido a exposición a partículas suspendidas en el aire, altos niveles de ruido y agentes químicos |
| Equipos mecánicos <ul style="list-style-type: none"> ❖ Alzadora ❖ Core Sampler ❖ Picadora ❖ Homogeneizador ❖ Prensa Hidráulica ❖ Tazón de precisión horadado ❖ Agitador mecánico | Son necesarios para llevar a cabo el proceso de muestreo, preparación de la caña. |
| Equipos Analíticos <ul style="list-style-type: none"> ❖ Balanzas analíticas de precisión ❖ pH metro ❖ Refractómetro digital ❖ Polarímetro ❖ Pc equipado con software para cálculos | Son necesarios para realizar las mediciones de las propiedades de la caña. |
| Reactivos <ul style="list-style-type: none"> ❖ Agua ❖ Agua Destilada ❖ Agente clarificante OCTAPOL ❖ Hipoclorito de sodio | El agua común es utilizada para lavar o enjuagar materiales de utilería, el agua destilada para limpieza de materiales de laboratorio y equipos analíticos, El OCTAPOL para clarificar jugos de caña. |
| Materiales de laboratorio <ul style="list-style-type: none"> ❖ Vasos de precipitado de 250 mL plásticos y de vidrio ❖ Embudo ❖ Pizeta ❖ Vasos de muestras. ❖ Papel filtro Whatman 91 o su equivalente ❖ Papel toalla | Son necesarios para mediciones de volúmenes líquidos de muestras, aforos, filtraciones, contenedores de muestras y material de limpieza. |
| Utilería <ul style="list-style-type: none"> ❖ Baldes ❖ Bandejas ❖ Hilaza ❖ Sección longitudinal de barril plástico ❖ Barril de desechos | Los materiales de utilería se usan para poder llevar a cabo acciones que requieren de material de apoyo que no son equipos, material de laboratorio o reactivos. |

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO IV. DATOS PARA ANOVA DBCA

Tabla 10.2. Datos de la variable Hojas para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| Muestreo Alzada | 5.33 | 6.64 | 5.97 |
| | 5.02 | 4.68 | 5.57 |
| | 5.38 | 6.88 | 6.30 |
| | 3.00 | 3.33 | 3.07 |
| | 4.36 | 3.00 | 3.40 |
| | 3.31 | 4.82 | 4.98 |
| | 3.06 | 4.65 | 4.04 |
| | 3.04 | 3.42 | 3.37 |
| | 4.60 | 3.74 | 2.96 |
| | 5.53 | 3.34 | 4.61 |
| | Muestreo Core Sampler | 6.32 | 4.94 |
| 4.54 | | 4.33 | 4.67 |
| 5.15 | | 4.35 | 4.61 |
| 6.05 | | 4.84 | 5.48 |
| 4.56 | | 5.82 | 4.62 |
| 4.43 | | 4.80 | 4.59 |
| 3.42 | | 3.66 | 4.96 |
| 3.65 | | 3.93 | 3.90 |
| 3.43 | | 4.21 | 3.78 |
| 3.64 | | 4.19 | 3.26 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.3. Datos de la variable Cogollos para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| Muestreo Alzada | 1.78 | 1.60 | 1.28 |
| | 1.55 | 1.63 | 1.93 |
| | 1.89 | 1.88 | 1.58 |
| | 1.59 | 1.33 | 1.51 |
| | 1.61 | 1.25 | 1.47 |
| | 1.45 | 1.50 | 1.45 |
| | 1.73 | 1.47 | 1.52 |
| | 1.72 | 1.64 | 1.59 |
| | 1.71 | 2.24 | 1.46 |
| | 1.62 | 1.37 | 1.67 |
| | Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 |
| 1.21 | | 0.95 | 1.27 |
| 1.68 | | 1.53 | 1.58 |
| 1.35 | | 1.34 | 1.42 |
| 1.31 | | 1.52 | 1.48 |
| 1.54 | | 1.53 | 1.36 |
| 1.39 | | 1.42 | 1.31 |
| 1.23 | | 1.55 | 1.95 |
| 1.79 | | 1.54 | 1.58 |
| 1.46 | | 1.59 | 1.86 |
| 1.48 | | 1.88 | 1.42 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.4. Datos de la variable Mamonos para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.59 | 0.53 | 0.39 |
| | 0.45 | 0.52 | 0.37 |
| | 0.75 | 0.64 | 0.46 |
| | 0.09 | 0.26 | 0.18 |
| | 0.09 | 0.17 | 0.04 |
| | 0.28 | 0.10 | 0.49 |
| | 0.17 | 0.12 | 0.15 |
| | 0.02 | 0.10 | 0.11 |
| | 0.32 | 0.21 | 0.10 |
| | 0.40 | 0.12 | 0.25 |
| | Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 |
| 0.12 | | 0.42 | 0.36 |
| 0.77 | | 0.16 | 0.50 |
| 0.05 | | 0.12 | 0.10 |
| 0.08 | | 0.05 | 0.07 |
| 0.12 | | 0.01 | 0.05 |
| 0.07 | | 0.13 | 0.22 |
| 0.07 | | 0.06 | 0.08 |
| 0.12 | | 0.05 | 0.06 |
| 0.07 | | 0.09 | 0.16 |
| 0.02 | | 0.05 | 0.17 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.5. Datos de la variable Lalas para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| Muestreo Alzada | 0.05 | 0.06 | 0.03 |
| | 0.04 | 0.09 | 0.00 |
| | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| | 0.00 | 0.04 | 0.01 |
| | 0.06 | 0.01 | 0.01 |
| | 0.04 | 0.02 | 0.07 |
| | 0.07 | 0.04 | 0.01 |
| | 0.02 | 0.01 | 0.00 |
| | 0.09 | 0.01 | 0.00 |
| | 0.05 | 0.04 | 0.03 |
| | Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 |
| 0.02 | | 0.09 | 0.15 |
| 0.02 | | 0.05 | 0.06 |
| 0.02 | | 0.00 | 0.00 |
| 0.02 | | 0.01 | 0.00 |
| 0.01 | | 0.00 | 0.01 |
| 0.01 | | 0.04 | 0.04 |
| 0.02 | | 0.02 | 0.04 |
| 0.01 | | 0.03 | 0.01 |
| 0.02 | | 0.03 | 0.01 |
| 0.00 | | 0.02 | 0.05 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.6. Datos de la variable Corcho para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| | 0.01 | 0.00 | 0.01 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.7. Datos de la variable Cepas para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.96 | 0.90 | 1.06 |
| | 1.18 | 1.18 | 1.05 |
| | 0.87 | 1.96 | 1.57 |
| | 1.61 | 0.93 | 0.96 |
| | 1.78 | 1.28 | 1.56 |
| | 0.75 | 1.95 | 0.99 |
| | 1.05 | 0.65 | 1.55 |
| | 2.00 | 1.41 | 2.68 |
| | 1.78 | 2.19 | 2.07 |
| | 1.67 | 1.50 | 1.04 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 1.46 | 1.63 | 1.67 |
| | 1.53 | 2.42 | 2.17 |
| | 1.47 | 1.96 | 1.75 |
| | 1.35 | 1.69 | 1.78 |
| | 2.34 | 1.55 | 1.40 |
| | 1.91 | 1.44 | 1.53 |
| | 1.65 | 1.75 | 1.69 |
| | 0.96 | 1.91 | 1.64 |
| | 1.07 | 1.90 | 1.33 |
| | 1.67 | 1.43 | 2.10 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.8. Datos de la variable Raíces para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.02 | 0.03 | 0.04 |
| | 0.07 | 0.06 | 0.06 |
| | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| | 0.06 | 0.09 | 0.05 |
| | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| | 0.02 | 0.07 | 0.05 |
| | 0.02 | 0.04 | 0.03 |
| | 0.01 | 0.03 | 0.06 |
| | 0.03 | 0.06 | 0.04 |
| | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.03 | 0.04 | 0.05 |
| | 0.04 | 0.04 | 0.05 |
| | 0.03 | 0.04 | 0.02 |
| | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
| | 0.03 | 0.04 | 0.02 |
| | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| | 0.01 | 0.02 | 0.02 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.9. Datos de la variable Caña Seca para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.04 | 0.03 | 0.09 |
| | 0.03 | 0.05 | 0.06 |
| | 0.02 | 0.07 | 0.12 |
| | 0.01 | 0.05 | 0.07 |
| | 0.03 | 0.06 | 0.02 |
| | 0.27 | 0.03 | 0.09 |
| | 0.16 | 0.14 | 0.07 |
| | 0.07 | 0.24 | 0.13 |
| | 0.08 | 0.13 | 0.11 |
| | 0.06 | 0.15 | 0.11 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 0.04 | 0.01 | 0.02 |
| | 0.14 | 0.01 | 0.06 |
| | 0.05 | 0.13 | 0.08 |
| | 0.10 | 0.10 | 0.03 |
| | 0.05 | 0.03 | 0.09 |
| | 0.08 | 0.07 | 0.07 |
| | 0.03 | 0.05 | 0.15 |
| | 0.13 | 0.12 | 0.12 |
| | 0.21 | 0.14 | 0.08 |
| | 0.07 | 0.02 | 0.13 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.10. Datos de la variable Caña Podrida para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| Muestreo Alzada | 2.99 | 1.23 | 1.21 |
| | 2.20 | 2.31 | 2.21 |
| | 4.55 | 2.25 | 3.25 |
| | 7.10 | 5.62 | 5.31 |
| | 3.75 | 4.63 | 3.78 |
| | 3.17 | 3.66 | 2.47 |
| | 1.94 | 2.47 | 2.70 |
| | 3.10 | 2.70 | 3.30 |
| | 2.82 | 3.09 | 3.10 |
| | 2.38 | 2.51 | 2.97 |
| | Muestreo Core Sampler | 2.92 | 2.61 |
| 2.61 | | 2.50 | 3.05 |
| 2.16 | | 2.13 | 1.76 |
| 2.27 | | 1.81 | 2.45 |
| 3.02 | | 1.72 | 2.97 |
| 1.56 | | 3.35 | 2.41 |
| 2.23 | | 2.68 | 2.43 |
| 2.41 | | 2.42 | 1.85 |
| 2.59 | | 2.38 | 1.61 |
| 2.34 | | 2.62 | 2.45 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.11. Datos de la variable Tierra para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| Muestreo Alzada | 0.60 | 0.26 | 0.27 |
| | 0.29 | 0.09 | 0.18 |
| | 0.04 | 0.02 | 0.00 |
| | 0.04 | 0.13 | 0.10 |
| | 0.30 | 0.08 | 0.17 |
| | 0.21 | 0.09 | 0.16 |
| | 0.24 | 0.22 | 0.05 |
| | 0.04 | 0.07 | 0.09 |
| | 0.10 | 0.13 | 0.11 |
| | 0.05 | 0.07 | 0.09 |
| | Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 |
| 0.00 | | 0.00 | 0.00 |
| 0.05 | | 0.00 | 0.00 |
| 0.00 | | 0.00 | 0.00 |
| 0.02 | | 0.02 | 0.03 |
| 0.05 | | 0.02 | 0.02 |
| 0.19 | | 0.03 | 0.16 |
| 0.07 | | 0.18 | 0.18 |
| 0.05 | | 0.12 | 0.06 |
| 0.03 | | 0.08 | 0.06 |
| 0.05 | | 0.04 | 0.03 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.12. Datos de la variable Trash Total para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 12.38 | 11.29 | 10.35 |
| | 10.90 | 10.62 | 11.44 |
| | 13.59 | 13.80 | 13.26 |
| | 13.51 | 11.77 | 11.36 |
| | 12.01 | 10.51 | 10.33 |
| | 9.50 | 12.23 | 10.93 |
| | 8.44 | 9.81 | 9.84 |
| | 10.02 | 9.61 | 11.34 |
| | 11.53 | 11.80 | 9.94 |
| | 11.83 | 9.16 | 10.82 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 12.13 | 10.70 | 11.05 |
| | 11.38 | 11.05 | 12.13 |
| | 10.28 | 10.07 | 9.75 |
| | 11.22 | 10.07 | 11.34 |
| | 11.71 | 10.71 | 10.57 |
| | 9.66 | 11.31 | 10.36 |
| | 8.74 | 9.98 | 11.50 |
| | 9.12 | 10.14 | 9.21 |
| | 8.90 | 10.43 | 8.88 |
| | 9.29 | 10.27 | 9.65 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.13. Datos de la variable PBU para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 133.69 | 134.83 | 137.42 |
| | 142.51 | 138.99 | 135.80 |
| | 140.87 | 146.18 | 143.06 |
| | 146.28 | 142.47 | 146.81 |
| | 139.66 | 144.06 | 141.61 |
| | 140.29 | 141.85 | 142.21 |
| | 136.16 | 140.36 | 141.21 |
| | 141.71 | 140.59 | 141.00 |
| | 140.68 | 138.74 | 143.98 |
| | 136.51 | 146.69 | 139.83 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 136.24 | 135.01 | 137.54 |
| | 135.55 | 130.64 | 126.41 |
| | 139.32 | 136.77 | 138.88 |
| | 141.75 | 138.49 | 141.17 |
| | 139.76 | 140.84 | 138.70 |
| | 139.47 | 138.62 | 140.83 |
| | 141.50 | 138.98 | 142.41 |
| | 139.09 | 140.04 | 142.57 |
| | 135.74 | 137.71 | 140.07 |
| | 140.74 | 140.89 | 137.92 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.14. Datos de la variable Brix para ANOVA DBCA

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 19.59 | 19.89 | 18.98 |
| | 19.23 | 19.56 | 19.15 |
| | 18.89 | 18.43 | 19.41 |
| | 19.29 | 19.19 | 18.55 |
| | 20.03 | 20.01 | 19.81 |
| | 19.73 | 20.46 | 19.68 |
| | 20.02 | 19.62 | 20.06 |
| | 19.83 | 19.49 | 19.00 |
| | 20.07 | 19.70 | 18.80 |
| | 19.69 | 19.23 | 19.04 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 18.66 | 18.65 | 18.91 |
| | 18.80 | 19.55 | 19.05 |
| | 18.05 | 18.66 | 18.94 |
| | 18.74 | 19.10 | 19.24 |
| | 19.58 | 19.08 | 19.50 |
| | 19.98 | 19.17 | 19.47 |
| | 18.98 | 19.52 | 19.07 |
| | 19.68 | 19.85 | 18.78 |
| | 19.84 | 19.61 | 18.98 |
| | 19.72 | 18.36 | 19.71 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.15. Datos de la variable Pol Jugo para ANOVA DBCA.

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 17.02 | 16.93 | 16.15 |
| | 16.72 | 16.75 | 16.60 |
| | 16.30 | 16.13 | 16.45 |
| | 16.62 | 16.33 | 16.33 |
| | 17.13 | 17.14 | 17.02 |
| | 16.70 | 17.30 | 17.15 |
| | 17.02 | 16.88 | 17.35 |
| | 17.00 | 16.72 | 16.50 |
| | 17.25 | 16.98 | 16.07 |
| | 16.61 | 16.52 | 16.43 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 16.01 | 15.78 | 16.22 |
| | 15.91 | 16.51 | 16.20 |
| | 15.23 | 15.88 | 15.81 |
| | 16.03 | 16.21 | 16.38 |
| | 16.35 | 16.32 | 16.69 |
| | 16.90 | 16.24 | 16.46 |
| | 16.22 | 16.76 | 16.36 |
| | 16.55 | 16.80 | 16.31 |
| | 16.82 | 16.69 | 16.19 |
| | 16.63 | 15.67 | 16.88 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.16. Datos de la variable Pureza del jugo para ANOVA DBCA.

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 86.88 | 85.13 | 85.11 |
| | 86.91 | 85.62 | 86.67 |
| | 86.29 | 87.48 | 84.74 |
| | 86.17 | 85.11 | 88.02 |
| | 85.52 | 85.64 | 85.91 |
| | 84.63 | 84.57 | 87.15 |
| | 85.00 | 86.01 | 86.52 |
| | 85.71 | 85.82 | 86.81 |
| | 85.95 | 86.17 | 85.51 |
| | 84.35 | 85.88 | 86.29 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 85.80 | 84.62 | 85.75 |
| | 84.64 | 84.41 | 85.07 |
| | 84.38 | 85.14 | 83.48 |
| | 85.56 | 84.89 | 85.16 |
| | 83.48 | 85.54 | 85.59 |
| | 84.60 | 84.68 | 84.53 |
| | 85.44 | 85.89 | 85.81 |
| | 84.08 | 84.61 | 86.84 |
| | 84.78 | 85.14 | 85.27 |
| | 84.31 | 85.37 | 85.64 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.17. Datos de la variable Jugo% para ANOVA DBCA.

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 68.40 | 68.64 | 69.24 |
| | 68.18 | 68.55 | 68.96 |
| | 68.70 | 68.83 | 68.53 |
| | 68.38 | 68.59 | 68.66 |
| | 68.37 | 68.37 | 68.42 |
| | 68.28 | 68.36 | 68.24 |
| | 67.52 | 68.42 | 68.02 |
| | 67.25 | 68.12 | 68.08 |
| | 67.86 | 68.02 | 67.53 |
| | 67.90 | 67.24 | 67.95 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 69.71 | 69.14 | 68.60 |
| | 68.35 | 68.04 | 67.67 |
| | 68.10 | 67.71 | 68.41 |
| | 67.47 | 68.23 | 68.07 |
| | 68.03 | 67.92 | 68.14 |
| | 67.65 | 68.10 | 68.04 |
| | 67.22 | 67.77 | 67.75 |
| | 67.50 | 67.42 | 67.29 |
| | 67.80 | 67.21 | 66.75 |
| | 67.41 | 67.87 | 68.25 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.18. Datos de la variable Fibra% para ANOVA DBCA.

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 14.60 | 14.76 | 15.02 |
| | 15.07 | 14.72 | 14.63 |
| | 14.50 | 15.04 | 14.10 |
| | 14.31 | 14.85 | 14.83 |
| | 14.81 | 14.91 | 14.76 |
| | 14.74 | 14.58 | 14.79 |
| | 14.96 | 14.91 | 14.58 |
| | 14.77 | 14.88 | 14.48 |
| | 15.13 | 14.58 | 14.35 |
| | 14.75 | 14.86 | 14.64 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 14.17 | 14.27 | 14.35 |
| | 14.53 | 14.19 | 13.92 |
| | 14.45 | 14.16 | 14.07 |
| | 14.31 | 14.15 | 13.73 |
| | 14.52 | 14.06 | 14.63 |
| | 14.23 | 14.38 | 14.15 |
| | 13.58 | 13.84 | 14.09 |
| | 14.03 | 14.17 | 14.45 |
| | 13.96 | 14.12 | 13.57 |
| | 14.31 | 14.22 | 14.52 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

Tabla 10.19. Datos de la variable Pol de la caña para ANOVA DBCA.

| Tipo de Muestreo | Variedades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 13.77 | 13.66 | 12.97 |
| | 13.41 | 13.52 | 13.42 |
| | 13.21 | 12.94 | 13.43 |
| | 13.52 | 13.16 | 13.16 |
| | 13.81 | 13.79 | 13.73 |
| | 13.48 | 14.01 | 13.83 |
| | 13.68 | 13.58 | 14.04 |
| | 13.71 | 13.46 | 13.38 |
| | 13.82 | 13.74 | 13.06 |
| | 13.40 | 13.30 | 13.29 |
| Muestreo Core Sampler | Variedad CP72-2086 | Variedad CP88-1165 | Variedad CP73-1547 |
| | 13.05 | 12.84 | 13.18 |
| | 12.89 | 13.45 | 13.27 |
| | 12.35 | 12.95 | 12.91 |
| | 13.04 | 13.22 | 13.46 |
| | 13.25 | 13.33 | 13.50 |
| | 13.76 | 13.19 | 13.42 |
| | 13.36 | 13.75 | 13.35 |
| | 13.52 | 13.69 | 13.23 |
| | 13.76 | 13.62 | 13.34 |
| | 13.52 | 12.76 | 13.67 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

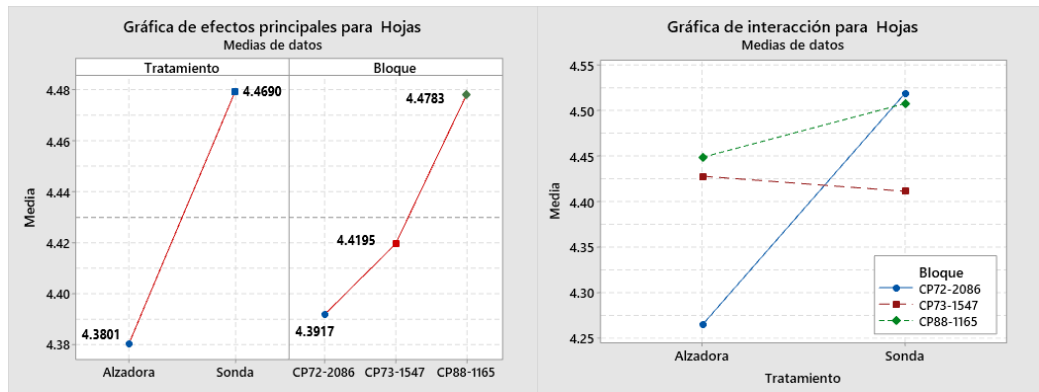
Tabla 10.20. Datos de la variable Rendimiento de caña para ANOVA DBCA.

| Tipo de Muestreo | Varietades de Caña de azúcar | | |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Muestreo Alzada | Varietad CP72-2086 | Varietad CP88-1165 | Varietad CP73-1547 |
| | 137.71 | 136.58 | 129.71 |
| | 134.10 | 135.21 | 134.21 |
| | 132.12 | 129.43 | 134.26 |
| | 135.15 | 131.57 | 131.60 |
| | 138.05 | 137.89 | 137.35 |
| | 134.79 | 140.06 | 138.30 |
| | 136.81 | 135.79 | 140.43 |
| | 137.07 | 134.61 | 133.75 |
| | 138.23 | 137.39 | 130.61 |
| | 133.99 | 133.02 | 132.86 |
| Muestreo Core Sampler | Varietad CP72-2086 | Varietad CP88-1165 | Varietad CP73-1547 |
| | 130.51 | 128.40 | 131.79 |
| | 128.89 | 134.51 | 132.67 |
| | 123.52 | 129.52 | 129.10 |
| | 130.39 | 132.21 | 134.60 |
| | 132.45 | 133.33 | 134.99 |
| | 137.61 | 131.87 | 134.22 |
| | 133.62 | 137.46 | 133.55 |
| | 135.24 | 136.95 | 132.29 |
| | 137.63 | 136.20 | 133.36 |
| | 135.21 | 127.64 | 136.75 |

Fuente: Laboratorio de caña de Ingenio Monte Rosa.

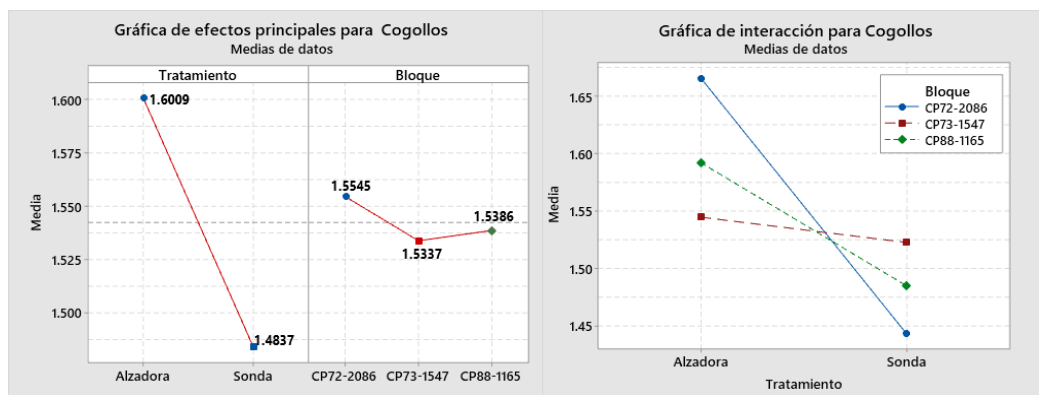
ANEXO V. GRÁFICOS FACTORIALES DE ANOVA DBCA.

Figura.10.1 y 10.2. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Hojas. De izquierda a derecha respectivamente.



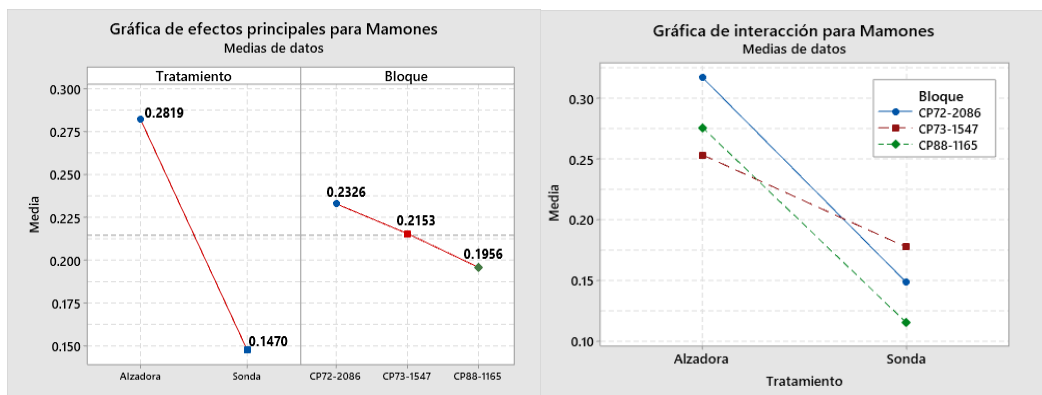
Fuente: MINITAB19

Figura.2.3 y 10.4. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Cogollos. De izquierda a derecha respectivamente.



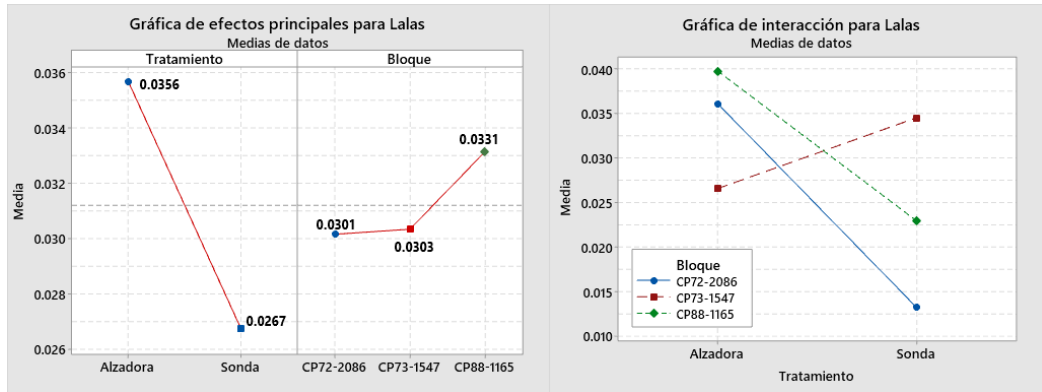
Fuente: MINITAB19

Figura.3.5 y 10.6. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Mamones. De izquierda a derecha respectivamente.



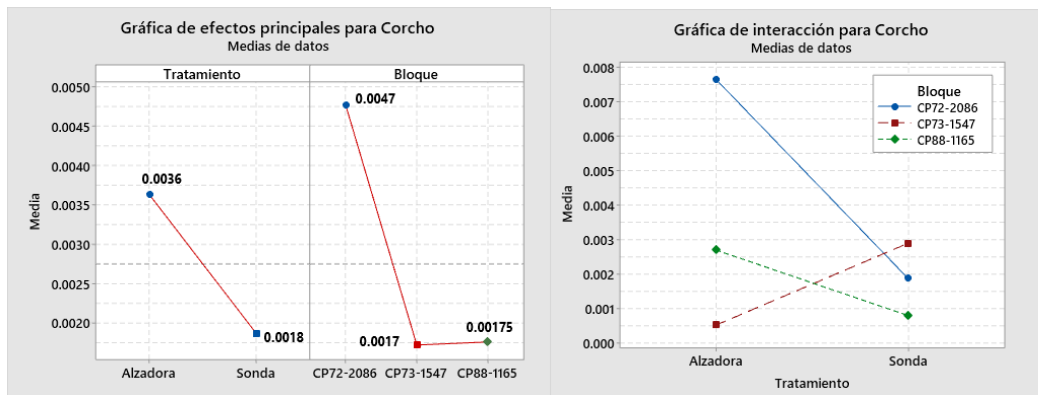
Fuente: MINITAB19

Figura.4.7 y 10.8. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Lalas. De izquierda a derecha respectivamente.



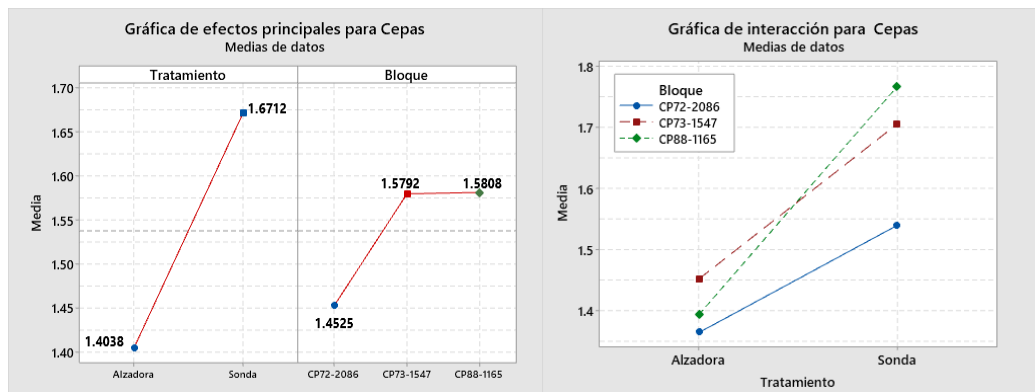
Fuente: MINITAB19

Figura.5.9 y 10.10. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Corcho. De izquierda a derecha respectivamente.



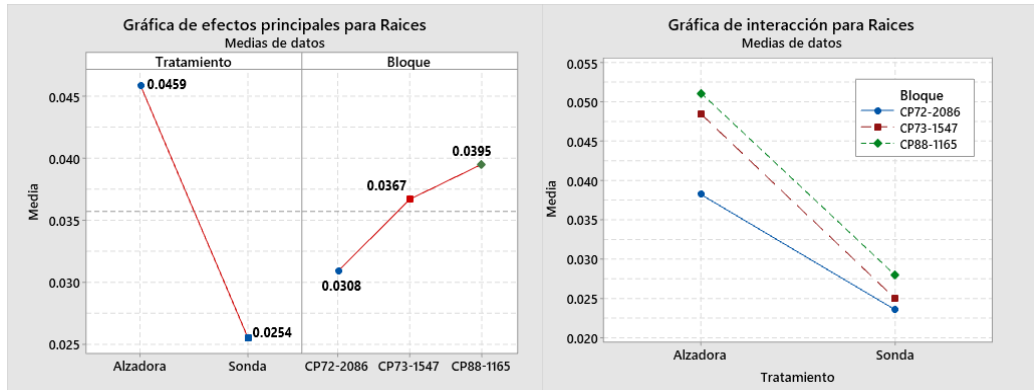
Fuente: MINITAB19

Figura.6.11 y 10.12. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Cepas. De izquierda a derecha respectivamente.



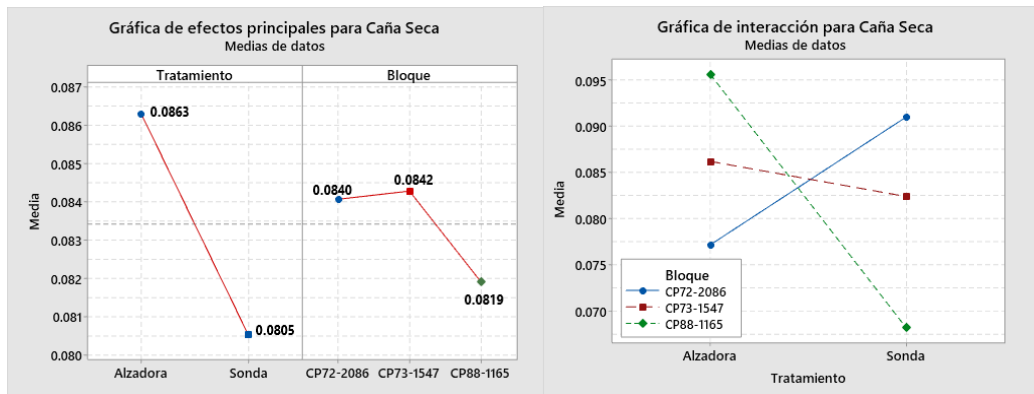
Fuente: MINITAB19

Figura.7.13 y 10.14. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Raíces. De izquierda a derecha respectivamente.



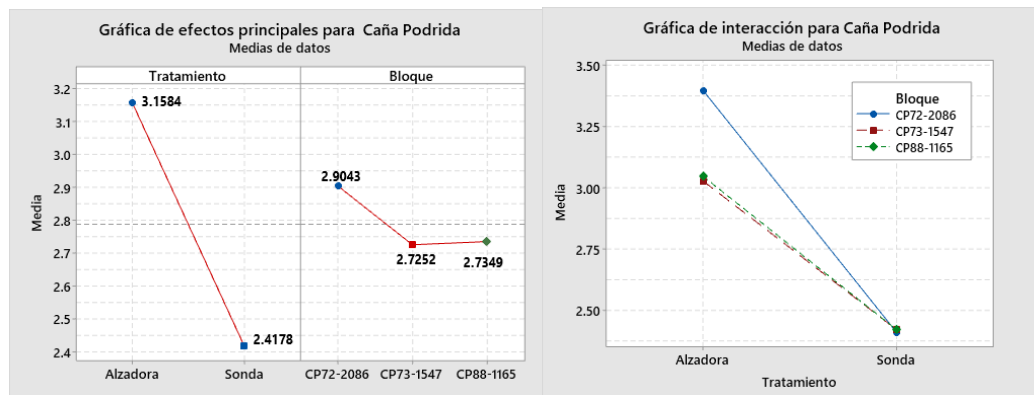
Fuente: MINITAB19

Figura.8.15 y 10.16. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Caña Seca. De izquierda a derecha respectivamente.



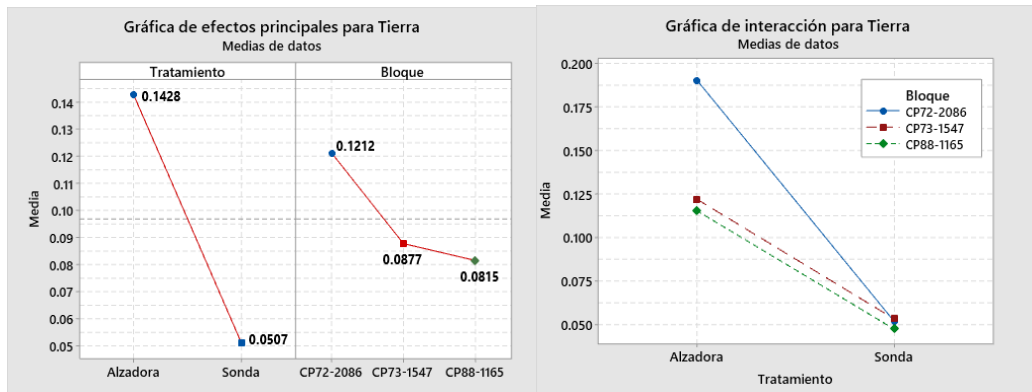
Fuente: MINITAB19

Figura.9.17 y 10.18. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Caña Podrida. De izquierda a derecha respectivamente.



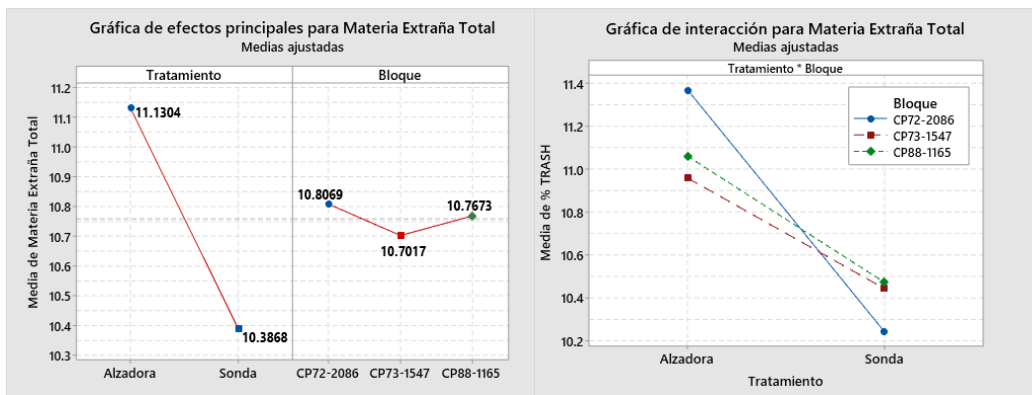
Fuente: MINITAB19

Figura.10.19 y 10.20. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Tierra. De izquierda a derecha respectivamente.



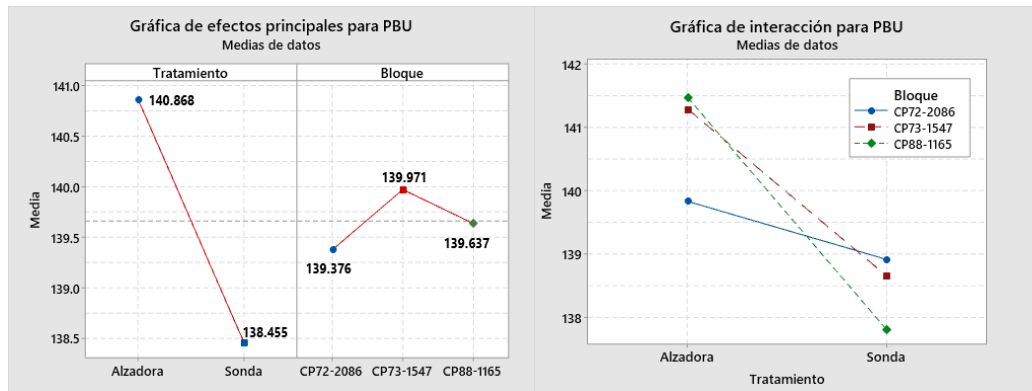
Fuente: MINITAB19

Figura.110.21 y 10.22. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Materia Extraña Total. De izquierda a derecha respectivamente.



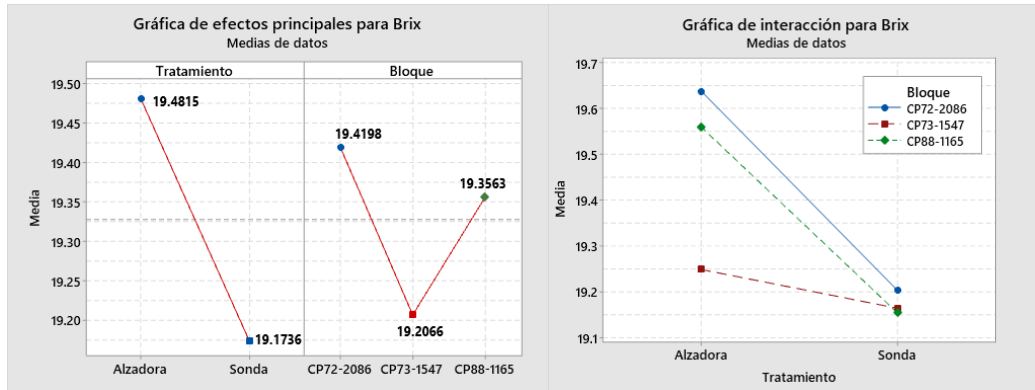
Fuente: MINITAB19

Figura.120.23 y 10.24. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: PBU. De izquierda a derecha respectivamente.



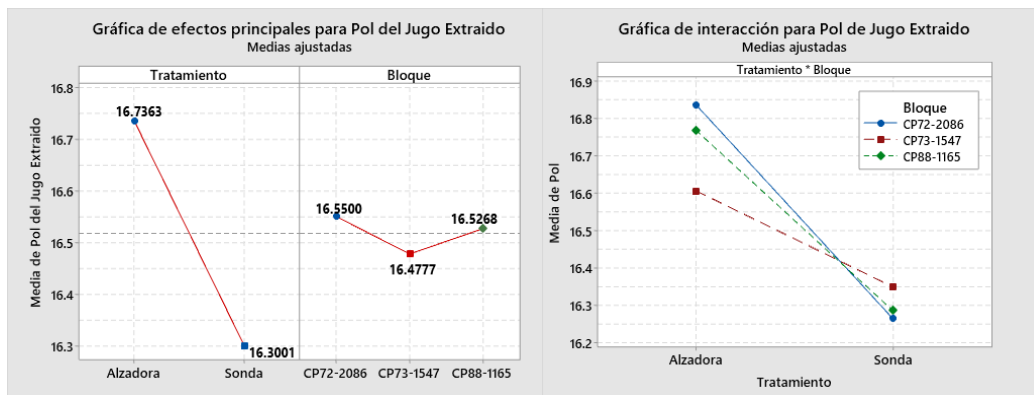
Fuente: MINITAB19

Figura.130.25 y 10.26. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Brix. De izquierda a derecha respectivamente.



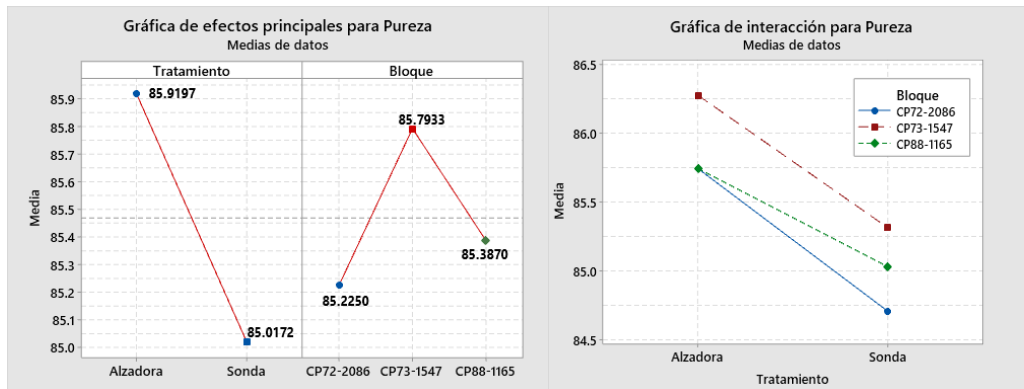
Fuente: MINITAB19

Figura.140.27 y 10.28. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Pol del Jugo Extraído. De izquierda a derecha respectivamente.



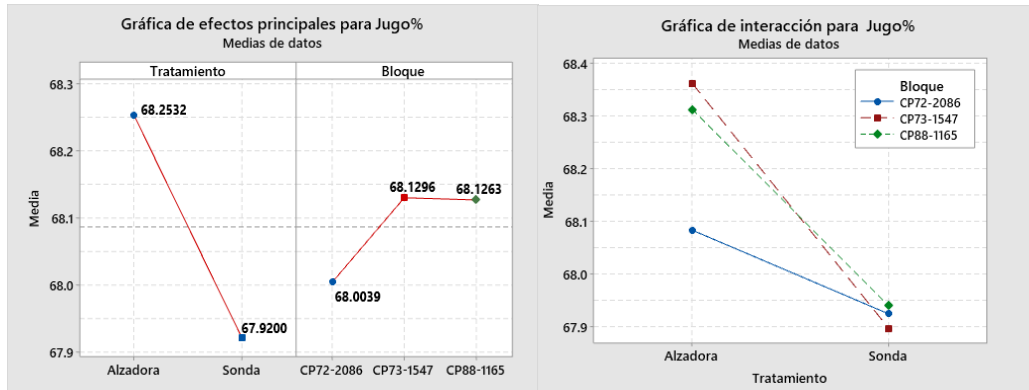
Fuente: MINITAB19

Figura.150.29 y 10.30. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Pureza. De izquierda a derecha respectivamente.



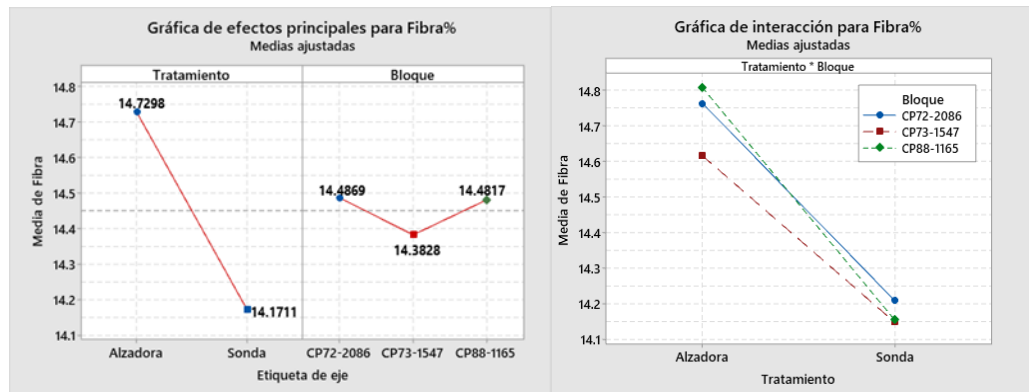
Fuente: MINITAB19

Figura.160.31 y 10.32. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Jugo%. De izquierda a derecha respectivamente.



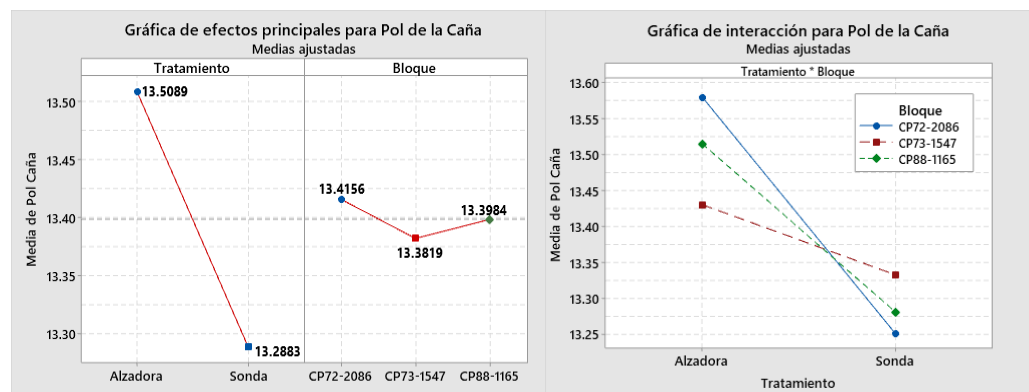
Fuente: MINITAB19

Figura.170.33 y 10.34. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Fibra%. De izquierda a derecha respectivamente.



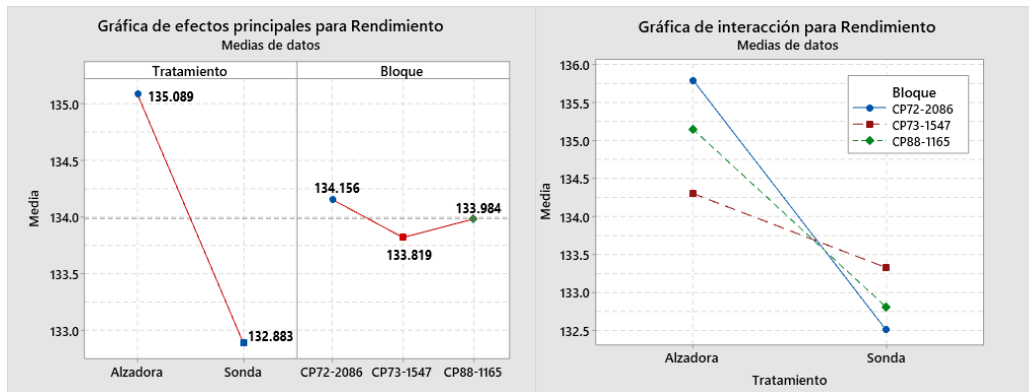
Fuente: MINITAB19

Figura.180.35 y 10.36. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Pol de la caña. De izquierda a derecha respectivamente.



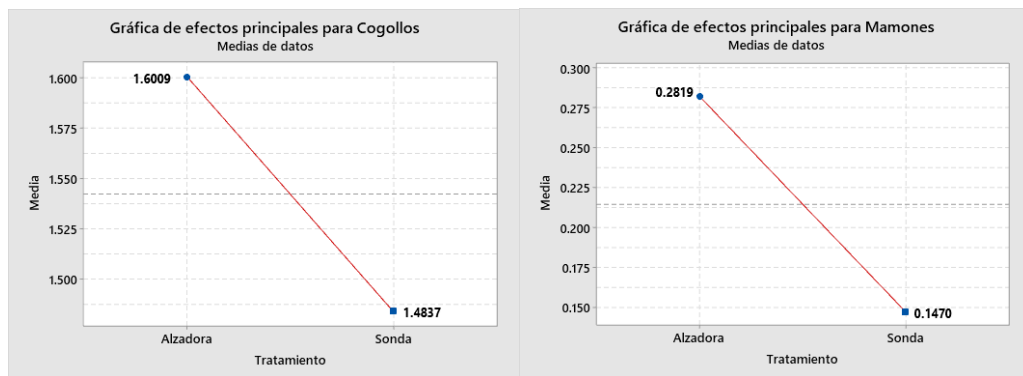
Fuente: MINITAB19

Figura.190.37 y 10.38. Efectos principales e interacciones de ANOVA DBCA para la variable dependiente: Rendimiento. De izquierda a derecha respectivamente.



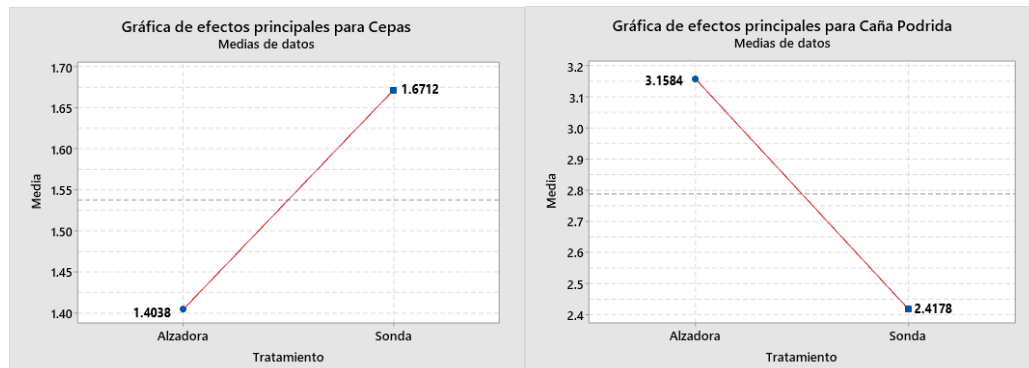
Fuente: MINITAB19

Figura.200.39 y 10.40. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Cogollos y Mamones. De izquierda a derecha respectivamente.



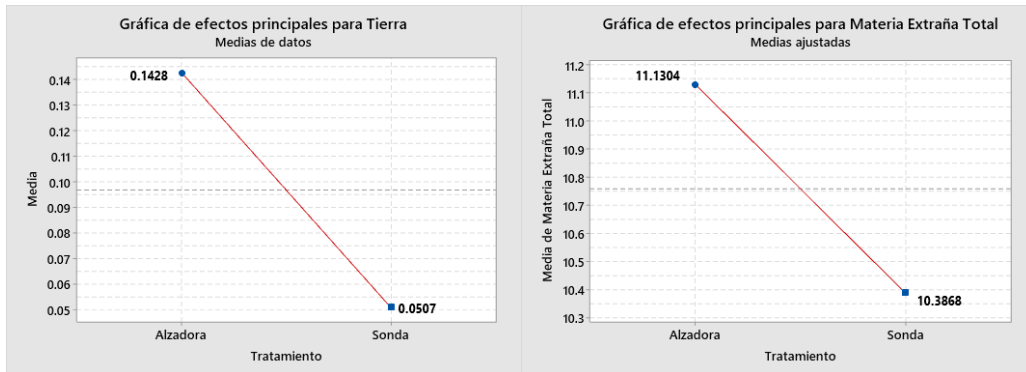
Fuente: MINITAB19

Figura.210.41 y 10.42. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Cepas y Caña Podrida. De izquierda a derecha respectivamente.



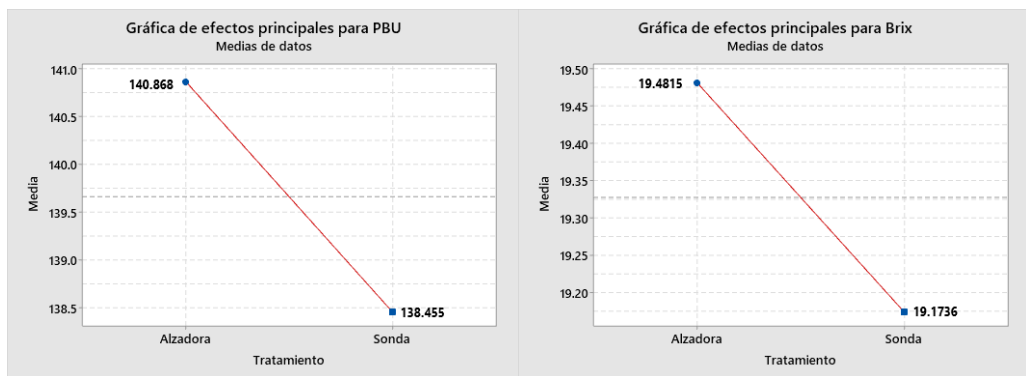
Fuente: MINITAB19

Figura.220.43 y 10.44. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Tierra y Caña Materia Extraña Total. De izquierda a derecha respectivamente.



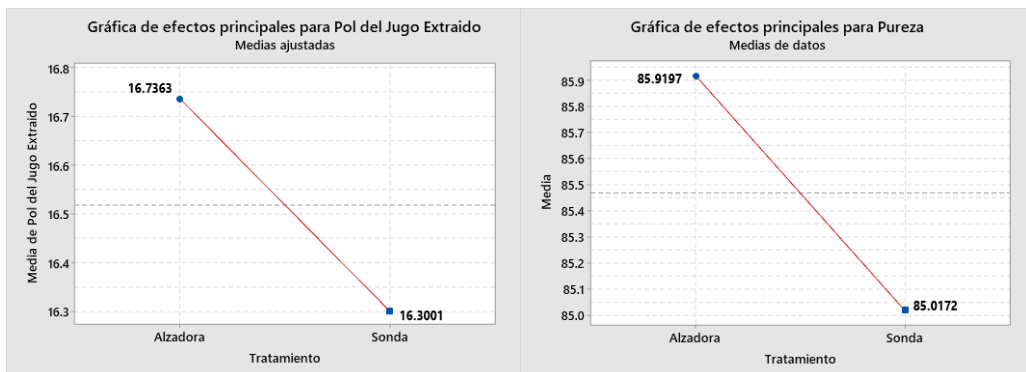
Fuente: MINITAB19

Figura.230.45 y 10.46. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: PBU y Brix. De izquierda a derecha respectivamente.



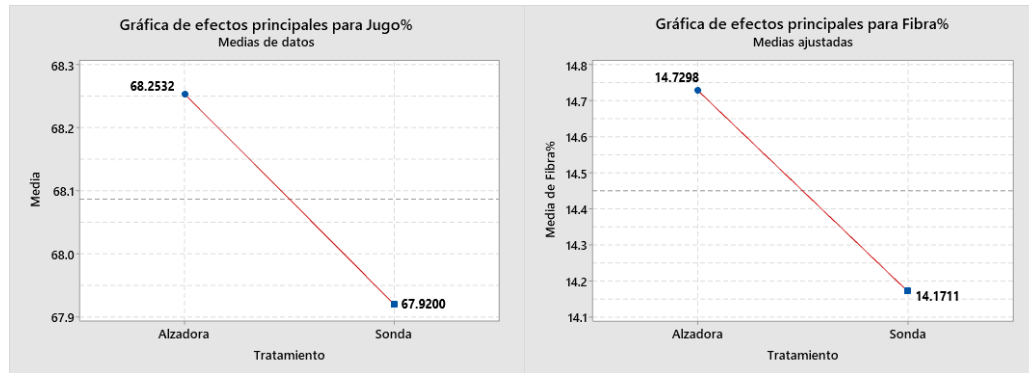
Fuente: MINITAB19

Figura.240.47 y 10.48. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Pol del Jugo Extraído y Pureza. De izquierda a derecha respectivamente.



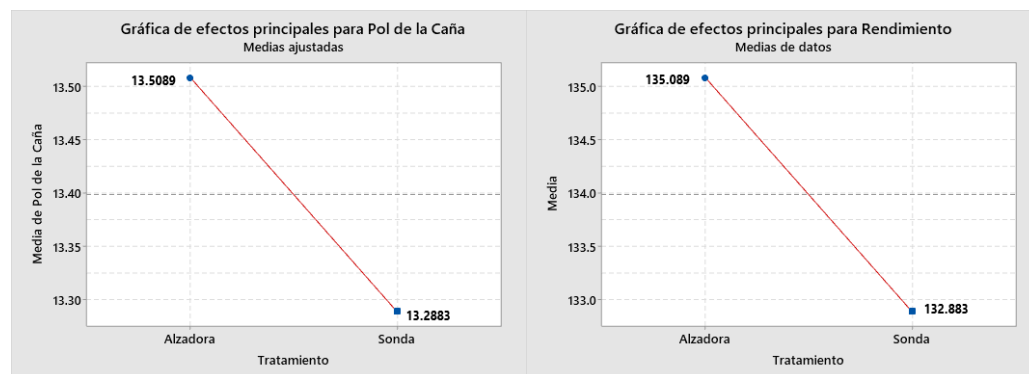
Fuente: MINITAB19

Figura.250.49 y 10.50. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Jugo% y Fibra%. De izquierda a derecha respectivamente.



Fuente: MINITAB19

Figura.260.51 y 10.52. Efectos principales de ANOVA DBCA ajustado para las variables dependientes: Pol de la Caña y Rendimiento. De izquierda a derecha respectivamente.



Fuente: MINITAB19

ANEXO VI. DESARROLLO DE LA MATRIZ DEL DISEÑO RSM.

Tabla 10.21. Diseño Central Compuesto.

| Orden Estándar | Orden de Corrida | Tipo de Punto | Bloques | A | B | C | D |
|----------------|------------------|---------------|---------|---------|---------|---|---|
| 79 | 1 | -1 | 2 | 1.4142 | 0 | 2 | 3 |
| 71 | 2 | -1 | 2 | -1.4142 | 0 | 1 | 3 |
| 78 | 3 | -1 | 2 | -1.4142 | 0 | 2 | 3 |
| 58 | 4 | -1 | 2 | 1.4142 | 0 | 1 | 2 |
| 50 | 5 | -1 | 2 | -1.4142 | 0 | 2 | 1 |
| 53 | 6 | -1 | 2 | 0 | 1.4142 | 2 | 1 |
| 75 | 7 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 48 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 54 | 9 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 66 | 10 | -1 | 2 | 0 | -1.4142 | 2 | 2 |
| 43 | 11 | -1 | 2 | -1.4142 | 0 | 1 | 1 |
| 72 | 12 | -1 | 2 | 1.4142 | 0 | 1 | 3 |
| 74 | 13 | -1 | 2 | 0 | 1.4142 | 1 | 3 |
| 63 | 14 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 49 | 15 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 84 | 16 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 60 | 17 | -1 | 2 | 0 | 1.4142 | 1 | 2 |
| 52 | 18 | -1 | 2 | 0 | -1.4142 | 2 | 1 |
| 68 | 19 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 46 | 20 | -1 | 2 | 0 | 1.4142 | 1 | 1 |
| 64 | 21 | -1 | 2 | -1.4142 | 0 | 2 | 2 |
| 65 | 22 | -1 | 2 | 1.4142 | 0 | 2 | 2 |
| 56 | 23 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 83 | 24 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 77 | 25 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 67 | 26 | -1 | 2 | 0 | 1.4142 | 2 | 2 |
| 55 | 27 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 82 | 28 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 69 | 29 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 59 | 30 | -1 | 2 | 0 | -1.4142 | 1 | 2 |

Tabla 10.22. Continuación del Diseño Central Compuesto.

| Orden Estándar | Orden de Corrida | Tipo de Punto | Bloques | A | B | C | D |
|----------------|------------------|---------------|---------|---------|---------|---|---|
| 44 | 31 | -1 | 2 | 1.4142 | 0 | 1 | 1 |
| 73 | 32 | -1 | 2 | 0 | -1.4142 | 1 | 3 |
| 76 | 33 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 62 | 34 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 47 | 35 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 51 | 36 | -1 | 2 | 1.4142 | 0 | 2 | 1 |
| 61 | 37 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 70 | 38 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 57 | 39 | -1 | 2 | -1.4142 | 0 | 1 | 2 |
| 45 | 40 | -1 | 2 | 0 | -1.4142 | 1 | 1 |
| 81 | 41 | -1 | 2 | 0 | 1.4142 | 2 | 3 |
| 80 | 42 | -1 | 2 | 0 | -1.4142 | 2 | 3 |
| 24 | 43 | 1 | 1 | -1 | 1 | 2 | 2 |
| 28 | 44 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 8 | 45 | 1 | 1 | -1 | -1 | 2 | 1 |
| 10 | 46 | 1 | 1 | -1 | 1 | 2 | 1 |
| 2 | 47 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| 39 | 48 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 20 | 49 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 14 | 50 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 35 | 51 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 4 | 52 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 34 | 53 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 7 | 54 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 17 | 55 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 2 |
| 41 | 56 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 26 | 57 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 40 | 58 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 33 | 59 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 |
| 22 | 60 | 1 | 1 | -1 | -1 | 2 | 2 |
| 38 | 61 | 1 | 1 | -1 | 1 | 2 | 3 |

Tabla 10.23. Continuación del Diseño Central Compuesto.

| Orden Estándar | Orden de Corrida | Tipo de Punto | Bloques | A | B | C | D |
|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------|----------|----------|----------|
| 25 | 62 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 23 | 63 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 2 |
| 19 | 64 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 27 | 65 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 21 | 66 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| 42 | 67 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 36 | 68 | 1 | 1 | -1 | -1 | 2 | 3 |
| 29 | 69 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 3 |
| 30 | 70 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 3 |
| 12 | 71 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 3 | 72 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 73 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 37 | 74 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 3 |
| 31 | 75 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 3 |
| 9 | 76 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2 | 1 |
| 15 | 77 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 2 |
| 13 | 78 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 1 | 79 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 32 | 80 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 5 | 81 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 16 | 82 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 2 |
| 6 | 83 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 18 | 84 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |

Fuente: MINITAB 19

ANEXO VII. ANÁLISIS FINANCIERO.

C1-Costo de mano de obra.

Tabla 10.24. Costo de mano de obra en el proceso de muestreo de recepción.

| Cargo | Tipo de personal | Meses Laborados por año | Personal por turno | Turno Laborado | Horas Laborales | Salario Neto (Dólar) | | | |
|--|------------------|-------------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------------|-------|---------|--------------------|
| | | | | | | Hora | Dia | Mes | Año |
| Jefe de Área de Laboratorio | Permanente | 12 | 1 | 1 | 12 | 4.17 | 50.00 | 1500.02 | 18,000.20 |
| Supervisor de Laboratorio | Permanente | 12 | 1 | 1 | 12 | 1.76 | 21.16 | 634.84 | 7,618.08 |
| Analista | Por contrato | 6 | 1 | 3 | 8 | 1.49 | 11.92 | 357.52 | 2,145.10 |
| Auxiliar III de análisis | Por contrato | 6 | 1 | 3 | 8 | 1.49 | 11.92 | 357.52 | 2,145.10 |
| Auxiliar I de análisis | Por contrato | 6 | 1 | 3 | 8 | 1.14 | 9.12 | 273.51 | 1,641.07 |
| Responsable de Trash | Por contrato | 6 | 1 | 3 | 8 | 1.35 | 10.79 | 323.60 | 1,941.60 |
| Auxiliar I de Trash | Por contrato | 6 | 3 | 3 | 8 | 1.14 | 9.12 | 273.51 | 1,641.07 |
| Auxiliar Comodín | Por contrato | 6 | 1 | 3 | 8 | 1.23 | 9.86 | 295.88 | 1,775.25 |
| Operario de Alzadora | Por contrato | 6 | 1 | 2 | 12 | 1.05 | 12.65 | 379.40 | 2,276.41 |
| Costo Total Anual de mano de obra | | | | | | | | | \$39,183.87 |

C2 Consumo de combustible

Tabla 10.25. Costo de combustible el proceso de muestreo de recepción.

| Horas Acumuladas en Horómetro/Zafra | Costo de alquiler del equipo Dólar/hora | Costo del servicio Dólar/Zafra |
|--|---|--------------------------------|
| 733 | 31.17 | \$ 22,847.61 |
| Costo Total de consumo de combustible | | \$ 22,847.61 |

C3-Costo de consumo energético.

Tabla 10.26. Consumo de energía eléctrica del proceso de muestreo de recepción.

| Equipo | Cantidad de equipos | Capacidad de operación | Tiempo de operación (h/ Día) | Tiempo en Stand By (h/Día) | Potencia nominal (KW) | Potencia en Stand By (KW) | KWH/Dia consumido en operación | KWH/Dia consumido en Stand By | Total KWH/Día consumido por cantidad de equipo |
|---|---------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|
| Core Sampler | 1 | 80 | 4.04 | 19.96 | 52.037 | 1 | 210.23 | 19.96 | 230.19 |
| Picadora IRBI | 2 | 80 | 3.73 | 20.27 | 11.1855 | 0.08 | 83.44 | 3.24 | 173.37 |
| Homogeneizador IRBI | 3 | 80 | 3.73 | 20.27 | 0.736 | 0.05 | 8.24 | 3.04 | 33.83 |
| Picadora de construcción propia | 1 | 80 | 4.1 | 19.9 | 14.914 | 0.1 | 61.15 | 1.99 | 63.14 |
| Prensa hidráulica | 2 | 80 | 5.2 | 18.8 | 22.371 | 0.5 | 232.66 | 18.80 | 502.92 |
| Bomba para fluidos | 1 | 80 | 24 | - | 1.5 | - | 36.00 | - | 36.00 |
| Balanza industrial | 1 | 80 | 24 | - | 0.008 | - | 0.19 | - | 0.19 |
| Balanza de precisión | 2 | 80 | 24 | - | 0.008 | - | 0.38 | - | 0.77 |
| Polarímetro | 1 | 80 | 24 | - | 0.2 | - | 4.80 | - | 4.80 |
| Refractómetro digital | 1 | 80 | 24 | - | 0.06 | - | 1.44 | - | 1.44 |
| Agitador mecánico | 1 | 80 | 5.2 | - | 0.552 | - | 2.87 | - | 2.87 |
| Computadora | 3 | 80 | 24 | - | 0.34 | - | 24.48 | - | 73.44 |
| Luces interiores | 8 | 80 | 16 | - | 0.1 | - | 12.80 | - | 102.40 |
| Luces exteriores | 6 | 80 | 12 | - | 0.4 | - | 28.80 | - | 172.80 |
| Aire acondicionado | 2 | 70 | 16 | - | 0.613 | - | 19.62 | - | 39.23 |
| Consumo total de energía eléctrica en KWH/ Día | | | | | | | | | \$ 1,437.39 |

Tabla 10.27. Costo de consumo eléctrico en el proceso de muestreo de recepción.

| Equipo | Cantidad de equipos | Precio de KWH/Dia (Dólar) | KWH/Dia | Costo Energético /Dia (Dólar) | Costo Energético/Zafra (Dólar) |
|--|---------------------|---------------------------|---------|-------------------------------|--------------------------------|
| Core Sampler | 1 | 0.13 | 230.19 | 29.92 | 5386.43 |
| Picadora IRBI | 2 | | 173.37 | 21.70 | 3905.17 |
| Homogeneizador IRBI | 3 | | 33.83 | 3.21 | 578.16 |
| Picadora de construcción propia | 1 | | 63.14 | 7.95 | 1430.85 |
| Prensa hidráulica | 2 | | 502.92 | 60.49 | 10888.41 |
| Bomba para fluidos | 1 | | 36.00 | 4.68 | 842.40 |
| Balanza industrial | 1 | | 0.19 | 0.02 | 4.49 |
| Balanza de precisión | 2 | | 0.77 | 0.10 | 17.97 |
| Polarímetro | 1 | | 4.80 | 0.62 | 112.32 |
| Refractómetro digital | 1 | | 1.44 | 0.19 | 33.70 |
| Agitador mecánico | 1 | | 2.87 | 0.37 | 67.17 |
| Computadora | 3 | | 73.44 | 9.55 | 1718.50 |
| Luces interiores | 8 | | 102.40 | 13.31 | 2396.16 |
| Luces exteriores | 6 | | 172.80 | 22.46 | 4043.52 |
| Aire acondicionado | 2 | | 39.23 | 5.10 | 918.03 |
| Costo Total de consumo de energía eléctrica por zafra | | | | | \$ 32,343.28 |

C4-Costo de consumo de agua.

Tabla 10.28. Costo de consumo de agua en el muestreo de recepción.

| Periodo | Meses por periodo | Promedio Semestral del costo unitario del m ³ de agua. (Dólar) | Cantidad Promedio de agua consumida por mes (m3) | Costo de consumo de agua por mes. (Dólar) | Costo de consumo de agua por Zafra (Dólar) |
|---|-------------------|---|--|---|--|
| Zafra | 6 | 1.02 | 27 | 27.41 | 164.48 |
| Costo Total de consumo de agua por Zafra | | | | | \$ 164.48 |

C6-Depreciacion Impositiva por línea recta.

Tabla 10.29. Cargo Anual de Depreciación Impositiva por Línea Recta.

| Costo Inicial del equipo (Dólar) | Valor de Rescate (Dólar) | Tasa de depreciación impositiva | Vida Útil del equipo (Años) | Valor de Depreciación Anual (Dólar) |
|---|---------------------------------|--|------------------------------------|--|
| 358,000.00 | 135,000.00 | 10% | 10 | \$ 22,300.00 |

Tabla 10.30. Período de recuperación en base al cargo anual de depreciación impositiva por línea recta del Core Sampler.

| Periodo de recuperación (Años) | Valor en Libros (Dólar) | Cargo Anual (Dólar) | Valor Recuperado (Dólar) |
|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 0 | 358,000.00 | - | - |
| 1 | 335,700.00 | 22,300.00 | 22,300.00 |
| 2 | 313,400.00 | 22,300.00 | 44,600.00 |
| 3 | 291,100.00 | 22,300.00 | 66,900.00 |
| 4 | 268,800.00 | 22,300.00 | 89,200.00 |
| 5 | 246,500.00 | 22,300.00 | 111,500.00 |
| 6 | 224,200.00 | 22,300.00 | 133,800.00 |
| 7 | 201,900.00 | 22,300.00 | 156,100.00 |
| 8 | 179,600.00 | 22,300.00 | 178,400.00 |
| 9 | 157,300.00 | 22,300.00 | 200,700.00 |
| 10 | 135,000.00 | 22,300.00 | 223,000.00 |
| - | - | $\sum D_t = 223,000.00$ | - |