

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Agrícola

**“EVALUACION DE LA CALIDAD DEL ARROZ EN
GRANZA (*Oryza sativa*) ALMACENADO EN SILO
DE COMPAÑÍA ARROCERA INDUSTRIAL
PLANTA INDUSTRIAL RIO CLARO”**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Facultad de Ingeniería
como requisito para optar el grado de Licenciatura en Ingeniería
Agrícola

POR:

Sergio Rojas Jiménez

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Mayo 2012

Sometido a la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ingeniería de la
Universidad de Costa Rica como requisito parcial para optar por el grado de
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

Aprobado por el Tribunal:

Ing. Marianella Alfaro Santamaría

Presidente del Tribunal, Escuela de Ingeniería Agrícola

Ing. José Gabriel Solís Rodríguez

Director, Comité Asesor

Ing. José Alberto Miranda Chavarría

Miembro, Comité Asesor

Ing. Giovanni Carmona Villalobos

Miembro, Comité Asesor

Ing. Luis Navarro Meza

Miembro del Tribunal, Escuela de Ingeniería Agrícola

DEDICATORIA

A mis padres, Eliecer y Yadira lo más grande que me ha dado Dios, mi fuente de inspiración, sin ellos no hubiera sido posible culminar con éxito este proyecto.

A mis hermanos, Diego y Priscila que de alguna u otra manera me han apoyado en todo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerla a Dios por darme la vida.

Agradecerle a Ing. Jose Gabriel Solís por los consejos, recomendaciones y por querer formar parte en la dirección de este proyecto. Al Ing. José Alberto Miranda por sus valiosos consejos y asesoría cuando más lo necesitaba. Al Ing. Giovanni Carmona por sus excelentes comentarios.

Por otro lado, quiero agradecer a todo el personal de Compañía Arrocería Industrial Planta Río Claro por su apoyo en toda la ejecución de la parte experimental. A Marvin Vargas por abrirme las puertas por primera vez, por su confianza, apoyo y consejos de motivación. Al Ing. Nelson Martínez por formar parte de este proyecto y que se realizara de la mejor manera. Al personal del laboratorio de aseguramiento de la calidad Roberto Chacón y Bernardo Villanueva por sus acertados consejos, comentarios y asesorías en el análisis de muestras. Al personal de plagas por sus aportes en la recolección de muestras.

También quiero agradecerla profundamente a mis padres por todo el apoyo en la parte económica, logística, motivacional y por haber creído siempre en mí. A mi novia Bárbara, por tenerme paciencia y apoyarme siempre en todo.

Finalmente, quiero dar gracias a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proyecto.

RESUMEN

Se almacenó arroz en granza de la cosecha II-2011 de la Región Brunca en el silo York #3. El arroz previo a su almacenamiento pasó procesos de acondicionamiento tales como limpieza y secado.

Una vez almacenado el arroz en granza se ejecutaron muestreos cada 15 días como lo realiza la industria durante un periodo de dos meses y medio en época de lluviosa. Esto con el propósito de ir evaluando la calidad del grano a través del tiempo de conservación.

Una vez recolectadas las muestras del silo, se le realizaban todos los análisis de calidad, utilizando los métodos descritos por el Corporación Arroceras Nacional en el Reglamento RTCR 406-2007 para el análisis de arroz en granza. Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las medias de las mediciones.

Paralelo a esto se evaluaron las incidencias de plagas de insectos presentes en el silo cada 15 días igual que los parámetros de calidad, así como también se midieron frecuentemente los caudales de aire del equipo utilizado para aireación.

Se concluyó que el arroz que estaba almacenado en el fondo del silo presentó los mayores deterioros de calidad, así como también la mayor incidencia de plagas de insectos.

En cuanto a calidad molinera, la variable grano entero fue la que representó mayor pérdida de calidad durante el almacenamiento, alrededor de un 6.42% en el periodo, lo cual representa para industria pérdidas de calidad y económicas importantes.

Por último, los parámetros pertenecientes a grados de calidad, tales como grano manchado, dañado, yesoso, rojo y semillas objetables no produjeron problemas que afectaran la calidad del grano durante el almacenamiento.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	4
1.3 Zona de estudio.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general:.....	6
1.4.2 Objetivos específicos:.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Introducción.....	7
2.2 Arroz en granza.....	8
2.2.1 Situación actual en Costa Rica.....	8
2.2.2 Variedades de arroz en granza sembradas en Costa Rica.....	9
2.2.3 Cosecha.....	9
2.3 Acondicionamiento del arroz en granza.....	10
2.3.1 Limpieza.....	10
2.3.2 Secado de granos.....	11
2.4 Almacenamiento.....	13
2.4.1 Factores que inciden en la conservación de los granos.....	14

2.4.2 Aireación	20
2.5 Pérdidas de los productos alimenticios almacenados	23
2.5.1 Tipos de pérdidas.....	24
2.6 Calidad de los granos	25
2.6.1 Parámetros de calidad.....	26
2.6.2 Arroz elaborado, pilado o blanco	29
2.7 El muestreo y su importancia.....	34
2.7.1 Descripción y manejo del equipo de muestreo en granos.	35
2.7.2 Procedimiento general para el muestreo de granos a granel	36
2.7.3 Esquema del muestreo en granel a reposo.....	36
2.8 Diseño estadístico experimental.....	38
2.8.1 Tipo de información a procesar	38
2.8.2 Análisis de varianza en bloques completos al azar.....	38
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA	40
3.1 MATERIALES	40
3.2 METODOLOGIA	41
3.2.1 Descripción General	41
3.2.2 Propuesta de diseño experimental para el trabajo de graduación.....	43
3.2.3 Registro de temperatura y humedad relativa	45
3.2.4 Monitoreo de temperatura en la masa de grano.....	46
3.2.5 Muestreo del grano en el silo.....	48
3.2.6 Análisis de parámetros de calidad	48
3.2.7 Aireación	49
3.2.8 Limitación del proyecto.....	50
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	51
4.1 Prácticas de conservación de los granos utilizados por la industria.	51

4.1.1	Condiciones del aire ambiente externo del silo experimental	51
4.1.2	Condiciones del aire ambiente interno del silo experimental.....	53
4.1.3	Comparación de las condiciones de temperatura y humedad relativa promedio horario de los ambientes interno y externo del silo experimental.....	55
4.1.4	Temperatura de la masa de grano	57
4.1.5	Prácticas de almacenamiento realizadas por la industria.....	59
4.2	Condiciones iniciales de calidad del grano luego de su proceso de acondicionamiento e inicio del proceso de almacenamiento.	63
4.3	Evaluación de los parámetros de calidad durante el almacenamiento	65
4.3.1	Contenido de Humedad	66
4.3.2	Rendimiento de Semolina.....	67
4.3.3	Rendimiento de Pilada.....	70
4.3.4	Porcentaje de grano entero	72
4.3.5	Porcentaje de grano quebrado.....	75
4.3.6	Porcentaje de quebrado muy fino (puntilla)	77
4.3.7	Porcentaje de arroz manchado	79
4.3.8	Porcentaje de arroz yesoso.	80
4.3.9	Porcentaje de Arroz Rojo	81
4.3.10	Porcentaje de arroz dañado.....	83
4.3.11	Semillas Objetables	85
4.4	Evaluación de la infestación de plagas de insectos en el silo experimental durante el periodo de almacenamiento	86
4.4.1	Rhizoperta dominica sp	86
4.4.2	Criptolestes sp.....	88
4.4.3	Tribolium sp	89
4.4.4	Población total de individuos	90

Figura 3.3. Ubicación de los termopares en la masa de grano.....	46
Figura 3.4. Lectura de termopares.....	47
Figura 3.5. Colocación de los termopares en los tubos de PVC.....	47
Figura 3.6. Sitios de muestreo en los silos.....	48
Figura 3.7. Puntos donde se realizaron las mediciones de caudal en el ducto.....	50
Figura 4.1. Temperatura y humedad relativa promedio horario del aire ambiente externo de los silos para los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre del periodo de almacenamiento.....	52
Figura 4.2. Temperatura y humedad relativa promedio horario del aire ambiente interno del silo experimental para los meses de octubre, noviembre y diciembre del periodo de almacenamiento.....	54
Figura 4.3. Temperatura y humedad relativa promedio horario de los dos ambientes del silo experimental: interno y externo del periodo de almacenamiento.....	56
Figura 4.4. Temperatura de la masa de grano medida en tres puntos distintos: fondo, centro y superficial.....	58
Figura 4.5. Temperatura promedio diaria del grano, ambiente externo e interno.....	59
Figura 4.6. Abanico utilizado para aireación del silo experimental.....	60
Figura 4.7. Punto de muestreo de la masa proveniente del silo.....	61
Figura 4.8. Condiciones iniciales promedio de los parámetros de calidad de la masa de grano del silo experimental.....	63
Figura 4.9. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y los sectores del silo para la variable contenido de humedad.....	66
Figura 4.10. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable rendimiento de semolina.....	68
Figura 4.11. Fotografía tomada en una muestra del bloque C durante su proceso de elaboración.....	69
Figura 4.12. Correlación entre contenido de humedad y rendimiento de semolina.....	70
Figura 4.13. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable rendimiento de pilada.....	71
Figura 4.14. Correlación entre el rendimiento de semolina y el rendimiento de pilada.....	72

Figura 4.15. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable grano entero.....	73
Figura 4.16. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la variable grano entero.....	74
Figura 4.17. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable grano quebrado.....	75
Figura 4.18. Correlación entre porcentaje de grano entero y porcentaje de grano quebrado.....	77
Figura 4.19. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable puntilla.....	78
Figura 4.20. Correlación entre porcentaje de grano entero y porcentaje de grano quebrado muy fino “puntilla”.....	79
Figura 4.21. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la variable arroz manchado.....	80
Figura 4.22. Medias y significancia obtenidas del análisis de varianza de los tres bloques del silo para la variable porcentaje de grano yesoso.....	81
Figura 4.23. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo experimental para la variable grano rojo.....	82
Figura 4.24. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques del silo experimental para la variable grano dañado.....	83
Figura 4.25. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la variable arroz dañado.....	84
Figura 4.26. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques del silo experimental para la variable semillas objetables.....	85
Figura 4.27. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la especie <i>Rhizoperta dominica</i> sp.....	87
Figura 4.28. Resultados del análisis de varianza entre los bloques para la especie <i>Rhizoperta dominica</i> sp.....	88

Figura 4.29. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la especie <i>Criptolestes</i> sp.....	89
Figura 4.30. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento y significancia del análisis de varianza para la especie <i>Tribolium</i> sp.....	90
Figura 4.31. Resultados del análisis de varianza entre los bloques y sectores para la toda la población de insectos con mayor incidencia en el silo experimental.....	91
Figura 4.32. Resultados del análisis de varianza para la población de plagas y curva de comportamiento de infestación en el tiempo.....	93
Figura 5.1. Ubicación del riesgo por calentamiento por insectos y disminución de la tasa de germinación, por medio de los datos de temperatura, contenido de humedad y humedad relativa.....	102

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Datos promedios de las variables más relevantes de calidad del arroz para la Región Brunca.....	2
Tabla 3.1. Equipos utilizados en la investigación.....	40
Tabla 4.1 Temperatura y humedad relativa más relevantes de los dos ambientes.....	57
Tabla 4.2 Valores de parámetros de calidad de tres estudios diferentes.....	64
Tabla 4.3 Variación de los parámetros de calidad para los tres bloques o tratamientos.....	94
Tabla 4.4 Variación de los parámetros de calidad para los tres sectores evaluados durante almacenamiento.....	96

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Resultados de los parámetros de calidad de los tres lotes de arroz muestreado en los camiones y secado en el laboratorio.....	108
Anexo B. Datos de temperatura del aire de secado, temperatura de grano y contenido de humedad durante el proceso de acondicionamiento del arroz en granza.....	108
Anexo C. Carta de certificado de calibración de los equipos de laboratorio por el CONARROZ.....	109
Anexo D. Verificación de calibración del SEEDBURO de la industria.....	110
Anexo E. Datos de los parámetros de calidad proporcionados por el laboratorio de la industria de las muestras tomadas de los camiones a su ingreso a la planta.....	110
Anexo F. Resultados del análisis de varianza obtenido del programa Infostat.....	111
Anexo G. Valores iniciales y finales de los parámetros de calidad por bloques.....	129
Anexo H. Valores iniciales y finales de los parámetros de calidad por sectores.....	130
Anexo I. Mediciones del sistema de aireación y datos importantes.....	132
Anexo J: Temperatura y humedad relativa promedio horario del ambiente externo a los silos.....	133
Anexo K. Temperatura y humedad relativa promedio diaria del ambiente externo a los silos.....	134
Anexo L. Temperatura y humedad relativa promedio horario del ambiente interno del silo experimental.....	136
Anexo M. Temperatura y humedad relativa promedio diario del ambiente interno del silo experimental.....	137
Anexo N. Registro de temperatura de la masa de grano.....	138

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El arroz es uno de los cultivos que más se ha investigado en Costa Rica tanto a nivel de campo como a nivel postcosecha, esto debido a que es uno de los granos más importante en la dieta no solo de los costarricense (Bienvenido, 1994).

Una de las fuentes de información más relevantes encontradas es la tesis realizada por Hangen (2002) titulada “*Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la calidad de molienda y culinaria del tres variedades de arroz (Oryza sativa) en silos experimentales con aireación con aire ambiente en condiciones de bajas temperaturas y altas humedades relativas*”, en el cual realizó análisis de la calidad de molienda del arroz almacenado en condiciones de aireación y sin aireación durante un periodo de conservación de seis meses. Este período de almacenamiento se llevó a cabo tanto en época lluviosa como en época seca.

Entre los resultados obtenidos por Hangen (2002) señala que la temperatura en el centro de la masa de grano no cambia significativamente a pesar de la aireación, aunque tiene una leve tendencia a disminuir, lo mismo ocurrió con un estudio realizado por Berrocal (2005) aunque utilizó otro grano determinó que la temperatura en el centro de la masa de grano se mantuvo constante durante el almacenamiento. También Berrocal (2005) indicó que la temperatura en la parte superior de la masa de grano tiene mayor variación por el efecto del microambiente dentro del silo, mientras para los demás niveles (hacia la parte baja del silo) no presenta esa condición. Por otro lado, determinó que el enfriamiento del grano en almacenamiento depende de dos factores: el caudal de aire y el gradiente de temperatura entre el grano y el ambiente, siendo el gradiente de temperatura el factor de mayor peso.

También Hangen (2002) en su trabajo de investigación destacó que una variación menor al 1% en el contenido de humedad durante el almacenamiento con humedades bajas no afecta los índices de molienda debido a que el índice y el rendimiento de

pilada se conservaron a lo largo de tiempo, ya que estos factores se mantuvieron constantes durante el almacenamiento.

Otro estudio desarrollado sobre calidad en arroz en granza fue el presentado en III Congreso Nacional Arrocería realizado en Julio del 2007 y realizado por funcionarios de la Corporación Arrocería Nacional (CONARROZ) en el cual caracterizaron el arroz de producción nacional durante el periodo 2005/2006 en todas las regiones productoras del país. En dicho estudio evaluaron todas las variables o factores de calidad tales como: humedad, temperatura, impurezas, rendimiento de pilada, índice de pilada, entre otros. Para nuestro caso es importante destacar las variables de calidad obtenidas para la Región Brunca debido que en esa región es donde se va a desarrollar este trabajo, los valores promedios de dichas variables se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1.1 Datos promedios de las variables más relevantes de calidad del arroz para la Región Brunca.

Variable	Promedio
Humedad (%)	20.5
Impurezas (%)	10.7
Rendimiento de pilada (%)	69.6
Rendimiento de entero (%)	55.2
Grano quebrado (%)	20.9
Puntilla (%)	3.5
Semolina (%)	10.1
Grano yesoso (%)	3.0
Grano dañado (%)	0.9
Grano rojo (%)	0.5
Número de semillas objetables	1.0

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Laboratorio de Control de Calidad, Corporación Arrocería Nacional 2007. En línea: www.conarroz.com

Uno de los procesos de acondicionamiento que pueden afectar la calidad del arroz en granza proveniente de la cosecha es el secado artificial utilizado por las industrias arroceras de Costa Rica. Un estudio realizado por Zeledón y Mata (1992) en donde evaluaron el efecto del secado continuo y en tandas a diferentes temperaturas de secado sobre la calidad de molienda del arroz producido en Costa Rica; donde se utilizaron temperaturas de secado de 30, 45, 60 y 75°C, señalando que solo hubo diferencias

significativas en el rendimiento de molienda cuando se utiliza temperatura de 75°C. También otro resultado valioso de este estudio fue que a temperaturas de secado de 30 y 45°C no hubo diferencias significativas en el índice de pilada, pero que las temperaturas de 60° y 75° si hubo una reducción promedio en el índice de pilada del 28% y 51% respectivamente con respecto a las temperaturas de 30 y 45°C (**Figura 1.1**), lo cual refleja el efecto de las altas temperaturas de secado en calidad del arroz elaborado, específicamente en la fracción de grano entero que es la de mayor valor.

El índice de pilada refiere a la relación porcentual en masa de los granos enteros de arroz elaborado con respecto al arroz en cáscara, entendiéndose por arroz elaborado a los granos de arroz enteros o quebrados a los cuales se le haya sido removida la cáscara, lo embriones y el salvado (semolina) (ICAITI, 1978, citado en Hangen, 2002).

Cuadro 1. Rendimiento de molienda, índice de pilada, quebrado total y semolina, en arroz secado bajo diferentes condiciones¹.

Temperatura del aire (°C)	Modalidad de secamiento	Rendimiento de molienda (%) [*]	Índice de pilada (%) ^{**}	Quebrado total (%) ^{**}	Semolina total (%) [*]
30	continuo	70,81 ^a	63,46 ^a	10,38 ^a	8,22 ^a
30	etapas	70,55 ^a	62,22 ^a	11,80 ^a	8,48 ^{ab}
45	continuo	70,63 ^a	61,10 ^a	13,49 ^a	8,25 ^a
45	etapas	70,61 ^a	61,17 ^a	13,36 ^a	8,30 ^{ab}
60	continuo	70,30 ^a	45,93 ^b	34,66 ^b	8,05 ^a
60	etapas	70,51 ^a	43,43 ^b	38,40 ^b	8,15 ^a
75	continuo	68,54 ^b	29,21 ^c	57,38 ^c	9,78 ^c
75	etapas	68,87 ^b	30,67 ^c	55,48 ^c	9,50 ^{bc}

Valores con letras semejantes son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5%.

¹ Promedios de 4 repeticiones

^{*} Determinado por duplicado, para cada repetición.

^{**} Determinado por sextuplicado, para cada repetición.

Figura 1.1 Cuadro resumen del efecto del secado sobre la calidad de molienda.

Fuente: Zeledón y Mata (1992).

En otro estudio, Zeledón y Mora (1987), evaluaron el efecto del secamiento industrial en el contenido del grano quebrado del arroz en cáscara procesado en cinco molinos arroceros del país. Entre los resultados importantes se destaca que el molino que utilizaba secamiento por lotes fue el que menor daño causó, además que la temperatura del aire de secado es el factor más importante a controlar si se desea limitar el efecto detrimental que sobre la calidad del arroz tiene el secamiento

industrial, sustentando esto en los resultado obtenidos donde encontraron una correlación positiva y altamente significativa entre el incremento del grano quebrado y la temperatura del aire de secamiento. Una de las recomendaciones útiles que dejó esta investigación que pareciera perfilarse como eficaz para mantener el mínimo daño al arroz por fisuramiento fue la siguiente combinación: temperatura del aire de secamiento 45°C, temperatura final del grano 40°C y humedad final del grano 14%.

Hangen (2002) en su investigación hace una recomendación señalando la importancia de hacer un análisis de evaluación de la calidad en el tiempo de almacenamiento utilizando una combinación de variedades, ya que esto suele suceder en la mayoría de las arroceras de este país.

Otra investigación realizada en relación con la calidad del arroz fue la desarrollada por Zeledón, Barboza y Cruz (2007), donde se evaluaron las variables de calidad molinera utilizando mezclas de variedades de arroz durante el proceso de beneficiado tal como sucede en las industrias costarricenses. Entre los resultado más importantes destaca que la mezcla entre las variedades en estudio afecta de manera detrimental las variables de calidad molinera. También demostró que todas las variedades en estudio mezcladas presentaron un incremento en el quebrado muy fino en la semolina.

1.2 Justificación

Dentro del área de Ingeniería Poscosecha de Granos, se decidió desarrollar una evaluación de los parámetros de calidad del arroz en granza almacenado en un silo experimental propiedad de la Compañía Arrocera Industrial S.A, durante aproximadamente tres meses de almacenamiento, de octubre a diciembre 2011, en condiciones de operación normales de la planta, debido a la problemática que han identificado los encargados de la planta referente a pérdidas de calidad en el arroz almacenado.

El presente estudio se originó a partir de una propuesta realizada por parte del Ingeniero de Producción de dicha planta, el cual indicó algunos problemas que han tenido en cuanto a la pérdida de la calidad del arroz en granza (*Oryza sativa*) almacenado, afectando así el valor económico de dicha materia prima. Casini (2007)

señala que muchas veces el deterioro de la calidad de los granos pasa desapercibido creyendo así que los granos no sufrieron ningún cambio, pero en realidad hay una pérdida encubierta. Cuando el deterioro se hace visible, la merma del valor industrial es mayor y consecuentemente las pérdidas económicas son más significativas.

La importancia del presente estudio se basa en que no se han realizado estudios de la evaluación de calidad de los granos en el almacenamiento en Compañía Arrocera Industrial Planta Río Claro a una escala que logre identificar cuáles son las posibles causas que afectan la calidad inicial del arroz en granza (*Oryza sativa*) proveniente del campo y así poder satisfacer con criterios válidos la implementación de prácticas adecuadas de manejo postcosecha.

Evaluar la calidad del arroz almacenado en una industria como la mencionada anteriormente permitirá conocer con mayor exactitud los problemas que enfrentan muchas agroindustrias dedicadas a esta actividad, cómo el de conservar de la mejor manera la calidad de la materia prima. Tener conocimiento del porqué muchas veces se ve afectada la calidad del arroz almacenado, será la base para implementar medidas de prevención y mejoramiento de prácticas operativas de la industria en el proceso de almacenamiento.

1.3 Zona de estudio

Compañía Arrocera Industrial S.A. es una empresa costarricense que forma parte del Grupo Pelón. Esta empresa cuenta con dos plantas en Costa Rica para la industrialización del arroz. Una de estas plantas está ubicada en Liberia, Guanacaste y la otra en Río Claro, Golfito.

La planta ubicada en Río Claro es para nuestro caso el lugar donde se van a efectuar las pruebas “in situ” de evaluación de calidad o donde se va a desarrollar el proyecto. El silo experimental en la planta es el silo york #3 que cuenta con 719 sacos ó 1150 quintales. Ésta zona sur del país se caracteriza por altas humedades relativas y mucha precipitación durante gran parte del año.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

Evaluar la calidad de los granos de arroz en granza (*Oryza sativa*) almacenado por un periodo aproximado de tres meses en el silo york #3 de Compañía Arrocera Industrial Planta Río Claro, empleando los parámetros de calidad utilizados por la industria.

1.4.2 Objetivos específicos:

1. Identificar las prácticas de conservación de los granos utilizados por la empresa Compañía Arrocera Industrial Planta Río Claro.
2. Identificar las condiciones de calidad del grano luego de su proceso de acondicionamiento: limpieza y secado.
3. Evaluar los parámetros de calidad del grano: parámetros iniciales, calidad molinera y grados de calidad que está almacenado en el silo york #3, utilizando los intervalos de muestreo establecidos por la industria.
4. Establecer un proceso de comparación de los parámetros de calidad del arroz ingresado y el arroz luego de un proceso de almacenamiento común de la industria.
5. Plantear recomendaciones sobre cuáles son las mejores prácticas de conservación del grano almacenado que la empresa puede optar para disminuir las pérdidas de calidad del grano.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El arroz (*Oryza sativa*) es el cultivo cerealero mas importante del mundo en desarrollo y el alimento básico de más de la mitad de la población del planeta. Suele ser considerado como una planta herbácea anual semiacuática. Se conocen unas veinte especies del género *Oryza* pero prácticamente todo el arroz cultivado pertenece a *O. sativa* L (Bienvenido, 1994).

La calidad del arroz es el resultado de numerosas y variados factores, algunos de los cuales tienen que ver con características intrínsecas de la variedad, mientras que otros se refieren al manejo del cultivo, incluidas las labores de recolección, secado, transporte y almacenamiento del grano y las subsecuentes labores de molinería, y por último la forma de cocción (Medina, 1989).

Hangen (2002) indica que la determinación de la calidad está basada en una combinación de factores subjetivos y objetivos; y como se establece el orden de importancia en la calidad del arroz evaluado dependiendo directamente de su uso final. También Medina (1989) señala que la calidad del grano puede considerarse desde tres puntos de vista: la apariencia, calidad de molinería y calidad culinaria; y para evaluarla se ha establecido procedimientos y métodos que ayudan al fitomejorador en la evaluación de las líneas y variedades.

El valor económico, alimenticio, agrícola e industrial asociado a los granos y semillas, demanda cuidados especiales en el almacén para garantizar la conservación de su calidad, ésta debe mantenerse durante el tiempo que permanecerán en condiciones de almacenamiento y aun hasta el momento en que serán utilizados (Hernandez & Carballo, 2009).

El objetivo general del almacenamiento de granos es el de preservar la calidad, incluyendo el valor nutritivo; y para mantener los granos en buenas condiciones para la comercialización y procesamiento, reduciendo las pérdidas del producto y financieras. La función del almacenamiento ha llegado a tan importante que las normas de calidad

referente a plagas, pesticidas y otros contaminantes en los mercados nacionales e internacionales se han convertido cada vez más rigurosos (Somiahnadar, 2003).

Por otro lado, para conocimiento de los lectores cuando se menciona el término calidad molinera nos referimos a los factores de calidad tales como: rendimiento de arroz entero, quebrado, puntilla, cascarilla y semolina. También cuando nos referimos a grados de calidad estamos hablando de otros factores de calidad realizados al arroz pilado tales como: porcentaje de arroz manchado, arroz yesoso, arroz dañado, arroz rojo y número de semillas objetables.

2.2 Arroz en granza

2.2.1 Situación actual en Costa Rica

Según la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA, 2006) el arroz es un producto importante dentro de la canasta básica alimentaria de Costa Rica. De hecho, es el de mayor participación del gasto dentro de la misma. El país produce aproximadamente la mitad de lo que consume. La producción local se ha venido reduciendo en los últimos años, y consecuentemente, las importaciones han venido en aumento.

Por otro lado (SEPSA, 2006) indica que el arroz es el único producto agropecuario que tiene control de precios. Señala también que el control de precios se realiza tanto a nivel de finca (arroz en granza) como a nivel de consumidor (arroz pilado) en la calidad 80/20 que es el de mayor consumo en el país. El sistema se basa en la aplicación de modelos de costos que es el punto de partida para una negociación entre el gobierno y el sector, en donde el precio es administrado por el Ministerio de Economía, Industria y Comercio (MEIC).

En Costa Rica, cerca de 1000 productores agrícolas se dedican a producir arroz en granza. El tamaño de las operaciones es heterogéneo, encontrándose fincas de 1 hectárea o menos, hasta otras de más de tres mil hectáreas, Cerca del 84% de las fincas son menores a 50 hectáreas y solo un 4% tienen más de 200 hectáreas (SEPSA, 2006).

2.2.2 Variedades de arroz en granza sembradas en Costa Rica

Hay por lo menos 20 especies del género *Oryza*, el arroz más cultivado es el *Oryza sativa*. Las variedades de éste se han separado en tres tipos: índica, japónica y bulu. Las variedades tradicionales del arroz índica, cultivadas extensamente en los trópicos son altas y presentan mucho tallo, además de un color verde tierno en sus hojas y colgantes (Hangen, 2002).

En Costa Rica en años anteriores la gran mayoría de productores de arroz sembraban variedades que tenían altos rendimientos de producción de campo sin importar la calidad molinera. La idea en aquel tiempo era producir la mayor cantidad de arroz para así obtener mayores ganancias no teniendo en cuenta la calidad de su materia prima. Sin embargo, hoy en día los productores han cambiado su enfoque debido a que las industrias arroceras exigen mayor calidad para comprar, además que los nuevos mecanismos de valoración del arroz en granza castigan económicamente si el arroz no presenta una buena calidad de molino.

Hangen (2002) menciona algunas variedades que son sembradas en Costa Rica, tales como: CR-113, CR-5272, CR- 4338, CR- 1821, Fedearroz-50, entre otras. Aunado a esto cabe mencionar otras variedades que también se siembran y que están registradas en la Oficina Nacional de Semillas (2011), las cuales son: CFX-18, Puita INTA CL, Palmar-18, CR-4477, SENUMISA 15, Tenorio FL 238 y Sierpe FL 250.

2.2.3 Cosecha

A diferencia de la mayoría de otros granos producidos, la mayor parte de la cosecha de arroz debe secarse en forma artificial, pues su recolección es necesario efectuarla tan pronto el grano se encuentre maduro, para evitar daños y con el fin de conseguir la mayor cantidad de grano entero posible durante su molienda. Estudios norteamericanos han demostrado que el menor porcentaje de rotura se obtiene cuando el grano se recolecta con humedad de 19% a 22% (Castillo, 1984).

La Región Brunca es una zona histórica en la producción de granos básicos, cuyos registros se remontan a la década de los años 70, con grandes volúmenes de arroz, maíz y frijol. Donde al igual que el resto del país fue perdiendo área para la siembra de los

mismos, por razones de políticas institucionales y de gobierno; y al ingreso de actividades agropecuarias de mayor rentabilidad. No obstante es una zona que aporta el 33% del arroz que se produce a nivel nacional (Castaing & Benavides, 2008)

La Región Brunca se caracteriza por ser una productora de arroz por excelencia, actualmente produce aproximadamente el 33% de la producción a nivel nacional. Lo anterior hace que se dinamicen otros sectores asociados a la producción de arroz como lo es: casas comerciales expendedoras de agroinsumos, el sector transporte y otras personas que se dedican a la venta de servicios de preparación de terrenos y control de problemas fitosanitarios y entomológicos así como el control de malezas (Castaing & Benavides, 2008).

Para la cosecha las plantas deben observarse diariamente, y debe inspeccionarse la panícula en casi todos los vástagos. El agua debe drenar 1-1,5 semanas antes de la cosecha para ayudar a la maduración. La cosecha debe iniciarse hasta que se evapore el rocío o humedad de las plantas, ya que esto evita pérdidas de grano por arrastres adheridos a la paja y atascamiento en los elevadores de la cosechadora causando atrasos en la cosecha. (Hangen, 2002).

El conocimiento de las características de las variedades y el número de días desde la siembra hasta la maduración, pueden servir de guía para determinar el momento oportuno de la cosecha. Sin embargo, deben de considerarse también aspectos como temperatura, precipitación, luz solar disponible, fertilización y otras prácticas que puedan modificar en cierta medida la duración de las variedades (Hangen, 2002).

2.3 Acondicionamiento del arroz en granza

2.3.1 Limpieza

La recolección mecanizada de cereales, ha aumentado su contenido de impurezas y grano partido en relación al de los granos recolectados manualmente y trillados en máquinas estacionarias. Para economizar tiempo, normalmente el operario de la cosechadora no se preocupa demasiado por ajustar la altura de la cabeza recolectora de la máquina según las irregularidades del terreno, de tal manera que puede recoger más

tallos e impurezas de los que puede separar en forma efectiva la máquina, ensuciando así los granos (Castillo, 1980).

Desde hace muchos años, se sabe que la existencias de impurezas, polvo y otros cuerpos extraños en los granos alimenticios aceleran el deterioro porque los granos, si no se han limpiado, tienen más tendencia a recalentarse que el grano limpio de igual contenido de humedad. No se conoce con certeza la razón de ello, pero es evidente que las materias extrañas tienen mayores cantidades de esporas de mohos y bacterias y que los excrementos de insectos y el polvo aumentan el contenido de humedad correspondiente a una misma humedad relativa (Hall, 1971).

Según Castillo (1978), todos los granos deberían limpiarse antes de su secado y, si fuere posible, limpiarse nuevamente después del proceso antes del depósito en silos, con el fin de eliminar gran parte del polvo que no puede removerse mientras el grano esté húmedo. También porque durante el llenado de silos de gran diámetro, el polvo tiende a flotar sobre la superficie, cuando se suspende el polvo se decanta, si se reinicia posteriormente, la presión del nuevo grano compacta el polvo formando “costras” que impiden el paso de aire siendo invadido por hongos y contaminar el grano.

Araullo et al, citado en Hangen, 2002 señala que la limpieza implica separarlo del barro, pedazos de tallo, semillas de malezas y otras materias extrañas. Esto se realiza para proteger el equipo de procesamiento y mejorar el producto final.

2.3.2 Secado de granos

Para impedir el deterioro acelerado del arroz húmedo recién cosechado, se le seca hasta una humedad apropiada de almacenamiento (12 a 14% base húmeda). Con un bajo contenido de agua, el grano queda en estado relativamente latente y puede almacenarse durante largos períodos (Universidad de Filipinas, 1979, citado en (Zeledón & Mata, 1992).

Según Castillo (1984) el secado se define como la remoción por medios térmicos de agua contenida dentro de los sólidos.

El arroz es un grano delicado de secar; pocos minutos después del tratamiento mal ejecutado pueden acabar con los resultados de los esfuerzos de 4 ó 5 meses de cultivo. El calor que se aplica al grano aumenta la presión de vapor de la humedad interna y la hace migrar hacia la superficie, donde en forma gaseosa se combina con el aire. Como el traslado de la humedad del interior del grano es más lento que la evaporación de la superficie, se establece dentro del grano un gradiente de humedad; la temperatura aplicada en el exterior del grano tampoco se transmite inmediatamente al interior, de tal manera que se establece otro gradiente, esta vez de temperatura, que junto con la humedad, debe mantenerse dentro de los niveles controlados para evitar fisuras que se producen por la naturaleza frágil del arroz (Castillo, 1984).

Existen dos formas de desecación de los productos alimenticios: natural y artificial (Hall, 1971). El arroz puede ser secado de forma natural mediante la exposición del grano a la energía del sol o artificialmente, forzando aire caliente a través de una masa de grano (Janicki & Green, 1976; citado en Zeledón & Mata, 1992).

Cuando se emplea la desecación natural, ha de tenerse cuidado de que ésta no sea demasiado rápida ni excesiva y de reducir al mínimo los movimientos bruscos del grano que pueden romper o debilitar la envoltura de las semillas. Por otro lado hay que preocuparse de eliminar el polvo y las impurezas, ya que son materias extrañas y aceleran el deterioro porque permiten un aumento del contenido de humedad y facilitan la contaminación por hongos (Hall, 1971).

El secado artificial de los granos es una práctica ampliamente difundida, que al mismo tiempo origina una serie de diversos problemas que afectan los costos y la calidad de los granos (De Dios, 1996). Una investigación publicada por Zeledón y Mora (1987) demostró que el secado tiene una influencia directa sobre la calidad de molienda, específicamente en el aumento del porcentaje de grano quebrado y que los factores de más control son la temperatura del aire desecante y la velocidad de secamiento, siendo la temperatura el factor más importante a controlar.

Según Hall (1971) el desecamiento artificial es un método que se basa en la utilización de aire a la temperatura ambiente y de medios mecánicos para hacerlo

circular a través del producto, o de aire calentado a mayor temperatura que la del ambiente, combinado o no con medios mecánicos para pasarlo entre los granos. En el caso de arroz para consumo humano en una secadora de capas delgadas la temperatura máxima para el secado es de 43°C.

La importancia del secamiento ha aumentado considerablemente en los últimos años. El secamiento de sus productos permite al productor y al procesador asegurarse un mayor beneficio económico por varias razones, entre las que se pueden citar:

- Cosecha más temprana, a mayor contenido de humedad, lo cual reduce los daños de campo y facilita las labores de labranza.
- Almacenamiento por períodos tiempo prolongados sin deterioro del producto.
- Conservación de la calidad del grano por períodos de tiempos mayores.
- Operaciones de producción más sencillas.
- Obtención de productos de mayor valor económico.
- Mejor utilización de los subproductos, como el caso del pergamino seco del café o cascarilla del arroz que se pueden emplear como fuente de energía en el mismo proceso de secamiento.

2.4 Almacenamiento

El almacenamiento de los granos tiene tres finalidades: conservar una reserva de productos alimenticios, prestar servicio a una organización comercial y guardar semilla para la campaña siguiente (Hall, 1971). Así pues el grano es almacenado por el productor, el comerciante, el elaborador y el exportador y los métodos adoptados en todos estos sectores están vinculados con el problema del deterioro de los productos alimenticios.

Según Berrocal (2005) el almacenamiento es una etapa del proceso poscosecha que se da en los granos, frutas, verduras y de muchos alimentos. El almacenamiento no solo permite tener el producto por un tiempo antes de consumirlo sino comercializarlo. Según Hall (1971) el almacenamiento se hace de dos maneras: en sacos o a granel en

gran diversidad de recipientes. La elección entre ambos procedimientos depende de los siguientes factores locales:

- tipo de producto
- duración del almacenamiento
- valor del producto
- clima
- sistema de transporte
- costo y disponibilidad de mano de obra
- existencia de sacos a la venta y precios de los mismos
- peligro de ataque de roedores y de infestaciones por ciertas especies de insectos.

Por un lado el almacenamiento en sacos según Hernández y Carballo (2009) tienen poca duración, su manipulación es lenta, no proporcionan buena protección contra la humedad, insectos y roedores. Su rotura ocasiona pérdidas de producto almacenado y facilita la infestación por plagas. Por otro lado Hall (1971) señala que el almacenamiento a granel tiene la ventaja que es mecanizable, la manipulación es rápida, hay poco derrame pero también tienen la desventaja porque requiere una cuantiosa inversión de capital y poca protección contra la reinfestación.

2.4.1 Factores que inciden en la conservación de los granos

En los trópicos, en general, las temperaturas ambiente son más elevadas y no se dispone, como en las zonas templadas, de las bajas temperaturas del otoño e invierno, después de las cosechas, que permiten enfriar en forma fácil y económica los granos, con la utilización de los sistemas de aireación (Castillo, 1984).

Son muchos factores que pueden ocasionar el deterioro de los productos después de las cosechas. La composición y características del comportamiento de los granos alimenticios son variables y éstos se encuentran siempre sometidos a fuerzas externas, entre ellas los factores físicos, tales como la temperatura y la humedad; los factores químicos como el suministro de oxígeno; los agentes biológicos, tales como bacterias,

hongos, insectos y roedores; y el hombre, por sus métodos de manipulación, almacenamiento, transporte y desinfestación de los productos (Hall, 1971).

A continuación se describen los factores de mayor incidencia en los granos almacenados:

a. Humedad

Es el factor mas importante importante a controlar para que un grano se conserve en forma adecuada. La actividad biológica depende principalmente del contenido de humedad (Castillo, 1984).

Según Hall (1971) la humedad se traslada de un lugar a otro por efecto de las diferencias de temperatura o de la presión variable de vapor. La humedad puede transportarse por el aire caliente que se eleva ayudado por las corrientes de convección, arrastrando la humedad hacia las zonas de temperatura mas baja y haciendo que se condensen sobre la superficie de éstas. El movimiento de la humedad fuera de los granos ocurre debido a las presiones mas altas del vapor en el grano que en el aire que le rodea.

Como es mas facil medir la humedad del grano que la humedad relativa del aire que lo circunda, se utiliza el contenido de humedad como criterio principal para definir la capacidad de conservación de un grano. En general se puede decir que contenidos de humedad inferiores a 13% en granos almidonosos (maíz, arroz, sorgo, entre otros) y 12% en soya, impiden el crecimiento de hongos en casi cualquier circunstancia climática normal (Castillo, 1984).

Hall (1971) inidica que cuando el aire de la atmósfera presenta mas humedad que el grano, éste reacciona absorbiendo humedad del aire, mientras que cuando el aire presenta menos humedad que el grano, éste reacciona cediendo humedad al aire.

Según (Villalobos, 2002; citado en Hangen, 2002) se recomienda que se almacene el grano a un contenido de humedad entre 12 y 12.5% en época de verano, mientras que para la época de invierno sea entre 11.5 y 12%.

En las siguientes figuras se aprecia la relación entre humedad relativa ambiente y el contenido de humedad.

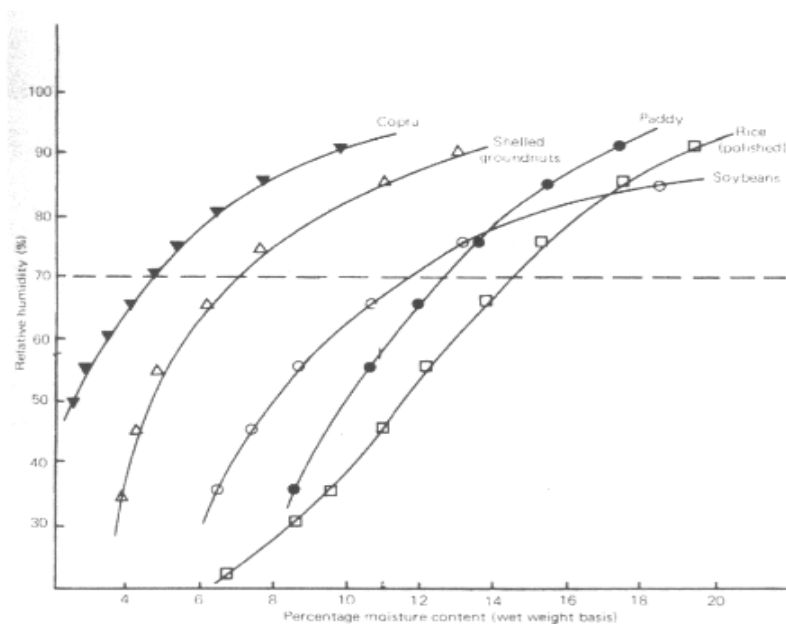


Figura 2.1. Curvas de contenido de humedad con respecto a la humedad relativa de equilibrio.

Fuente: Araullo, 1976; citado en Hangen, 2002

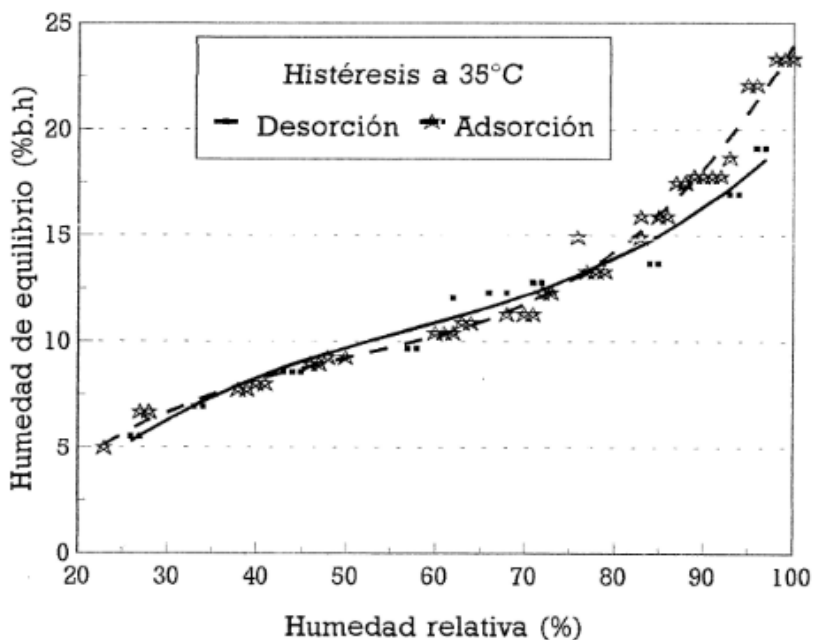


Figura 2.2. Efecto del humedecimiento en la relación de humedad de equilibrio en arroz en granza.

Fuente: Jiménez (1996)

b. Respiración

Si no han sufrido ninguna elaboración, los granos suelen estar vivos, respiran y desprenden calor, humedad y anhídrido carbónico. La respiración es un proceso que se acelera por si mismo. La humedad producida puede incrementar el contenido de agua del grano, lo que a su vez provoca un aumento de la intensidad de la respiración. Asimismo, el calor engendrado puede elevar la temperatura del grano y traer consigo una intensificación de la respiración (Hall, 1971).

c. Temperatura

El nivel de actividad metabólica de los granos aumenta con la temperatura y, cuando se combina con humedad elevada, acelera el desarrollo de hongos e insectos. (Castillo, 1984).

La temperatura es un factor decisivo para el desarrollo de todos los organismos y su efecto guarda relación con la cantidad de humedad ambiente. La cantidad de humedad relativa existente en la atmosfera disminuye a medida que sube la temperatura. Si la humedad es muy grande, la respiración del grano aumenta al extremo de producir germinación (Hall, 1971).

Cabe destacar según Castillo (1984) la temperatura del grano no debería ser mayor en 5°C a la ambiente, con el fin de disminuir el riesgo de migraciones de humedad. Durante el almacenaje principalmente en silos, la temperatura del grano se utiliza como un indicador de su estado, pues cualquier aumento de su temperatura sobre la que tenía al iniciar el almacenaje, es señal del deterioro causado por la actividad de hongos e insectos.

Diferencias de temperatura entre el interior y el exterior del silo provocan migraciones de humedad. En la siguiente figura se aprecia tal efecto. En el silo izquierdo de la figura se aprecia una acumulación de humedad en la parte superior de la masa de grano debido a que la temperatura del ambiente exterior es inferior a la del grano. En el silo derecho de la figura se aprecia una acumulación de humedad en la parte inferior de la masa de grano, debido a que la temperatura del interior del silo es inferior a la del ambiente externo.

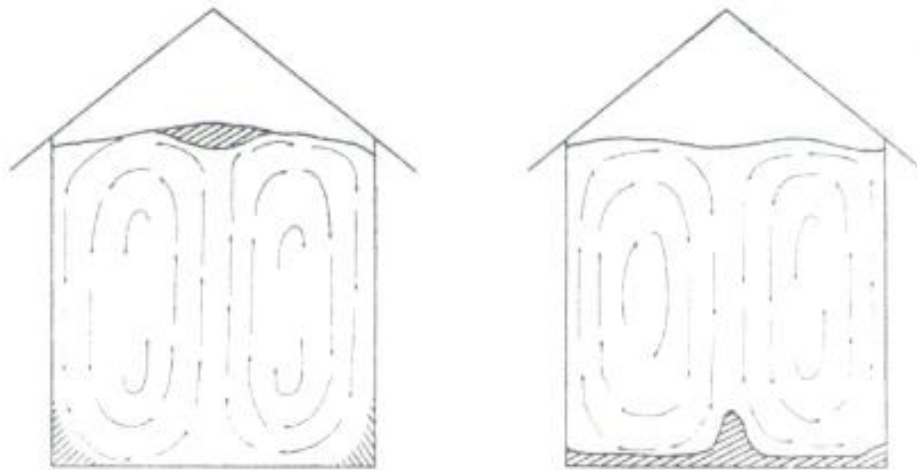


Figura 2.3. Migración de humedad en el interior de una masa de grano

Fuente: Hall, 1971

d. Impurezas y grano partido

La recolección mecanizada de los cereales han aumentado el contenido de impurezas y grano partido en relación con el de los granos recolectados manualmente y trillados con máquinas estacionarias. Algunos tipos de granos cuyo secamiento en la planta no es uniforme se recolectan con mayores impurezas que otros (Castillo, 1984).

Por otro lado Castillo (1984) enfatiza que el manejo mecanizado de granos, en las plantas de acondicionamiento produce golpes que contribuyen a quebrar el grano, especialmente si se ha sometido a secado rápido, con alta temperatura que aumenta su fragilidad.

Se sabe de la existencia de impurezas, polvo y otros cuerpos extraños en los granos alimenticios aceleran el deterioro (Hall, 1971), porque durante el almacenaje estas impurezas tienden a absorber humedad del grano circundante, formando puntos calientes que ponen en peligro la seguridad de todo el grano almacenado (Castillo, 1984).

e. Agentes biológicos

Por lo común, el deterioro de los cereales alimenticios es ocasionado por los siguientes agentes biológicos: hongos, ácaros, insectos, roedores, pájaros entre otros. La tasa de desarrollo y capacidad destructiva de estos agentes nocivos varían según las condiciones de temperatura y humedad (Hall, 1971).

Los hongos son plantas multicelulares que carecen de raíces, hojas y clorofila, por lo tanto, deben nutrirse con productos que le suministren energía, como los granos (Castillo, 1984). Todos los productos alimenticios están expuestos a ser atacados por hongos. La dominancia de las especies de hongos dependen, en cualquier momento dado, de la importancia de la inoculación original, de la composición química del producto y de las condiciones de temperatura en que ha sido almacenado (Hall, 1971).

Según Hall (1971) no se contaba con suficientes estudios de que se produzcan infestaciones análogas en las zonas tropicales, si bien los datos relativamente escasos de que se dispone indican la presencia de ácaros en los productos tropicales. De aquí que predomine la opinión general de que los ácaros no constituyen en sí un peligro para el almacenamiento de países tropicales y subtropicales.

Por otro lado tenemos los insectos que según Hall (1971) en las zonas tropicales ciertos coleópteros y lepidópteros son los principales insectos parásitos causantes de pérdidas y deterioros en los granos alimenticios almacenados. Para el arroz tenemos entre los más frecuentes: *Sitophilus* spp, *Rhizopertha dominica* F., *Tribolium* spp, *Cryptolestes* spp, *Ephestia cautella* Walk, entre otros.

En la siguiente figura se muestra cual es la condición de temperatura, rango de humedad relativa y contenido de humedad para un almacenamiento seguro:

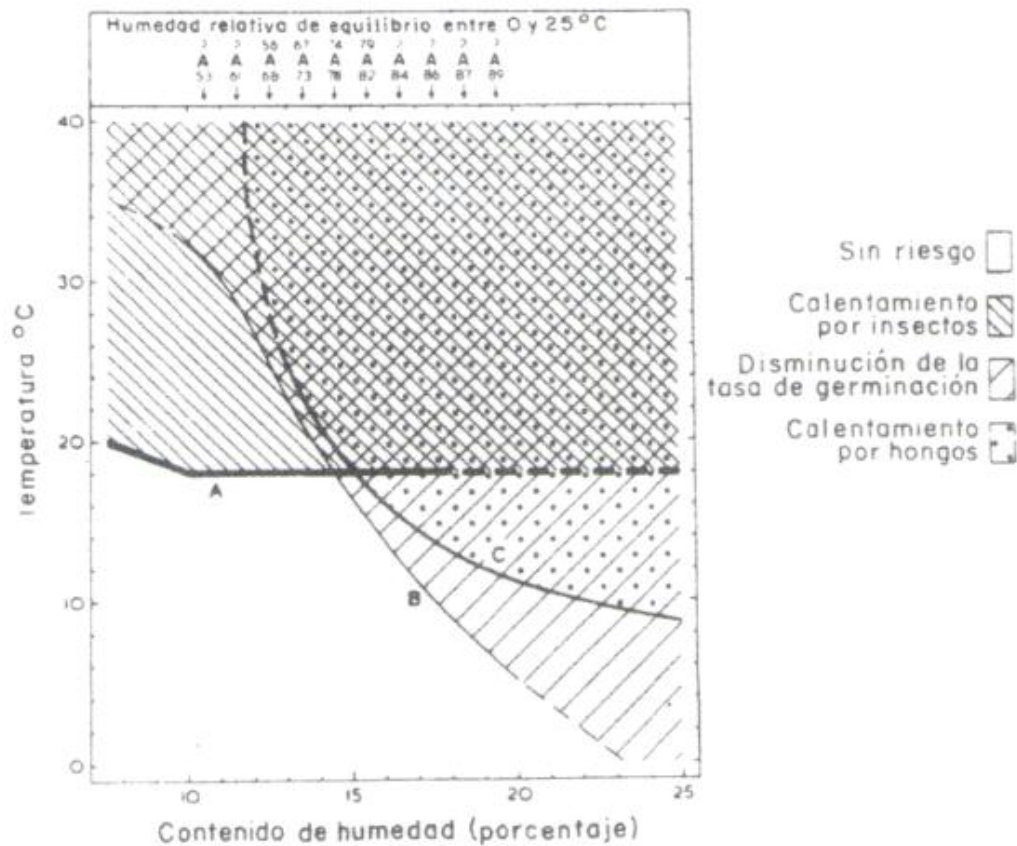


Figura 2.4. Temperatura, humedad relativa y contenido de humedad para el almacenamiento seguro.

Fuente: Hall, 1971

2.4.2 Aireación

La aireación es el movimiento forzado de aire ambiente adecuado a través de la masa de granos, con el objetivo específico de disminuir y uniformar la temperatura, proporcionando condiciones favorables para la conservación de la calidad del producto durante ese período. El aire se distribuye dentro de los ductos de aireación del grano o en el piso perforado (Broker et al, 1992; citado en Hangen 2002).

Hoy en día la aireación, se ha tornado en una práctica muy común en todo el mundo, y se acepta como una técnica de conservación de la calidad de los granos almacenados. La aireación es una técnica aplicable para cualquier estructura de almacenamiento a granel. Sin duda, el almacenamiento a granel por un período de

tiempo prolongado es impráctico sin un sistema de aireación bien proyectado y adecuadamente manejado (Arias, 1993).

Los caudales de aire utilizados en la aireación de granos son muy pequeños y, en consecuencia, el proceso de enfriamiento y uniformidad de la temperatura de la masa es bastante lento, exigiendo muchas horas para realizarse plenamente. Además, es importante que el aire del ambiente que va hacer forzado a través de la masa de granos, esté en condiciones de temperatura y humedad adecuadas para que se puedan aprovechar todos los beneficios que la técnica puede ofrecer.

Sin duda, nunca es posible mejorar la calidad del producto almacenado; lo más que se consigue es preservar la calidad inicial del producto recibido, y todos los esfuerzos que se hacen durante el almacenaje deben ser dirigidos hacia ese objetivo: mantener la calidad de los granos. En este contexto, la aireación tiene un papel esencial, motivo por el cual es preciso que se explote al máximo, ya que incuestionablemente, la implementación de los principios y la práctica de la aireación, implican un mayor avance en la ciencia de mantener la calidad de los granos almacenados (Arias, 1993).

Cuando la temperatura de la masa de granos, próxima a la pared, está más fría se presenta un movimiento del aire frío en sentido descendente y, en consecuencia, el aire caliente (el del interior de la masa) se mueve en sentido ascendente. Este movimiento de aire, ocasionado por la diferencia de temperatura, propiciará condensación de la humedad, ya que el aire frío descendente ocupará el lugar del aire caliente que subió por convección natural. Cuando el aire caliente se encuentra en la parte superior de los granos, que está fría, disminuye su temperatura y si ésta baja hasta un valor inferior a la del punto de rocío, la humedad se condensará. Esta condensación, además de presentarse en la capa de granos, puede ocurrir también en la chapa del techo del silo lo que hace posible que la humedad gotee sobre la masa de granos. La humedad condensada podrá usarse para actividades biológicas tanto del grano como de los microorganismos.

En la estación del año en que la temperatura del aire externo es mayor que la de la masa de granos pueden producirse corrientes de convección, en el sentido opuesto a las

descritas anteriormente. El problema de condensación de la humedad puede presentarse en la capa inferior de la masa de granos, principalmente sobre las capas que cubren los ductos de distribución del aire. Es posible prevenir la migración de humedad disminuyendo el diferencial de temperatura de la masa de granos. El uso de aireación es la técnica más simple que se puede emplear (Arias, 1993).

En la siguiente figura se muestran los caudales de aire dependiendo el propósito de aplicación para los diferentes tipos de almacenes.

Propósito	Enfriamiento	Mantenimiento temporal de granos húmedos	Aplicación de fumigantes	Seca aireación
Tipo de Almacén	Silos graneleros	Silos graneleros	Silo estanque	Silo
Caudal de Aire ($m^3 \cdot min^{-1} \cdot ton^{-1}$)	0,05-0,10 0,10-0,20	0,25 0,50	0,025	0,5 1,0
	Reducir el desarrollo de insectos	Prevenir el calentamiento de granos húmedos	Aplicación de fumigantes para control de insectos	Secado
				Enfriamiento
	Reducir el crecimiento de la micro-flora	Evitar la migración de humedad uniformizar la temp.	Remover residuos de gases y olores	
Resultados	Preservar la calidad do granos y semillas	Eliminar focos de calentamiento		
	Evitar la migración de humedad uniformizar la temp. Eliminar focos de calentamiento	Secado limitado		

Figura 2.5 Caudales de aire ($m^3/min/ton$) de acuerdo al propósito de aplicación
Fuente: Navarro y Calderón, 1982; citado en Arias, 1993.

2.5 Pérdidas de los productos alimenticios almacenados

Las pérdidas de los productos alimenticios almacenados no siempre son evidentes y el deterioro de la calidad rara vez se aprecia en toda su gravedad. El deterioro de los productos alimenticios almacenados puede haber comenzado antes de la recolección, esto es, cuando estaban madurando (Hall, 1971).

Los organismos causantes de plagas, insectos y ácaros en los invertebrados, aves y roedores en los vertebrados y los microorganismos incluyendo hongos, levaduras y bacterias, causan la depreciación del grano en el almacenamiento. La interacción de todas las plagas en el ecosistema de granos tienen un efecto acumulativo sobre la calidad del grano y por lo tanto conduce a pérdidas cualitativas, cuantitativas y nutritivo (Somiahnadar, 2003).

Hall (1971) señala que puede ocurrir que los métodos de manipulación, desecación y transporte empeoren la calidad y que las condiciones de almacenamiento favorezcan el desarrollo de microorganismos, así como alteraciones químicas en los productos.

En los países tropicales y subtropicales, es corriente que el deterioro de los productos, que se manifiesta en forma de mermas de peso, transformaciones químicas que afectan el contenido de proteínas, carbohidratos y aceite y contaminación por toxinas químicas, fragmentos de insectos y orina (Hall, 1971) y excrementos de roedores e insectos que contienen ácido úrico (Somiahnadar, 2003).

Según una estimación de la FAO, las pérdidas anuales mundiales durante el almacenamiento ascienden al diez por ciento de la totalidad del grano guardado, o sea, trece millones de toneladas destruidas por los insectos o cien millones de toneladas por tenerlo en indebidas condiciones (Wolpert, 1966; citado en Hall, 1971), pero es de suponer que en las regiones templadas sean menores las pérdidas que en las zonas tropicales y subtropicales. Al parecer las pérdidas actuales representan el treinta por ciento en vastas regiones del globo (Hall, 1971).

2.5.1 Tipos de pérdidas

Según (Hall, 1971) las distintas maneras de deteriorarse los productos entre la época de cosecha y el consumo provocan alteraciones que normalmente son perceptibles por los sentidos corporales: la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto. Las pérdidas pueden ser de varias clases, de las que se pueden citar:

a. Pérdidas de peso:

Son resultado de que se evapora la humedad, de que los insectos, roedores y pájaros devoran cantidades de un producto y de que se deja que parte de éste se derrame del recipiente en que se transporta o almacena.

Datos registrados de varios países revelan grandes pérdidas de peso en productos almacenados, de los que podemos citar: Estados Unidos con mermas de 1.5%, equivalente a 0.04 millones de toneladas métricas de arroz por año, India con 11 millones de toneladas, entre otros (Hall, 1971).

b. Pérdida de valor nutritivo:

La merma de peso durante el almacenamiento que no haya sido producida por disminución de la humedad es una indicación de la pérdida de valor nutritivo. Esta clase de perjuicio puede ser una consecuencia de la exposición del producto a condiciones extremas de temperatura y humedad relativa durante la desecación, la elaboración y el almacenamiento, del desarrollo de hongos o del ataque de insectos, roedores y pájaros.

c. Pérdida de calidad:

La calidad de los productos alimenticios se evalúa de diferentes maneras, según las particularidades a que se concedan importancia la población local y los comerciantes interesados. Se juzga de la calidad por el aspecto y también depende de éste la clasificación de los productos, pero a veces el color y el sabor sirven también para formar criterio de la calidad. En otros casos se considera también datos químicos, por ejemplo, el contenido de aceite, la humedad, presencia o carencia de toxinas.

Los daños causados por los insectos en los productos alimenticios secos reducen la calidad de éstos, así como también lo señala Hall (1971), donde la contaminación por materias extrañas que no forman parte del producto, pero que se hallan mezcladas con él, tales como piedras, tierra, vainas, insectos, entre otros, tienen una calidad inferior.

d. Pérdida de dinero:

El comerciante pierde dinero si los productos se han deteriorado en sus almacenes. En algunos casos, las cantidades almacenadas no se anotan con precisión y las ganancias del comerciante llegan a quedar anuladas por las pérdidas cuantitativas resultantes de la desecación, la exudación de aceite, los derrames de productos, las mermas ocasionadas por los roedores y pájaros (Hall, 1971).

Datos señaladas por (Hall, 1971) estima que en ciertas regiones los daños causados por los roedores se han estimado en un 3 por ciento, un 10 por ciento por pérdida de peso ocasionada por derrames de productos.

2.6 Calidad de los granos

La calidad del arroz es el resultado de numerosos y variados factores, algunos de los cuales tienen que ver con características intrínsecas de la variedad, mientras que otros se refieren al manejo del cultivo, incluidas las labores de recolección, secado, transporte y almacenamiento del grano y las subsecuentes labores de molinería, y por último la forma de cocción (Medina, 1989).

La calidad de los granos está dada por las características físicas de los mismos, su composición química y las propiedades funcionales de sus componentes (Giambastiani, 2002; citado en Berrocal 2005).

La calidad del grano puede considerarse desde tres puntos de vista: la apariencia, la calidad molinera y la calidad culinaria. Para evaluarla se ha establecido procedimientos y métodos que ayudan al fitomejorador en la evaluación de las líneas y variedades (Medina, 1989).

Según Hagen (2002) casi todos los tipos de arroz que se procesan y se consumen en forma de grano entero, y las propiedades físicas del grano intacto como el tamaño, forma, uniformidad y apariencia general son de mucha importancia para la calidad del arroz.

2.6.1 Parámetros de calidad

a. Impurezas

Se define como aquella materia extraña al arroz en granza, granos de arroz fisiológicamente inmaduros y granos de arroz descascarados, que sean separados por métodos mecánicos de limpieza (CONARROZ, 2008).

La acumulación de impurezas y materia extraña en determinadas zonas de un silo vertical o de un granero forma una masa compacta y húmeda que dificulta las operaciones de secado, aireación y fumigación. En general, los granos almacenados presentan un espacio vacío del 40 al 50 por ciento del volumen que ocupan. Si la masa de los granos contiene un alto porcentaje de polvo, fragmentos del producto y cuerpos extraños, éstos ocuparán los espacios vacíos, lo que dificultará las diversas operaciones. El espacio intergranular deberá estar exento de impurezas y materias extrañas, con la finalidad de que presente condiciones óptimas para el paso del aire caliente (secado), del aire frío (aireación) y de los fumigantes (Arias, 1993).

Para determinar el porcentaje de impurezas se utiliza la siguiente fórmula tomada de Reglamento RTRC 406-2007:

$$\text{Porcentaje de impurezas} = \frac{(Ma - MaL)}{Ma} * 100 \quad (1)$$

Donde:

Ma: masa de la muestra de ensayo, en gramos

MaL: masa de la muestra de ensayo limpia, en gramos

b. Contenido de humedad

Según (Mora, 1997) este término se refiere a la relación que existe entre la cantidad de agua y la de materia seca en el grano. El contenido de agua es una de las características más importantes en los granos, por su efecto en los mismos durante los diferentes procesos de cosecha y poscosecha. Es necesario conocer el contenido de humedad para determinar el mejor momento de cosecha, para los procesos de secado, durante el almacenamiento y para el procesamiento de los granos.

Es indispensable tener un control adecuado en los granos para disminuir los daños producidos los organismos (Mora, 1997), ya que los granos húmedos constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos, insecto y ácaros (Arias, 1993).

La humedad o contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en el grano o producto y existen tres tipos de agua:

- Humedad libre o absorbida

Es el agua que se encuentra simplemente depositada en la superficie del grano o en los espacios intergranulares y poros. Puede estar presente en forma líquida o gaseosa y se mantiene dentro del producto por fuerzas de capilaridad, que son más débiles que las intermoleculares

- Agua adsorbida

Es el agua que está unida más fuertemente a la materia seca. Las moléculas de esta agua interactúan con las del producto y en consecuencia sus propiedades se afectan. Este tipo de agua se mantiene unida por fuerzas físicas muy fuertes debidas a la atracción entre las moléculas del material y las del agua.

- Agua de constitución

Es el agua que forma parte intrínseca de la composición química de la materia seca del grano y sólo puede removerse en condiciones rigurosas.

En realidad, no hay un límite definido entre el agua absorbida y adsorbida puesto que ambos tipos se combinan entre sí. Es más, no existe una separación clara entre los

tres tipos de agua mencionados; lo que existe en los productos agrícolas es agua con todos los grados de fijación posible entre la totalmente libre y la de composición química.

El contenido de humedad se puede determinar mediante la fórmula siguiente:

$$CH_{basehumeda} (\%) = \frac{Pa}{Pt} * 100 \quad (2)$$

Donde:

$CH_{basehúmeda}$: contenido de humedad

Pa: Peso de agua

Pt: Peso total (Pa + Pms)

$$CH_{baseseca} (\%) = \frac{Pa}{Pms} * 100 \quad (3)$$

Donde:

$CH_{baseseca}$: contenido de humedad

Pa: Peso de agua

Pms: Peso materia seca

El contenido de humedad en base seca (C.H. b.s.) se puede relacionar con el contenido de humedad en base húmeda (C.H. b.h.) y se expresa mediante la combinación de las ecuaciones anteriores.

$$CH_{b.s.} = \left(\frac{CH_{b.h.}}{100 - CH_{b.h.}} \right) * 100 \quad (4)$$

2.6.2 Arroz elaborado, pilado o blanco

Se define como granos de arroz enteros y quebrados, a los cuales se le ha removido la cáscara, la mayor parte de las capas exteriores del endosperma (pericarpio, tegumento y aleurona) y el embrión. También se conoce como arroz elaborado o blanqueado (CONARROZ, 2008).

A continuación se definen algunos parámetros de calidad del arroz elaborado tomados del (CONARROZ, 2008), (Mora, 1997) y (Arias, 1993).

a. Rendimiento de pilada

Es la cantidad de arroz pilado entero y quebrado, que se obtiene a partir de una muestra de ensayo de arroz en granza sin impurezas y se expresa en porcentajes.

$$\text{Rendimiento de pilada } (Rp) = \frac{Ap}{Ma} * 100 \quad (5)$$

Donde:

Rp: Rendimiento de pilada

Ap: Masa de arroz pilado en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de 1000g + 0.1g

b. Rendimiento de semolina

Se define como semolina al subproducto del proceso agroindustrial, que se obtiene al someter al arroz integral al proceso de pulido que está constituida en su mayor por las capas exteriores del endospermo y el embrión.

Es la cantidad de semolina que se obtiene a partir de la muestra de ensayo de arroz en granza sin impurezas y se expresa en porcentajes.

$$\text{Rendimiento de semolina} = \frac{(AI - AP)}{Ma} * 100 \quad (6)$$

Donde:

AI: Masa de arroz integral en g

AP: Masa de arroz pilado en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de 1000g + 0.1g

c. Porcentaje de grano entero

El grano entero se define como grano de arroz pilado, cuya longitud es igual o mayor a tres cuartos de la longitud del grano sin quebraduras. Algunos granos se les haya quebrado una parte pequeña de los mismo no afectan demasiado sus características para el procesamiento, almacenamiento o conservación. Por esto dichos granos son considerados como aceptables y se les incluye dentro de un grupo de pedazos de grano grandes y granos completos que, en varios sistemas se conocen como granos enteros. Es usual definir como granos enteros los que son iguales o mayores a determinada fracción de un grano completo. Es muy utilizada la fracción de 3/4 (75%) del grano, para separar los granos enteros de los quebrados

Es la cantidad de arroz pilado entero que se obtiene a partir de la muestra de ensayo de arroz en granza sin impurezas y se expresa en porcentajes.

$$\text{Porcentaje de grano entero} = \frac{E}{Ma} * 100 \quad (7)$$

Donde:

E: Masa de grano entero en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado de 40 g \pm 0.1 g

d. Porcentaje de grano quebrado

Se define como grano quebrado grueso a la fracción de arroz pilado, cuya longitud es menor a tres cuartos, pero mayor a un cuarto de la longitud del grano sin quebraduras. En principio un grano quebrado es aquel al que se le ha fraccionado alguna parte del mismo. Sin embargo, como se mencionó en la definición anterior, granos a los que les falta una pequeña parte del mismo normalmente se incluyen dentro de los granos enteros dejando como quebrados a aquellos pedazos de grano de menor tamaño. Por lógica, si se acepta que un grano entero es el tiene 3/4 o más del tamaño de un grano completo, un grano quebrado será el que sea menor de 3/4 de una grano completo.

Se define como porcentaje de quebrado grueso a la cantidad de grano quebrado que se obtiene a partir de la muestra de ensayo de arroz en granza sin impurezas y se expresa en porcentajes.

$$\text{Porcentaje de quebrado } (PQ) = \frac{Q}{Ma} * 100 \quad (8)$$

Donde:

QG: Masa del grano quebrado en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado de $40 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$

e. Porcentaje de puntilla

Se define como puntilla a la fracción del grano de arroz pilado cuya longitud es de una cuarta parte o menos, de la longitud promedio del grano sin quebraduras, en la muestra.

El porcentaje de puntilla se define como la cantidad de puntilla que se obtiene a partir de la muestra de ensayo de arroz en granza sin impurezas y se expresa en porcentajes.

$$\text{Porcentaje de puntilla } (PP) = \frac{P}{Ma} * 100 \quad (9)$$

Donde:

P: Masa de puntilla en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado de $40 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$

f. Porcentaje de grano dañado

Se define como grano dañado al grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que presenta deterioro por acción de insectos, microorganismos, humedad o causas mecánicas. En forma general se considera que un grano está dañado cuando presenta cambios evidentes en el color, olor o estructura y que estos cambios hayan sido provocados por la acción de agentes biológicos (microorganismo o plagas), por exposición a altas temperaturas durante el secado o por auto calentamiento, por bajas

temperaturas (en el campo) o por otras causas no mecánicas. Sin embargo, en algunas definiciones se incluyen también las causas mecánicas, que normalmente son las que provocan el quebramiento de los granos, considerando entonces estos como granos dañados, aunque lo más frecuente es considerar a los granos quebrados como un factor aparte. Una razón para esto podría ser que, si se quisiera hacer, es relativamente fácil separar a los granos quebrados, lo que no sucede con otros granos como los dañados.

El porcentaje de grano dañado se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de grano dañado} = \frac{D}{Ma} * 100 \quad (10)$$

Donde:

D: Masa de granos dañados en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado sin puntilla de $25 \text{ g} \pm 0.1\text{g}$

g. Porcentaje de grano manchado

Se define como grano dañado al grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que tiene una coloración amarillenta visible en parte o en su totalidad, que contrasta con el color característico del arroz. También se puede decir que el grano manchado es el grano entero o pedazo de grano de arroz elaborado que presenta manchas, perfectamente visibles, de tonalidades claras a negras, que penetran en el endosperma. Se excluye de esta definición al grano amarillo y al recalentado.

El porcentaje de grano manchado se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de grano manchado} = \frac{M}{Ma} * 100 \quad (11)$$

Donde:

M: Masa de granos manchados en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado sin puntilla de $25 \text{ g} \pm 0.1\text{g}$

h. Porcentaje de grano yesoso

Se define como grano yesoso al grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que tiene al menos la mitad de su volumen de una apariencia similar al yeso o tiza. También se considera al que tiene un cincuenta por ciento o más de su superficie con esta apariencia. Los granos inmaduros son yesosos.

El porcentaje de grano yesoso se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de grano yesoso} = \frac{Y}{Ma} * 100 \quad (12)$$

Donde:

Y: Masa de granos yesosos en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado sin puntilla de $25 \text{ g} \pm 0.1\text{g}$

i. Porcentaje de grano rojo

Se define como grano rojo al grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que presenta una estría de color rojo en toda su longitud o estrías parciales que sumadas sea igual o superior a la longitud del grano. También puede definirse como todo grano entero o pedazo de grano de arroz elaborado que conserve un área de salvado rojizo mayor que la cuarta parte de la superficie original del grano completo.

El porcentaje de grano rojo se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de grano rojo} = \frac{R}{Ma} * 100 \quad (13)$$

Donde:

R: Masa de granos rojos en g

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado sin puntilla de $25 \text{ g} \pm 0.1\text{g}$

j. Semillas objetables y granos dañados por calor

Son aquellas semillas, enteras o quebradas, distintas al grano de arroz elaborado, que no son separadas mediante el uso de cribas apropiadas o de otros aparatos de

limpieza que se usan en el laboratorio para simular los sistemas de limpieza utilizados en los molinos industriales durante la elaboración del arroz. El término de semillas objetables es más utilizado en el caso del arroz, porque cualquier semilla de malezas que aparezca en el arroz elaborado produce mucho rechazo en los consumidores. En los otros granos, por el tamaño de los mismos o por el procesamiento que se le da, las semillas de malezas son fácilmente eliminadas o no son detectables en los productos finales. En estos casos, estas semillas se pueden incluir dentro de las impurezas. En las definiciones de semillas objetables es muy importante tener presente que lo que se quiere evaluar es la presencia de semillas indeseables que, luego de la limpieza y el procesamiento habitual del grano, aún permanezcan en el mismo.

Se define como grano dañado por calor al grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que tiene un color café oscuro o rojizo en parte o su totalidad, provocado por el sobrecalentamiento.

El porcentaje de semillas objetables y granos dañados por calor se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\# \text{ de semillas objetables y granos dañados por calor} = \frac{SOC}{ma} * Ma \quad (14)$$

Donde:

SOC: es el número de semillas objetables y granos dañados por calor

Ma: Masa de la muestra de ensayo de arroz pilado sin puntilla de $500 \text{ g} \pm 0.1\text{g}$

ma: masa de la muestra de ensayo de sin puntilla

2.7 El muestreo y su importancia

Es evidente que la condición, composición o calidad de los granos puede establecerse a través de análisis, que al aplicar procedimientos específicos, permite identificar y cuantificar distintos parámetros o conceptos (Ortiz, 2006).

Por la naturaleza de los parámetros que se determinan y se miden en el análisis, es necesario que los procedimientos que se utilizan para valorarlos produzcan resultados de precisión y exactitud convenientes. Es preciso reconocer que la utilidad y

aplicabilidad de los resultados siempre serán condicionadas por la forma, exactitud y oportunidad con que se haya obtenido la muestra para análisis (Ortiz, 2006).

El análisis de granos, como cualquier otra técnica analítica, se vale del muestreo para obtener una porción o muestra sobre la que se realizarán las investigaciones y determinaciones necesarias, ante la imposibilidad de examinar todos los granos que integran un almacenamiento y que participan en forma individual en su composición total (Ortiz, 2006).

Según Ortiz (2006) el muestreo debe realizarse cuidadosamente con el fin de lograr obtener una muestra, que a través del análisis, indique con la mayor aproximación posible la condición o calidad del producto.

2.7.1 Descripción y manejo del equipo de muestreo en granos.

Los instrumentos para obtener muestras se conocen como muestreadores, caladores o sondas y se dividen en dos grupos, según se trate de la extracción de muestras de granos envasados en sacos o costales o de granos a granel (Ortiz, 2006).

En el grupo de muestreadores para grano a granel se pueden encontrar dos modalidades: los muestreadores manuales y los mecánicos. Dentro de los muestreadores manuales para granos a granel se incluyen la sonda de alvéolos, sonda de profundidad, el muestreador Ellis y el pelícano. Dentro de los mecánicos se incluyen el muestreador de cangilones, en mecánico tipo desviador y el muestreador neumático.

Para esta investigación se va utilizar la sonda de alvéolos, el cual según Ortiz (2006) este instrumento es específico para la obtención de muestras de grano que se presenta a granel. La sonda de alvéolos o muestreador de alvéolos es el único instrumento aprobado para la extracción de muestras de lotes de grano estacionario y, si se le emplea adecuadamente, proporciona una muestra consistentemente representativa.

2.7.2 Procedimiento general para el muestreo de granos a granel

El procedimiento de granos a granel presentará dos modalidades fundamentales en función de que el producto esté en reposo o de que se le encuentre en movimiento en cualquier tipo de transportador (Ortiz, 2006).

Cuando el producto está a granel y se encuentra en reposo el muestreo se realizará empleando sondas de alvéolos, sondas de profundidad o muestreadores neumáticos. De estos equipos la sonda de alvéolos, aunque limitada por su longitud, representa el instrumento más recomendable para la obtención de muestras y en su uso deberá atenderse las siguientes indicaciones de manejo (Ortiz, 2006):

- Usar sonda de alvéolos separados o septados, y construidas en bronce.
- La sonda debe estar limpia y seca.
- La sonda se introducirá al granel con los alvéolos cerrados, vueltos hacia abajo para evitar que el polvo atasque y siguiendo una trayectoria de 10° con la vertical.
- Cuando la sonda está insertada en el granel, se girará de forma que los alvéolos estén hacia arriba y entonces se abrirá.
- Con movimientos cortos hacia arriba y hacia abajo, se facilitará que los granos penetren en los compartimientos de la sonda.
- Cerrar los alvéolos y extraer la sonda.
- Posteriormente cuando la sonda esté fuera del granel abrirla para que salga el grano de los compartimientos.
- Repetir este procedimiento varias veces de acuerdo al esquema de muestreo correspondiente.

2.7.3 Esquema del muestreo en granel a reposo

Según Ortiz (2006) el esquema de muestreo para graneles en reposo sufrirá variaciones sustanciales, sobre todo en dimensiones, ubicación y en el número de puntos adicionales de extracción debido aspectos como los siguientes:

- Dimensiones del granel

- Profundidad del granel
- Tonelaje del granel
- Tipo de vehículo que transporta el granel
- Diseño de la instalación en que se almacena el granel.

El esquema de muestreo para graneles pocos profundos esta dado según (CONARROZ, 2008) consiste en un diagrama cuadrangular que se dibuja imaginariamente sobre la superficie de la masa de grano, siendo las esquinas del cuadrado y el centro del mismo los sitios donde se obtendrán las porciones para integrar la muestra representativa, tal y como se aprecia en la siguiente figura:

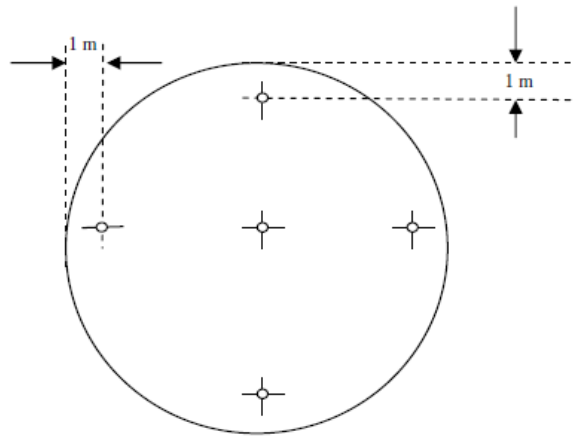


Figura 2.6 Esquema de muestreo en silos pocos profundos

Fuente: CONARROZ

Por otro lado el ICAITI indica que el tamaño de muestras elementales debe ser de aproximadamente 1 kg y el número de muestras elementales que se deben tomar esta especificado en la siguiente figura:

(1) Tamaño del lote	Número mínimo de muestras elementales
Hasta 10 t	20
De 11 hasta 300 t	25
De 301 hasta 500 t	30

Figura 2.7. Número de muestras elementales de granos a granel

Fuente: ICAITI

2.8 Diseño estadístico experimental

2.8.1 Tipo de información a procesar

Los datos a procesar son los obtenidos de los análisis de calidad de las muestras tomadas en el silo. Los datos se van a tomar en tres bloques del silo: arriba, centro y abajo, esto corresponde a los tratamientos. Por otro lado estos datos se tomarán con una frecuencia de cada 15 días, siendo el tiempo la fuente de variabilidad y la distancia hacia la pared del silo.

2.8.2 Análisis de varianza en bloques completos al azar

En cualquier experimento, los resultados y las conclusiones que puedan obtenerse a partir de él dependen de cómo se recopilen los datos u observaciones de las variables respuestas. Para llevarlo a cabo de la forma más eficiente posible, es necesario diseñar el experimento de manera científica, esto es, es necesario usar el diseño (estadístico) de experimentos, que nos permitirá obtener datos que pueden ser fácilmente analizados mediante el método estadístico adecuado conocido como análisis de variancia (Delgado, 2008).

Cuando las unidades experimentales no son todas iguales, la variación entre ellas puede enmascarar los verdaderos efectos de los tratamientos. El diseño de bloques al azar, se refiere a un método para soslayar la heterogeneidad de las unidades experimentales (Castellón, García, Wicab, González, & Rubio, 2002).

Según (Cochran y Cox, 1962, citado en Castellón, 2002) la esencia de este diseño estriba en que el material experimental se divide en grupos homogéneos, cada uno de los cuales constituye una sola prueba o repetición. Una réplica es una serie completa de todos los tratamientos que se prueban en el experimento.

En cualquier experimento puede existir alguna fuente de variación que puede afectar los resultados. Muchas veces esta fuente de variación es desconocida e incontrolable. La aleatoriedad es una técnica de diseño que se utiliza con el propósito de cancelar efectos de variables que no estamos controlando, ya sea porque no podamos controlarlas o porque no se conoce. Cuando se habla de aleatoriedad significa que se

conduce al azar y no se le impone una estructura. Cuando esa fuente de variación se conoce y se controla (ya sea por aleatoriedad) se utiliza una técnica llamada bloque para eliminar sistemáticamente el efecto de la fuente de variación en las comparaciones estadísticas entre tratamientos (Gonzales, Rodriguez, & Anaya, 2009).

En la verificación de la hipótesis nula, se hace la suposición de que no hay efectos de los tratamientos y que las medias de cada uno, solo varía por efectos del muestreo aleatorio.

Según Castellón *et al* (2002) el modelo estadístico viene dado por la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} , representa el valor de la única observación del tratamiento “j” en el bloque “i” de cualquier variable estimada; μ , representa el valor medio de los tratamientos, alrededor del cual oscilan los valores de todas las observaciones; β_i , representa el efecto del bloque “i”, τ_j , representa el efecto del tratamiento “j”; ε_{ij} , representa los errores aleatorios o variación del muestreo, en la única observación del tratamiento “j” correspondiente al bloque “i”.

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 MATERIALES

En la tabla 3.1 se presentan los equipos utilizados para la ejecución del presente estudio.

Tabla 3.1. Equipos utilizados en la investigación

Instrumento	Marca	Modelo	Placa	Características
Balanza electrónica de 2 decimales			CAI-PIRC 1308BG03	Balanza granataria de 600 g \pm 0.01g
Balanza electrónica de 1 decimal			CAI-PIRC 1308BG05	Balanza granataria de 4000 g \pm 0.1g
Homogenizador eléctrico			CAI-PIRC 1308DM02	Divisor y homogenizador de muestras eléctrico. Utilizado para muestras pequeñas máximo 2 kg
Homogenizador manual			CAI-PIR 1308DM03	Divisor y homogenizador de muestras manual. Utilizado para muestras grandes. Exclusivo para muestras en granza provenientes de cosecha o de silo
Determinador de humedad	SEEDBURO	1200	CAI-PIRC 1308DH02	Mide indirectamente el contenido de humedad de muestras de arroz. Ámbito usado para arroz en cascara 8.1 a 28.1 %
Determinador de humedad	GEHAKA	G919	CNP	Mide indirectamente el contenido de humedad de muestras de arroz.
Horno de convección forzada			CNP	Incertidumbre 0.5°C
4 medidores de temperatura y humedad relativa	HOBO DATA LOGGERS	U10-003 (3), U12-012 (1)	UCR 9786375, 9720934, 9833401 y 9833413	Ámbito -20°C a 70°C y 25% a 95% HR

Descascaradora de grano	M ^c GILL SHELLER 675-77	CAI-PIR 1308DE01	Separa el arroz en granza del integral
Pulidor # 3	GRAINMAN	CAI-PIR 1308PL01	Separa el arroz integral del arroz elaborado y semolina
Mesa separadora de grano quebrado	M ^c GILL SHELLER	CAI-PIRC 1308MS01	Separa el grano entero, quebrado y la puntilla. Utiliza cribas #6 para separar la puntilla y las cribas # 10 y 12 para separar el quebrado y el entero
Horno secador de muestras		CAI PIRC 1308SM01	Seca las muestras que vienen del campo. Ámbito de temperaturas 38°C a 43°C.
Cribas de mano		CAI -PIRC	Para granza seca se utiliza la 1.62 mm x 9.52 mm y para granza húmeda se utiliza 1.78 mm x 12.70 mm
Chuzo de muestrear		CAI-PIRC	Sonda de 12 alvéolos de 1.8 metros
Bolsa plásticas			Recolección de muestras
Hielera			Transporte de muestras

Fuente: Autor

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Descripción General

Se utilizaron tres lotes de arroz proveniente de la cosecha I-2011 que ingresaron el 23 de setiembre de 2011, los cuales se le realizó un análisis inicial a las muestras obtenidas en los camiones, sin embargo para efectos de este proyecto nuestra condición inicial va a ser el primer análisis realizado al silo experimental York 3 (figura 3.1) perteneciente a la industria Compañía Arrocera Industrial Planta Río Claro.

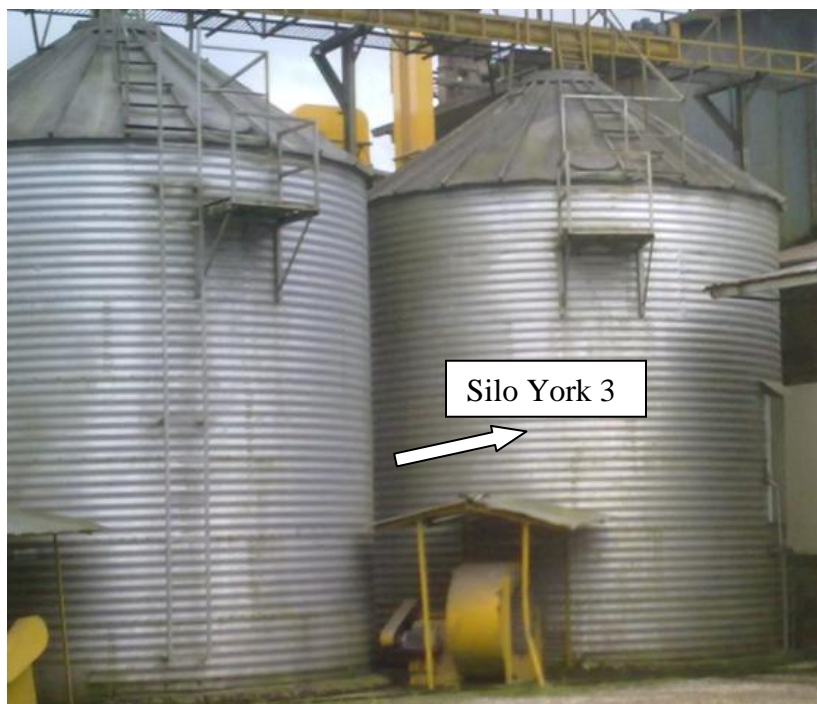


Figura 3.1 Silo Experimental York 3

Fuente: Autor

Dichos lotes de arroz ocuparon un volumen de 93.67 m^3 del total disponible del silo de 133.6 m^3 . El arroz se almacenó por un periodo de ochenta y siete días en época de lluviosa, realizando muestreos a la masa de grano sin disturbar cada quince días, con la finalidad de realizar los análisis de los parámetros de calidad, tal y como se realiza en la industria para su control interno.

En el interior de este silo se instalaron los dispositivos llamados “Hobos” que registraban y guardaban los datos de temperatura y humedad relativa cada hora, descargando la información cada quince días para verificar su adecuado funcionamiento.

Los equipos de la industria utilizados para la determinación de los parámetros de calidad del grano son calibrados por el ente gubernamental Corporación Arrocería Nacional encargada de fiscalizar todo lo relacionado con la industrialización del arroz. En el anexo C se muestra una nota enviada a la industria en la cual dan fe de la utilización de los equipos.

3.2.2 Propuesta de diseño experimental para el trabajo de graduación

El diseño estadístico para el proyecto de graduación “Evaluación del arroz en granza (*Oryza sativa*) almacenado en silos de Compañía Arrocera Industrial Planta Río Claro” va a ser realizado por medio de un análisis de varianza por bloques.

En donde los tratamientos van a ser las posiciones en los bloques A, B y C cada uno con tres réplicas y las fuentes de variabilidad externa son el tiempo 0-15-30-45-60 y 75 días; y la distancia a la orilla de la pared del silo, es decir sector 1, 2 y 3; como se observa en la figura 3.2.

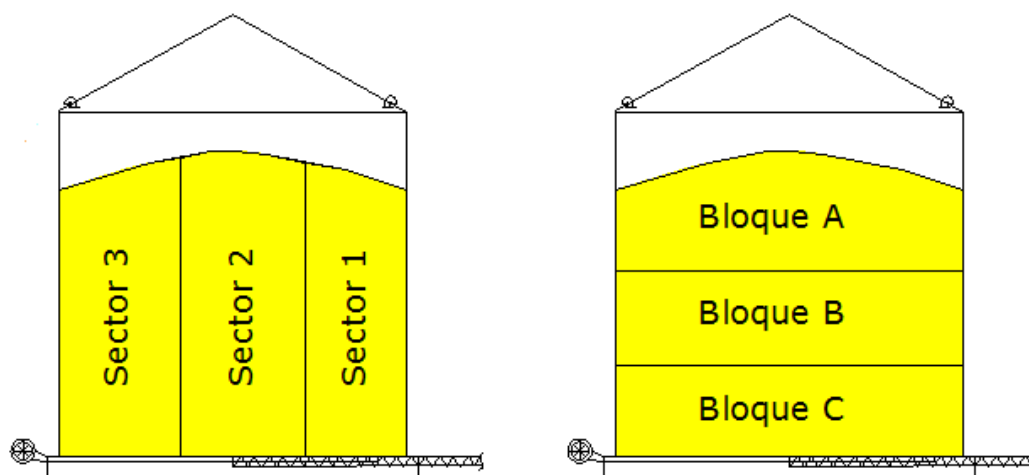


Figura 3.2. Bloques y sectores para el análisis de varianza

Fuente: Autor

Por lo tanto, se puede definir que el modelo experimental se requiere un total de $3 \times 3 \times 3 \times 5 = 135$ muestras, debido a la siguiente relación: tres bloques, tres sectores, tres réplicas y cinco intervalos de muestreo cada quince días.

El análisis de los parámetros de calidad de las muestras obtenidas con la frecuencia indicada anteriormente, son revisados con un análisis de varianza utilizando el programa Infostat. La significancia estadística de las diferencias entre las medias de los tratamientos, fue establecida con base a la prueba de Tukey, a nivel de significancia del 0,05, es decir, se trabajará con un nivel de confianza del 95%. En los gráficos o figuras

presentados en el análisis de resultados se muestran letras sobre cada etiqueta del valor, dichas letras representan la significancia entre las medias, para lo cual hago referencia que medias con letras común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Tomando como referencia el modelo de Castellón *et al* (2002), el modelo estadístico de nuestra investigación para cualquier variable es:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_i + \delta_j + \varepsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variables en estudio “i” (parámetros de calidad) en el tratamiento “j” (bloque A, bloque B, bloque C).

A continuación enumero las variables en estudio “i”:

Y_1 = Contenido de Humedad (%)

Y_2 = Porcentaje de impurezas

Y_3 = Porcentaje de cascarilla

Y_4 = Rendimiento de semolina (%)

Y_5 = Rendimiento de pilada (%)

Y_6 = Porcentaje de grano entero

Y_7 = Porcentaje de grano quebrado

Y_8 = Porcentaje de puntilla

Y_9 = Porcentaje de grano manchado

Y_{10} = Porcentaje de grano yesoso

Y_{11} = Porcentaje de grano rojo

Y_{12} = Porcentaje de grano dañado

Y_{13} = Cantidad de semillas objetables

Y_{14} = Población de plagas (individuos/ kg)

α = constante, que va hacer el valor medio de los tratamientos.

β_i = Posición del punto donde se va a tomar la muestra (bloque A, bloque B, bloque C)

β_1 = posición parte superior masa de grano del silo

β_2 = posición media masa de grano del silo

β_3 = posición parte inferior masa de grano del silo

δ_j = frecuencia del muestro

δ_0 = tiempo inicial o tiempo 0

δ_{15} = 15 días después del tiempo inicial (primer muestreo).

δ_{30} = 30 días después del tiempo inicial (segundo muestreo).

δ_{45} = 45 días después del tiempo inicial (tercer muestreo).

δ_{60} = 60 días después del tiempo inicial (cuarto muestreo).

δ_{75} = 75 días después del tiempo inicial (quinto muestreo).

ε_{ij} = distancia desde el centro del silo hacia la orilla o pared del silo.

3.2.3 Registro de temperatura y humedad relativa

Con la finalidad de identificar el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del ambiente externo y en el interior del silo durante el tiempo que se realizó este estudio, se emplearon dispositivos de medición denominados “hobo” según se indica enseguida:

- El hobo # 9833401 se ubicó por debajo de techo que protege el ventilador de aireación del silo experimental York 3, exactamente en el marco que sostiene el zinc; con el cual se obtuvo el registro de las condiciones de la zona de estudio.
- Con el hobo # 9786375 colocado en el interior del silo York #3 se registraron los datos cada hora durante el periodo de almacenamiento de los 3 lotes de arroz mencionados anteriormente.

3.2.4 Monitoreo de temperatura en la masa de grano.

Se colocaron tres termopares a diferentes alturas de la masa de grano, específicamente a 0.4 m, 2m y 4m desde la superficie, sumergidos a través de tubos de PVC de ½” pulgada de diámetro, como se muestra en las figuras 3.3, 3.4 y 3.5. Los datos eran medidos y registrados diariamente con un termómetro digital al cual se le conectaban las terminaciones de los termopares.



Figura 3.3 Ubicación de los termopares en la masa de grano

Fuente: Autor



Figura 3.4 Lectura de termopares

Fuente: Autor



Figura 3.5 Colocación de los termopares en los tubos de PVC

Fuente: Autor

3.2.5 Muestreo del grano en el silo

El muestreo de los granos en el silo York 3 se llevó a cabo siguiendo la metodología de la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ) descrita en el capítulo 2. Marco Teórico, inciso 2.7.2 del presente documento.

Los puntos donde se tomaran las muestras para su respectivo análisis se ubicaron como indica la figura 3.6.

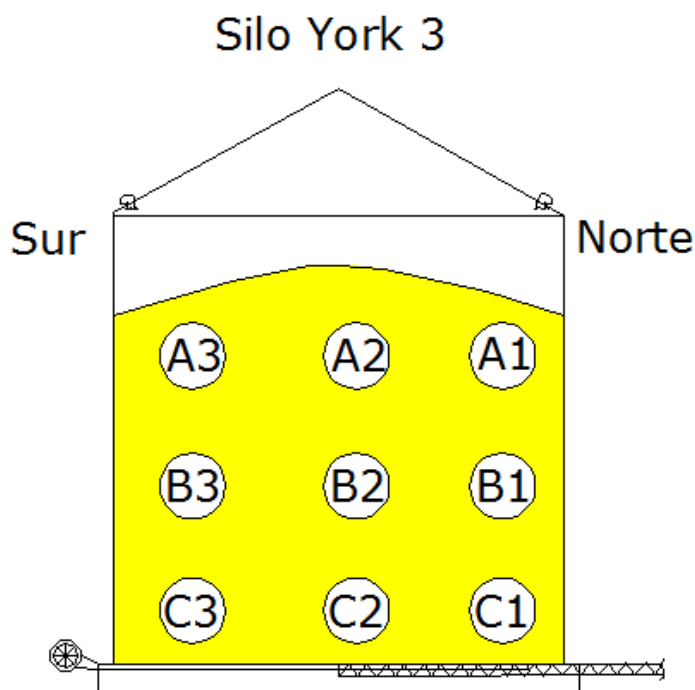


Figura 3.6 Sitios de muestreo en los silos

Fuente: Autor

3.2.6 Análisis de parámetros de calidad

Una vez obtenidas las muestras de aproximadamente 5 kg cada una, tomadas del silo son llevadas al laboratorio de aseguramiento de la calidad de la arrocera para ser homogenizadas hasta obtener tres submuestras de 1,5 kg. A estas submuestras se le realizará los análisis de parámetros de calidad siguiendo el Reglamento Técnico del Arroz en Granza RTCR 406-2007 de la Corporación Arrocera Nacional (CONARROZ).

Los parámetros de calidad a evaluar son los siguientes:

- Infestación: se refiere a número de individuos por kilogramo
- Porcentaje de impurezas
- Contenido de humedad
- Porcentaje de cascarilla
- Rendimiento de semolina
- Rendimiento de pilada
- Porcentaje de grano entero
- Porcentaje de grano quebrado
- Porcentaje de Puntilla
- Porcentaje de grano yesoso
- Porcentaje de grano manchado
- Porcentaje de grano dañado
- Porcentaje de grano rojo
- Semillas objetables.

3.2.7 Aireación

El caudal de aire del ventilador se midió utilizando el termo anemómetro de alambre caliente, colocándolo en el ducto en los ejes “x” y “y”, tal y como se aprecia en la figura 3.7.

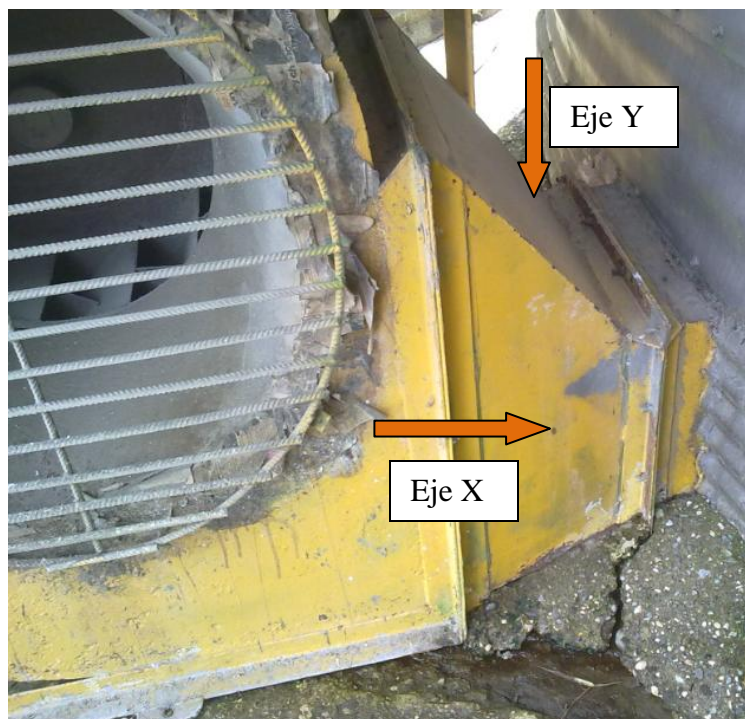


Figura 3.7. Puntos donde se realizaron las mediciones de caudal en el ducto

Fuente: Autor

3.2.8 Limitación del proyecto

En el muestreo del silo se presentó un problema a la hora de recolectar la muestra en el punto C1, esto debido a problemas con la ubicación del chuzo de muestreo y por lo compactado de esa zona en particular, ya que no había forma de colocar el chuzo con algún ángulo de inclinación que permitiera penetrar la masa de grano, ni tampoco había una compuerta en la estructura por donde extraer la muestra. Por lo tanto, esta parte del silo no fue muestreada. Los cálculos del análisis de varianza para el bloque C se tomaron únicamente de las muestras recolectadas en C2 y C3 y en cuanto al sector 1, solo se tomaron muestra en los puntos A1 y B1.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Prácticas de conservación de los granos utilizados por la industria.

En este apartado se analiza las condiciones ambientes tanto en el interior del silo como en su exterior (ambiente). También se estudia el comportamiento de la temperatura del grano en tres puntos de la masa de grano: superficial, central y fondo.

Por otro lado, se describen las prácticas de conservación que utiliza la industria como lo es el muestreo, la aireación, el control de plagas, inspecciones, entre otras.

4.1.1 Condiciones del aire ambiente externo del silo experimental

En la figura 4.1 se observa un comportamiento muy similar en todos los meses de almacenamiento, a excepción del mes de octubre que registró los datos más bajos de temperatura y humedad relativa.

Para el mes de setiembre, se tiene una temperatura horaria promedio de 26,6°C, teniendo como una máxima de 33,77°C, una mínima de 23,19°C y una razón de dispersión con respecto al promedio de 13.08%. En cuanto a la humedad relativa registró un promedio horario de 86,7% y una máxima de 98% alcanzada en las horas de noche y parte de la madrugada y una humedad relativa mínima de 59% obtenida en las altas horas de la mañana, así como una variabilidad relativa del 15,97%.

Para el mes de octubre mostró un comportamiento diferente, registrando una temperatura mínima horaria de 22,85°C y la máxima de 30,18°C, con un promedio de 25,20°C y una dispersión con respecto al promedio de 9,56%. Esta diferencia respecto a los otros meses se da la mayor parte de horas de la mañana y tarde, específicamente de 7:30 am a 3:30 pm como se aprecia en la figura 4.1, las demás horas de día se comporta igual a los otros meses. Los meses de noviembre y diciembre presentaron condiciones muy similares con temperaturas promedio horarias de 26°C y humedades relativas promedio horarias de 87%.

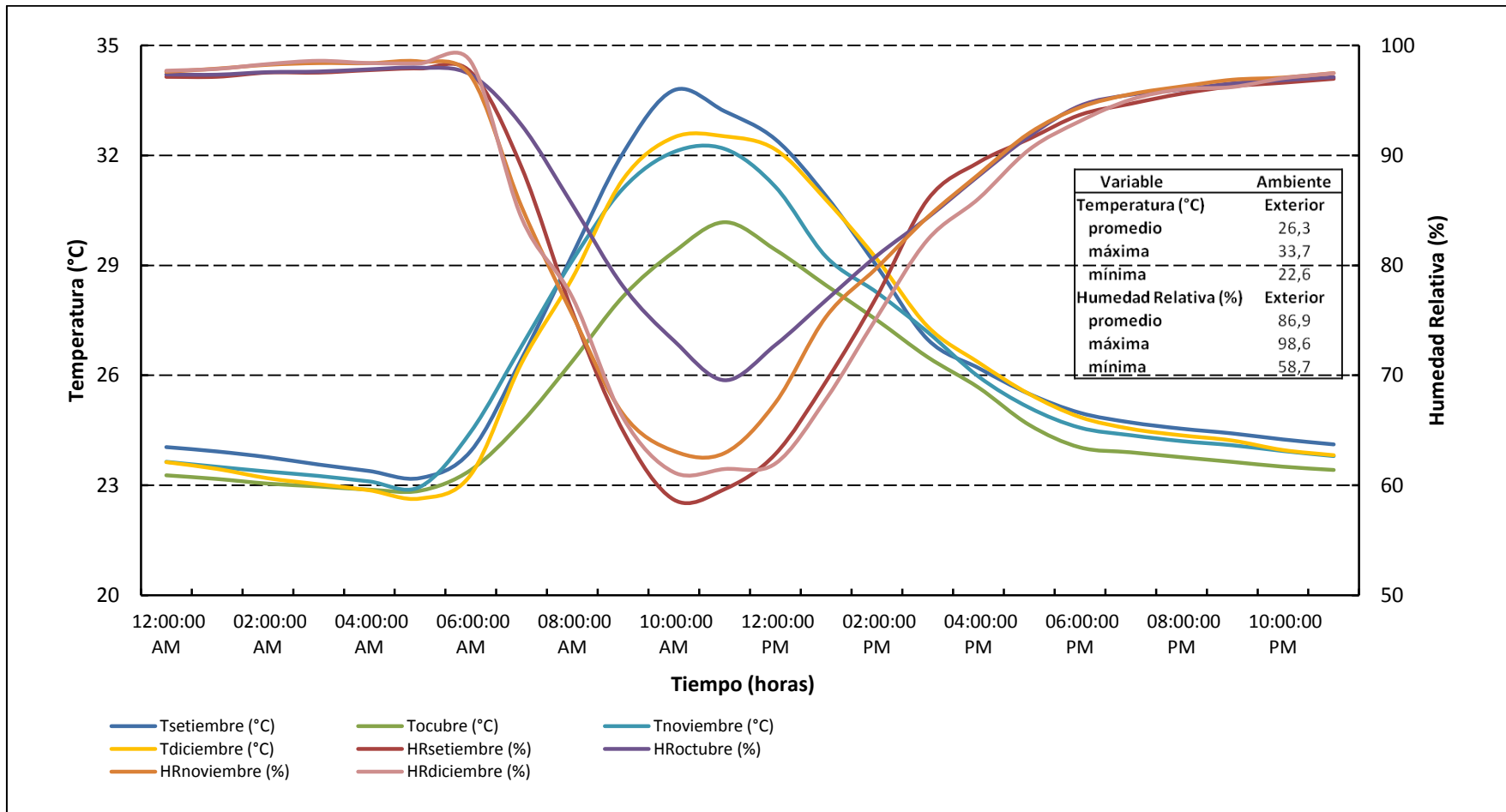


Figura 4.1. Temperatura y humedad relativa promedio horario del aire ambiente externo de los silos para los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre del periodo de almacenamiento

Fuente: Autor

4.1.2 Condiciones del aire ambiente interno del silo experimental.

Al igual que los datos de temperatura y humedad relativa externa del silo, los datos del ambiente interno presentaron el mismo patrón de comportamiento, siendo diferente el mes de octubre. El análisis siguiente de cada mes se basó de la figura 4.2.

Para el mes de octubre que fue el primer mes en que se comenzaron a registrar datos, observamos una temperatura máxima promedio de $33,05^{\circ}\text{C}$ registrada a las 11:00 am, una mínima de $22,64^{\circ}\text{C}$ obtenida a las 5:00 am, con un promedio horario de $25,73^{\circ}\text{C}$ y una dispersión con respecto al promedio de 13,33%. En cuanto a la humedad relativa tenemos un promedio horario de 82,13%, con una máxima y una mínima de 90,21% y 61,87%, registradas a las 4:00 am y 11:00 am respectivamente.

Para el mes de noviembre, se nota que la temperatura promedio horaria fue casi dos grados mayor que el mes anterior, es decir $27,32^{\circ}\text{C}$, en horas de la mañana y parte de tarde, ya que las demás horas de día el comportamiento es muy similar a los otros meses. También se aprecia una temperatura máxima y mínima de $36,40^{\circ}$ y $23,41^{\circ}\text{C}$ registradas a las mismas horas del mes anterior y una variabilidad relativa del 15,21%. Como se observa este mes de noviembre presentó condiciones ambientales internas del silo más caliente que el mes de octubre. Para el caso de la humedad relativa, el promedio horario estuvo en 77,21%, una humedad relativa máxima de 87,64% y una mínima de 51,79%. Al ser el mes más caliente por consiguiente la humedad relativa promedio horaria va a presentar un valor más pequeño tal y como lo muestran el punto más alto y más bajo de la figura 4.2.

En el caso del mes de diciembre que solo se obtuvieron datos hasta el 14 de diciembre, ya que ese silo fue procesado inmediatamente después de realizar el presente estudio. La temperatura máxima horaria se obtuvo a las doce medio día con un valor de $35,82^{\circ}\text{C}$, la mínima se obtuvo a las 5:00 am con un dato de $23,33^{\circ}\text{C}$ y el promedio estuvo en $27,46^{\circ}\text{C}$ y una dispersión con respecto al promedio de 15,07%. La humedad relativa promedio horaria 76%, con una mínima y máxima de 86,73% y 53,38% a las 6:00 am y 11:00 am, respectivamente.

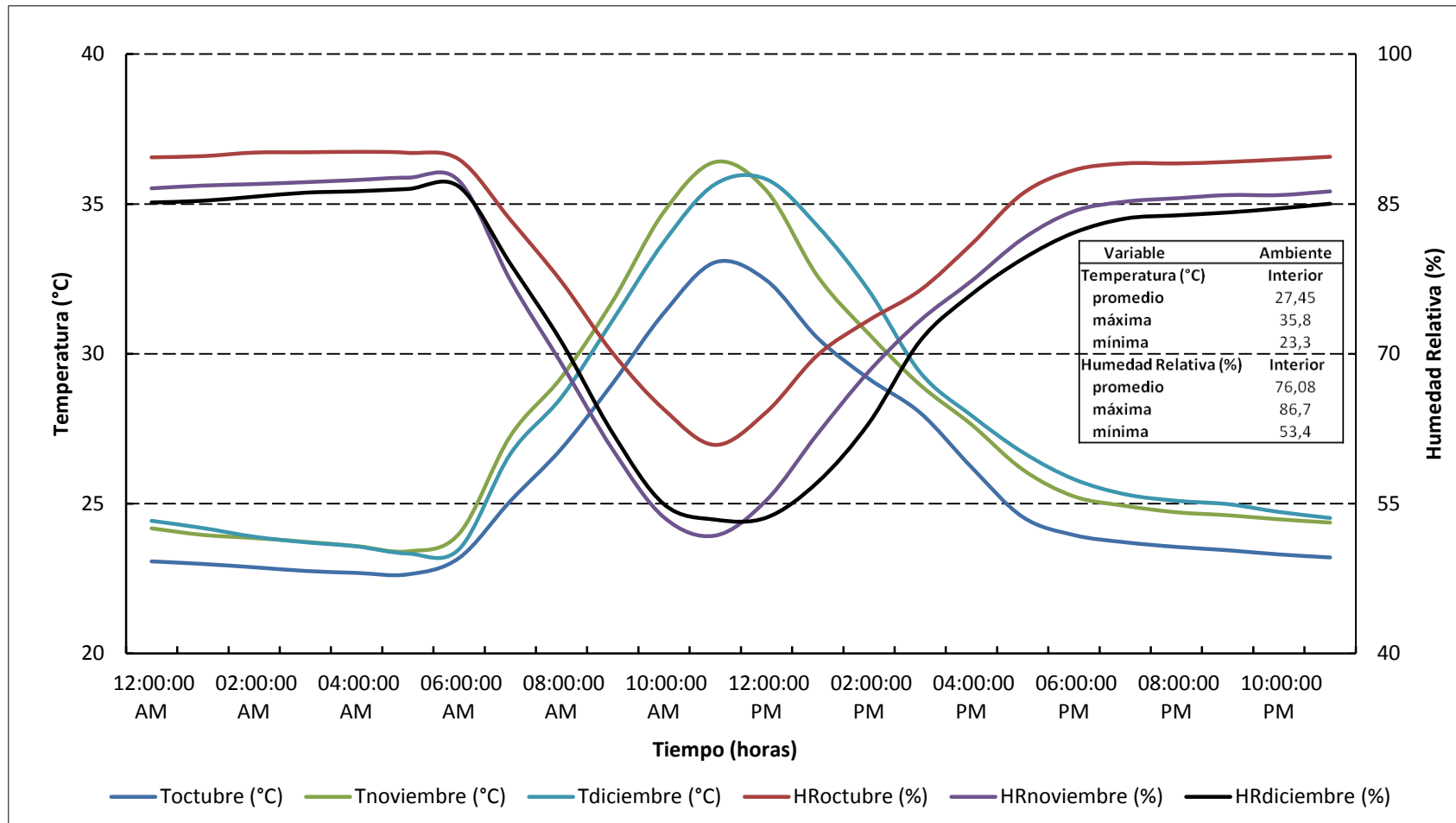


Figura 4.2. Temperatura y humedad relativa promedio horario del aire ambiente interno del silo experimental para los meses de octubre, noviembre y diciembre del periodo de almacenamiento.

Fuente: Autor

Se nota como los meses de noviembre y diciembre hasta donde se midió presentaron condiciones muy similares tanto de temperatura como de humedad relativa promedios horarias. En el mes de octubre el comportamiento cambió básicamente en horas del día como se muestra en la grafica de la figura 4.2.

Por otro lado, parece ser que el patrón de estos meses es que alrededor de las cinco o seis de la mañana se presentan las temperaturas más bajas y por consiguiente humedades altas. Complementario a eso, alrededor de las once de la mañana se presentaron las temperaturas más altas y humedades relativas más bajas.

4.1.3 Comparación de las condiciones de temperatura y humedad relativa promedio horario de los ambientes interno y externo del silo experimental

En la figura 4.3 se ilustra el comparativo de las condiciones de temperatura y humedad relativa promedio horario de los meses de almacenamiento en los dos ambientes (interno y externo).

Como se aprecia la humedad relativa en el exterior del silo es más alta durante todo el día de almacenamiento, especialmente en las horas de la noche, madrugada, tarde y una parte de la mañana se presenta una diferencia aproximada de 10% entre los dos ambientes. Solo una parte del día específicamente de 7:00 am a 10:00 am la diferencia bajó y estuvo en el rango de 4-7%, aún así la diferencia es considerable. Se puede decir que la estructura del silo ofrece un ambiente con una menor humedad relativa, específicamente con un 10% menos que el ambiente externo.

Por el lado de la temperatura, se observa que no sucede lo mismo que con la humedad relativa, la temperatura del ambiente interno siempre mantuvo una pequeña superioridad a la temperatura externa. En las últimas horas de la mañana y primeras de la tarde, específicamente entre las 11:00 am y 2:00 pm la diferencia fue más marcada de alrededor de 3°C, cuando el sol proyecta perpendicularmente la superficie terrestre.

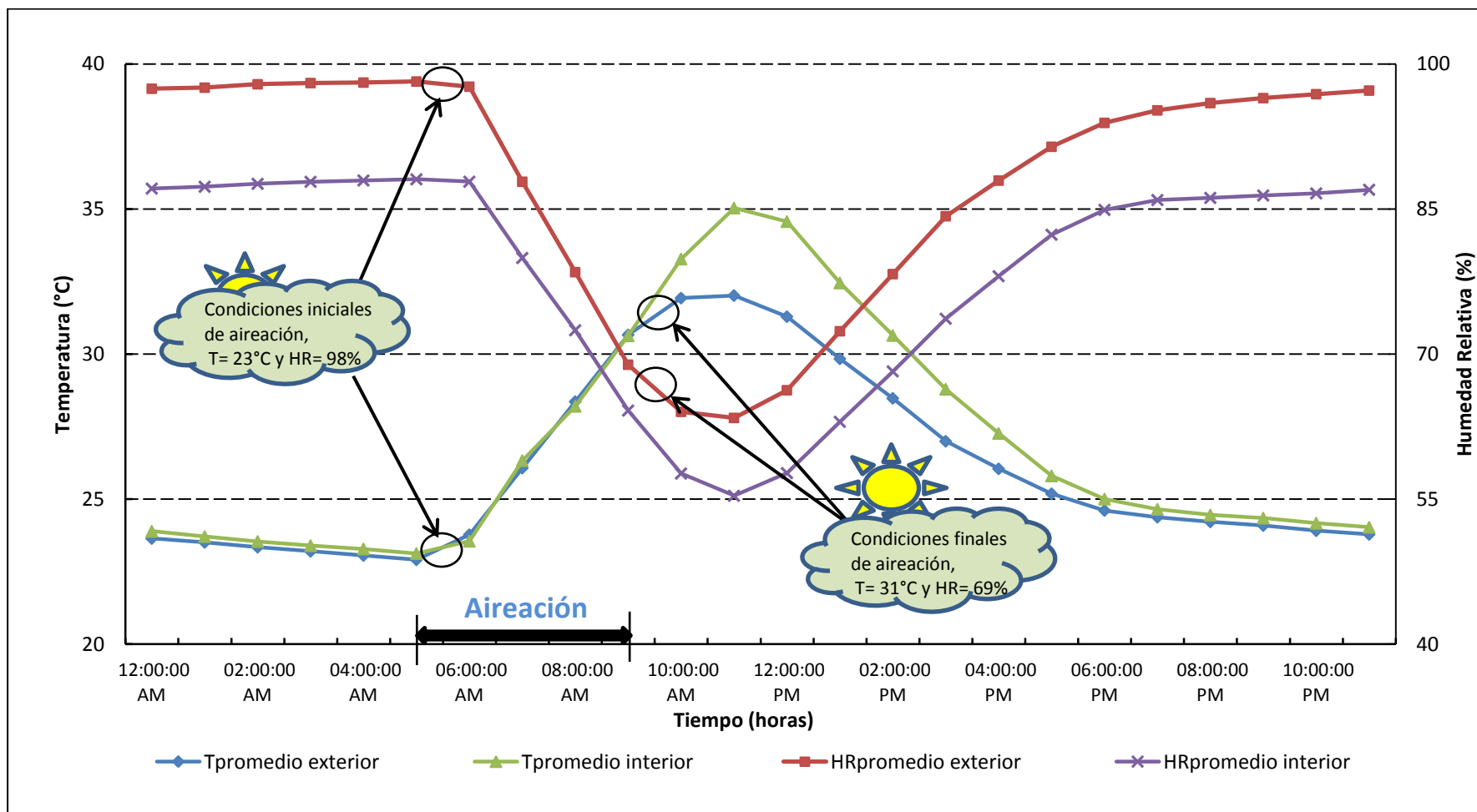


Figura 4.3. Temperatura y humedad relativa promedio horario de los dos ambientes del silo experimental: interno y externo del periodo de almacenamiento.

Fuente: Autor

Las temperaturas mínima de los dos ambientes no fue significativamente diferente, mas no así con la temperatura máxima y promedio que si presentó diferencia entre el ambiente externo e interno superior al 1%, como se puede observar en la tabla 4.1.

En lo que respecta a la humedad relativa, si existen diferencias bien marcadas entre los ambientes interno y externo tanto cuando la humedad relativa era máxima, mínima y promedio, ahí las diferencias estuvieron en el rango de 5-12%.

Tabla 4.1 Temperatura y humedad relativa horarias más relevantes de los dos ambientes.

Variable	Ambiente		Variación ¹
	Interior	Exterior	
Temperatura (°C)			
promedio	27,5	26,3	1,2
máxima	35,8	33,7	2,1
mínima	23,3	22,6	0,2
Humedad Relativa (%)			
promedio	76,1	86,9	10,8
máxima	86,7	98,6	11,9
mínima	53,4	58,7	5,3

¹ Variación en °C para temperatura y en % para humedad relativa

4.1.4 Temperatura de la masa de grano

La masa de grano más próximo al fondo del silo (4 mts) presentó condiciones más bajas de temperatura con respecto a los otros puntos de medición, con un promedio durante el almacenamiento de 29,44°C. Este bloque tuvo un comportamiento no uniforme durante el almacenamiento, presentado una dispersión del 4,46% con respecto al promedio y se mantuvo en un rango de 28 a 32,1°C.

Seguidamente el bloque ubicado en el centro del silo (2 mts) presentó una temperatura promedio de 31,17°C y una razón de dispersión con respecto al promedio de 1,83%. El bloque más próximo de la superficie (0,4 mts) presentó un promedio de 32,26°C y una dispersión de 2,08% con respecto al promedio. Vemos que el comportamiento en estos dos puntos de medición son más uniformes que en el fondo del

silos, como se demuestra con las razones de dispersión que son más bajas y como se aprecia en la gráfica 4.4.

Las variaciones más significativas se dieron en el fondo del silo con respecto a los demás puntos de medición, presentado alrededor de 2 a 3°C dichas variaciones.

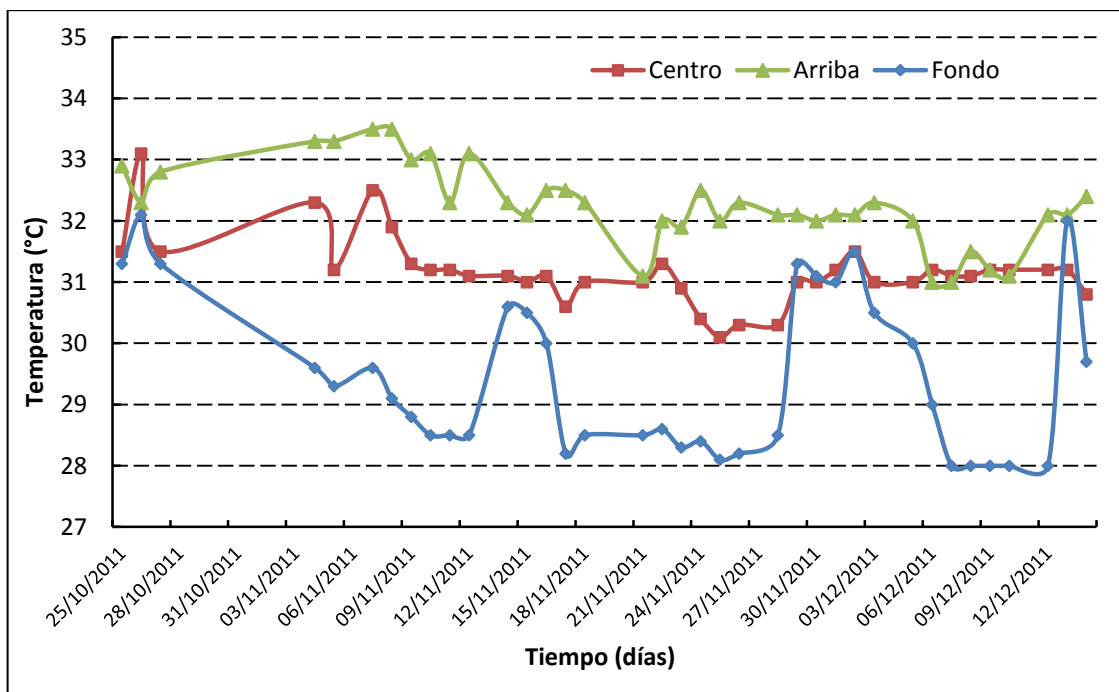


Figura 4.4. Temperatura de la masa de grano medida en tres puntos distintos: fondo, centro y superficial

Fuente: Autor

Si comparamos el comportamiento de la temperatura promedio diaria en el ambiente externo, el interno y la masa de grano obtenemos un comportamiento muy similar entre los ambientes con una pequeña variación de 1°C, como se ilustra en la figura 4.5.

La temperatura de la masa de grano presentó valores más altos que los ambientes interno y externo. Estos valores eran de esperarse, debido a muchos aspectos como la población de insectos con una media de $19,87 \pm 16,54$ individuos/kilogramo, gran cantidad de impurezas alrededor de 4%, la compactación del grano, aire caliente sin remover, entre otros. Las variaciones presentadas fueron de 5°C con respecto al ambiente externo y de 4°C con el ambiente interno.

Es muy importante conocer el comportamiento de la temperatura tanto del ambiente externo, interno y de la masa de grano, esto con el propósito conocer el movimiento por convección del aire y así saber cómo es el movimiento de humedad en los granos almacenados.

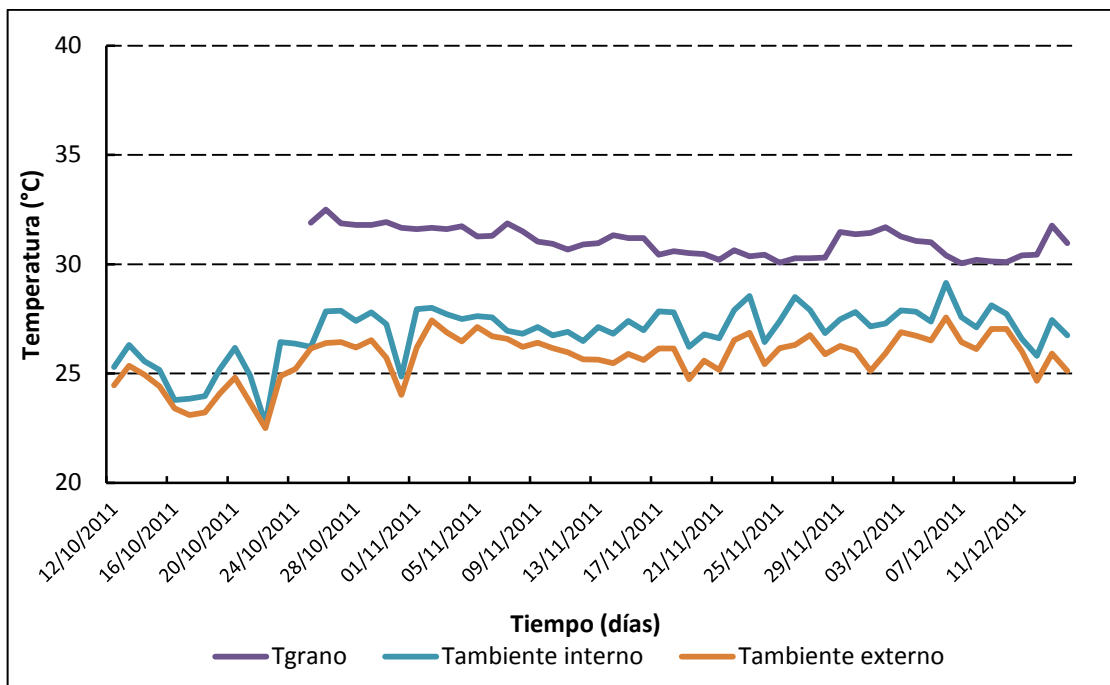


Figura 4.5. Temperatura promedio diaria del grano, ambiente externo e interno
Fuente: Autor

4.1.5 Prácticas de almacenamiento realizadas por la industria

- **Aireación:**

En esta industria el periodo de aireación lo realizan todos los días de 6:00 am a 10:00 am, en este lapso de tiempo la temperatura promedio del aire ambiente es de 28,7°C, y una temperatura promedio de grano de 31°C. El gradiente de temperatura es de 2,3°C lo cual no cumple con lo especificado por Arias (1993). Se puede decir que como este gradiente es pequeño se puede suspender la aireación ya que no produciría cambio alguno. En la grafica 4.4 mencionada anteriormente se nota como el fondo del silo es donde se da una disminución hasta una temperatura mínima de 28°C, mientras que en el centro y en la parte superficial de la masa de grano no presenta variación significativa, es decir, la temperatura permanece casi constante.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es la humedad relativa. En la figura 4.3 también mencionada anteriormente se observa las condiciones iniciales y finales del aire ambiente utilizado para aireación. En esa gráfica se puede apreciar que gran parte del periodo de aireación la humedad relativa estuvo por arriba del 70%, presentado un promedio de 79.4%, lo cual hace que el grano gane humedad por adsorción en su intento de alcanzar el contenido de humedad de equilibrio.

Esta situación se ve reflejada más adelante en el análisis de varianza del contenido de humedad, en donde obtuvimos que el bloque más próximo al fondo del silo (bloque C) presentara diferencias significativas con respecto a los otros bloques de la masa de grano.

El abanico utilizado en aireación del silo experimental es tipo centrífugo como lo muestra la figura 4.6. Según mediciones realizadas para este proyecto el caudal promedio de referencia fue de $1,59 \text{ m}^3/\text{min}/\text{ton}$ (Ver anexo H), siendo este caudal ocho veces mayor al máximo recomendado por Arias (1993) para almacenamiento.



Figura 4.6. Abanico utilizado para aireación del silo experimental

Fuente: Autor

- **Muestreo:**

El muestreo es una actividad de vital importancia para verificar la calidad de los granos. Sin el muestreo no se pudieran identificar problemas y ni resolverlos a tiempo. Esta industria realiza muestreo cada quince días como parte del plan de calidad. Este muestreo lo realizan mientras el grano va descargando a través de las compuertas que se encuentran en el piso del silo, como se ilustra en la figura 4.7. La descarga se realiza con el propósito de enviar el arroz en granza al proceso de pilado para la elaboración del arroz.

Este tipo de muestreo según CONARROZ aplica cuando la masa de grano no está disturbada, es decir, no ha sido movida porque de lo contrario la muestra obtenida solo sería de la parte superior de la masa de grano, por los patrones de vaciado de los granos en silos, donde lo último que entra es lo primero que sale; sin embargo en la industria lo utilizan indistintamente el silo o el análisis a realizar.



Figura 4.7. Punto de muestreo de la masa proveniente del silo.

Fuente: Autor

- **Inspección:**

En cuanto a la inspección, el departamento de plagas realiza inspecciones diarias con el fin de determinar alguna anomalía. En dicha inspección realiza observaciones del estado de la infraestructura del silo, que no presenten goteras, que la descarga esté libre de alguna obstrucción, que no se presenten malos olores como a granza podrida, presencia de plagas, entre otras.

También como parte de este proceso todos los días miden la temperatura de la masa de grano utilizando un termómetro de rayo infrarrojo. Esta medición de temperatura la hacen solo al grano que se encuentra en la superficie, por lo tanto, no saben a ciencia cierta cómo está el centro del silo que es donde se da mayor problemas porque ahí es donde se acumulan las plagas provocando focos de calor que ayudan a incrementar el manchado de grano. Estos datos son anotados en una bitácora para su respectivo control.

- **Monitoreo de Plagas:**

Las plagas representan un gran problema en el almacenamiento por su dificultad de controlarlas. A pesar de que hoy en día existen productos químicos muy efectivos para el control, parecer ser que muchas veces no se realizan en el momento indicado ni con las dosis indicadas. En esta industria el personal de control plagas tiene una programación de aplicaciones diarias y en ocasiones que lo amerite realizan aplicaciones extras.

Las plagas y microorganismo tienden a incrementarse conforme la temperatura del grano o del aire que lo rodea es alta. También el contenido de humedad juega un papel importante en la propagación especialmente de microorganismos

4.2 Condiciones iniciales de calidad del grano luego de su proceso de acondicionamiento e inicio del proceso de almacenamiento.

Una vez realizado el proceso de acondicionamiento (limpieza y secado) el grano se almacenó con condiciones iniciales promedio de contenido de humedad e impurezas de 12,34% y 4,46% respectivamente, como se puede apreciar en la figura 4.8. En la misma figura se puede apreciar los valores promedios de los demás parámetros de calidad obtenidos de las muestras de grano almacenadas en el silo experimental.

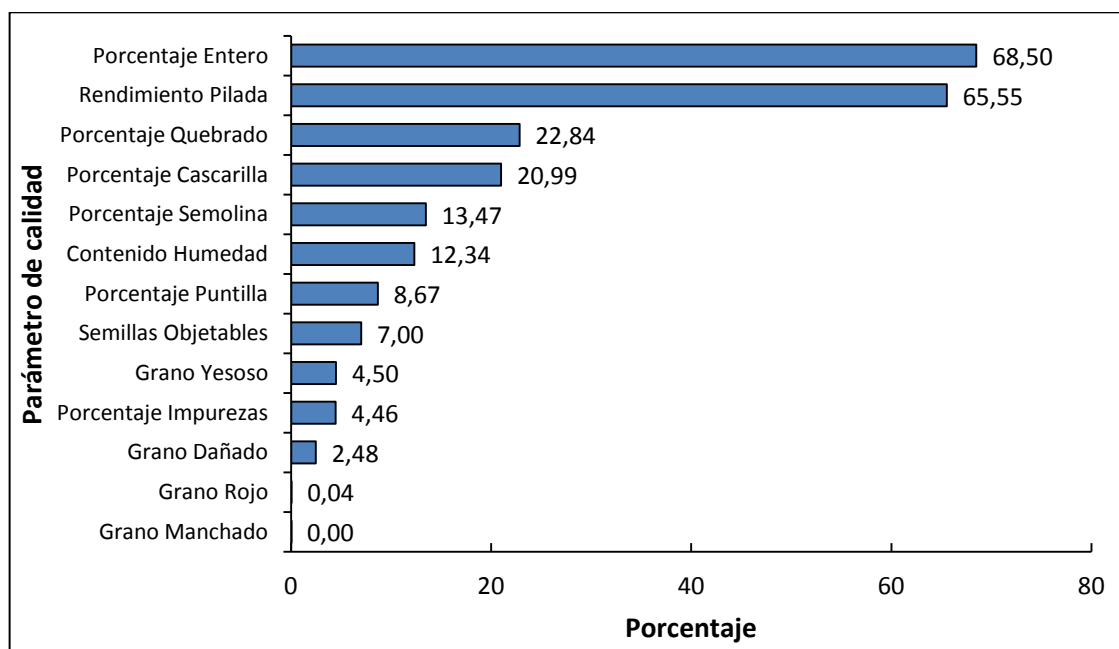


Figura 4.8. Condiciones iniciales promedio de los parámetros de calidad de la masa de grano del silo experimental.

Fuente: Autor

Dado lo anterior, se nota que estos datos se ajustan a las recomendaciones de Castillo (1984) para un almacenamiento seguro, que indica que un contenido de humedad menor del 13% en granos almidonosos impide el crecimiento de hongos en cualquier condición climática normal y ayudan a preservar el grano durante periodos de almacenamientos hasta por seis meses.

Con respecto al análisis de calidad realizado por el laboratorio de aseguramiento de la calidad de la industria a esos mismos lotes de arroz, en donde las muestras analizadas por la arrocera corresponden a las obtenidas de los camiones, existen algunas diferencias. Estas diferencias que se deben a que el acondicionamiento del arroz en el

laboratorio es menos perjudicial que el acondicionamiento real del proceso industrial. Entre las diferencias más importantes podemos encontrar el porcentaje de semolina con un aumento de 3,83%, rendimiento de entero una disminución del 3,63%, porcentaje de quebrado un aumento de 4,48% y porcentaje de puntilla con un aumento de 1,19%, como se aprecia en la tabla 4.2. En el anexo E se encuentra los datos del laboratorio de aseguramiento de calidad de los lotes muestreados.

Tabla 4.2 Valores de parámetros de calidad de tres estudios diferentes

Parámetro	CONARROZ	Industria	Condición inicial silo
Manchado	0,00	0,15	0,00
Rojo	0,50	0,00	0,04
Dañado	0,90	0,89	2,48
Impurezas	10,70	6,32	4,46
Yesoso	3,00	5,51	4,50
Semillas Objetables	1,00	21,00	7,00
Puntilla	3,50	7,48	8,67
Humedad	20,50	17,60	12,34
Semolina	10,10	9,64	13,47
Cascarilla		24,93	20,99
Quebrado	20,90	18,36	22,84
Rend. Pilada	69,60	65,44	65,55
Rend. Entero	55,20	48,53	44,90

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por CONARROZ y la industria Compañía Arrocera Industrial (2012)

Estas variaciones también concuerdan con los datos obtenidos por el CONARROZ en un estudio realizado entre 2005 y 2006 “Caracterización del arroz en granza de producción nacional, siembra 2005/2006” y cuyos valores más importantes se encuentran en la tabla anterior. Por lo tanto, se puede decir que el proceso de acondicionamiento (limpieza y secado) de la industria afecta significativamente la calidad inicial molinera del arroz en granza.

Se puede mencionar el secado como el principal proceso de acondicionamiento que más afecta la calidad del grano. Estos lotes experimentales fueron sometidos a una temperatura de secado promedio de 54°C, temperatura promedio de grano de 36°C y un contenido de humedad final de 11,50% aproximadamente (Ver anexo B). Estas temperaturas según Zeledón y Mata (1992) afectan significativamente la calidad del arroz entero y quebrado en un 10%, dato que se aproxima a lo obtenido en esta investigación de 8,11%, que se determina de sumar la diferencia entre rendimientos de entero y quebrado de la industria con los de la calidad inicial de la tabla 4.2.

A su vez Zeledón y Mora (1987) encontraron una correlación entre el aire de secado y el porcentaje de quebrado indicando que a una temperatura de secado de 56.6°C el incremento promedio de quebrado fue de 4,0%, dato que también se aproxima con lo obtenido de 4,48%, que se determina de restar los quebrados de la industria con los de la calidad inicial de la tabla 4.2.

En cuanto a los parámetros de grados de calidad se tiene de la tabla 4.2, el porcentaje de arroz manchado de 0,00%, porcentaje de arroz yesoso de 4,50%, arroz rojo 0,04%, arroz dañado 2,48% y semillas objetables con 7. Dentro de las variaciones más importantes de destacar con respecto al análisis del muestreo realizado a los lotes en los camiones tenemos el grano yesoso con una diferencia de 1%, el grano dañado con 1,59% y semillas objetables con 14. Al comparar los resultados con los del CONARROZ se muestran importantes variaciones en los parámetros como grano yesoso con 1,50%, grano dañado 1,58% y semillas objetables con 6. Estas diferencias se pueden deber a la variabilidad de la masa de grano, ya que en el silo experimental presenta una mezcla de los tres lotes de arroz de diferentes variedades y características.

4.3 Evaluación de los parámetros de calidad durante el almacenamiento

A continuación se presentan los resultados más importantes del análisis de la variabilidad de cada uno de los parámetros de calidad utilizados por la industria para el silo experimental durante el periodo de almacenamiento.

4.3.1 Contenido de Humedad

Para la variable contenido de humedad del grano al realizar el análisis estadístico no se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las medias en el tiempo. Sin embargo si encontramos diferencias significativas entre los bloques; A y B con respecto a C, con diferencias de 1,08% con respecto al bloque A y de 1,34% con respecto al bloque B. En la figura 4.9 se aprecia las medias de los bloques.

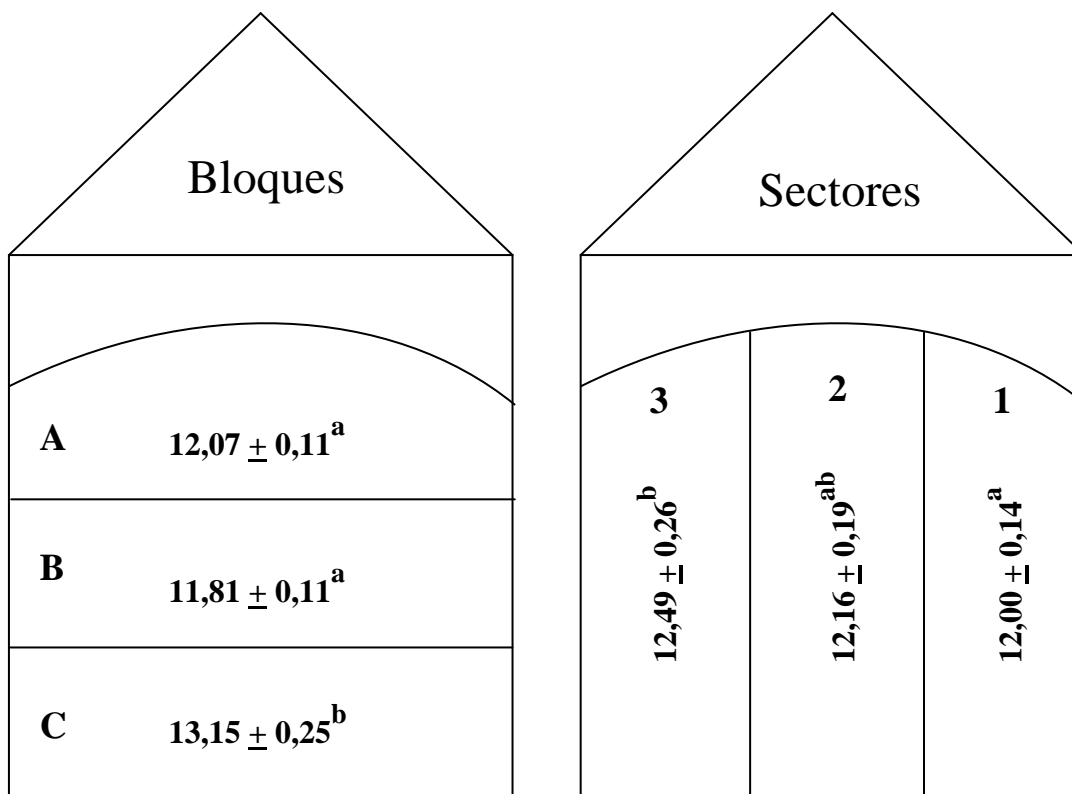


Figura 4.9. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y los sectores del silo para la variable contenido de humedad

Fuente: Autor

Por otro lado, se observa que el bloque C presentó valores más altos de contenido de humedad con respecto a los otros dos, inclusive sobrepasando el valor para un almacenamiento seguro en cualquier condición climática citado por Castillo (1984) de 13% y en condiciones de invierno (Villalobos 2002; citado por Hangen 2002) entre 11.5 y 12%. Esta situación hace que este bloque sea más propenso al crecimiento de hongos y plagas contribuyendo a aumentar las pérdidas de calidad del grano y eventualmente afectar las demás capas o bloques del silo.

Este aumento del contenido de humedad del bloque C puede atribuirse a que el grano absorbió humedad del aire ambiente utilizado para la aireación, en el proceso de alcanzar el contenido de humedad de equilibrio. Ese aire ambiente presentaba humedad relativa promedio de 79,4% en el lapso de tiempo de la aireación, y según la figura 2.2 para esa humedad relativa el contenido de humedad de equilibrio sería de aproximadamente 14%.

También se presentó diferencia significativa de 0,5% de humedad entre los sectores; entre sector 1 y 3 específicamente, que corresponden a la parte norte y sur del silo respectivamente, mientras que la parte central no tuvo ninguna diferencia con las orillas del silo, tal y como se muestra en la figura 4.10. La diferencia entre el sector norte del sur se debe a que en la parte norte del silo (sector 1) el sol proyecta directamente los rayos solares a esta superficie, ya que no hay ninguna estructura que los protegiera de la incidencia de los rayos de sol, por lo tanto la pared del silo al ser de metal transfiere calor a este sector, a raíz de eso el grano comienza a sufrir un proceso de evaporación haciendo que el contenido humedad disminuya y sea más bajo que los demás sectores. Caso contrario sucede con el sector sur del silo (sector 3) en donde la infraestructura propia de la industria cubre ese sector impidiendo el contacto directo con los rayos solares, por lo tanto la transferencia de calor va a ser menor y el contenido de humedad no se vería afectado por ese factor.

4.3.2 Rendimiento de Semolina

La semolina es un subproducto del proceso de elaboración o industrialización del arroz. Al realizar el análisis de variabilidad estadístico presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los bloques, específicamente entre el bloque A y B con respecto al bloque C, encontrándose diferencias entre las medias de 3,21% con respecto al bloque A y de 2,82% con respecto al bloque B, como se aprecia en la figura 4.10.

Por otro lado el análisis de varianza arrojó diferencias significativas entre las medias de los sectores, concretamente encontramos diferencias del sector 1 (Norte) con respecto a los sectores 2 (Centro) y 3 (Sur). Dicha diferencias tuvieron valores de 1,17% y 0,96% con respecto al sector 2 y 3 respectivamente, véase la figura 4.10. En el tiempo

el rendimiento de semolina de las muestras analizadas no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias.

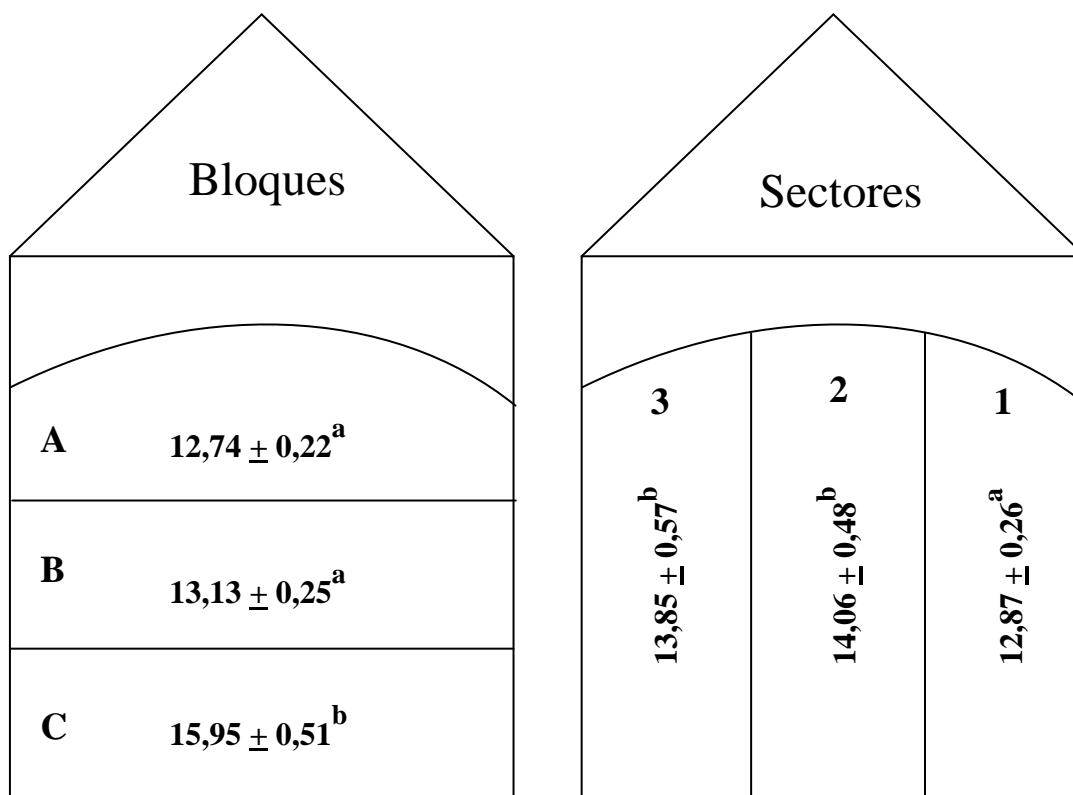


Figura 4.10. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable rendimiento de semolina.

Fuente: Autor

Este importante aumento en la semolina en el bloque C representado en la figura anterior se debe a que a la incorporación de porciones de puntilla (quebrado muy fino) en la semolina durante el proceso de elaboración. Este aumento de la semolina en mezcla con puntilla se debe al incremento de grano quebrado en ese bloque debido a situaciones como la compactación y el humedecimiento del grano que provoca tensiones en el mismo y hace que se quiebre con mayor facilidad. En la siguiente fotografía tomada en una de las muestras del bloque C se muestra la cantidad de puntilla en mezcla con la semolina.

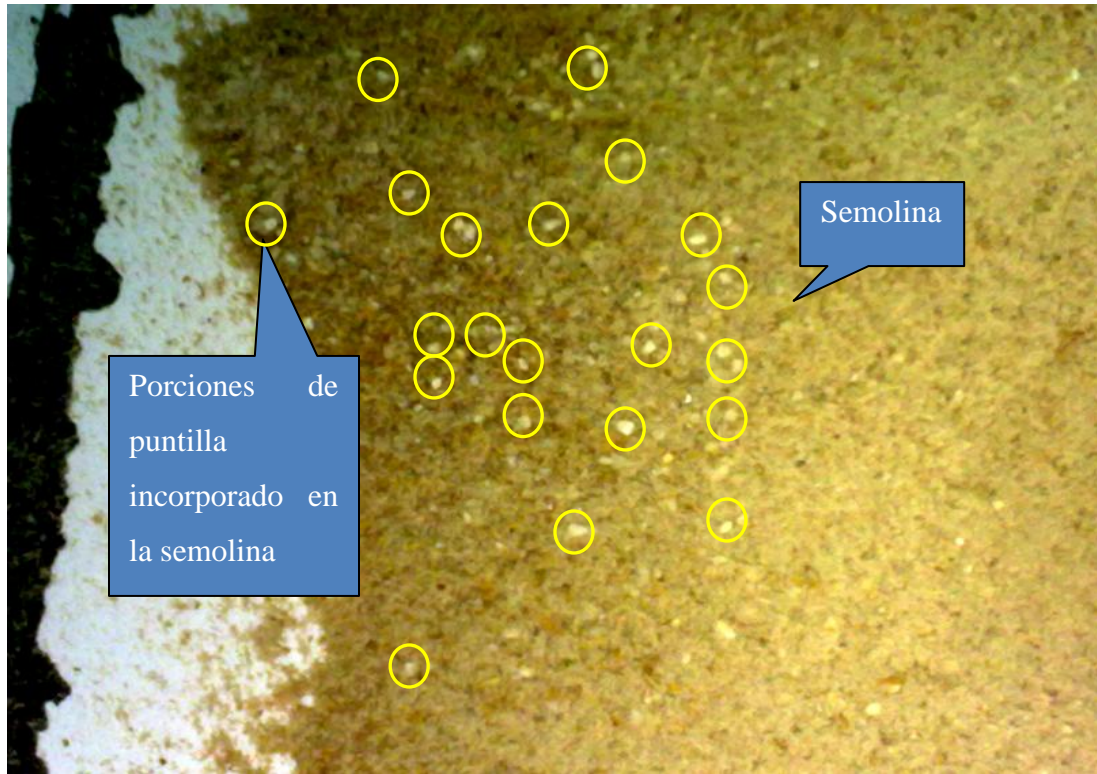


Figura 4.11. Fotografía tomada en una muestra del bloque C durante su proceso de elaboración.
Fuente: Autor

Existe una correlación entre el contenido de humedad del grano y el rendimiento de semolina. Dicha correlación es directa, es decir, a mayor contenido de humedad mayor rendimiento de semolina. También se puede observar que la relación es fuerte de un 75% y que la variación del rendimiento de semolina se explica en un 55% por la variación del contenido de humedad, en la figura 4.12 se observa la correlación entre las variables.

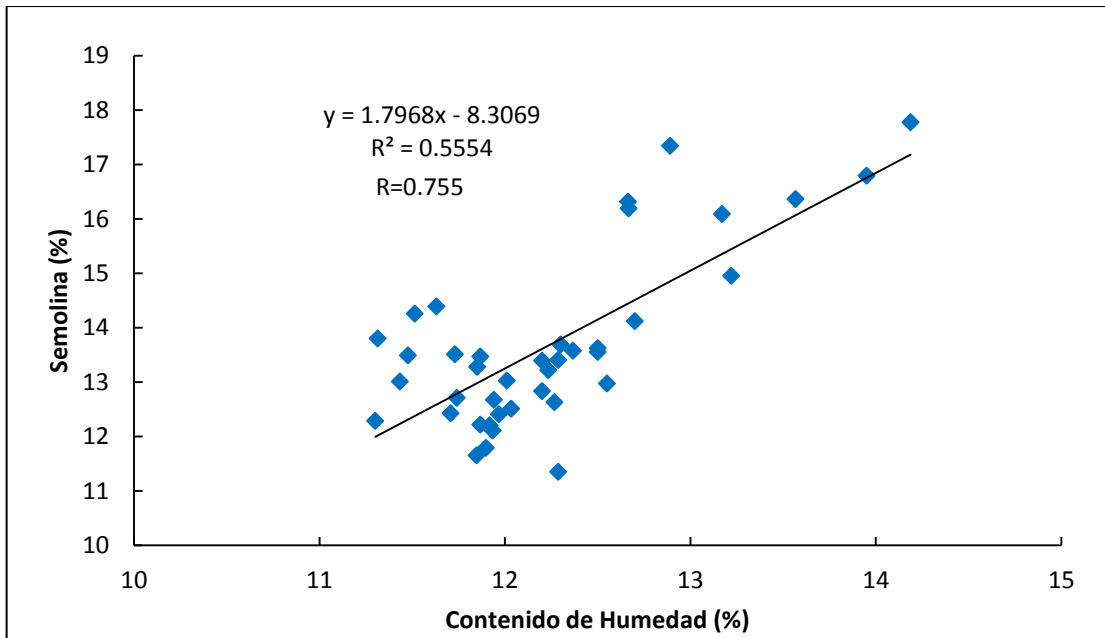


Figura 4.12. Correlación entre contenido de humedad y rendimiento de semolina
Fuente: Autor

4.3.3 Rendimiento de Pilada

En esta variable se encontraron diferencias significativas entre los bloques A y B con respecto a C. La variación entre las medias de los bloques con respecto a C son 4,18% con respecto al A y de 3,33% con respecto al B. La figura 4.13 nos muestra tal situación.

Por otro lado, dicho análisis nos indica que entre los sectores también se presentaron diferencias significativas, entre la parte norte (sector 1) y sur (sector 3) con respecto al centro del silo (sector 2). En este aspecto la variación entre las medias no fueron tan altas como entre los bloques, presentando diferencias de 2.03% de la parte norte con respecto al centro y de 1.12% de la parte sur con respecto al centro, como se observa en la figura 4.13.

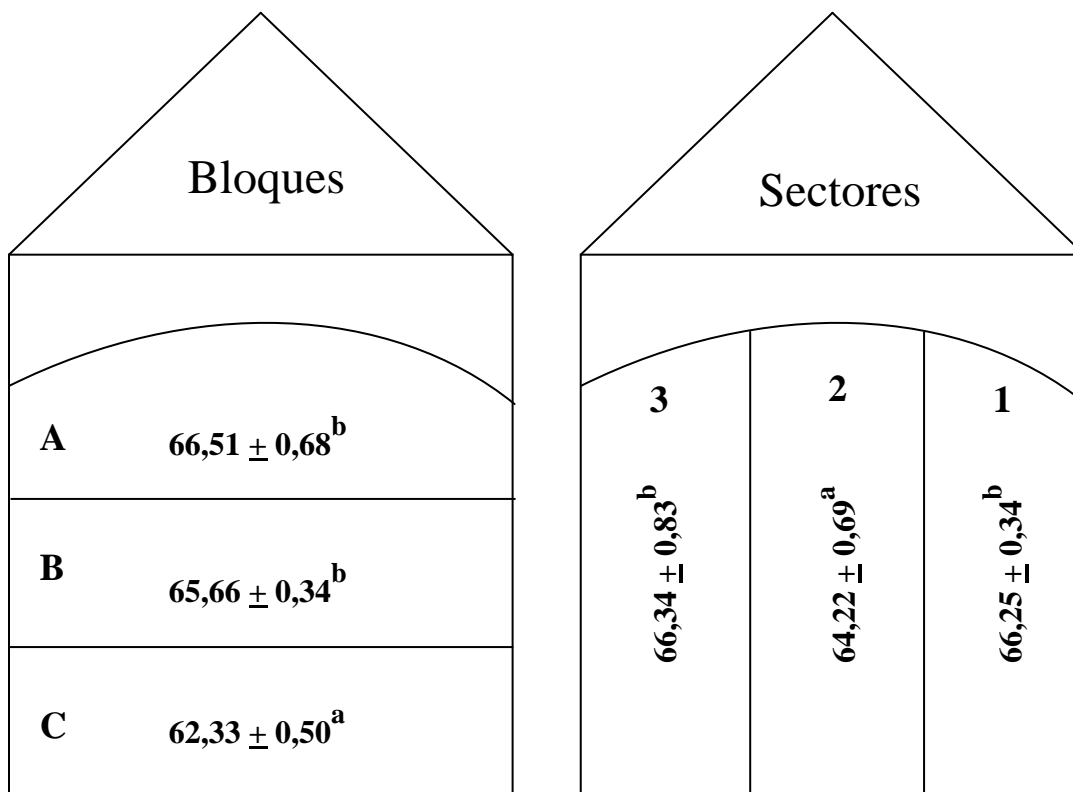


Figura 4.13. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable rendimiento de pilada.

Fuente: Autor

Se puede apreciar que el porcentaje de semolina y el rendimiento de pilada mantienen una correlación muy fuerte de 84.4% entre los bloques. A mayor porcentaje de semolina, menor rendimiento de pilada. En este estudio la cascarilla no presentó diferencias significativas en el tiempo, ni entre los bloques ni entre los sectores, por lo tanto se puede deducir que la cascarilla no afectó el rendimiento de pilada. En la figura 4.14 se aprecia esta correlación entre las variables.

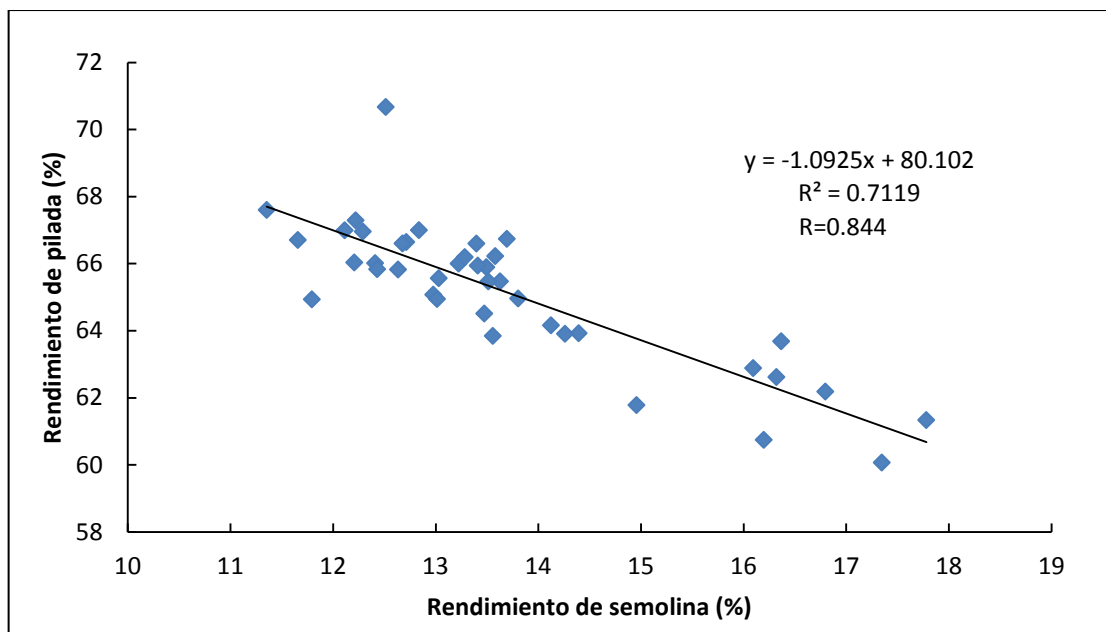


Figura 4.14. Correlación entre el rendimiento de semolina y el rendimiento de pilada

Fuente: Autor

4.3.4 Porcentaje de grano entero

El grano entero por su alto valor económico es uno de los parámetros del cual se debe preservar la calidad inicial, ya que los mayores ingresos de cualquier industria se deben a esta variable en particular.

El análisis estadístico de variabilidad demostró que se dieron diferencias significativas entre las medias de los bloques A, B y C; así como entre los sectores 1, 2 y 3. Para este parámetro también se dieron diferencias significativas en el tiempo de almacenamiento.

En el caso de los bloques los tres presentaron diferencias significativas. Con un nivel de confianza del 95%, se estima que el porcentaje de arroz entero del bloque A se encuentra entre 66,81% y 70,77%, siendo este bloque con el porcentaje más alto. El bloque B se encuentra entre un intervalo de confianza de 62,13% y 68,07%, presentando éste diferencia significativa con respecto al bloque A. En cuanto al bloque C el porcentaje de entero se estima que estuvo entre 51,81% y 58,02%. Se observa que la mayor variación en los porcentajes de entero se dio entre la capa más profunda y la capa más alta del silo experimental con una diferencia de 13,87% con respecto a las

medias. Se puede observar que conforme más profundo es el bloque disminuye la cantidad de grano entero, es decir, existe un comportamiento descendente entre la profundidad del bloque y el porcentaje de entero, como se aprecia en la figura 4.15. Esto debido al efecto de compactación que se da en la masa de grano, tiende a provocar fisuras sobre todo en los extremos o puntas del grano, al tener que soportar mayor peso provocado por las capas de grano de encima, sumado a esto el alto contenido de humedad mayor a 13% que provoca que el grano se quiebre.

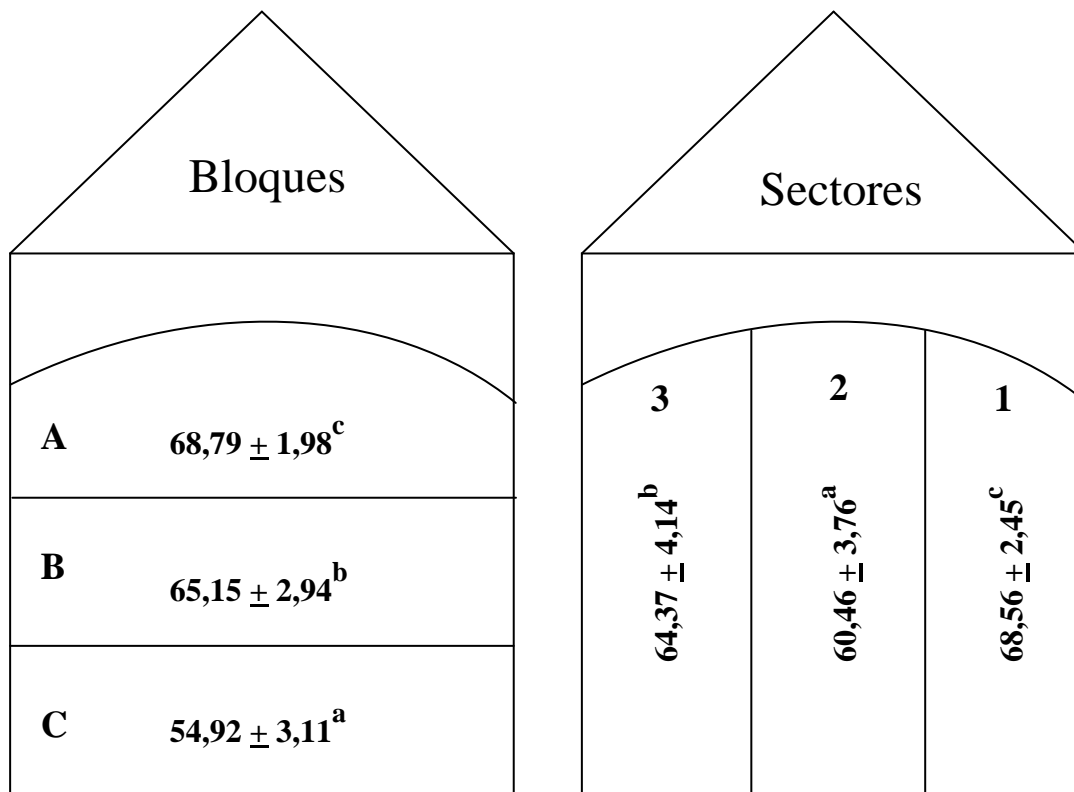


Figura 4.15. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable grano entero.

Fuente: Autor

En cuanto a los sectores, con un nivel de confianza del 95% se estima que los mayores porcentajes se dieron en los bordes del silo, es decir en los sectores 1 (norte) y 3 (sur) con medias de $68,56 \pm 2,45\%$ y $64,37 \pm 4,14\%$ respectivamente. En el sector 2 (centro de silo) presentó el porcentaje más bajo de $60,46 \pm 3,76\%$

En el tiempo el porcentaje de entero tuvo un comportamiento descendente conforme pasaban los días de almacenamiento. Al inicio del periodo presentó una media de 68,50

$\pm 2,25\%$ a los quince días de conservación para terminar con una media de $62,10 \pm 3,55\%$ a los setenta y cinco de días de almacenaje. Presentando diferencias significativas ($p < 0,05$) a partir de los cuarenta y cinco días de almacenamiento. Después de los cuarenta y cinco días no se dieron diferencias significativas entre las medias, tal y como se ilustra en la figura 4.16.

En la grafica de la figura 4.16, se puede estimar a nivel poblacional que durante el periodo de almacenamiento se presentó una pérdida de grano entero del 6,40%. En términos de de cantidad de masa de grano, inicialmente este silo contenía una masa inicial de 36212,4 kg, que corresponde al $68,50 \pm 2,25\%$ de grano entero. Por lo tanto, se puede concluir que durante el ciclo de almacenamiento se dio una pérdida de 2317,6 kg de grano entero que se convirtió en quebrado grueso o quebrado muy fino (puntilla). En términos económicos esto representa una gran pérdida para la industria, ya que como lo menciona Zeledón y Mata (1992) el valor del grano quebrado se reduce a la mitad del valor del grano entero y además es más susceptible a la infestación por insectos (Luh, 1980; citado en Zeledón y Mata, 1992).

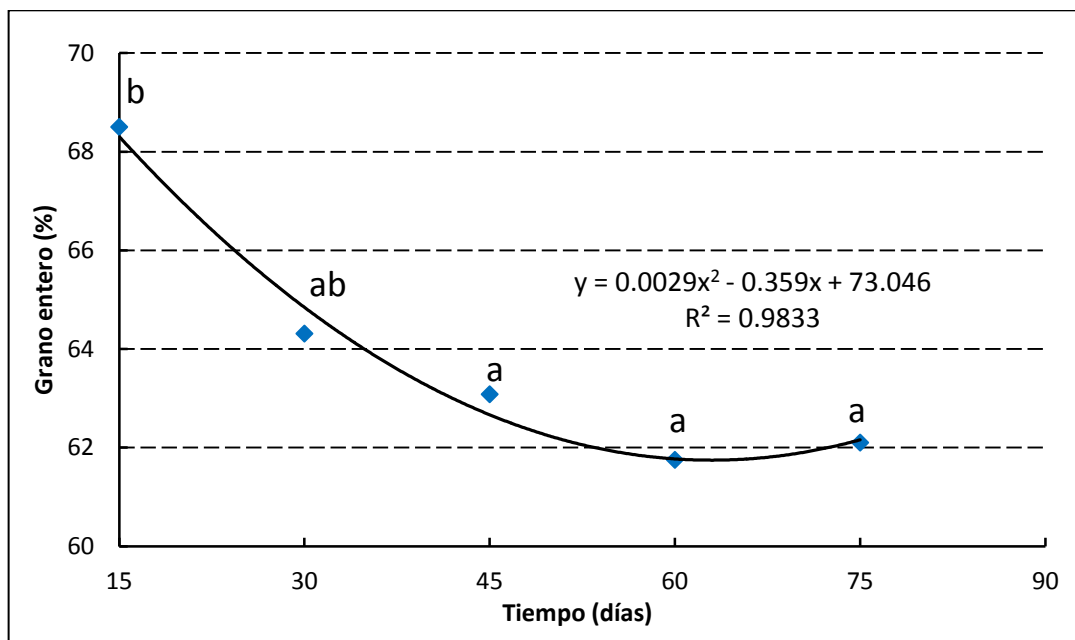


Figura 4.16. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la variable grano entero
Fuente: Autor

4.3.5 Porcentaje de grano quebrado

Por simple inferencia el grano entero que sufre pérdidas por fisuramiento se transforma en grano quebrado. Por lo tanto la merma de grano entero se convierte en un aumento del quebrado, ya sea grueso o fino (puntilla).

Así lo demuestran los resultados obtenidos. Al nivel de confianza del 95%, se estima que el bloque que tuvo más alto porcentaje de quebrado fue el C, con una media de $29,41 \pm 0,79\%$, luego encontramos el bloque B con una media de $23,26 \pm 0,72\%$ y el bloque A con $21,86 \pm 0,62\%$. La variación significativa se dio entre los bloques A y B con respecto a C, cuyas diferencias entre medias es de 7,55% con respecto A y de 6,15% con respecto a B, como lo demuestra la figura 4.17.

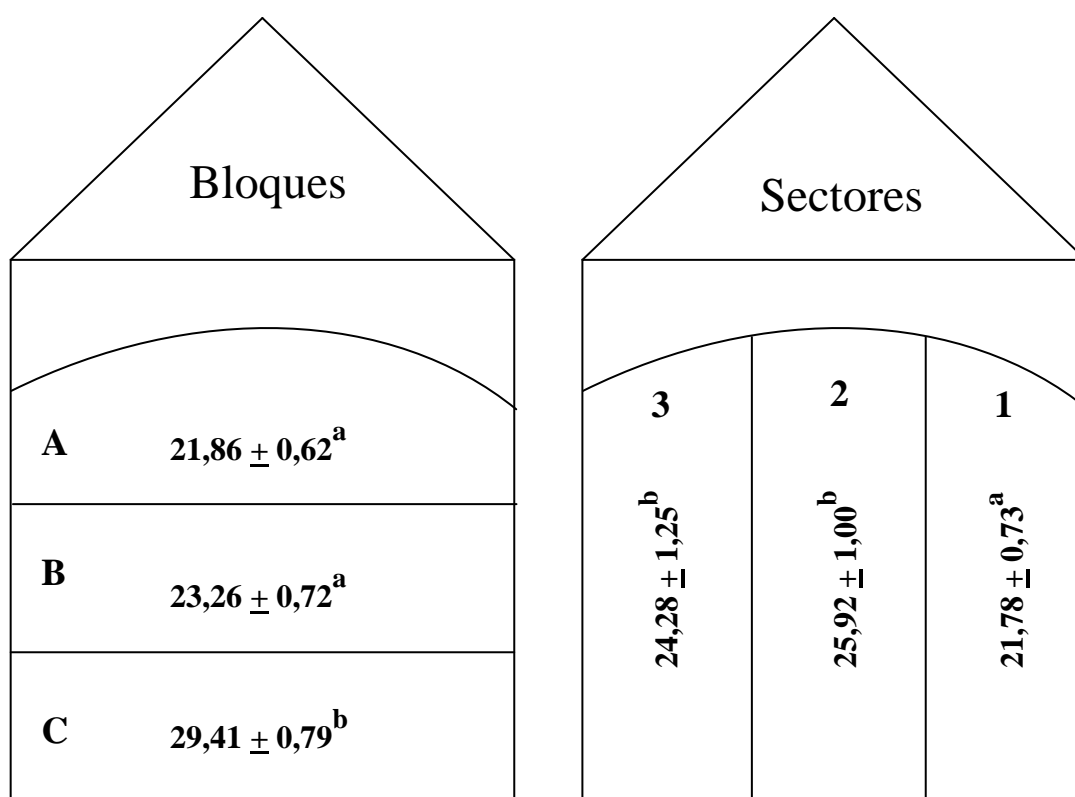


Figura 4.17. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable grano quebrado.

Fuente: Autor

En el análisis de porcentaje de entero anteriormente descrito se observa como en el bloque C el porcentaje de entero tuvo un valor más bajo con respecto a los otros dos. Ese valor se tradujo en mayor cantidad de grano quebrado en ese mismo bloque. Este aumento del quebrado se debe a la compactación al cual se enfrenta esa parte de la masa

de grano aunado al incremento del contenido de humedad al tratar de alcanzar equilibrio con el aire ambiente utilizado en la aireación. Este incremento del grano quebrado hace que el bloque C sea más susceptible a la infestación por insectos, menor calidad y tenga un valor comercial más bajo.

Otro aspecto que pudo haber influido al mayor incremento de quebrado del bloque C con respecto a los otros dos, es la temperatura de secado al cual fue sometido, ya que este bloque perteneció al lote 2 de secado (Ver Anexo B) y cuya temperatura promedio del aire de secado fue de $56,22^{\circ}\text{C}$ y como se indicó en el inciso 4.2 estas temperaturas producen un importante incremento de grano quebrado.

La tendencia que muestra la figura 4.17 entre los bloques es ascendente, es decir, entre más profundo se encuentra el grano mayor problemas de fisuras sufre aumentado el quebrado.

En la figura 4.17 se nota que la diferencia significativa se dio entre las medias de los sectores 2 y 3 con respecto al sector 1. El sector 2 presentó la mayor cantidad de quebrado con $25,92 \pm 1,0\%$, seguido del sector 3 con $24,28 + 1,25\%$ y el sector 1 con $21,78 + 0,73\%$. Las variaciones con respecto a las medias entre los sectores fue de $4,14\%$ del sector 2 con respecto al 1 y de $2,5\%$ del sector 3 con respecto al sector 1.

Otro aspecto importante es la fuerte correlación que existe entre el porcentaje de grano entero y el quebrado. La correlación es inversa, es decir, a mayor porcentaje de quebrado menor porcentaje de entero y estas variaciones pueden explicarse en un 93%, es decir, que la variación en el porcentaje de entero se explica en un 93% por la variación del porcentaje de quebrado. En la figura 4.18 se observa la fuerte correlación entre las variables.

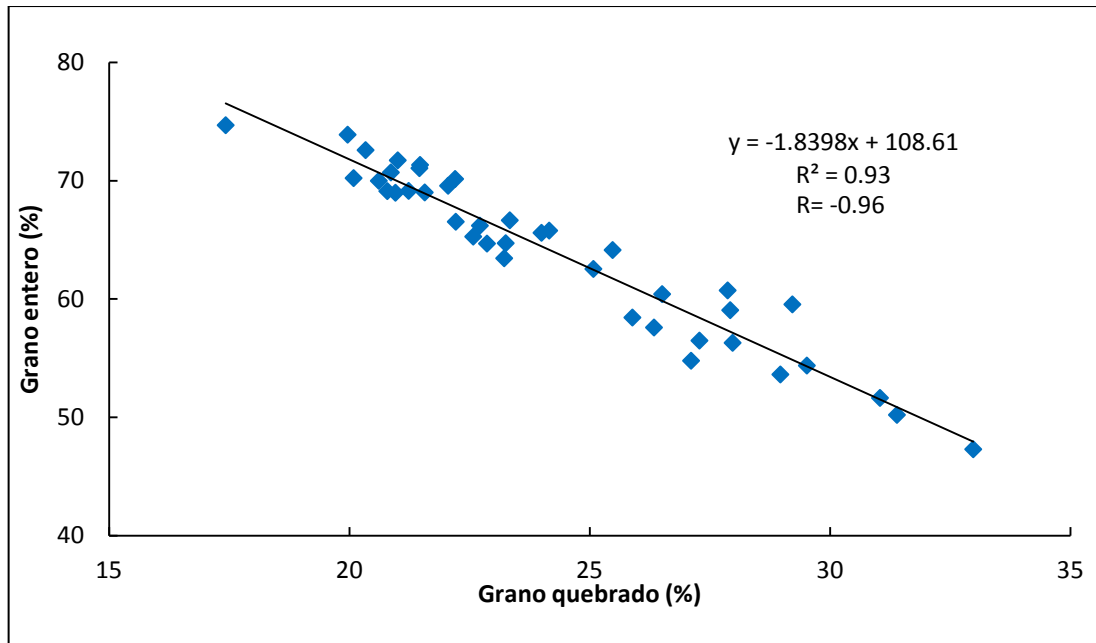


Figura 4.18. Correlación entre el porcentaje de grano entero y el porcentaje de grano quebrado

Fuente: Autor

4.3.6 Porcentaje de quebrado muy fino (puntilla)

El quebrado muy fino o puntilla como le conocemos en Costa Rica es un subproducto de la industrialización del arroz en granza. Su valor al igual que la semolina son bajos aún así se comercializa con mucha facilidad como alimento para animales.

La puntilla presenta un comportamiento muy parecido al grano quebrado, ya que la puntilla va incorporada en este último que se separa mediante métodos mecánicos por medio del uso de cribas. La tendencia es la misma que se presentó en el quebrado grueso, es decir, a mayor profundidad de capa de grano mayor es el porcentaje de puntilla.

Por lo tanto, se puede observar en la figura 4.19 la diferencia significativa entre los bloques, donde el bloque C presenta la media con mayor porcentaje de puntilla de $15,66 \pm 1,08\%$, luego la capa que está por encima de esta, el bloque B con un porcentaje de $11,62 \pm 0,97\%$ y finalmente la capa o bloque A que es la más próxima a la superficie de la masa de grano y cuyo porcentaje es de $9,34 \pm 0,59\%$.

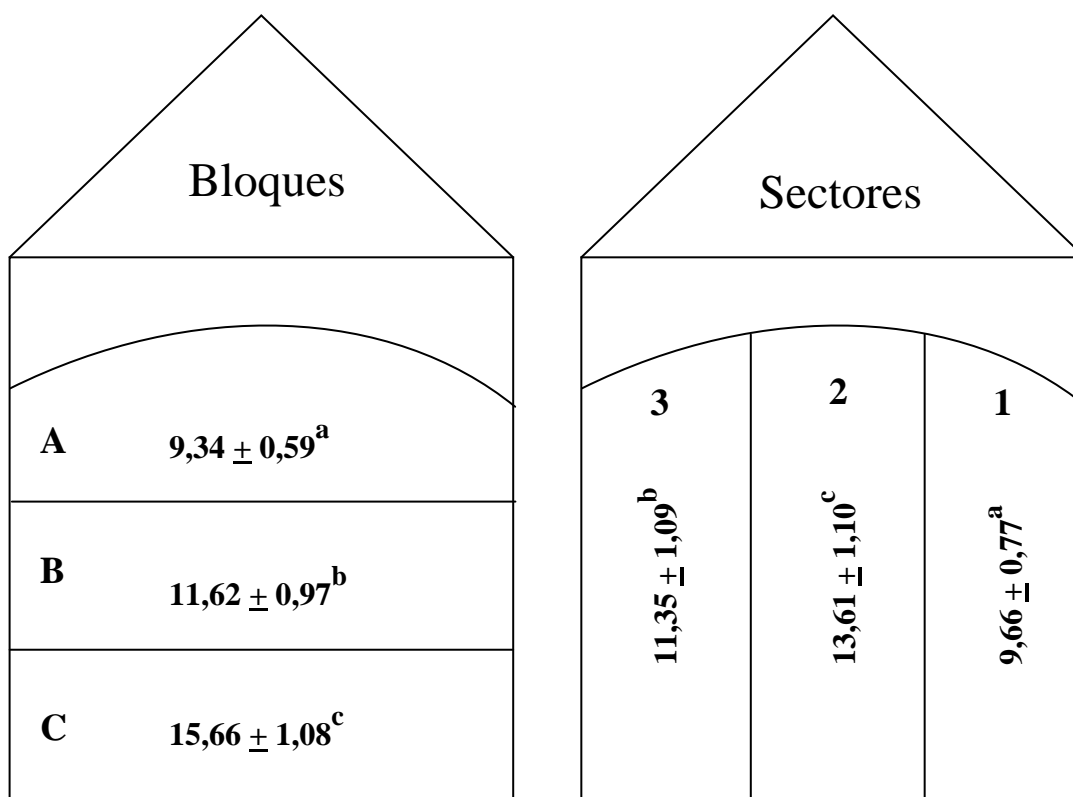


Figura 4.19. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo para la variable puntilla.

Fuente: Autor

Por otro lado, se distingue que entre los sectores existe significancia entre las medias. En este caso, los tres sectores son significativamente diferentes, presentando medias de $13,61 \pm 1,1\%$, $11,35 \pm 1,09\%$ y $9,66 \pm 0,77\%$ en los sectores 2, 3 y 1 respectivamente, siendo el sector 2 y 3 los que más incremento presentaron.

En el caso de la puntilla, al igual que el grano quebrado presenta una fuerte correlación con el grano entero. Esta correlación es inversa y fuerte. Se observa en la figura 4.20 que la dispersión de los puntos con respecto a la recta de regresión es muy baja, por lo tanto, el fenómeno explicativo es alto de un 92.5%.

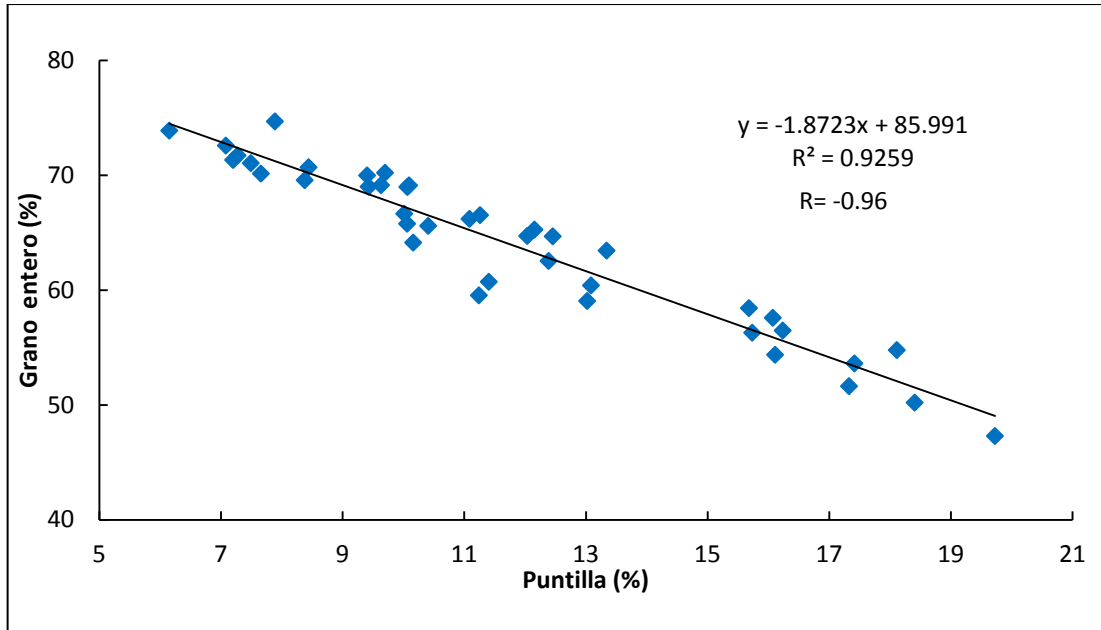


Figura 4.20. Correlación entre el porcentaje de grano entero y el porcentaje de grano quebrado muy fino “puntilla”

Fuente: Autor

4.3.7 Porcentaje de arroz manchado

Para los parámetros clasificados como grados de calidad, la variable arroz manchado no presentó diferencias entre los tratamientos, tampoco presentó diferencia entre la fuente de variabilidad orilla del silo (sectores). Sin embargo en la fuente de variabilidad tiempo a nivel global (toda la masa de grano) si presentó diferencias, es decir, despreciando los tratamientos y la fuente de variabilidad orilla. En el tiempo se dieron esas diferencias a partir de los cuarenta y cinco días de almacenamiento y se presentó un comportamiento ascendente con el pasar de tiempo, como aprecia en la curva de mejora ajuste de la gráfica de la figura 4.21.

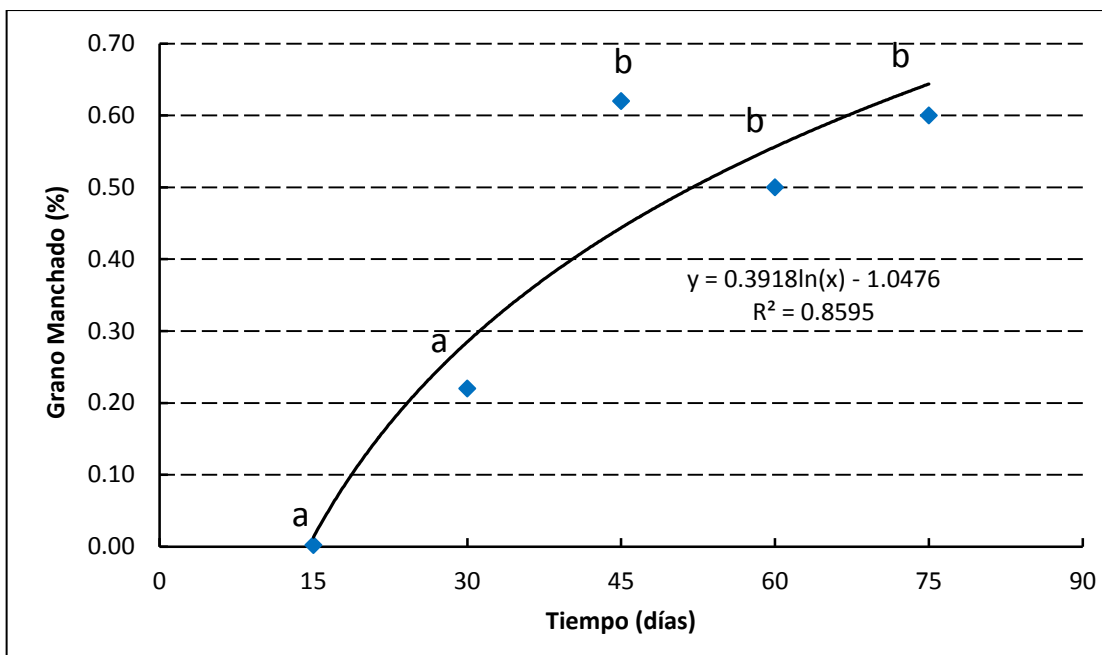


Figura 4.21. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la variable arroz manchado

Fuente: Autor

En el primer muestreo del silo no se detectaron problemas de arroz manchado presentando un valor de 0,00%, mientras que en último muestreo realizado a los setenta y cinco días de almacenamiento el porcentaje promedio de arroz manchado fue de $0,60 \pm 0,1\%$. Con un nivel de confianza de 95%, se puede estimar que la pérdida de calidad de grano durante todo el periodo en el que estuvo conservado fue de 317,2 kg de arroz manchado. Sin embargo para el sistema de calidad de la industria se considera un lote de arroz con serios problemas de arroz manchado cuando sobrepasa el 1,5%, por lo que para este caso el silo no presentó problemas severos de arroz manchado.

4.3.8 Porcentaje de arroz yesoso.

El grano yesoso son granos con un aspecto de tiza en al menos la mitad de su superficie, también los granos inmaduros son yesosos. El grano yesoso a diferencia de otros parámetros no se incrementa en el tiempo ni tampoco por las condiciones de almacenamiento, sino mas bien es una característica que viene desde el campo y es propia de variedades de arroz como lo son el CR 5272, PALMAR 18, entre otras que son cultivadas en la Región Brunca.

En la figura 4.22, se muestra la diferencia entre el bloque A con respecto a los otros bloques. Esta diferencia es de aproximadamente de 1%, con medias de $3,79 \pm 0,36\%$, $2,79 \pm 0,35\%$ y $2,88 \pm 0,29\%$ para los bloques A, B y C respectivamente.

Es importante conocer el porcentaje de grano yesoso cuando se comercializa arroz, ya que el grano que presenta esta característica es más susceptible al fisuramiento en el proceso de elaboración del arroz, especialmente en el pilado y pulido de grano.

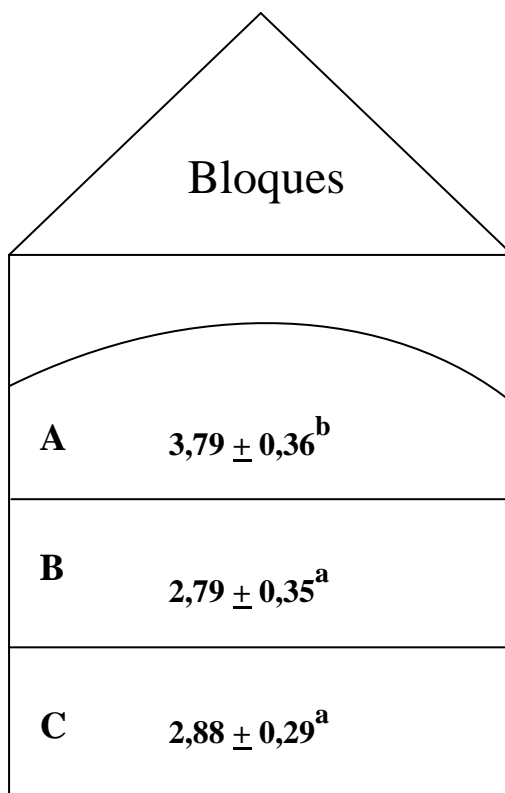


Figura 4.22. Medias y significancia obtenidas del análisis de varianza de los tres bloques del silo para la variable porcentaje de grano yesoso.

Fuente: Autor

4.3.9 Porcentaje de Arroz Rojo

El grano rojo es también conocido como arroz maleza y proviene de los campos de cultivos por el mal manejo de malezas que se da en su etapa vegetativa. Al igual que el grano yesoso no se incrementa con el tiempo por las condiciones de almacenamiento. Más bien viene incorporado con el arroz cosechado del campo. Se diferencia del arroz en granza (*Oryza sativa*) por ser de un menor tamaño, tener un diámetro mayor y poseer unas estrías de color rojizo. En algunas ocasiones el grano rojo es un grano

inmaduro, lo cual dentro de los parámetros de calidad puede clasificarse tanto como yesoso o como rojo, dependiendo de la característica que esté en mayor proporción.

En nuestro análisis estadístico encontramos diferencias entre los bloques. Específicamente el bloque C con respecto a los otros dos. En la figura 4.23 se ilustra que este bloque presentó un porcentaje mayor que los demás de $0,28 \pm 0,09\%$. Las variaciones con respecto al bloque A es de $0,27\%$ y con el bloque B de $0,16\%$.

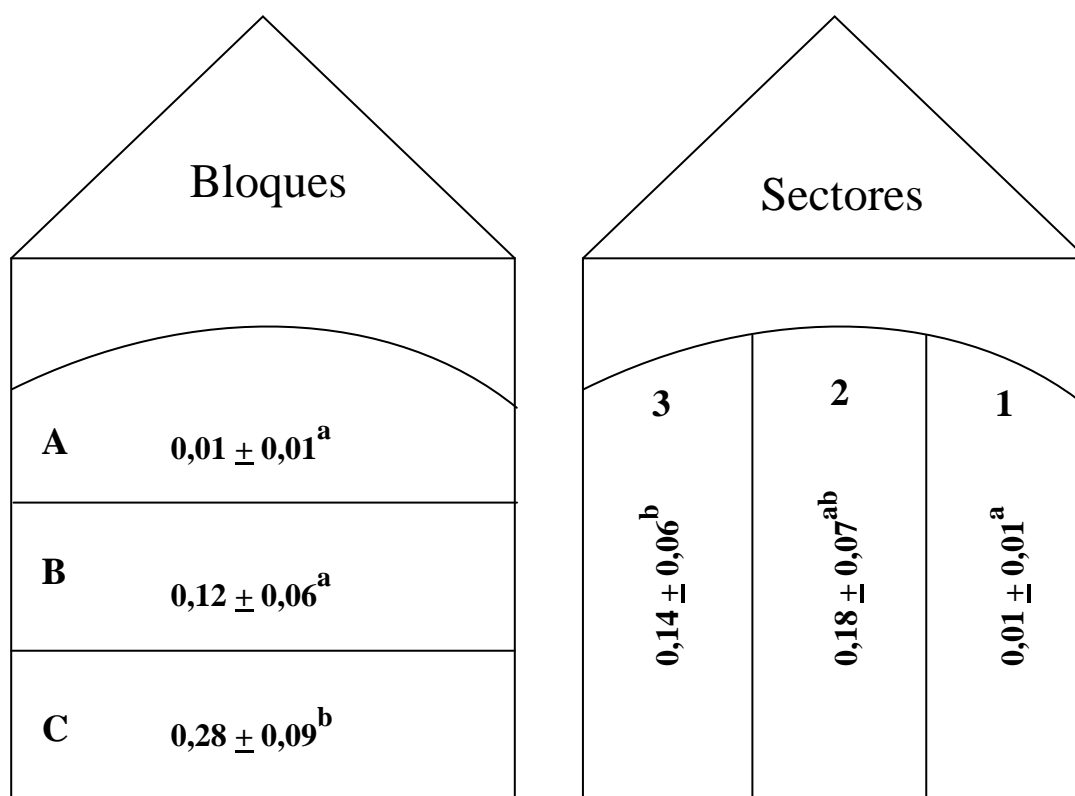


Figura 4.23. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques y sectores del silo experimental para la variable grano rojo.

Fuente: Autor

Por otro lado, se observa que también hay diferencia entre los sectores 1 y 3, con porcentaje de grano rojo de $0,01 \pm 0,01\%$ para el sector 1 y $0,18 \pm 0,07\%$ para el sector 2. El sector central no es diferente significativamente con los otros dos sectores.

4.3.10 Porcentaje de arroz dañado

El arroz dañado también es una característica que trae el arroz proveniente del campo, debido a microorganismo, hongos e insectos que lo atacan en etapa de cultivo. Sin embargo pese a eso también durante el periodo de almacenamiento este parámetro puede incrementarse debido al ataque de plagas como los insectos, roedores, pájaros, hongos, microorganismos y daño mecánico en algunas ocasiones producto del proceso de acondicionamiento al cual es sometido.

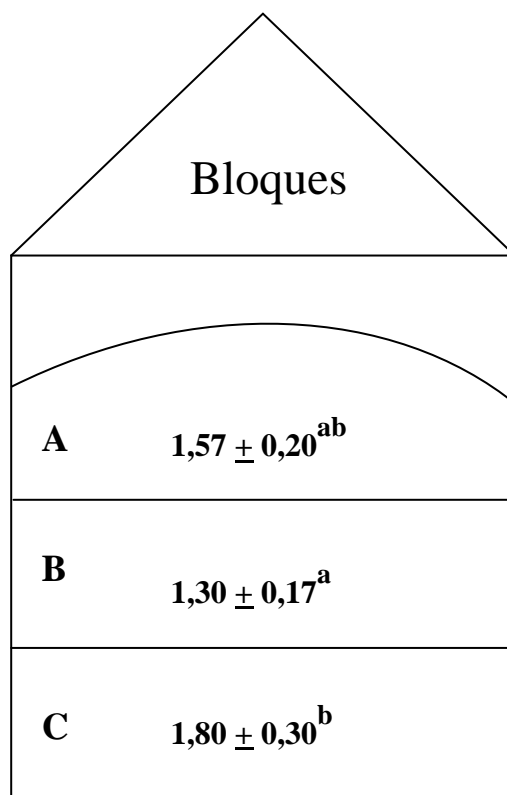


Figura 4.24. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques del silo experimental para la variable grano dañado.

Fuente: Autor

El resultado de análisis de varianza encontró diferencias significativas entre los bloques B y C, con medias de $1,30 + 0,17\%$ y $1,80 + 0,30\%$ respectivamente. Como se muestra en la figura 4.24 el bloque C presentó un porcentaje mayor de grano dañado, esto se debe a que en ese bloque al estar en el fondo del silo presenta condiciones más aptas para el desarrollo de plagas y microorganismo que pueden contribuir al deterioro por este factor. También podemos agregarle que esa parte es donde se encuentra la

mayor cantidad de grano quebrado y un contenido de humedad más alto que hace que el grano sea más apto al daño por insectos y microorganismos.

En condiciones normales de almacenamiento el porcentaje de grano dañado se espera que con el tiempo tendiera a incrementarse por la aparición de plagas que con frecuencia se da en los silos graneleros. Sin embargo en este caso en particular no presentó esa tendencia, ya que en primera instancia presentó un decremento hasta los sesenta días de almacenaje y luego tuvo un ligero incremento hasta el final de ciclo. Situación que no es normal en este tipo de industrias arroceras. Esto podría atribuirse a la variabilidad que existe en este tipo de producto por ser unidades tan pequeñas con características distintas una de otra.

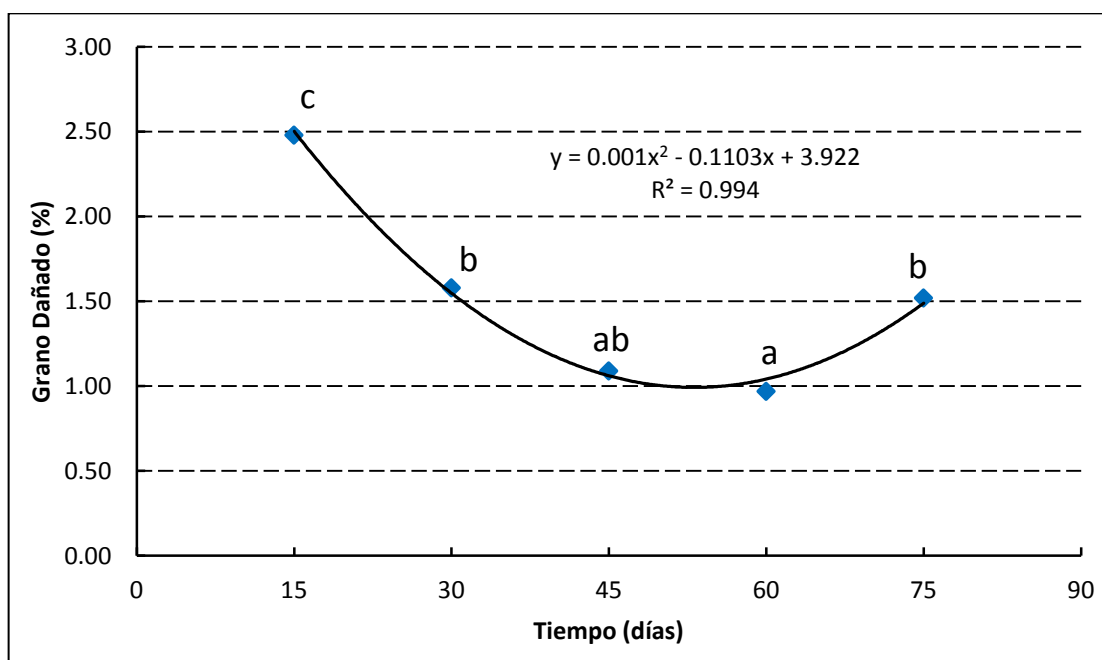


Figura 4.25. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la variable arroz dañado.

Fuente: Autor

En la gráfica de la figura 4.25 muestra ese comportamiento en el tiempo, presentado diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias indicadas con letras diferentes en la gráfica, la más importantes en los días quince, treinta y sesenta de almacenamiento.

4.3.11 Semillas Objetables

El término semillas objetables es más utilizado en el caso del arroz que otros granos. Proviene de semillas de malezas que están presentes en los cultivos, por tal razón se pueden incluir dentro de las impurezas.

En esta variable se encontraron diferencias entre las medias de los bloques, específicamente entre el A y C, presentado mayor cantidad de semillas por muestra el bloque C con una media de 10 semillas, el doble del bloque A, como se presenta en la figura 4.26. Al tener mayor cantidad de semillas el C hace que sea más propenso a incrementar su temperatura y forme puntos calientes que pongan en peligro el grano esa zona (Castillo, 1984) y aceleren su deterioro (Hall, 1971).

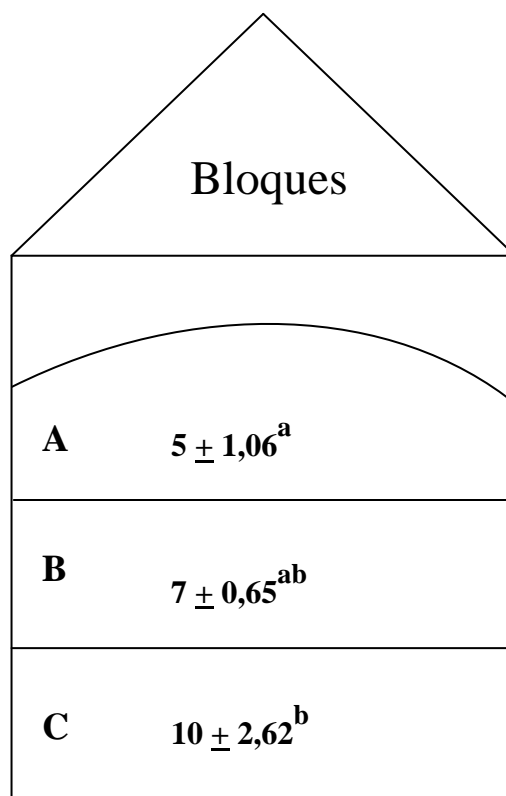


Figura 4.26. Medias y significancia del análisis de varianza de los bloques del silo experimental para la variable semillas objetables.

Fuente: Autor

4.4 Evaluación de la infestación de plagas de insectos en el silo experimental durante el periodo de almacenamiento

Como parte del estudio de calidad del silo experimental, se hizo paralelamente un análisis de la infestación de plagas de insectos del arroz en granza almacenado. Para esto se utilizaron las mismas muestras que los parámetros de calidad y con la misma frecuencia de muestreo.

Las plagas de insectos más comunes presentes en esta industria arroceras encontramos *Rhizoperta dominica sp*, *Criptolestes sp*, *Tribolium sp* y *Ephestia sp*. El análisis de estas especies se realiza contabilizando el número de individuos por kilogramo.

Un aspecto importante de comentar es que a este silo experimental y al igual que todos los demás, la cuadrilla de control de plagas de la industria realiza fumigaciones dos veces al día (mañana y tarde) como lo exige su plan de calidad para control preventivo de plagas. Por lo tanto, se hace énfasis que este análisis de infestación se realizó despreciando las fumigaciones que se le realizaran al silo, ya que así lo hace la industria y una de las bases de esta investigación es realizar todas la evaluaciones de calidad e infestación sin alterar la operación normal de la planta.

A continuación expondremos los resultados del análisis de varianza para la infestación de plagas tanto para cada especie como toda la población.

4.4.1 *Rhizoperta dominica sp*

En este estudio, esta especie fue la que tuvo mayor incremento en el tiempo de almacenamiento con un 63,29%. A un nivel de confianza del 95%, se puede estimar que al final del periodo de almacenamiento se puede encontrar esta especie en la masa total de grano entre 12 y 26 individuos por kilogramo.

El comportamiento de esta especie es exponencial, tal y como lo muestra la curva de mejor ajuste representada en la figura 4.27. También se puede ver que las diferencias significativas ($p < 0,05$) en el tiempo se dieron después de los sesenta días de almacenamiento.

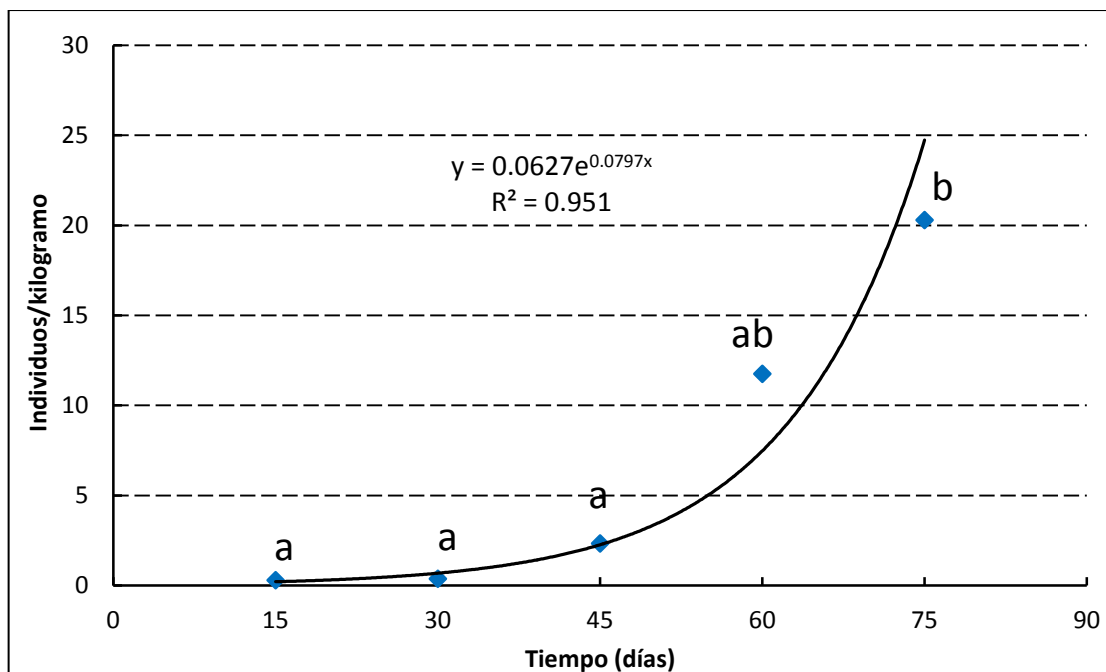


Figura 4.27. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la especie *Rhizoperta dominica* sp.

Fuente: Autor

Por otro lado, esta especie tuvo más presencia en el bloque C (fondo de silo) con respecto a los otros dos bloques, presentando diferencia significativa entre el C y el A de aproximadamente 10,17 individuos por kilogramo, como lo ilustra la figura 4.28. Este mayor incremento de esta plaga en el fondo del silo, se da porque en esta parte es donde se acumula la mayor parte de polvo, impurezas, grano partido, también es donde la humedad del grano es más alta reuniendo esto condiciones óptimas para el crecimiento de estas plagas. También podemos señalar que muchas plagas ingresan a la masa de grano por los tornillos transportadores de descarga del silo que se encuentran en la parte de abajo acumulándose insectos en ese bloque y para luego trasladarse a los otros bloques.

Por otra parte, existe diferencia entre los sectores del silo. Los resultados nos indican que la parte central del silo es donde se da un mayor aumento de *Rhizoperta dominica* sp con una media de casi $11,76 \pm 5,21$ individuos por kilogramo. El incremento de esta especie en el sector central del silo se debe al comportamiento que tienen las plagas de ubicarse en el corazón del silo donde la temperatura es más alta que en los demás

sectores, una vez que la temperatura es demasiado alta las plagas empiezan a emigrar a otros sectores, por ejemplo el sector tres, como se muestra en la figura 4.28, que tuvo una media de $5,82 \pm 1,89$ individuos por kilogramo.

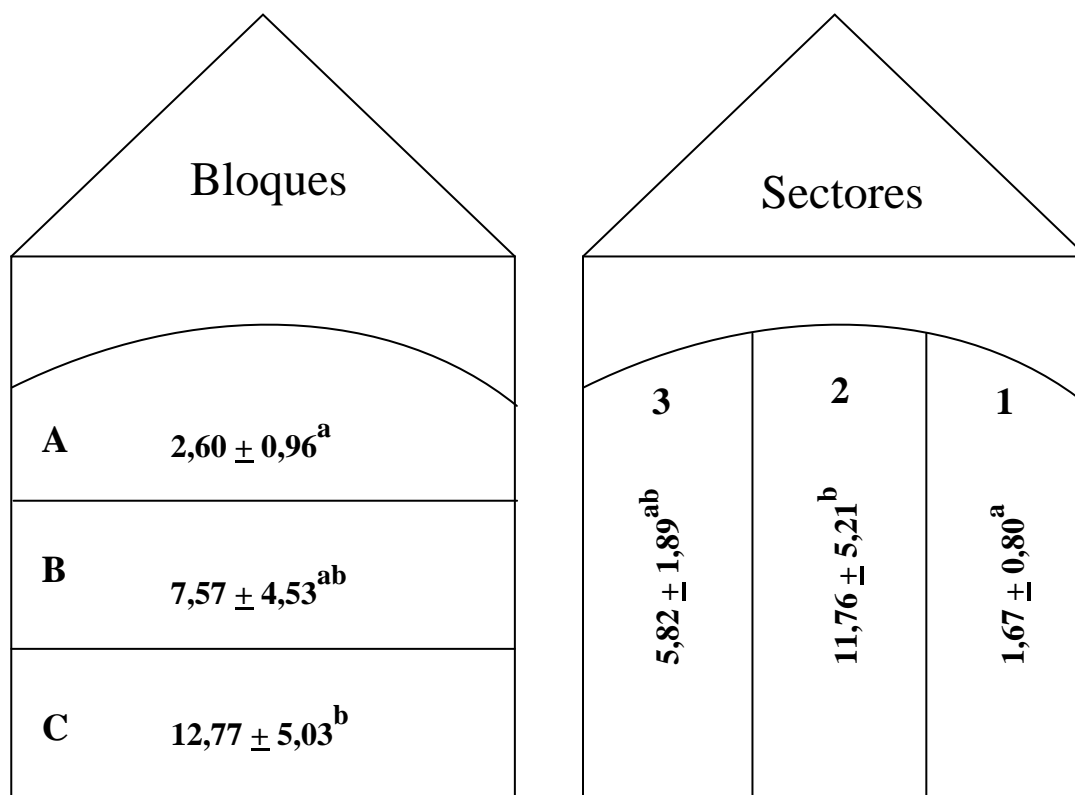


Figura 4.28. Resultados del análisis de varianza entre los bloques para la especie *Rhizoperta dominica* sp.

Fuente: Autor

4.4.2 Criptolestes sp

Esta especie fue la segunda con más presencia después de *Rhizoperta dominica* sp y solo se encontró diferencia significativa en el tiempo, a partir de los sesenta días de almacenamiento.

El comportamiento en el tiempo en los primeros sesenta días fue ascendente, luego a partir de ahí fue descendente hasta los setenta y cinco días en los cuales se evaluó, sin embargo esa disminución fue muy pequeña alrededor de 4 individuos por kilogramo, como se aprecia en la figura 4.29. Esta ligera baja se puede deber al aumento en las frecuencias de fumigaciones que se realizó al silo, ya que algunas muestras dieron con resultados de poblaciones mayores a cincuenta individuos por kilogramo sobre todo en

el fondo del silo, lo cual para el plan de calidad de la industria mayor a esa cantidad (50 individuos/kg) es una alerta y se deben efectuar fumigaciones adicionales para controlar el problema.

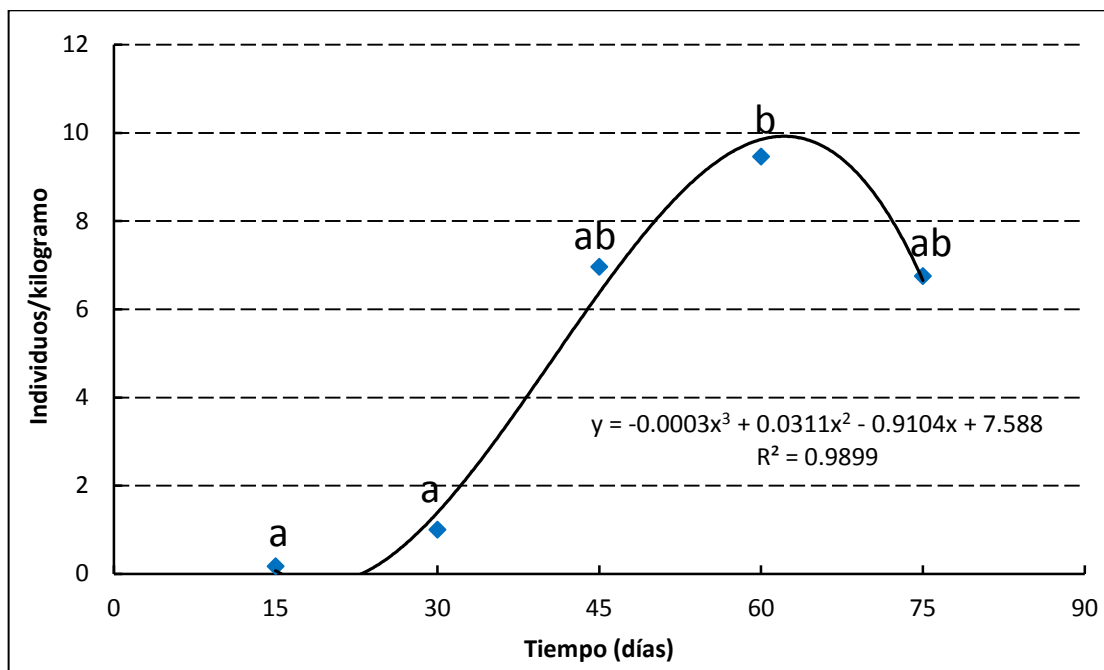


Figura 4.29. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento, significancia del análisis de varianza y curva de mejor ajuste para la especie *Criptolestes sp.*
Fuente: Autor

4.4.3 *Tribolium sp*

En la figura 4.30 se observa el comportamiento de la especie *Tribolium sp* a través del tiempo. Donde se puede notar que durante los primeros cuarenta y cinco días no existieron diferencias significativas entre las medias. Es a partir de los dos meses de almacenamiento donde se presentó cambio. Sin embargo, es importante destacar que esta especie no presentó un mayor problema en el arroz almacenado ya que su media obtuvo un valor máximo de alrededor de 1 individuo/kilogramo, lo cual no representa mayor peligro.

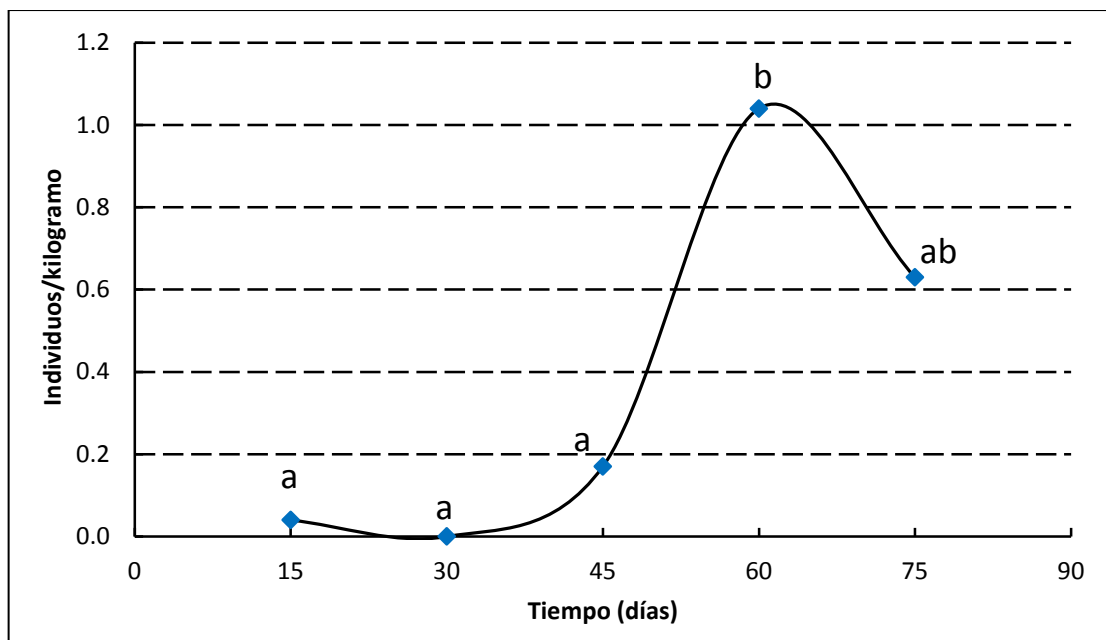


Figura 4.30. Comportamiento de las medias en el tiempo de almacenamiento y significancia del análisis de varianza para la especie *Tribolium* sp.

Fuente: Autor

4.4.4 Población total de individuos

Como se mencionó anteriormente el análisis de varianza se realizó tanto para cada especie en particular como para toda la población de individuos. Cuando mencionamos a toda la población nos estamos refiriendo a las especies de insectos presentes más importantes en el arroz almacenado, las cuales mencionamos y analizamos anteriormente.

Podemos empezar analizando la variación que presentaron las plagas de insectos entre los bloques. Donde se puede observar en la figura 4.31 que la diferencia significativa se dio entre los bloques A y C, mientras que en el bloque B no tuvo diferencia con ninguno de los dos.

La mayor incidencia de insectos se presentó en el bloque C, donde se presenta una media de $19,87 \pm 16,54$ individuos por kilogramo. Se aprecia que el margen de error es muy alto (16,54), esto se debe a que hay valores extremos que afectan la media y provocan un sesgo a la derecha. Por lo tanto a nivel poblacional con un nivel de confianza del 95%, se estima que en el bloque C la población total de insectos se encuentra entre 3,33 y 36,41 individuos por kilogramo.

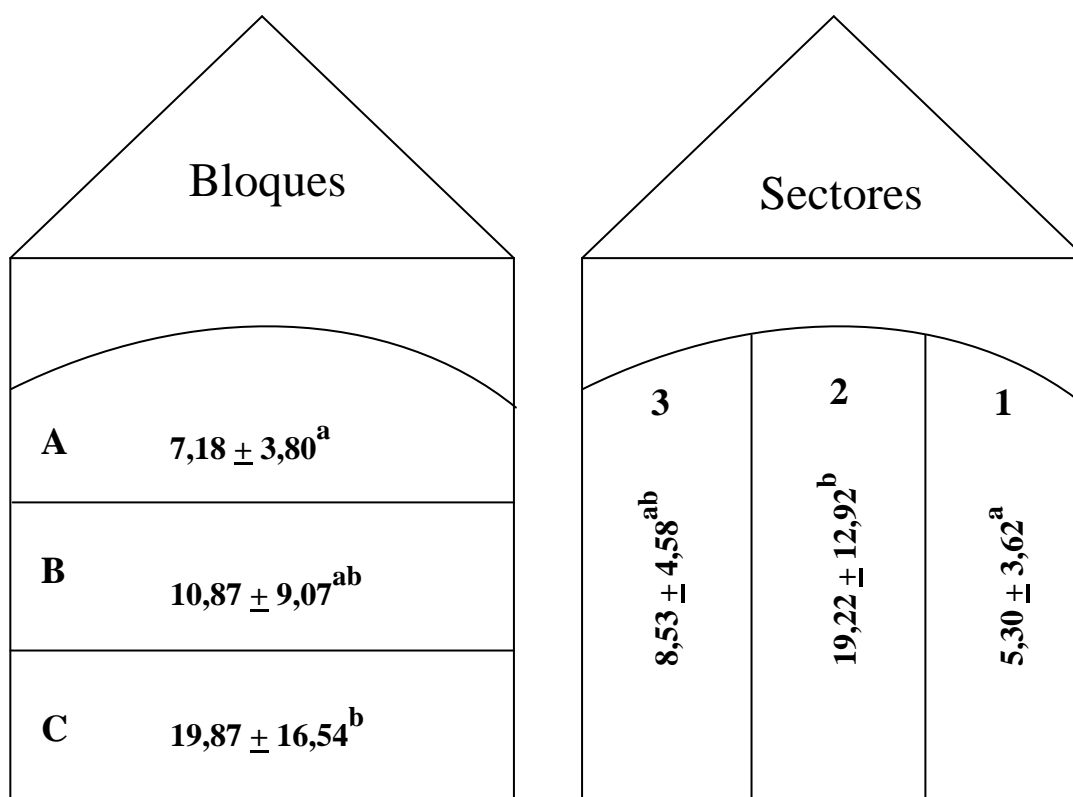


Figura 4.31. Resultados del análisis de varianza entre los bloques y sectores para la toda la población de insectos con mayor incidencia en el silo experimental

Fuente: Autor.

Este mayor incremento en el bloque C se da como se mencionó anteriormente para la especie *Rhizoperta dominica sp* por la condiciones favorables para el desarrollo de las especies como la gran cantidad de polvo e impurezas que se acumulan en el fondo del silo, que en muchas ocasiones efectuar una limpieza profunda en esas partes es una tarea difícil de ejecutar y siempre quedan insectos que luego se reproducen formando mas individuos que prontamente se desplazaran al corazón del silo.

También porque en este bloque es donde se presenta la mayor cantidad de grano quebrado como se puede observar en las figuras anteriormente mencionadas 4.17 y 4.19, ya que esta condición de grano lo hace más susceptible a la infestación de insectos (Luh, 1980; citado en Zeledón y Mata, 1992) y el alto contenido de humedad cercano a 14% contribuye de cierta manera al desarrollo de plagas.

Por otro lado, el bloque A presentó la menor incidencia con $7,18 \pm 3,80$ individuos por kilogramo, entonces a nivel poblacional de la masa de grano, se estima que para este bloque se presentó una incidencia entre 3,38 y 10,98 individuos por kilogramo.

Por otra parte, entre los sectores 1 y 2 se encontraron diferencias significativas, siendo el sector 2 (parte central) donde se presentó la mayor incidencia de insectos con una media de $19,22 \pm 12,92$ individuos por kilogramo, mientras que el sector 1 (extremo norte del silo) registró la menor incidencia con $5,30 + 3,62$ individuos. Al igual que para los bloques, el margen de error es alto, y se deben a los valores extremos que provocan sesgo a la derecha de la media, por lo cual para inferir a nivel poblacional de la masa de grano se utiliza intervalos de confianza como los descritos anteriormente.

Esta mayor cantidad de insectos situadas en el centro o corazón del silo se da porque las plagas buscan condiciones donde la temperatura es constante y se mantiene caliente. Cuando la temperatura se incrementa demasiado y provoca evaporación del contenido de humedad del grano las plagas tienden a buscar otros sectores del silo donde las condiciones son similares a las del centro o corazón del silo.

En la figura 4.32, se observa el comportamiento de la infestación de plagas de insectos en el tiempo. Se muestra una curva de mejor ajuste exponencial de la población de individuos por kilogramo de arroz en granza almacenado en el silo experimental. Durante el ciclo se produjo un incremento del 48,5% y las diferencias significativas en el tiempo se presentaron a partir de los sesenta días de almacenamiento.

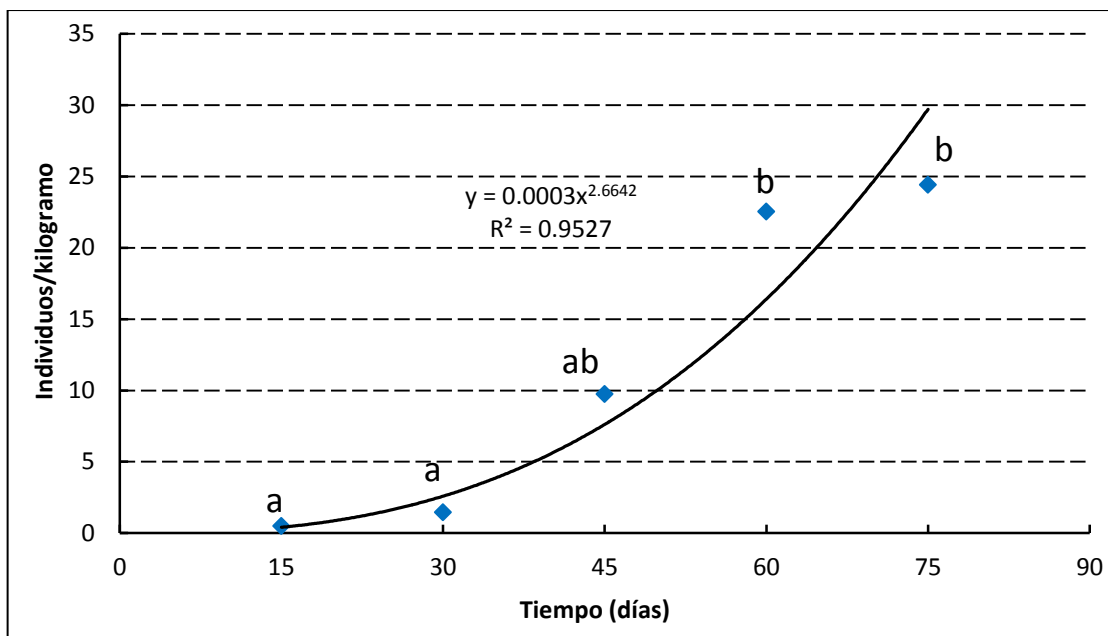


Figura 4.32. Resultados del análisis de varianza para la población de plagas y curva de comportamiento de infestación en el tiempo.

Fuente: Autor

4.5 Comparación de los parámetros de calidad del arroz en granza ingresado y luego de su proceso de almacenamiento común de la industria.

En este punto se van a comparar las condiciones iniciales de calidad del arroz en granza en su ingreso al almacenamiento con los parámetros de calidad finales después de su proceso de almacenamiento común de la época de invierno en la industria. Las comparaciones de las variables de calidad que tuvieron diferencias significativas se van a mostrar tanto para bloques como para sectores.

Los valores iniciales y finales de calidad se muestran en el anexo G y las tablas de variación son las que se van a mostrar en este análisis, ya que lo más importante es cuantificar el cambio de los parámetros.

4.5.1 Comparación por bloques de los parámetros de calidad del arroz en granza.

A continuación se presentan las variaciones que experimentó el arroz en granza para cada uno de los bloques A, B y C, en todos los parámetros analizados durante su almacenamiento.

En la tabla 4.3 se puede apreciar como las mayores variaciones se presentaron en el bloque C, tanto en incrementos como decrementos. Dentro de las variables importantes a tener en cuenta durante un almacenamiento de granos para evitar las pérdidas ya sean de calidad, nutricional y económicas, podemos el contenido de humedad, el rendimiento de pilada, porcentaje de grano entero, porcentaje de quebrado y porcentaje de puntilla presentaron variaciones importante que van en detrimento de calidad del grano. Los signos negativos indican pérdida de calidad del parámetro, mientras que signo positivo indica un aumento del parámetro.

Tabla 4.3 Variación de los parámetros de calidad para los tres bloques o tratamientos evaluados durante el almacenamiento.

Parámetro de calidad	Variación Absoluta (%)		
	Bloque A	Bloque B	Bloque C
Contenido de Humedad	-0,35 ^a	-0,39 ^a	0,82 ^b
Impurezas	-2,22 ^a	-0,42 ^a	1,05 ^a
Cascarilla	0,26 ^a	1,53 ^a	-0,35 ^a
Semolina	8,12 ^a	-0,75 ^a	3,23 ^b
Rendimiento de Pilada	0,00 ^b	-0,79 ^b	-2,88 ^a
Grano Entero	-4,95 ^c	-5,14 ^b	-10,42 ^a
Grano Quebrado	1,39 ^a	1,60 ^a	4,11 ^b
Puntilla	3,55 ^a	3,53 ^b	6,31 ^c
Grano Manchado	0,50 ^a	0,62 ^a	0,69 ^a
Grano Yesoso	-1,50 ^b	-1,10 ^a	-0,01 ^a
Grano Rojo	0,01 ^a	0,19 ^a	0,49 ^b
Grano Dañado	-1,43 ^{ab}	0,40 ^a	-1,07 ^b
Semillas Objetables	-7 ^a	0 ^{ab}	6 ^b

Valores con letras semejantes son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5%.

Para la conservación del grano el contenido de humedad es un parámetro que se debe tener un cuidado muy especial ya que de él depende que se acelere el deterioro del grano y afecta de manera directa en la reducción de otros parámetros de calidad como los componentes de rendimiento (cascarilla, semolina, entero, quebrado y puntilla). En esta variable los bloques A y B presentaron disminuciones mientras que el bloque C tuvo un incremento considerable de 0,82%.

Este incremento del contenido de humedad es beneficioso para la empresa, ya que representan aumento de peso y por lo tanto mayores ganancias teniendo siempre presente no sobrepasar los límites máximos y mínimos para un almacenamiento seguro, que en nuestro caso se mantuvo dentro del rango óptimo menor de 13% . En todos los bloques se registraron pérdidas de calidad en el porcentaje de grano entero, lo cual es un punto de cuidado que debe tener la empresa para evitar pérdidas económicas. El bloque C registró la mayor variación duplicando a los otros bloques con una pérdida de 10,42% desde su inicio hasta el final del periodo de almacenamiento. Un 40% de esa pérdida de entero se transformó en quebrado grueso, mientras que un 60% se transformó en quebrado fino o puntilla.

En el grano quebrado los mayores cambios se presentaron en el quebrado muy fino (puntilla) e igualmente el bloque C fue el que más variación presentó.

El grano manchado también representa una variable de sumo cuidado, ya que también hace que el valor comercial se vea perjudicado por un aumento de este parámetro. En este caso la variación de grano manchado fue de 0 a 0,69% durante todo el almacenamiento, lo cual se encuentra dentro de los máximo permitido según del plan de calidad de la industria de 1,5% de arroz manchado. Por otro lado, el grano dañado no presentó variaciones importantes en ninguno de los bloques, ya que solo presentó disminuciones en los porcentajes.

4.5.2 Comparación por sectores de los parámetros de calidad del arroz en granza.

En la siguiente tabla se observan las variaciones de los parámetros en los tres sectores evaluados (Ver figura 3.2), que corresponden al sector 1 (extremo norte), sector 2 (centro) y sector 3 (extremo sur del silo) durante el periodo de almacenamiento. Los valores con signos negativos indican pérdida de calidad del parámetro, mientras que signo positivo indica un aumento del parámetro.

Tabla 4.4 Variación de los parámetros de calidad para los tres sectores evaluados durante el almacenamiento.

Parámetro de calidad	Variación Absoluta (%)		
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Contenido de Humedad	-0,20 ^a	-0,38 ^{ab}	0,33 ^b
Impurezas	-0,57 ^a	-0,37 ^a	-1,19 ^a
Cascarilla	1,10 ^a	0,87 ^a	-0,04 ^a
Semolina	-0,20 ^a	1,28 ^b	-0,01 ^b
Rendimiento de Pilada	-0,91 ^b	-2,14 ^a	0,05 ^b
Grano Entero	-1,54 ^c	-11,06 ^a	-4,95 ^b
Grano Quebrado	-0,15 ^a	4,46 ^b	1,39 ^b
Puntilla	1,69 ^a	6,61 ^c	3,57 ^b
Grano Manchado	0,54 ^a	0,70 ^a	0,53 ^a
Grano Yesoso	-1,52 ^a	-0,82 ^a	-0,77 ^a
Grano Rojo	-0,01 ^a	0,35 ^{ab}	0,18 ^a
Grano Dañado	-0,90 ^a	-1,07 ^a	-0,88 ^a
Semillas Objetables	-1,83 ^a	-0,44 ^a	-1,22 ^a

Valores con letras semejantes son estadísticamente iguales, según la prueba de Tukey al 5%.

En la tabla 4.4, se puede notar que las variaciones más importantes se dieron en el sector 2 (centro) de la masa de grano. Podemos ver que el contenido de humedad tuvo variaciones muy pequeñas que no pusieron en peligro el grano encontrándose dentro de los límites seguros. Vemos que hay una diferencia significativa entre el sector 1 que presentó una disminución y el sector 3 que mostró un incremento, esto puede deberse a

que en ese sector los rayos del sol durante gran parte del día impactaban esa zona provocando un calentamiento del metal que forma la pared del silo ocasionando calor que provoca evaporación del agua adsorbida del grano.

Por otro lado, se observa como los cambios en los componentes de rendimiento molinero tuvieron más cambio detrimental en el sector central de la masa de grano. El porcentaje de grano entero en ese sector tuvo una disminución importantísima del 11,06% a lo largo del periodo de almacenamiento, lo cual para efectos económicos y de calidad es algo de mucha consideración. Esa pérdida de grano entero se transformó en un incremento del 40% en quebrado grueso y un 60% en quebrado fino o puntilla.

En cuanto al grano quebrado y puntilla, se nota como se da también las mayores variaciones en el sector central, e igualmente que las variaciones por bloques, la puntilla fue la que reflejó mayor cambio durante el almacenamiento, ya que el grano es más susceptible durante la industrialización al quebramiento de la punta por la fricción al que es sometido durante el proceso de pilado y pulido.

Por el lado de los grados de calidad (manchado, yesoso, rojo, dañado y semillas objetables), tenemos que el arroz manchado presentó incrementos durante su conservación, siendo el sector central con mayor variación. Este cambio en la parte central del silo se debe a que en el corazón del silo es donde el grano se encuentra con mayor temperatura por el incremento de plagas que buscan ese sector, provocando un aumento de la velocidad de respiración del grano y ocasionando un aumento del grano manchado por calor, además que la práctica aireación no es suficientemente efectiva para enfriar el grano, manteniendo en el sector central una temperatura casi constante de 31°C.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Los parámetros de calidad que se mantuvieron iguales o no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (bloques) ni entre las fuentes de variación durante el almacenamiento fueron los siguientes:

- Porcentaje de impurezas
- Porcentaje de cascarilla

2. Los parámetros de calidad que presentaron variación significativa que van en detrimento de la calidad del grano fueron los siguientes:

- Contenido de humedad
- Rendimiento de semolina
- Rendimiento de pilada
- Porcentaje de grano entero
- Porcentaje de grano quebrado
- Porcentaje de puntilla
- Porcentaje de grano manchado
- Porcentaje grano yesoso
- Porcentaje de grano dañado
- Porcentaje de grano rojo
- Semillas objetables.
- Infestación

3. El rendimiento de pilada presentó una tendencia a disminuir y la media más baja registrada fue de $62,33 + 0,98\%$ en el bloque C.

4. El porcentaje de grano entero mostró pérdida de calidad en todos los tratamientos, la más representativa se dio en el bloque C con una media de $54,92 + 3,11\%$.

5. El porcentaje de grano quebrado aumentó durante el almacenamiento afectando la calidad del grano, la media más alta se dio en el bloque C con $29,42 + 1,32\%$.
6. El porcentaje de puntilla tuvo un importante aumento en los tres tratamientos o bloques que conlleva una pérdida de calidad del grano. El punto más crítico se presentó en bloque C con una media de $15,66 + 1,08$.
7. El porcentaje de grano dañado solo presentó aumento significativo en el bloque C afectando la calidad del grano en ese tratamiento.
8. El porcentaje de grano manchado mostró una pérdida de calidad en el tiempo de almacenamiento, pero aún así se mantuvo dentro del límite máximo permitido por la industria, el porcentaje más alto obtenido fue de $0,69\%$.
9. El contenido de humedad en el tratamiento o bloque C fue donde tuvo efecto negativo sobre la calidad del grano, ya que presentó una media de $13,15 + 0,42\%$, sobrepasado el máximo recomendado para un almacenamiento seguro.
10. El rendimiento de semolina en el bloque C fue donde más variación significativa presentó. Dicha variación fue en incremento que afecta de manera significativa la calidad del grano mostrando una media de $15,95 + 0,97\%$, disminuyendo el rendimiento de pilada.
11. El bloque o tratamiento C, es el que más variación significativa demostró durante el almacenamiento, presentado un $56,25\%$ de las variaciones entre los bloques, mientras que el bloque B fue el que menos variaciones significativas presentó con un $18,75\%$.
12. Los procesos de acondicionamiento de la industria (limpieza y secado) afectan de manera importante las variables de calidad molinera (entero, quebrado, puntilla), produciendo pérdidas de calidad y económicas que afectan a la compañía.

13. El rendimiento de pilada disminuyó considerablemente por el incremento de semolina, especialmente en el fondo del silo, este incremento de semolina se debe a la incorporación en mezcla de partículas muy pequeñas de arroz pilado (puntilla) durante el proceso de pulido. .

14. El grano entero disminuyó considerablemente en todos los bloques y sectores del silo. La pérdida de calidad promedio de toda la masa de grano fue de 6,42%, que equivalen a 2317,6 kg.

15. El grano entero que durante el proceso de almacenamiento se transformó en grano quebrado se dio principalmente en puntilla en un 60%, mientras que el 40% se dio en quebrado grueso.

16. El arroz manchado aumentó durante el periodo de almacenamiento pero no lo suficiente como para ser un problema potencial.

17. El porcentaje de grano dañado se vio más afectado en el fondo de silo (bloque C) debido a la mayor incidencia de plagas que se situaban en esa zona, así como también al efecto de compactación que producía aumentos de arroz dañado por daño mecánico.

18. Las plagas de insectos no representaron mayor problema durante el almacenamiento, la más predominantes en el silo experimental corresponden a *Rhizoperta dominica* sp y *Criptolestes* sp y ambas plagas se encontraban principalmente en el fondo (bloque C), así como también en el corazón del silo (sector 3).

19. Las condiciones ambientales utilizadas para la aireación y el equipo utilizado para airear durante el almacenamiento no son las más adecuadas para enfriar el grano, preservarlo y evitar el deterioro de la calidad, como se muestra enseguida:

- a.** La humedad relativa de aire ambiente utilizado para aireación presentó una media de 79,4%, estando por encima del rango de 60-65% que corresponde a la

humedad relativa de equilibrio para un contenido de humedad de equilibrio de 11,5% al cual se almacenó el arroz inicialmente, haciendo esto que el grano ganara humedad en los bloques durante el almacenamiento, principalmente en el bloque C.

- b.** La temperatura del aire ambiente utilizado para la aireación siempre se mantuvo por debajo de la temperatura promedio del grano (31°C), sin embargo, solo por un lapso de dos horas durante el proceso de aireación el diferencial de temperatura entre grano y ambiente fue mayor a 3°C, el resto del tiempo en que se aireaba este diferencial no fue mayor de 3°C, lo cual ocasionó que la temperatura se mantuviera casi constante y no cumpliera con el propósito de enfriar el grano.

20. Desde el punto de vista de manejo poscosecha el almacenamiento bajo estas condiciones no es seguro, ya que presenta las siguientes condiciones: Temperatura del grano promedio 31°C, contenido de humedad promedio 12,3%, humedad relativa promedio de 78,5%, estos indicadores hace que el grano almacenado presente problemas de calentamiento por insectos, una disminución de la tasa de germinación (éste último en caso que el grano se utilizara para semilla) y esté comenzando a sufrir calentamiento por hongos, como se ilustra en la siguiente diagrama de riesgos de la FAO.

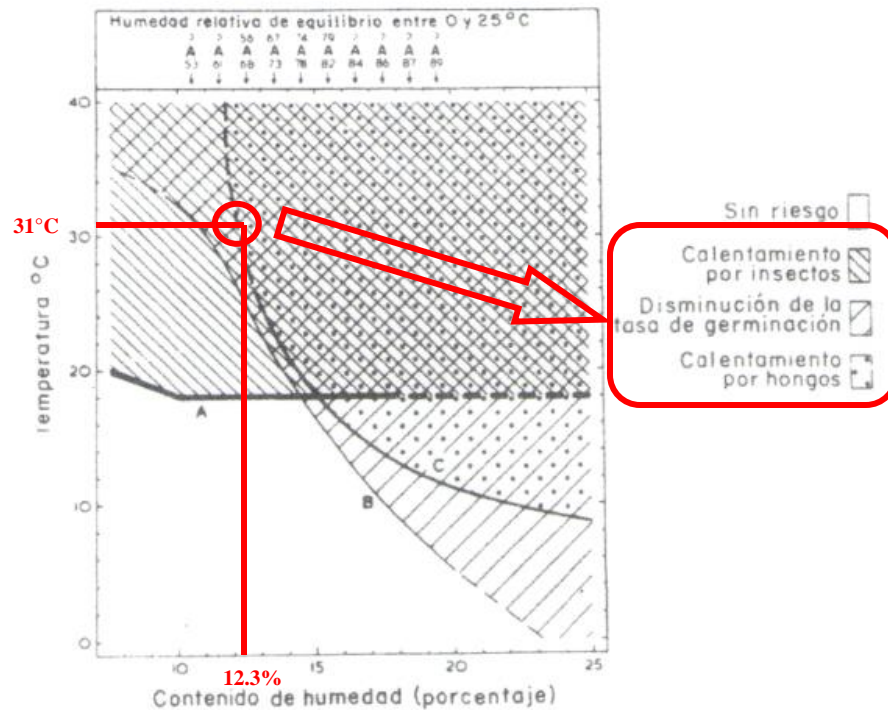


Figura 5.1. Ubicación del riesgo por calentamiento por insectos y disminución de la tasa de germinación, por medio de los datos de temperatura, contenido de humedad y humedad relativa

Fuente: Autor

5.2 Recomendaciones

1. Airear en horas de la tarde, específicamente entre las 2:00 y 5:00 pm, donde las condiciones ambientales cumple con los parámetros de temperatura y humedad relativa para airear ($T_{pro} = 26.68^{\circ}\text{C}$ y $HR_{pro} = 85.49\%$), siempre y cuando no se encuentre lloviendo.
2. Adquirir equipos para un control continuo de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa interna y externa de los silos utilizando tecnología adecuada.
3. Colocar termopares o equipos similares para monitorear la temperatura del grano a diferentes profundidades.

4. Modificar o cambiar el ventilador por uno acorde el tamaño del silo que cumpla con el propósito de enfriar el grano sin que afecta de manera significativa la calidad del grano.
5. Utilizar un muestreador de sonda neumática para obtener muestras de zonas de riesgo y poder efectuar un análisis más preciso obteniendo información de la condición del granel.
6. Monitorear constantemente el contenido de humedad del grano en todas las profundidades de la masa de grano, así como también hacia los extremos o zonas próximas a la pared del silo.
7. Valorar la automatización de los sistemas de ventilación mediante sensores de termometría de silos que apoyen la toma de decisiones para la aireación del grano.
8. Capacitar al capital humano sobre las mejores prácticas de manejo poscosecha que ayudan a preservar la calidad del grano.
9. Construir estructuras tipo “cuello de ganso” en el techo del silo para mejorar la remoción de aire caliente interna del silo y así evitar problemas de calidad debido a las altas temperaturas.

5.2.1 Temas de estudio futuros

- 1.** Evaluar los procesos anteriores al almacenamiento (limpieza y secado) con el fin de cuantificar el efecto de éstos sobre la calidad del grano.
- 2.** Realizar un estudio similar al presente pero utilizando una sola variedad en el silo y no una mezcla varietal como en este caso y así verificar como afecta la variedad la calidad del granel durante el almacenamiento.
- 3.** Evaluar el efecto de la compactación de la masa de grano del silo sobre la calidad molinera del arroz en granza.

6. BIBLIOGRAFÍA

Arias, C. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Berrocal, K. (2005). *Análisis de las condiciones de almacenamiento y su efecto en el contenido de humedad y calidad del café pergamino seco en silos experimentales*. San José, Costa Rica: Tesis de Graduación. Escuela de Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica.

Bienvenido, J. (1994). *El arroz en la nutrición humana*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO .

Casini, C. (2007). Conservación de los granos. *Revista Internacional N°32 Argentina* .

Castaing, D., & Benavides, O. (2008). *Programa Regional de Producción de Alimentos para los ciclos 2008.2009 al 2010-2011*. Costa Rica: Sector Agropecuario de la Región Brunca.

Castellón, F. (2002). *Estadística Aplicada a la Investigación*. México: Universidad Autónoma de Nayarit.

Castillo. (1984). *Almacenamiento de granos aspectos técnicos y económicos*. Bogota: Editorial Presencia.

Castillo, A. (1980). *Acondicionamiento de granos: secamiento, almacenamiento y costos*. Bogotá, Colombia: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Castillo, Á. (1978). *Almacenamiento y secamiento de granos*. Bogotá: Agrosíntesis.

CONARROZ. (2008). *Reglamento técnico del arroz en granza: RTCR 406-2007 especificaciones y métodos de análisis para la comercialización e industrialización*. San José, Costa Rica: Diario Oficial La Gaceta.

Corporación Arrocera Nacional. (s.f.). Recuperado el 13 de Octubre de 2011, de CONARROZ: <http://www.conarroz.com>

De Dios, C. A. (1996). *Secado de granos y secadoras*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación.

Delgado, R. (2008). *Probabilidad y Estadística para Ciencias e Ingeniería*. Madrid: Delta Publicaciones Universitarias.

Gonzales, D., Rodriguez, C., & Anaya, Á. (2009). *Manual de Diseño y Análisis de Experimentos*. Puerto Rico.

Hall, D. (1971). Manipulación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales. Roma: Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación FAO.

Hangen, A. (2002). *Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la calidad de molienda y culinaria de tres variedades de arroz (Oryza sativa) en silos experimentales con aireación con aire ambiente en condiciones de bajas temperaturas y altas humedades relativas*. San José: Tesis de Graduación, Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica.

Hernandez, A., & Carballo, A. (2009). *Almacenamiento y conservación de granos y semillas*. Estado de México.

Jiménez, R. (1996). *Relaciones de humedad de equilibrio para cultivares Zea mays, Phaseduos vulgaris y Oryza sativa producidos en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Medina, L. M. (1989). *Evaluación de calidad culinaria y molinera del arroz*. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.

Mora, M. (1997). *Glosario técnico sobre factores de calidad en granos básicos*. San José, Costa Rica.

Oficina Nacional de Semillas. (s.f.). Recuperado el 13 de Octubre de 2011, de <http://www.ofinase.go.cr>

Ortiz, A. (2006). *Manual de procedimiento para el muestreo de granos*.

SEPSA. (2006). *Estudio de la Competitividad del Arroz en Costa Rica con la Metodología de la Matriz de Análisis de Política*. San José, Costa Rica.

Somiahnadar, R. (2003). Grain Storage Handbook of Postharvest Technology. 183-214.

Zeledón, M., & Mata, C. (1992). Efecto del secado continuo o en dos etapas y de la temperatura del aire sobre las variables de rendimiento molinero en arroz producido en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* , 91-98.

Zeledón, M., & Mora, M. (1987). Relación entre el secado y el quebramiento del arroz en cinco molinos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* , 163-168.

Zeledón, M., Barboza, R., & Cruz, M. (2007). Efecto del beneficiado de mezclas de variedades de arroz sobre variables de rendimiento molinero. *Agronomía Mesoamericana* , 103-113.

7. ANEXOS

Anexo A. Resultados de los parámetros de calidad de los tres lotes de arroz muestreado en los camiones y secado en el laboratorio.

Id muestra	Humedad (%)	Impurezas (%)	Cascarilla (%)	Semolina (%)	Rendimiento Pilada (%)	Grano entero (%)	Grano quebrado (%)	Puntilla (%)
1153	18.80	6.17	23.50	9.40	67.10	77.11	17.97	4.91
1221	20.00	7.49	21.58	8.70	69.72	82.78	13.55	3.67
1225	14.00	5.31	29.70	10.81	59.49	62.58	23.55	13.87
Promedio	17.60	6.32	24.93	9.64	65.44	74.16	18.36	7.48

Arroz Manchado (%)	Arroz Yesoso (%)	Arroz Rojo (%)	Arroz Dañado (%)	Semillas Objetables
0.00	3.95	0.00	0.85	1.00
0.12	11.26	0.00	0.54	61.00
0.33	1.32	0.00	1.28	1.00
0.15	5.51	0.00	0.89	21.00

Anexo B. Datos de temperatura del aire de secado, temperatura de grano y contenido de humedad durante el proceso de acondicionamiento del arroz en granza.

Hora	Lote 1 (Secadora 1)			Lote 2 (Secadora 2)		
	CH (%)	Tgrano (°C)	Taire (°C)	CH (%)	Tgrano (°C)	Taire (°C)
1	19.60	30	45	19.80	30	45
2	18.80	36	55	18.20	37	58
3	17.70	36	55	17.10	37	57
4	16.70	36	55	16.20	37	57
5	15.40	36	55	15.30	37	58
6	14.30	36	50	14.50	37	58
7	13.10	36	50	13.70	37	58
8	12.10	36	50	12.10	37	58
9	11.50	32	45	11.50	37	57
Promedio	15.47	34.89	51.11	15.38	36.22	56.22

Anexo C. Carta de certificado de calibración de los equipos de laboratorio por el CONARROZ.



CORPORACIÓN ARROCERA NACIONAL
Apdo. 347-1005 B. México - Tel.: 2255-1313 - Fax 2255-3210
www.conarroz.com

12 de agosto de 2011
UAC-132/2011

Sr. Carlos Manuel González Alvarado
Compañía Arrocera Industrial, S.A.
Representante Legal
Presente

Estimado señor:

De acuerdo con la inspección de los equipos de laboratorio realizada el pasado 10 de agosto del 2011, en el Laboratorio de Compañía Arrocera Industrial S. A.; Planta Río Claro, ubicada en Río Claro, Golfito, le informo, muy respetuosamente, que los equipos cumplen satisfactoriamente con los requisitos normativos y legales establecidos en el Reglamento Técnico 406-2007. Arroz en cáscara. Especificaciones y métodos de Análisis para la comercialización e industrialización, publicado en la Gaceta N° 87 – miércoles 07 de mayo de 2008. Decreto N° 34487 – MEIC – MAG – S

Atentamente,

Dr. Patricio Solís Barrantes
Unidad de Aseguramiento de Calidad
Encargado

Ing. Hugo Vargas Rodríguez
Unidad de Aseguramiento de Calidad
Auxiliar

~~byc.~~

~~C. Ing. Marvin Vargas Marchena / Encargado de Planta Compañía Arrocera Industrial
Planta Río Claro
Ing. Roberto Chacón Villegas / Jefe Aseguramiento de Calidad Compañía
Arrocera Industrial Planta Río Claro
Ing. Myrco Barboza Esquivel / Director de Operaciones.
Licda. Laura Nuñez Chavarría / Unidad Asesoría Legal.
Archivo.~~

Anexo D. Verificación del SEEDBURO de la industria contra el horno de convección forzada.

Id muestra	SECADORA # 1			Id muestra	SECADORA # 2		
	Datos promedios				Datos promedios de		
	CH _{Horno} (%)	CH _{GEHAKA} (%)	CH _{SEEDBURO} (%)		CH _{Horno} (%)	CH _{GEHAKA} (%)	CH _{SEEDBURO} (%)
M1-S1-R1-2	23.44	23.50	23.20	M1-S2-R1-1	22.1	22.2	22.5
M1-S1-R1-7	19.52	20.10	18.70	M1-S2-R1-6	15.9	16.9	16.4
M1-S1-R1-16	11.32	12.20	12.07	M1-S2-R1-12	11.1	11.9	11.3
M1-S1-R2-1	19.63	20.10	19.77	M1-S2-R2-1	25.0	24.9	25.2
M1-S1-R2-5	14.49	15.30	14.57	M1-S2-R2-7	18.0	18.5	17.9
M1-S1-R2-10	10.69	11.80	11.23	M1-S2-R2-14	11.1	12.1	11.6
M1-S1-R3-1	20.86	20.50	20.50	M1-S2-R3-1	21.9	21.5	22.0
M1-S1-R3-6	15.92	16.40	16.17	M1-S2-R3-5	17.2	17.5	16.9
M1-S1-R3-12	11.29	11.60	11.53	M1-S2-R3-10	12.0	12.6	12.0

Anexo E. Datos de los parámetros de calidad proporcionados por el laboratorio de la industria de las muestras tomadas de los camiones a su ingreso a la planta.

Id muestra	Humedad inicial (%)	Impurezas (%)	Humedad análisis (%)	Cascarilla (%)	Semolina (%)	Rend. Pilada (%)	Grano entero (%)	Grano quebrado (%)	Puntilla (%)
1153	18.80	6.17	11.30	23.50	9.40	67.10	77.11	17.97	4.91
1221	20.00	7.49	11.70	21.58	8.70	69.72	82.78	13.55	3.67
1225	14.00	5.31	11.30	29.70	10.81	59.49	62.58	23.55	13.87
Promedio	17.60	6.32	11.43	24.93	9.64	65.44	74.16	18.36	7.48

Id muestra	Arroz Manchado (%)	Arroz Yesoso (%)	Arroz Rojo (%)	Arroz Dañado (%)	Semillas Objetables
1153	0.00	3.95	0.00	0.85	1.00
1221	0.12	11.26	0.00	0.54	61.00
1225	0.33	1.32	0.00	1.28	1.00
Promedio	0.15	5.51	0.00	0.89	21.00

Anexo F. Resultados del análisis de varianza obtenido del programa Infostat.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad grano	40	0,72	0,65	3,23

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,55	8	1,57	10,06	<0,0001
S	11,54	2	5,77	37,00	<0,0001
n	0,86	2	0,43	2,76	0,0785
T	0,15	4	0,04	0,24	0,9127
Error	4,83	31	0,16		
Total	17,39	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,37969

Error:	0,1559	gl:	31		
S	Medias	n	E.E.		
B	11,81	15	0,10	A	
A	12,07	15	0,10	A	
C	13,15	10	0,12		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,37969

Error:	0,1559	gl:	31		
n	Medias	n	E.E.		
1,00	12,00	10	0,12	A	
2,00	12,16	15	0,10	A	B
3,00	12,49	15	0,10		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,57155

Error:	0,1559	gl:	31		
T	Medias	n	E.E.		
60,00	12,17	8	0,14	A	
30,00	12,18	8	0,14	A	
45,00	12,26	8	0,14	A	
75,00	12,27	8	0,14	A	
15,00	12,34	8	0,14	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Impurezas	40	0,22	0,02	25,63

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9,53	8	1,19	1,10	0,3926
S	2,26	2	1,13	1,04	0,3653
N	1,99	2	1,00	0,91	0,4112
T	5,28	4	1,32	1,21	0,3251
Error	33,73	31	1,09		
Total	43,26	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,00297

Error:	1,0881	gl:	31	
S	Medias	n	E.E.	
C	3,68	10	0,33	A
B	4,10	15	0,27	A
A	4,30	15	0,27	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,00297

Error:	1,0881	gl:	31	
N	Medias	n	E.E.	
2,00	3,75	15	0,27	A
3,00	4,25	15	0,27	A
1,00	4,27	10	0,33	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,50979

Error:	1,0881	gl:	31	
T	Medias	n	E.E.	
60,00	3,60	8	0,37	A
75,00	3,74	8	0,37	A
30,00	4,08	8	0,37	A
15,00	4,46	8	0,37	A
45,00	4,48	8	0,37	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cascarilla	40	0,35	0,18	4,93

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17,84	8	2,23	2,05	0,0734
S	5,82	2	2,91	2,67	0,0850
N	6,80	2	3,40	3,12	0,0583
T	5,21	4	1,30	1,20	0,3323
Error	33,78	31	1,09		
Total	51,62	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,00379

Error:	1,0898	gl:	31	
S	Medias	n	E.E.	
A	20,74	15	0,27	A
B	21,20	15	0,27	A
C	21,72	10	0,33	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,00379

Error:	1,0898	gl:	31	
N	Medias	n	E.E.	
3,00	20,79	15	0,27	A
1,00	20,86	10	0,33	A
2,00	21,73	15	0,27	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,51102

Error:	1,0898	gl:	31	
T	Medias	n	E.E.	
45,00	20,59	8	0,37	A
15,00	20,99	8	0,37	A
60,00	21,15	8	0,37	A
30,00	21,51	8	0,37	A
75,00	21,57	8	0,37	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Semolina	40	0,71	0,64	7,04

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	72,24	8	9,03	9,72	<0,0001
S	69,55	2	34,78	37,42	<0,0001
N	0,35	2	0,17	0,19	0,8309
T	2,34	4	0,58	0,63	0,6456
Error	28,81	31	0,93		
Total	101,05	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,92699

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
S	0,9294	31			
A	12,74	15	0,25		A
B	13,13	15	0,25		A
C	15,95	10	0,30		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,92699

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
N	0,9294	31			
1,00	12,89	10	0,30		A
3,00	13,85	15	0,25		B
2,00	14,06	15	0,25		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,39541

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
T	0,9294	31			
45,00	13,34	8	0,34		A
15,00	13,47	8	0,34		A
30,00	13,80	8	0,34		A
75,00	13,89	8	0,34		A
60,00	13,95	8	0,34		A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rend. de Pilada	40	0,79	0,74	1,64

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	133,85	8	16,73	14,58	<0,0001
S	111,04	2	55,52	48,40	<0,0001
N	9,88	2	4,94	4,31	0,0224
T	12,93	4	3,23	2,82	0,0420
Error	35,56	31	1,15		
Total	169,41	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,02986

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
S	62,33	10	0,34		A
	65,66	15	0,28		B
	66,51	15	0,28		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,02986

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
N	64,22	15	0,28		A
	65,34	15	0,28		B
	66,25	10	0,34		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,55027

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
T	64,53	8	0,38		A
	64,69	8	0,38		A
	64,92	8	0,38		A
	65,55	8	0,38		A
	66,05	8	0,38		A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Grano entero	40	0,82	0,77	5,27

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1579,54	8	197,44	17,38	<0,0001
S	1187,88	2	593,94	52,27	<0,0001
N	153,27	2	76,63	6,74	0,0037
T	238,39	4	59,60	5,25	0,0024
Error	352,22	31	11,36		
Total	1931,76	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,24107

Error:	Medias	gl:	n	E.E.			
S	54,92	10	15	1,07	A		
B	65,13	15	15	0,87		B	
A	68,79	15	15	0,87			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,24107

Error:	Medias	gl:	n	E.E.			
N	60,46	15	15	0,87	A		
2,00	64,37	15	15	0,87		B	
3,00	68,56	10	10	1,07			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,87883

Error:	Medias	gl:	n	E.E.			
T	61,75	8	8	1,19	A		
60,00	62,10	8	8	1,19	A		
75,00	63,08	8	8	1,19	A		
45,00	64,31	8	8	1,19	A	B	
30,00	68,50	8	8	1,19			B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Grano quebrado	40	0,80	0,75	7,53

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	427,22	8	53,40	15,99	<0,0001
S	367,43	2	183,71	55,01	<0,0001
N	29,27	2	14,63	4,38	0,0211
T	30,52	4	7,63	2,28	0,0826
Error	103,53	31	3,34		
Total	530,75	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,75722

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
S					
A	21,86	15	0,47		A
B	23,26	15	0,47		A
C	29,42	10	0,58		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,75722

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
N					
1,00	21,78	10	0,58		A
3,00	24,28	15	0,47		B
2,00	25,92	15	0,47		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,64517

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
T					
15,00	22,84	8	0,65		A
45,00	23,67	8	0,65		A
60,00	24,89	8	0,65		A
30,00	24,97	8	0,65		A
75,00	24,99	8	0,65		A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Puntilla	40	0,83	0,79	14,22

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	423,33	8	52,92	18,88	<0,0001
S	240,89	2	120,44	42,98	<0,0001
N	48,16	2	24,08	8,59	0,0011
T	134,28	4	33,57	11,98	<0,0001
Error	86,87	31	2,80		
Total	510,20	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,60962

Error:	2,8023	gl:	31			
S	Medias	n	E.E.			
A	9,34	15	0,43	A		
B	11,62	15	0,43		B	
C	15,66	10	0,53			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,60962

Error:	2,8023	gl:	31			
N	Medias	n	E.E.			
1,00	9,66	10	0,53	A		
3,00	11,35	15	0,43		B	
2,00	13,61	15	0,43			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,42299

Error:	2,8023	gl:	31			
T	Medias	n	E.E.			
15,00	8,67	8	0,59	A		
30,00	10,68	8	0,59	A	B	
75,00	12,91	8	0,59		B	C
45,00	13,24	8	0,59			C
60,00	13,36	8	0,59			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arroz				
Manchado	40	0,77	0,72	38,72

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,39	8	0,30	13,24	<0,0001
S	0,08	2	0,04	1,67	0,2046
N	0,01	2	4,2E-03	0,19	0,8307
T	2,31	4	0,58	25,56	<0,0001
Error	0,70	31	0,02		
Total	3,09	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14449

Error:	Alfa=0,05	gl:	31	
S	Medias	n	E.E.	
A	0,33	15	0,04	A
C	0,40	10	0,05	A
B	0,43	15	0,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,14449

Error:	Alfa=0,05	gl:	31	
N	Medias	n	E.E.	
1,00	0,37	10	0,05	A
2,00	0,39	15	0,04	A
3,00	0,41	15	0,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,21750

Error:	Alfa=0,05	gl:	31	
T	Medias	n	E.E.	
15,00	2,1E-03	8	0,05	A
30,00	0,22	8	0,05	A
60,00	0,50	8	0,05	B
75,00	0,60	8	0,05	B
45,00	0,62	8	0,05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arroz Yesoso	40	0,73	0,65	20,66

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
					<0,000
Modelo.	35,64	8	4,46	10,25	1
S	8,75	2	4,37	10,06	0,0004
N	0,29	2	0,15	0,34	0,7170
					<0,000
T	26,60	4	6,65	15,30	1
Error	13,47	31	0,43		
Total	49,11	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,63390

Error:	Alfa=0,05	DMS=0,63390	gl:	31	
S	Medias	n	E.E.		
B	2,79	15	0,17	A	
C	2,88	10	0,21	A	
A	3,79	15	0,17		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,63390

Error:	Alfa=0,05	DMS=0,63390	gl:	31	
N	Medias	n	E.E.		
2,00	3,06	15	0,17	A	
3,00	3,26	15	0,17	A	
1,00	3,27	10	0,21	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,95422

Error:	Alfa=0,05	DMS=0,95422	gl:	31				
T	Medias	n	E.E.					
45,00	2,21	8	0,23	A				
60,00	2,45	8	0,23	A	B			
30,00	3,28	8	0,23		B	C		
75,00	3,52	8	0,23			C		
15,00	4,50	8	0,23				D	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arroz Rojo	40	0,51	0,39	117,95

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,68	8	0,08	4,08	0,0021
S	0,44	2	0,22	10,49	0,0003
N	0,07	2	0,03	1,62	0,2144
T	0,18	4	0,04	2,10	0,1044
Error	0,65	31	0,02		
Total	1,33	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13882

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
S	0,0208		31		
A	0,01	15	0,04		A
B	0,12	15	0,04		A
C	0,28	10	0,05		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13882

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
N	0,0208		31		
1,00	0,01	10	0,05		A
3,00	0,14	15	0,04		A B
2,00	0,18	15	0,04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,20897

Error:	Medias	gl:	n	E.E.	
T	0,0208		31		
15,00	0,04	8	0,05		A
30,00	0,09	8	0,05		A
60,00	0,12	8	0,05		A
45,00	0,12	8	0,05		A
75,00	0,24	8	0,05		A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Arroz				
Dañado	40	0,79	0,74	21,83

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12,98	8	1,62	14,57	<0,0001
S	1,55	2	0,78	6,97	0,0032
N	0,20	2	0,10	0,88	0,4240
T	11,24	4	2,81	25,22	<0,0001
Error	3,45	31	0,11		
Total	16,44	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,32090

Error:	Medias	gl:	E.E.		
S		n			
B	1,30	15	0,09	A	
A	1,57	15	0,09	A	B
C	1,80	10	0,11		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,32090

Error:	Medias	gl:	E.E.		
N		n			
1,00	1,44	10	0,11	A	
3,00	1,48	15	0,09	A	
2,00	1,64	15	0,09	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,48305

Error:	Medias	gl:	E.E.			
T		n				
60,00	0,97	8	0,12	A		
45,00	1,09	8	0,12	A		B
75,00	1,52	8	0,12			B
30,00	1,58	8	0,12			B
15,00	2,48	8	0,12			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Semillas	40	0,43	0,28	50,46

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	318,46	8	39,81	2,90	0,0155
S	138,08	2	69,04	5,03	0,0128
N	86,73	2	43,36	3,16	0,0564
T	93,65	4	23,41	1,71	0,1738
Error	425,43	31	13,72		
Total	743,89	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,56200

Error:	13,7234	gl:	31		
S	Medias	n	E.E.		
A	5,51	15	0,96	A	
B	7,20	15	0,96	A	B
C	10,30	10	1,17		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,56200

Error:	13,7234	gl:	31		
N	Medias	n	E.E.		
2,00	5,89	15	0,96	A	
1,00	6,63	10	1,17	A	
3,00	9,27	15	0,96	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,36194

Error:	13,7234	gl:	31		
T	Medias	n	E.E.		
30,00	5,46	8	1,31	A	
75,00	6,21	8	1,31	A	
15,00	7,29	8	1,31	A	
45,00	7,83	8	1,31	A	
60,00	9,92	8	1,31	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rhizoperta sp	40	0,58	0,47	130,50

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3546,86	8	443,36	5,30	0,0003
S	627,95	2	313,97	3,75	0,0347
N	439,71	2	219,85	2,63	0,0882
T	2479,21	4	619,80	7,41	0,0003
Error	2593,25	31	83,65		
Total	6140,11	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=8,79435

Error:	83,6531	gl:	31		
S	Medias	n	E.E.		
A	2,60	15	2,36	A	
B	7,58	15	2,36	A	B
C	12,77	10	2,89		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=8,79435

Error:	83,6531	gl:	31		
N	Medias	n	E.E.		
1,00	1,67	10	2,89	A	
3,00	5,82	15	2,36	A	B
2,00	11,76	15	2,36		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=13,23828

Error:	83,6531	gl:	31		
T	Medias	n	E.E.		
15,00	0,29	8	3,23	A	
30,00	0,37	8	3,23	A	
45,00	2,33	8	3,23	A	
60,00	11,75	8	3,23	A	B
75,00	20,29	8	3,23		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Criptolestes sp	40	0,54	0,42	97,19

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	806,85	8	100,86	4,51	0,0010
S	226,43	2	113,21	5,06	0,0125
N	52,04	2	26,02	1,16	0,3258
T	528,37	4	132,09	5,90	0,0012
Error	693,55	31	22,37		
Total	1500,40	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,54802

Error:	22,3727	gl:	31		
S	Medias	n	E.E.		
B	3,07	15	1,22	A	
A	3,96	15	1,22	A	
C	8,93	10	1,50		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,54802

Error:	22,3727	gl:	31		
N	Medias	n	E.E.		
1,00	3,33	10	1,50	A	
3,00	4,07	15	1,22	A	
2,00	6,69	15	1,22	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=6,84620

Error:	22,3727	gl:	31		
T	Medias	n	E.E.		
15,00	0,17	8	1,67	A	
30,00	1,00	8	1,67	A	
75,00	6,75	8	1,67	A	B
45,00	6,96	8	1,67	A	B
60,00	9,46	8	1,67		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Tribolium sp	40	0,44	0,30	158,96

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,80	8	1,10	3,10	0,0109
S	1,62	2	0,81	2,27	0,1198
N	0,77	2	0,39	1,09	0,3498
T	6,42	4	1,60	4,51	0,0055
Error	11,01	31	0,36		
Total	19,82	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,57315

Error:	0,3553	gl:	31		
S	Medias	n	E.E.		
B	0,13	15	0,15	A	
A	0,44	15	0,15	A	
C	0,63	10	0,19	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,57315

Error:	0,3553	gl:	31		
N	Medias	n	E.E.		
1,00	0,23	10	0,19	A	
3,00	0,27	15	0,15	A	
2,00	0,58	15	0,15	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,86278

Error:	0,3553	gl:	31		
T	Medias	n	E.E.		
30,00	0,00	8	0,21	A	
15,00	0,04	8	0,21	A	
45,00	0,17	8	0,21	A	
75,00	0,63	8	0,21	A	B
60,00	1,04	8	0,21		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ephestia sp	40	0,26	0,07	191,88

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,80	8	0,10	1,35	0,2588
S	0,07	2	0,03	0,46	0,6372
N	0,10	2	0,05	0,68	0,5157
T	0,63	4	0,16	2,12	0,1015
Error	2,29	31	0,07		
Total	3,09	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,26138

Error:	0,0739	gl:	31	
S	Medias	n	E.E.	
B	0,09	15	0,07	A
C	0,17	10	0,09	A
A	0,18	15	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,26138

Error:	0,0739	gl:	31	
N	Medias	n	E.E.	
1,00	0,07	10	0,09	A
3,00	0,13	15	0,07	A
2,00	0,20	15	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,39346

Error:	0,0739	gl:	31	
T	Medias	n	E.E.	
15,00	0,00	8	0,10	A
75,00	0,04	8	0,10	A
30,00	0,08	8	0,10	A
60,00	0,29	8	0,10	A
45,00	0,29	8	0,10	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Total Infestación	40	0,60	0,50	97,48

Datos desbalanceados en celdas

Para otra descomposición de la SC especifique los contrastes apropiados

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6155,86	8	769,48	5,88	0,0001
S	984,07	2	492,04	3,76	0,0345
N	1064,72	2	532,36	4,07	0,0270
T	4107,07	4	1026,77	7,85	0,0002
Error	4055,74	31	130,83		
Total	10211,60	39			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=10,99808

Error:	130,8302	gl:	31		
S	Medias	n	E.E.		
A	7,18	15	2,95	A	
B	10,87	15	2,95	A	B
C	19,87	10	3,62		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=10,99808

Error:	130,8302	gl:	31		
N	Medias	n	E.E.		
1,00	5,30	10	3,62	A	
3,00	8,53	15	2,95	A	B
2,00	19,22	15	2,95		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=16,55559

Error:	130,8302	gl:	31		
T	Medias	n	E.E.		
15,00	0,50	8	4,04	A	
30,00	1,46	8	4,04	A	
45,00	9,75	8	4,04	A	B
60,00	22,54	8	4,04		B
75,00	24,42	8	4,04		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p<= 0,05)

Anexo G. Valores iniciales y finales de los parámetros de calidad por bloques.

Bloque A

Parámetro de calidad	Condición inicial	Condición final	Variación Absoluta (%)
Contenido de Humedad	12.42	12.07	-0.35
Impurezas	5.37	3.15	-2.22
Cascarilla	21.00	21.27	0.26
Semolina	13.15	21.27	8.12
Rendimiento de Pilada	65.85	65.85	0.00
Grano Entero	71.78	66.83	-4.95
Grano Quebrado	21.21	22.61	1.40
Puntilla	7.01	10.56	3.56
Grano Manchado	0.00	0.51	0.50
Grano Yesoso	5.34	3.84	-1.51
Grano Rojo	0.01	0.02	0.01
Grano Dañado	2.73	1.29	-1.43
Semillas Objetables	9	2.56	-6.67

Bloque B

Parámetro de calidad	Condición inicial	Condición final	Variación Absoluta (%)
Contenido de Humedad	12.08	11.69	-0.39
Impurezas	4.59	4.18	-0.42
Cascarilla	20.20	21.73	1.53
Semolina	13.53	12.78	-0.75
Rendimiento de Pilada	66.27	65.48	-0.79
Grano Entero	70.95	65.80	-5.14
Grano Quebrado	21.08	22.69	1.61
Puntilla	7.97	11.51	3.54
Grano Manchado	0.00	0.63	0.63
Grano Yesoso	4.51	3.41	-1.10
Grano Rojo	0.02	0.21	0.19
Grano Dañado	2.03	1.62	-0.41
Semillas Objetables	6	6	0.00

Bloque C

Parámetro de calidad	Condición inicial	Condición final	Variación Absoluta (%)
Contenido de Humedad	12.60	13.42	0.82
Impurezas	2.90	3.96	1.05
Cascarilla	22.16	21.80	-0.35
Semolina	13.84	17.07	3.23
Rendimiento de Pilada	64.01	61.13	-2.88
Grano Entero	59.89	49.46	-10.42
Grano Quebrado	27.90	32.01	4.11
Puntilla	12.22	18.53	6.31
Grano Manchado	0.00	0.70	0.70
Grano Yesoso	3.20	3.19	-0.01
Grano Rojo	0.13	0.62	0.50
Grano Dañado	2.79	1.71	-1.07
Semillas Objetables	6	12	6.00

Anexo H. Valores iniciales y finales de los parámetros de calidad por sectores.

Sector 1

Parámetro de calidad	Condición inicial	Condición final	Variación Absoluta (%)
Contenido de Humedad	12.20	12.00	-0.20
Impurezas	4.52	3.95	-0.57
Cascarilla	20.08	21.18	1.10
Semolina	13.12	12.92	-0.20
Rendimiento de Pilada	66.80	65.89	-0.91
Grano Entero	69.85	68.31	-1.54
Grano Quebrado	22.13	21.97	-0.15
Puntilla	8.02	9.71	1.69
Grano Manchado	0.00	0.54	0.54
Grano Yesoso	4.64	3.12	-1.52
Grano Rojo	0.01	0.00	-0.01
Grano Dañado	2.26	1.36	-0.90
Semillas Objetables	7	5	-2

Sector 2

Parámetro de calidad	Condición inicial	Condición final	Variación Absoluta (%)
Contenido de Humedad	12.52	12.14	-0.38
Impurezas	4.23	3.86	-0.37
Cascarilla	21.08	21.94	0.87
Semolina	13.60	14.88	1.28
Rendimiento de Pilada	65.33	63.18	-2.14
Grano Entero	67.88	56.81	-11.06
Grano Quebrado	22.92	27.37	4.46
Puntilla	9.21	15.82	6.61
Grano Manchado	0.00	0.70	0.70
Grano Yesoso	4.45	3.63	-0.82
Grano Rojo	0.04	0.39	0.35
Grano Dañado	2.74	1.67	-1.07
Semillas Objetables	6	5	-1.00

Sector 3

Parámetro de calidad	Condición inicial	Condición final	Variación Absoluta (%)
Contenido de Humedad	12.24	12.57	0.33
Impurezas	4.66	3.47	-1.19
Cascarilla	21.50	21.47	-0.04
Semolina	13.57	13.55	-0.01
Rendimiento de Pilada	64.93	64.98	0.05
Grano Entero	68.21	63.26	-4.95
Grano Quebrado	23.23	24.61	1.39
Puntilla	8.56	12.13	3.57
Grano Manchado	0.00	0.53	0.53
Grano Yesoso	4.45	3.68	-0.77
Grano Rojo	0.07	0.26	0.18
Grano Dañado	2.37	1.48	-0.88
Semillas Objetables	9	8	-1.00

Anexo I. Mediciones del sistema de aireación y datos importantes.

Fecha/ Medición	Lecturas de velocidad de aire en el ducto					
	07/11/2011		22/11/2011		07/12/2011	
	x	y	x	y	x	y
1	8.14	4.76	8.00	4.87	8.67	4.34
2	8.13	3.08	8.10	3.19	8.34	3.56
3	7.97	3.12	7.50	3.45	7.89	3.39
4	6.57	3.42	7.05	3.12	6.78	3.67
5	4.32	3.30	5.86	3.56	4.56	3.65
6	5.10	3.80	5.00	3.42	4.97	3.45
7	6.39	4.11	5.78	4.00	5.67	3.98
8	4.81	2.68	4.34	3.05	4.89	4.81
9	3.84	3.05	4.01	2.97	4.00	3.56
10	3.80	3.72	3.60	3.34	3.78	3.45
Promedio	5.91	3.50	5.92	3.50	5.96	3.79

Fecha/ Variable	Calculo de caudal		
	07/11/2011	22/10/2011	07/12/2011
h_{ducto} (m)	0.56	0.56	0.56
a_{ducto} (m)	0.53	0.53	0.53
Area ducto (m²)	0.2968	0.2968	0.2968
$V_{pro\ x,y}$ (m/s)	4.71	4.71	4.87
Caudal (m3/s)	1.40	1.40	1.45
Caudal (m3/min)	83.80	83.88	86.73
Caudal especifico m3/min/ton	1.585	1.587	1.641

Datos de entrada (cantidad de granza)	
Fecha	07/11/2011
H grano (m)	3.645
H silo (m)	5.2
Φ (m)	5.72
Densidad (Kg/m³)	564.4
Volumen de grano (m³)	93.67
Masa grano (kg)	52864.8
Masa grano (ton)	52.9

Anexo J: Temperatura y humedad relativa promedio horario del ambiente externo a los silos.

Hora	T_{promedio} (°C)	HR_{promedio} (%)
12:00:00 AM	23.65	97.45
01:00:00 AM	23.51	97.56
02:00:00 AM	23.34	97.91
03:00:00 AM	23.20	98.04
04:00:00 AM	23.06	98.09
05:00:00 AM	22.91	98.20
06:00:00 AM	23.77	97.66
07:00:00 AM	26.07	87.83
08:00:00 AM	28.36	78.48
09:00:00 AM	30.67	68.91
10:00:00 AM	31.93	64.04
11:00:00 AM	32.02	63.41
12:00:00 PM	31.29	66.27
01:00:00 PM	29.84	72.37
02:00:00 PM	28.48	78.28
03:00:00 PM	27.00	84.26
04:00:00 PM	26.05	87.95
05:00:00 PM	25.19	91.45
06:00:00 PM	24.61	93.92
07:00:00 PM	24.38	95.21
08:00:00 PM	24.22	95.97
09:00:00 PM	24.09	96.48
10:00:00 PM	23.91	96.89
11:00:00 PM	23.79	97.26

Anexo K. Temperatura y humedad relativa promedio diaria del ambiente externo a los silos.

Fecha	T_{promedio} (°C)	HR_{promedio}(%)	Fecha	T_{promedio} (°C)	HR_{promedio}(%)
31/08/2011	28.75	81.04	01/10/2011	27.0	83.3
01/09/2011	26.57	88.30	02/10/2011	26.9	85.1
02/09/2011	25.97	90.20	03/10/2011	25.3	90.7
03/09/2011	26.22	88.23	04/10/2011	25.7	90.1
04/09/2011	26.99	83.04	05/10/2011	26.0	89.1
05/09/2011	27.37	82.93	06/10/2011	27.2	84.3
06/09/2011	28.21	81.99	07/10/2011	27.4	84.5
07/09/2011	26.67	84.84	08/10/2011	26.3	89.4
08/09/2011	25.81	86.44	09/10/2011	24.4	96.2
09/09/2011	26.66	84.88	10/10/2011	24.6	92.0
10/09/2011	25.85	90.68	11/10/2011	25.1	90.0
11/09/2011	24.85	93.66	12/10/2011	24.5	93.5
12/09/2011	27.27	82.37	13/10/2011	25.3	87.7
13/09/2011	27.51	84.62	14/10/2011	24.9	90.5
14/09/2011	27.07	87.28	15/10/2011	24.4	90.2
15/09/2011	25.86	87.49	16/10/2011	23.4	94.3
16/09/2011	25.57	88.51	17/10/2011	23.1	94.7
17/09/2011	26.63	83.99	18/10/2011	23.2	94.6
18/09/2011	25.60	88.30	19/10/2011	24.1	90.2
19/09/2011	25.52	89.13	20/10/2011	24.8	86.6
20/09/2011	25.51	89.17	21/10/2011	23.7	92.5
21/09/2011	26.61	84.89	22/10/2011	22.5	98.8
22/09/2011	28.21	81.50	23/10/2011	24.9	86.2
23/09/2011	27.30	86.50	24/10/2011	25.2	88.1
24/09/2011	27.16	87.21	25/10/2011	26.1	87.8
25/09/2011	25.57	91.77	26/10/2011	26.4	86.2
26/09/2011	26.56	86.36	27/10/2011	26.4	85.8
27/09/2011	27.99	83.55	28/10/2011	26.2	87.7
28/09/2011	27.82	85.01	29/10/2011	26.5	85.3
29/09/2011	27.87	84.99	30/10/2011	25.7	89.5
30/09/2011	25.39	92.83	31/10/2011	24.0	96.3

Fecha	T_{promedio} (°C)	HR_{promedio}(%)	Fecha	T_{promedio} (°C)	HR_{promedio}(%)
01/11/2011	26.2	84.9	24/11/2011	25.4	90.5
02/11/2011	27.4	82.1	25/11/2011	26.2	87.2
03/11/2011	26.9	86.1	26/11/2011	26.3	86.2
04/11/2011	26.5	87.8	27/11/2011	26.8	85.9
05/11/2011	27.1	85.8	28/11/2011	25.9	90.2
06/11/2011	26.7	87.2	29/11/2011	26.3	87.7
07/11/2011	26.6	87.1	30/11/2011	26.0	89.0
08/11/2011	26.2	87.3	23/11/2011	26.9	84.7
09/11/2011	26.4	85.9	01/12/2011	25.1	91.5
10/11/2011	26.2	87.7	02/12/2011	25.9	89.4
11/11/2011	26.0	89.9	03/12/2011	26.9	84.7
12/11/2011	25.6	89.3	04/12/2011	26.7	85.5
13/11/2011	25.6	88.2	05/12/2011	26.5	85.4
14/11/2011	25.5	89.5	06/12/2011	27.6	78.2
15/11/2011	25.9	89.1	07/12/2011	26.4	82.9
16/11/2011	25.6	90.4	08/12/2011	26.1	85.7
17/11/2011	26.1	88.2	09/12/2011	27.0	82.3
18/11/2011	26.2	86.7	10/12/2011	27.0	85.0
19/11/2011	24.7	91.7	11/12/2011	26.0	87.6
20/11/2011	25.6	87.8	12/12/2011	24.7	94.0
21/11/2011	25.2	91.2	13/12/2011	25.9	89.0
22/11/2011	26.5	85.8	14/12/2011	25.1	94.2

Anexo L. Temperatura y humedad relativa promedio horario del ambiente interno del silo experimental.

Hora	T_{promedio}(°C)	HR_{promedio} (%)
12:00:00 AM	23.89	87.13
01:00:00 AM	23.71	87.31
02:00:00 AM	23.54	87.62
03:00:00 AM	23.40	87.83
04:00:00 AM	23.28	87.96
05:00:00 AM	23.13	88.08
06:00:00 AM	23.55	87.84
07:00:00 AM	26.33	79.94
08:00:00 AM	28.20	72.47
09:00:00 AM	30.63	64.17
10:00:00 AM	33.28	57.66
11:00:00 AM	35.04	55.35
12:00:00 PM	34.57	57.70
01:00:00 PM	32.45	63.01
02:00:00 PM	30.64	68.22
03:00:00 PM	28.79	73.67
04:00:00 PM	27.27	78.06
05:00:00 PM	25.80	82.35
06:00:00 PM	25.00	84.93
07:00:00 PM	24.65	85.94
08:00:00 PM	24.46	86.16
09:00:00 PM	24.35	86.41
10:00:00 PM	24.17	86.63
11:00:00 PM	24.03	87.00

Anexo M. Temperatura y humedad relativa promedio diario del ambiente interno del silo experimental.

Fecha	T_{promedio} (°C)	HR_{promedio} (%)	Fecha	T_{promedio} (°C)	HR_{promedio} (%)
12/10/2011	25.30	84.03	14/11/2011	26.82	77.59
13/10/2011	26.31	80.38	15/11/2011	27.40	75.87
14/10/2011	25.56	83.28	16/11/2011	26.98	78.06
15/10/2011	25.16	82.33	17/11/2011	27.84	74.91
16/10/2011	23.79	86.49	18/11/2011	27.79	74.28
17/10/2011	23.85	85.41	19/11/2011	26.22	79.08
18/10/2011	23.97	86.13	20/11/2011	26.78	76.74
19/10/2011	25.21	82.94	21/11/2011	26.61	78.78
20/10/2011	26.17	84.19	22/11/2011	27.91	75.38
21/10/2011	24.91	83.65	23/11/2011	28.54	73.99
22/10/2011	22.70	92.16	24/11/2011	26.44	78.35
23/10/2011	26.44	77.81	25/11/2011	27.40	75.98
24/10/2011	26.36	77.74	26/11/2011	28.50	72.63
25/10/2011	26.22	86.99	27/11/2011	27.90	74.66
26/10/2011	27.84	76.86	28/11/2011	26.84	77.94
27/10/2011	27.87	75.95	29/11/2011	27.48	77.05
28/10/2011	27.41	78.26	30/11/2011	27.82	76.48
29/10/2011	27.81	75.90	01/12/2011	27.15	77.59
30/10/2011	27.26	76.84	02/12/2011	27.28	77.55
01/11/2011	27.94	74.80	03/12/2011	27.89	75.28
02/11/2011	28.01	74.82	04/12/2011	27.82	74.92
03/11/2011	27.71	77.84	05/12/2011	27.38	76.08
04/11/2011	27.49	78.44	06/12/2011	29.14	70.41
05/11/2011	27.63	77.93	07/12/2011	27.58	74.90
06/11/2011	27.57	77.84	08/12/2011	27.11	75.40
07/11/2011	26.95	79.26	09/12/2011	28.11	72.95
08/11/2011	26.82	80.01	10/12/2011	27.73	74.93
09/11/2011	27.12	78.77	11/12/2011	26.58	78.14
10/11/2011	26.74	81.99	12/12/2011	25.80	81.57
11/11/2011	26.91	80.14	13/12/2011	27.44	77.85
12/11/2011	26.48	80.36	14/12/2011	26.74	80.02
13/11/2011	27.13	76.46			

Anexo N. Registro de temperatura de la masa de grano.

Fecha	Fondo	Centro	Arriba
25/10/2011	31.3	31.5	32.9
26/10/2011	32.1	33.1	32.3
27/10/2011	31.3	31.5	32.8
04/11/2011	29.6	32.3	33.3
05/11/2011	29.3	31.2	33.3
07/11/2011	29.6	32.5	33.5
08/11/2011	29.1	31.9	33.5
09/11/2011	28.8	31.3	33.0
10/11/2011	28.5	31.2	33.1
11/11/2011	28.5	31.2	32.3
12/11/2011	28.5	31.1	33.1
14/11/2011	30.6	31.1	32.3
15/11/2011	30.5	31.0	32.1
16/11/2011	30.0	31.1	32.5
17/11/2011	28.2	30.6	32.5
18/11/2011	28.5	31.0	32.3
21/11/2011	28.5	31.0	31.1
22/11/2011	28.6	31.3	32.0
23/11/2011	28.3	30.9	31.9
24/11/2011	28.4	30.4	32.5
25/11/2011	28.1	30.1	32.0
26/11/2011	28.2	30.3	32.3
28/11/2011	28.5	30.3	32.1
29/11/2011	31.3	31.0	32.1
30/11/2011	31.1	31.0	32.0
01/12/2011	31.0	31.2	32.1
02/12/2011	31.5	31.5	32.1
03/12/2011	30.5	31.0	32.3
05/12/2011	30.0	31.0	32.0
06/12/2011	29.0	31.2	31.0
07/12/2011	28.0	31.1	31.0
08/12/2011	28.0	31.1	31.5
09/12/2011	28.0	31.2	31.2
10/12/2011	28.0	31.2	31.1
12/12/2011	28.0	31.2	32.1
13/12/2011	32.0	31.2	32.1
14/12/2011	29.7	30.8	32.4