

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



CARACTERIZACION DE HARINAS OBTENIDAS DE TRIGO HRS (HARD RED SPRING) Y HRW (HARD RED WINTER) CON DEFECTO FISIOLOGICO PANZA BLANCA Y SIN ÉL.

Por:

Abigail Mendoza Moreno.

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.

Buenavista, Saltillo, Coahuila México.

Mayo 2016.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

CARACTERIZACION DE HARINAS OBTENIDAS DE TRIGO HRS (HARD RED SPRING) Y HRW (HARD RED WINTER) CON DEFECTO FISIOLÓGICO PANZA BLANCA Y SIN ÉL.

TESIS

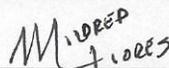
Por:

ABIGAIL MENDOZA MORENO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADA:



M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Presidente del Jurado



Dra. Dolores Gabriela Martínez.

Sinodal



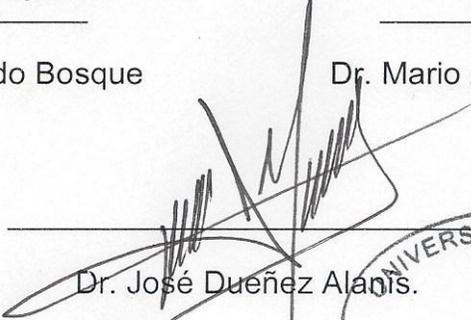
Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque

Sinodal



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández.

Sinodal



Dr. José Dueñez Alanís.

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo Coahuila. Mayo 2016



Imposible es sólo una palabra que usan los hombres débiles para vivir fácilmente en el mundo que se les dio, sin atreverse a explorar el poder que tienen para cambiarlo. Imposible no es un hecho, es una opinión. Imposible no es una declaración, es un reto. Imposible es potencial. Imposible es temporal, Imposible no es nada.

Muhammad Ali

Humildemente me esforzaré en amar, en decir la verdad, en ser honesto y puro, en no poseer nada que no me sea necesario, en ganarme el sueldo con el trabajo, en estar atento siempre a lo que como y bebo, en no tener nunca miedo, en respetar las creencias de los demás, en buscar siempre lo mejor para todos, en ser un hermano para todos mis hermanos.

Mahatma Gandhi

El éxito no sale al paso por suerte ni por casualidad. Esto se concibe, se prepara, se ejercita, y después recién se realiza. Es decir el éxito depende de toda acción, de toda esa preparación, y de toda esa organización, el éxito a nadie le sale al paso, no es obra de casualidad, el éxito es obra de la previsión, de la organización y la realización.

Juan Domingo Perón

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, si bien ha requerido de trabajo tan arduo y lleno de esfuerzo por parte de la autora, no hubiese sido posible sin la participación de otras personas, que han hecho que las cosas sean más fáciles para tener un final exitoso. Por ello, me llena de placer utilizar estas líneas para ser justa y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

*Primero y antes que nada, dar gracias a **Dios**, por acompañarme en cada momento, por llenarme de fuerza, voluntad e iluminar mi mente, para culminar satisfactoriamente lo que hace tiempo era solo un sueño.*

*A la “**Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**” Por abrirme sus puertas y ofrecer su abrigo para que así como yo, otros puedan concluir un sueño.*

*A mi gran y numerosa **familia**, gracias por acompañarme en la aventura de lograr una profesión, además agradezco por entregarme valores que han sido base para afrontar la vida con dignidad. ¡Gracias familia!*

*A la familia: **Moreno Ramírez**. Por recibirme en su casa y hacer que mi estancia lejos de mi hogar fuera tan agradable. Gracias por su apoyo en todo momento, sin duda sin su apoyo todo hubiese sido mucho más difícil.*

*Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y sugerencias propuestas de la Directora de tesis, la **M.C Mildred Inna Marcela Flores Verastegui**, gracias por la confianza depositada en mí, el apoyo brindado y la tan amable disponibilidad mostrada siempre. Agradezco la orientación y el gran ánimo que me brindó. ¡Muchas gracias maestra!*

*Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al **Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque**, por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta investigación. Destacando la disposición y paciencia en los datos estadísticos. Sin duda alguna su participación ha enriquecido este trabajo. ¡Gracias!*

*Del mismo modo agradezco a la **Dra. Dolores Gabriela Martínez**, por la colaboración durante la tesis, sobre todo en ésta última etapa, gracias por el tiempo brindado y sugerencias.*

*Al **Dr. Mario Alberto Cruz Hernández**, ya que sin su apoyo, la realización de esta investigación no hubiera sido posible. ¡Gracias!*

*A la **L.C.Q. Magdalena Olvera Esquivel** por su entusiasta participación y apoyo, durante mi estancia en el laboratorio de procesamiento de alimentos, en el departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. De la misma manera agradezco a la **Srita. Zulema Piedra Aguirre** por su siempre atenta, efectiva y amable disposición. ¡Muchas gracias Zule!*

*A mis compañeros de la generación **CXVI de Ingenieros en Ciencia y Tecnología de Alimentos**. Gracias por su invaluable amistad; me llevo de cada uno de ustedes un gran aprendizaje y hermoso recuerdo forjado de la mejor manera en estos 5 años convividos con ustedes. Agradezco infinitamente el haberlos conocido. ¡Éxito a todos!*

Mi más amplio agradecimiento para la empresa:

Molinos del Fénix, S.A de C.V.

*Por la oportunidad de realizar este proceso de investigación en el área de Calidad. Muy en especial agradezco a la Gerente Regional de Calidad la **Q.F.B Guadalupe Martínez García**, por la accesibilidad y disponibilidad a la realización de este trabajo, así como por proveer los medios necesarios para llevarlo a cabo. Al **Sr. Aurelio González Martínez** por su coparticipación en la realización de análisis; al **Q.F.B Francisco Maldonado Vázquez**, por su gran colaboración en selección de trigo y asesoramiento en análisis del mismo; así mismo a la **Q.F.B Sandra Cecilia Álvarez**, a la **Sra. Linda Selene Hernández** y al **Q.F.B Jorge Alejandro Santillán Saldaña** por su apoyo e interés en este proyecto, por brindarme parte de sus conocimientos, darme ánimos de seguir y hacer que este trabajo fuera posible. Reciban mi más sincera gratitud.*

Abigail Mendoza Moreno.

DEDICATORIAS

*A mi madre: **Alicia Moreno Monsivais.***

Porque este logro sin tu apoyo no hubiera sido posible. Estas líneas no alcanzarían para expresarte mi gran admiración, gratitud e inmenso amor que por usted siento. Con todo mi amor para usted que hizo todo en la vida para que pudiera lograr mis sueños, por motivarme y extenderme su mano cuando sentía que el camino se terminaba. Por enseñarme que las caídas son para crecer, por entender mis silencios, y proporcionarme siempre una enorme y fiel confianza. ¡La amo, esto es para usted!

*A mi abuelo: **J. Melquiades Moreno Juárez.***

Como un padre siempre lo he visto, gracias por formar parte de mí vida, por compartir tantas historias y anécdotas, su sabiduría influyó en mí la madurez para lograr todos los objetivos en la vida, es para usted esta tesis en agradecimiento por todo su amor. Gracias por ser una persona con una fortaleza admirable. ¡Lo quiero mucho Abuelito!

*A mi hermano: **Francisco Xavier Mendoza Moreno***

Mi pequeño y gran hermano, por compartir todas mis alegrías y tristezas siempre haciéndome reír, no tengo palabras para expresarte la gratitud y la dicha que siento al tenerte en mi vida. ¡Te Adoro!

*A mi **abuelita, tíos (as) y primos (as)***

Por su gran confianza, consejo, cariño e inigualable apoyo. Por ser mi familia y quererme tanto como yo los quiero y respeto.

*A mi ahijada: **Nataly.***

Por ser desde hace tiempo, una razón y motivación muy importante en mí, para continuar. Y sepa que haré lo que esté a mi alcance para que si así lo decide, un día ella pueda dedicar uno o más trabajos como este.

A mis amigos (as):

Martha E. Ramos, Ma. De los Ángeles Castro, Roxana Leyva, Fernanda Martínez, Tania L. Ibarra, Laura A. Rodríguez, Margarita Moreno, Rosaura Monroy, Catalina Resendiz, Alejandro Guerrero, Hugo Sánchez, Jorge Escobedo, Alfredo Díaz, Joaquín Pliego, y Gustavo A. Aguilera. Por haber formado parte tan importante en mi vida y mis proyectos, compartiendo incontables experiencias. Por brindarme su apoyo y consejo cuando fue necesario. ¡Los quiero!, gracias por su valiosa amistad.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS.....	vi
INDICE GENERAL.....	viii
INDICE DE FIGURAS	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN	xvi
CAPITULO 1.....	1
INTRODUCCION	1
1.1 JUSTIFICACION.....	3
1.2 HIPOTESIS	4
1.3 OBJETIVO	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	5
CAPITULO 2.....	6
MARCO TEORICO	6
2.1 TRIGO	6
2.1.1 Generalidades	6
2.1.2 Estructura del grano	7
2.1.2.1 El salvado (envueltas o tegumento)	7
2.1.2.2 El germen (embrión)	8
2.1.2.3 El endospermo o albumen	8
2.1.3 Origen geográfico y citogénico del trigo	8
2.1.4 Propiedades físicas del grano relacionadas con la calidad	9
2.1.4.1 Humedad	10
2.1.4.2 Peso hectolítrico	10
2.1.4.3 Material extraño	11
2.1.4.4 Granos dañados	11
2.1.4.5 Peso de 1000 granos.....	12
2.1.5 Clasificaciones del trigo	12
2.1.5.1 Trigo Hard red Winter o HRW (duro rojo de invierno).....	13
2.1.5.2 Trigo Hard Red Spring o HRS (duro rojo de primavera)	13
2.1.5.3 Trigo Hard White o HW (duro blanco)	14

2.1.5.4	Trigo Soft White o SW (suave blanco)	14
2.1.5.5	Trigo Soft Red Winter o SRW (suave rojo de invierno)	14
2.1.5.6	Trigo Durum o DU (durum)	15
2.1.6	Composición química del trigo	15
2.2	MOLIENDA DE TRIGO	16
2.2.1	Molienda de trigos panaderos y suaves	16
2.2.2	Molienda de trigos duros o cristalinos	19
2.3	HARINA	19
2.3.1	Composición química de la harina	19
2.3.2	Calidad de la harina	20
2.3.2.1	Humedad	21
2.3.2.2	Cenizas	21
2.3.2.3	Granulometría	22
2.3.2.4	Color	22
2.3.2.5	Proteínas	23
2.3.2.6	Gluten	24
2.3.2.7	Índice de sedimentación o de Zeleny	24
2.3.2.8	Métodos rápidos	25
2.3.3	Calidad reológica de la harina	27
2.3.3.1	Alveógrafo	27
2.3.3.2	Farinógrafo	31
2.3.4	Calidad enzimática de la harina	33
2.3.4.1	Índice de caída o falling number	33
CAPITULO 3		34
MATERIALES Y METODOS		34
3.1	UBICACION DEL SITIO EXPERIMENTAL	34
3.2	MATERIAL BIOLÓGICO	34
3.3	MATERIAL, EQUIPOS Y REACTIVOS DE LABORATORIO EMPLEADOS	34
3.4	METODOLOGIA	36
3.4.1	Trigo	37
3.4.1.1	Determinación de materia extraña	37
3.4.1.2	Peso hectolítrico	38
3.4.1.3	Peso de 1000 granos	38
3.4.1.4	Determinación de humedad	39
3.4.1.5	Grano quebrado y chupado	40
3.4.1.6	Acondicionamiento de trigo	40
3.4.2	Molienda	41
3.4.3	Harina	42
3.4.3.1	Fisicoquímicos, métodos convencionales	42
3.4.3.1.1	Sedimentación	42
3.4.3.1.2	Falling Number	43

3.4.3.1.3	<i>Obtención de gluten húmedo</i>	44
3.4.3.1.4	<i>Cenizas</i>	45
3.4.3.1.5	<i>Color</i>	46
3.4.3.1.6	<i>Proteínas</i>	47
3.4.3.2	Fisicoquímicos, métodos rápidos	48
3.4.3.2.1	<i>NIR Inframatic 8600</i>	48
3.4.3.2.2	<i>NIR Inframatic 9500</i>	49
3.4.3.3	Humedad	50
3.4.3.4	Reológicos	50
3.4.3.4.1	<i>Alveograma</i>	50
3.4.3.4.2	<i>Farinograma</i>	51
3.4.4	Análisis estadístico	52
CAPITULO 4		53
RESULTADOS Y DISCUSION		53
4.1 CARACTERIZACION DEL GRANO DE TRIGO		53
4.1.1	Separación de las fracciones de trigo	55
4.1.2	Evaluación de los parámetros de calidad del trigo	56
4.2 MOLIENDA		64
4.3 HARINA		69
4.3.1	Fisicoquímicos, métodos convencionales	69
4.3.2	Fisicoquímicos, métodos rápidos	77
4.3.3	Reología	82
4.3.3.1	Alveograma	82
4.3.3.2	Farinograma	88
CAPITULO 5		94
5.1	Conclusiones	94
CAPITULO 6		96
6.1	Recomendaciones	96
CAPITULO 7		97
7.1	Literatura citada	97
CAPITULO 8		102
ANEXOS		102
8.1 Anexos para parámetros de calidad del trigo		102
8.1.1	Concentrado del análisis de varianza correspondiente al factor tipo de trigo (HRS y HRW). 102	

8.1.2	Concentrado del análisis de varianza correspondiente al factor tipo de grano (MV, GV, PB). 102	
8.1.3	Prueba de Duncan para el tipo de grano (MC, GV, PB).....	103
8.1.4	Concentrado del análisis de varianza correspondiente a la interacción que se presenta entre el tipo de trigo y tipo de grano (Caracterización del trigo).....	103
8.2	Anexos para proceso de molienda.....	104
8.2.1	Concentrado del análisis de varianza, para la diferencia entre tipo de trigo (HRS y HRW) como fuentes de variación. En los renglones se muestran las variables que corresponden.....	104
8.2.2	Concentración del análisis de varianza, para la diferencia entre tipo de grano (MC, GV y PB) como fuente de variación. Mostrándose en los renglones las variables correspondientes.....	104
8.2.3	Prueba de Duncan para los tipos de grano (MC, GV, PB). Se indica sombreadas las variables que fueron estadísticamente iguales.....	105
8.2.4	Concentrado del análisis de varianza, para la interacción entre el tipo de trigo (HRS y HRW) y tipo de grano (MC, GV, PB). Mostrándose en los renglones las variables que corresponden.....	105
8.3	Anexos para fisicoquímicos, métodos convencionales.....	106
8.3.1	Concentrado del análisis de varianza para tipo de trigo (HRS, HRW), mostrándose las variables en los renglones.....	106
8.3.2	Concentrado del análisis de varianza para el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.....	106
8.3.3	Prueba de Duncan para tipo de grano (MC, GV, PB).....	107
8.3.4	Concentrado del análisis de varianza para la interacción entre el tipo de trigo (HRS, HRW) y tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.....	107
8.4	Anexos para fisicoquímicos, métodos rápidos.....	108
8.4.1	Concentrado del análisis de varianza para el tipo de trigo (HRS y HRW), mostrándose en los renglones las variables.....	108
8.4.2	Concentrado del análisis de varianza para el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.....	108
8.4.3	Prueba de Duncan para el tipo de grano (MC, GV, PB).....	109
8.4.4	Concentrado del análisis de varianza para la interacción entre tipo de trigo (HRS yHRW) y el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.....	109
8.5	Anexos para alveograma.....	110
8.5.1	Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipos de trigo (HRS y HRW). En los renglones se muestran las variables.....	110
8.5.2	Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipo de grano (MC, GV, PB). En los renglones se muestran las variables.....	110
8.5.3	Prueba de Duncan correspondiente a tipo de grano (MC, GV, PB).....	111
8.5.4	Concentrado del análisis de varianza para la interacción de tipos de trigo (HRS y HRW) y el tipo de grano (MC, GV, PB). Mostrándose en los renglones las variables.....	111
8.5.5	Gráficos obtenidos en el alveógrafo de Chopin para tipo de trigo (HRS, HRW) y tipo de grano (GV, MC, PB).....	112
8.6	Anexos para farinograma.....	113

8.6.1	Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipos de trigo (HRS y HRW). En los renglones se muestran las variables.....	113
8.6.2	Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipo de grano (MC, GV, PB). En los renglones se muestran las variables.....	113
8.6.3	Prueba de Duncan para los tipos de grano (GV, MC, PB).....	114
8.6.4	Concentrado del análisis de varianza para la interacción de tipos de trigo (HRS y HRW) y el tipo de grano (MC, GV, PB). Mostrándose en los renglones las variables.....	114

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Estructura del grano de trigo.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2. Granos de trigo dañados. a) daño por calor, b) grano germinado, c) daño por hongo, d) grano helado, e) daño por insecto, f) germen dañado.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3. Molino de rodillos: diagrama ilustrativo. Publicado por Serna Saldívar 2001, con autorización de la American Association of Cereal Chemists.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4. Purificador. B2: diagrama ilustrativo. Publicado por Serna Saldívar 2001, con autorización de la American Association of Cereal Chemists.</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5. Esquema de funcionamiento de molino experimental Chopin CD1.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6. Esquema de los tres diseños de equipos NIR. A) Reflectancia, B) Transflectancia y C) Transmitancia. Alcalá Bernárdez, 2006.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 7. Comportamiento gráfico de alveógrafo de Chopin.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8. Parámetros en un alveograma.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 9. Curva típica del farinógrafo y sus parámetros. Serna Saldívar, 2001.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10. Carter Dockage Tester para limpieza de trigo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11. Báscula Fairbanks-Morse para determinación de peso hectolítrico.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 12. Equipo para conteo de 1000 granos Pfeuffer.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 13. Determinador de humedad HE50.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 14. Strand Sizer Shaker para obtener el % de grano quebrado y chupado.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 15. Molino experimental Chopin CD1. Sección 1 y 2.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 16. Determinación de sedimentación.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 17. Corrección del peso de la muestra a base de humedad del 14%. Donde la tabla indica del lado izquierdo el % de humedad de la muestra en enteros y en la parte superior se indican los decimales de humedad que puede tener la harina. Perten instruments 1992.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18. Equipo falling number Type 1800.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 19. Mufla para la determinación de cenizas.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20. Colorímetro Konica Minolta CR-400 para determinación de color.</i>	<i>46</i>
<i>Figura 21. Etapas para la determinación de proteínas.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 22. Equipo NIR Inframatic 8600.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 23. Equipo NIR IM 9500.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 24. Termobalanza Ohaus para determinación de humedad.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 25. Alveógrafo Chopin.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 26. Farinógrafo de Brabender.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 27. Trigos empleados y fracciones de interés obtenidas.</i>	<i>54</i>

<i>Figura 28. Comparativo entre análisis de medias en contenido proteico por NIR y convencional, con lo reportado por la U.S. Wheat 2013.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 29. Procedencia de muestras reportadas por U.S Wheat Associates (2013) para HRS, y de la empleada en esta investigación.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 30. Procedencia de muestras reportadas por U.S Wheat Associates (2013) para HRW, y de la empleada en esta investigación.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 31. Contenido de proteína determinado por método convencional y equipo NIR, para tipo de grano basado en la prueba de Duncan (Anexo 3).</i>	<i>61</i>
<i>Figura 32. Humedades HE50 y NIR. Basados en la prueba de Duncan (Anexo 3).</i>	<i>63</i>
<i>Figura 33. Fracciones obtenidas de la primera sección de molienda. a) harina fina, b) harina gruesa, c) salvado.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 34. Harina obtenida de GV, MC, y PB.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 35. Relación de las variables % humedad y peso de 1000 granos, con la harina total obtenida y rendimiento, para los dos tipos de trigo.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 36. Vista transversal microscópica de grano: a) panza blanca (PB) y b) vítreo (GV).</i>	<i>68</i>
<i>Figura 37. Diagrama de cromaticidad CIEL* a* b* </i>	<i>70</i>
<i>Figura 38. Promedio el contenido proteico en tipo de trigo y harina. Determinada por método rápido (NIR) y convencional. % P. T (porcentaje de proteína en trigo), % P. H (porcentaje de proteína en harina), C (método convencional), </i>	<i>73</i>
<i>Figura 39. Promedio del contenido proteico en tipo de grano y harina. Determinada por método rápido (NIR) y convencional. % P. T (porcentaje de proteína en trigo), % P. H (porcentaje de proteína en harina), C (método convencional), </i>	<i>76</i>
<i>Figura 40. Comparativo de análisis fisicoquímicos por método convencional y empleo de equipos de infrarrojo cercano NIR, para harina obtenida por tipo de trigo.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 41. Comparativo de color en L* por método convencional y NIR 9500.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 42. Comparativo de análisis fisicoquímicos por método convencional y empleo de equipos de infrarrojo cercano NIR, para harina obtenida por tipo de grano.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 43. Comparativo de color en L*, para harina obtenida por tipo de grano.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 44. Relación de la fuerza con el contenido proteico en el tipo de trigo (HRS y HRW). En base a la prueba de Duncan.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 45. Alveograma de harina obtenida de grano vítreo.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 46. Alveograma de harina obtenida de grano con panza blanca.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 47. Relación de la fuerza con el contenido proteico en el tipo de grano. En base a la prueba de Duncan.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 48. Farinograma de harina obtenida de grano vítreo.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 49. Farinograma de harina obtenida de grano panza blanca.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 50. Relación de absorción al 14% y estabilidad en el estudio farinográfico.</i>	<i>92</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Cosechas de trigo en diversos países y épocas del año. Robles Sánchez, 1990.</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2. Clasificación de acuerdo al número de cromosomas.</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 3. Composición aproximada del trigo.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4. Composición química de la harina de trigo y del grano del que procede.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 5. Composición de la harina con grado de extracción del 76%.</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 6. Calidad panadera de acuerdo a valores de sedimentación. Guerrero A., 1999.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 7. Relación de reactivos.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 8. Material.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 9. Equipo.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 10. Kilogramos de trigo empleado.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 11. Porcentaje de fracciones en trigo HRS.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 12. Porcentaje de fracciones en trigo HRW.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 13. Prueba de medias de Duncan para el tipo de trigo (parámetros de calidad del trigo).</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 14. Prueba de Duncan para los dos tipos de trigo. Mostrándose sombreados los cuadros estadísticamente iguales. (Proceso de molienda).</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 15. Prueba de Duncan para harina de trigo obtenida por tipo de trigo. Los recuadros sombreados indican las medias que son estadísticamente iguales. (Fisicoquímicos, métodos convencionales).</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 16. Reporte de U.S Wheat Associates 2013 para aspectos fisicoquímicos de harina obtenida de trigos HRS y HRW.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 17. Concentrado del análisis de varianza para el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 18. Prueba de Duncan para harina obtenida por tipo de trigo. En los cuadros sombreados se muestran las medias estadísticamente iguales. (Fisicoquímicos, métodos rápidos).</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 19. Prueba de Duncan para tipo de trigo (Alveograma).</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 20. Prueba de Duncan para tipo de trigo.(Farinograma).</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 21. Investigaciones farinográficas sobre absorción al 14% y estabilidad de harinas.</i>	<i>91</i>

Correo electronico; Abigail Mendoza Moreno, abigaimoreno@gmail.com

RESUMEN

Uno de los parámetros de calidad evaluados en trigo es el defecto fisiológico conocido como panza blanca, causado por mala calendarización de los fertirriegos y/o mala nitrogenación del suelo, que genera en el grano de trigo una coloración blanquecina-opaca a la vista. Debido a que este defecto es causado por deficiencia del aporte de nitrógeno, la concentración de proteínas en este tipo de grano es menor y esto causa que en la harina obtenida, las características reológicas sean afectadas y determinen así su uso, cuando la proporción de grano con panza blanca es elevada en el trigo.

Debido a lo anterior, en el presente trabajo se analizó la calidad del trigo de invierno (HRW) y primavera (HRS) en su forma compuesta (MC), además de dos fracciones correspondientes a grano con el defecto fisiológico (PB) y grano vítreo (GV); para posteriormente obtener de ellos harina y realizar a ésta, análisis fisicoquímicos por métodos convencionales y el empleo de equipos NIR modelos 8600 y 9500 y reológicos, con la finalidad de observar el impacto de la presencia de este defecto fisiológico.

De acuerdo a los resultados se obtuvo que el trigo de primavera (HRS) posee mayor cantidad de grano vítreo y en consecuencia mayor contenido proteico que el trigo de invierno (HRW). Durante la conversión de trigo a harina por el proceso de molienda de trigo se presenta una merma proteica de 1.59% (NIR) y 0.74% (convencional).

La harina obtenida de grano vítreo presenta mejores características fisicoquímicas y reológicas, que la hacen ser apta para panificación mecanizada y MC para panificación semi-mecanizada; en cambio la harina obtenida de grano de trigo con panza blanca presenta un menor contenido proteico afectando directamente las variables de sedimentación (16.79 ml), gluten húmedo (28.9%), fuerza (214.5×10^4 J), relación P/L (0.69), absorción al 14% (53.58%) y estabilidad (4.23 min), características que le proporcionan cualidades aptas para panificación semi-mecanizada y elaboración de tortillas de harina.

Palabras Clave: Trigo, panza blanca, harina, reología, fisicoquímicos.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El trigo es la planta más ampliamente cultivada del mundo. Los dos principales trigos comerciales son el trigo harinero y el trigo duro. El trigo harinero (*Triticum aestivum*) cubre cerca del 90% del área sembrada con trigo en todo el mundo y produce cerca del 94% de la cosecha total mundial de trigo. El trigo duro (*Triticum durum*) o macarronero cubre cerca del 9% del área triguera mundial, pero aporta solamente cerca del 5% de la producción mundial de trigo (Guerrero García A., 1999).

Cada mes del año una cosecha de trigo madura en algún lugar del mundo. Es la cosecha más importante de los Estados Unidos y el Canadá y crece en extensas zonas en casi todos los países de América Latina, Europa y Asia (Kent-Jones D. W, 1956).

La calidad de los trigos tanto duro (*Triticum durum*) como harinero (*Triticum aestivum*), se ha visto afectada en varios países debido a la presencia de un defecto fisiológico denominado "Panza Blanca". Dicho defecto causa que en el grano de trigo se presente una reducción en la cantidad de proteína disminuyendo con esto algunas características, dentro de las que se incluyen las físicas y químicas.

Esta enfermedad fisiológica se manifiesta en el grano de trigo por una condición almidonosa y ésta puede ser parcial o totalmente en su endospermo, siendo fácilmente de identificar en el grano de trigo a la vista, ya que presenta una coloración que varía de blanco a blanco amarillento. La apariencia de estos granos se da por la reflexión de la luz provocada por el aire ubicado en pequeñas fisuras o grietas microscópicas en el interior del endospermo (Arriaga H. O., Chidichimo H. O., Sempe M.E., 1980) .Al ser observados en un microscopio los granos sin

panza blanca (vitreos) se observan sin espacios entre los gránulos de almidón ya que están ocupados por una matriz de proteína, caso contrario al observar granos con este defecto fisiológico, éstos presentan gránulos de almidón parcialmente sueltos y espaciosos entre ellos.

Algunos científicos definen a este defecto como una alteración de granos afectando la calidad del trigo y de su harina, afectando con esto los productos finales que se obtienen por ejemplo, la pasta obtenida de trigo durum; otros científicos lo consideran como un problema serio que afecta trigo panadero, durum y triticale, que se manifiesta por diferentes factores como lo es la fertilización nitrogenada, nitrogenación del propio suelo, calendarización de siembra y niveles de riegos.

En el trigo el nitrógeno es el nutriente que condiciona la obtención de altos contenidos de gluten y proteínas. Los trigos que presentan déficit de nitrógeno demuestran mayores porcentajes de panza blanca. La incidencia de este nutriente causa impacto afectando principalmente la calidad del grano y el rendimiento, ya que mientras más grande es el grano, mayor son las reservas de éste.

En el trigo harinero (*Triticuma estivum*), uno de los principales criterios para apreciar su calidad, es su redimiendo industrial. La transformación industrial del trigo es variada, iniciándose con la molienda, y diversificándose en una amplia gama de procesos que van desde la panificación, galletería hasta la producción de pastas alimenticias. La versatilidad de usos y aprovechamientos del trigo, está asociado con la existencia de distintos grupos de este cultivo, que la industria requiere para un proceso específico, y así, optimizar la producción. Los trigos duros (*T. durum*), son aptos para la producción de pastas y macarrones; y los trigos panaderos (*T. aestivum*), son los ideales para la panificación y producción de galletas. (Contreras Castro C.R., 1986).

La composición química de la harina de trigo determina la calidad de la misma, así como su comportamiento reológico. Es por ésto que las pruebas más importantes para la determinación de funcionalidad de las harinas de trigo son las

denominadas precisamente “reológicas”, que tienen como objetivo estudiar las propiedades físicas del gluten hidratado, formado después del amasado.

La cantidad y composición de proteínas del gluten son responsables del potencial de panificación de una harina, ya que confieren a la masa una funcionalidad única que la diferencia del resto de las harinas de otros cereales, la masa de harina de trigo se comporta desde el punto de vista reológico como un fluido visco elástico, esta propiedad hace que la masa sea elástica y extensible. Este potencial puede variar de acuerdo a la variedad del trigo.

Las pruebas reológicas en trigo panificable son muy empleadas en la industria, ya que con la información obtenida se clasifica a las harinas en dos grupos: para panificación y para elaboración de galletas.

1.1 JUSTIFICACION

Es bien sabido en el medio agrícola que el trigo es uno de los principales cultivos en México y en el mundo, ésto en función a la gran cantidad de alimentos que se derivan de la molienda de este grano. En México la mayor cantidad de trigo es consumida como harina, de ahí radica la importancia de conocer su composición y comportamiento. Sin embargo, nuestro país requiere concurrir al extranjero para importar trigo panificable, ya que la producción nacional no es suficiente para cubrir la demanda.

Las características físicas del grano y su composición determinan la calidad de las harinas. La principal característica que contribuye a la calidad panadera de la harina del trigo es la calidad y cantidad de la proteína; siendo estos factores diferentes entre las variedades. La cantidad de la proteína se ve en gran parte afectada por las condiciones medioambientales y manejos del propio cultivo, tal es el caso del defecto fisiológico denominado panza blanca, donde una alta incidencia muestra que hay bajo contenido proteico en el grano. El precio que alcance un lote de trigo, dependerá de sus parámetros de calidad, donde la

presencia de panza blanca es motivo de disminución en precio para la compra. De esta manera la industria harinera en nuestro país requiere tener un panorama general de, en qué proporción afecta esta incidencia a las propiedades físicas, químicas y por supuesto reológicas de la harina que obtendrán con presencia de este defecto.

Evaluando el comportamiento de harinas con el 100% de grano con panza blanca, 100% grano vítreo y la mezcla sin hacer separación de las dos fracciones antes mencionadas, se proporcionará información más precisa del grado de afectación de la alta o baja presencia de este defecto en los trigos empleados en la industria. Hecho que sustenta este trabajo de investigación.

1.2 HIPOTESIS

La presencia del defecto fisiológico denominado “Panza Blanca” en trigo harinero (*Triticum aestivum*), afecta directamente las características físicas, químicas y reológicas de la harina obtenida.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento reológico mediante pruebas alveográficas y farinográficas en harina obtenida de dos tipos de trigo harinero (Hard Red Winter y Hard Red Spring) así como el comportamiento individual de grano con panza blanca y grano vítreo.

1.3.2 **Objetivos específicos**

- Analizar parámetros de calidad en los tipos de granos (MC, GV, PB) empleados a partir de HRW y HRS.
- Determinar rendimientos de molienda empleando molino experimental.
- Evaluar fisicoquímicamente el comportamiento de harina obtenida de los tipos de grano (MC, GV, PB).
- Comparar métodos convencionales y métodos rápidos de análisis fisicoquímicos.
- Evaluar mediante pruebas reológicas (alveograma y farinograma) las harinas obtenidas de los tres tipos de granos.
- Estudiar la correlación de los parámetros fisicoquímicos con los reológicos.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 TRIGO

2.1.1 Generalidades

Debido a su amplio rango de adaptación, el trigo se cultiva en muy diversas partes a nivel mundial. El consumo de trigo es elevado por lo que se encuentra ubicado dentro de los cuatro cereales de mayor producción en el mundo (trigo, arroz, maíz y cebada). A pesar de ser un cultivo tolerante, en cuanto a clima se refiere, su producción suele centrarse en áreas de países con clima templado y frío (Robles Sánchez, 1990).

La cosecha de trigo se realiza en diversos países y en diferentes épocas del año como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Cosechas de trigo en diversos países y épocas del año. Robles Sánchez, 1990.

MES DE COSECHA	PAISES
Enero	Argentina, Chile, Australia y Nueva Zelanda.
Febrero	India y Japón.
Marzo	Alto Egipto, Arabia y sur de la India.
Abril	México, Antillas, Persia, Egipto, Asia menor y Siria.
Mayo	Estados Unidos, China, Marruecos, Argelia, sur de España.
Junio	Italia, Grecia, Turquía, Centro de Estados Unidos.
Julio	Sur de Francia, Alemania, Australia, Hungría, sur de Rusia, Canadá y noreste de Estados Unidos.
Agosto	Inglaterra, Bélgica, norte de Alemania y Rusia Central.
Septiembre	Norte de Canadá, Japón, Noruega, Suecia y Escocia.
Octubre	Finlandia y Rusia.
Noviembre	Bolivia, Perú, Ecuador, África y sur de Argentina.
Diciembre	Argentina y Australia.

2.1.2 Estructura del grano

El grano de trigo se compone de 3 partes que se utilizan en la producción de harinas: el salvado, el endospermo y el germen (**Figura 1**).

El grano de trigo tiene la siguiente composición promedio en porcentajes: endospermo 85, salvado o cascarilla 12.5 y germen 2.5 (Kirk R.S et al. 2008).

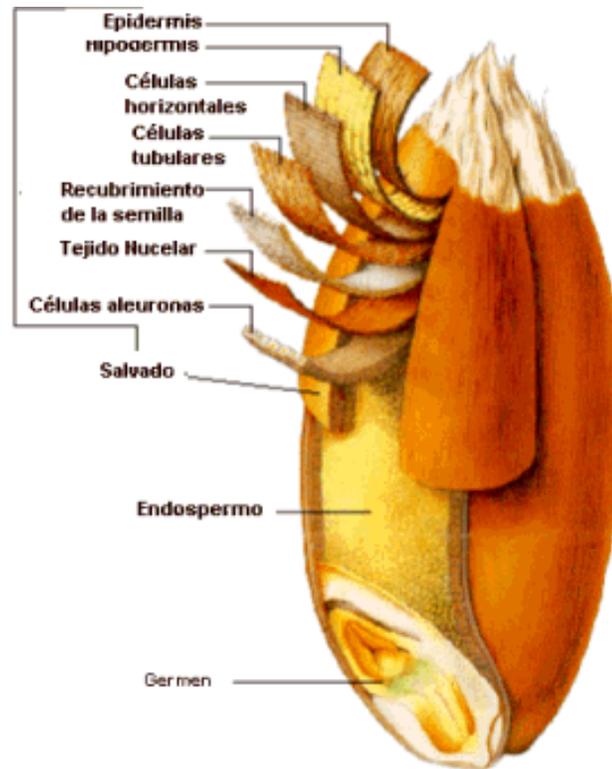


Figura 1. Estructura del grano de trigo.

Fuente: http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/311601/311601_mp.htm

2.1.2.1 El salvado (envueltas o tegumento)

Es la cáscara exterior que consta de varias capas que son:

- ⊃ Pericarpio o tegumento del fruto, proveniente de células de los tejidos del ovario de la planta madre y compuesto de: epicarpio, mesocarpio y endocarpio.

- ⋮ Tegumento seminal o testa.
- ⋮ Tegumento micelar o banda hialina.

Contiene fibra, importantes antioxidantes, hierro, zinc, cobre, magnesio, vitaminas B y fitonutrientes (López Bedillo, 1991).

2.1.2.2 El germen (embrión)

Está situado en la parte inferior de la cara dorsal del grano, en el que se esbozan los principales órganos de la futura planta. Contiene vitaminas B, vitamina E, antioxidantes, fitonutrientes y grasas no saturadas (López Bedillo, 1991).

2.1.2.3 El endospermo o albumen

Su primera capa se denomina aleurona o base proteína, debido a su riqueza en reservas nitrogenadas, bajo la forma de corpúsculos de aleurona. El resto es albumen farináceo compuesto de almidón y también reservas proteicas (López Bedillo, 1991).

Contiene el suministro alimenticio del germen, que, en el caso de que el grano continuara creciendo, proporcionaría la energía esencial para la nueva planta. Como parte mayor del grano, el endospermo tiene los carbohidratos amiláceos, las proteínas y pequeñas cantidades de vitaminas y minerales. (Pensar para comer, 2012).

2.1.3 Origen geográfico y citogénico del trigo

Robles Sánchez (1990), menciona que investigaciones realizadas por Mangelsdorf, sugieren que el origen tuvo lugar en la región que incluye el

Cáucaso-Turquía-Irak. Sears (1965), menciona que de las excavaciones hechas en el cercano oriente por Helback (1964, 1965), se puede deducir que hubo dos clases de trigo silvestre en esa región hace aproximadamente 10,000 años, las cuales fueron cosechadas primero en forma silvestre y, posteriormente, cultivadas por las tribus nómadas de la región.

El origen citogénico muestra una clara evolución del trigo desde sus primeras formas del tipo *Triticum monococcum* y *Triticum dicoccum*; estos trigos tenían espigas muy frágiles, que al madurar caían al suelo y los granos se dispersaban. Siglos después, por medio de la mutación, se produjo el tránsito de la variedad silvestre a la forma cultivada, no-fragante y desnuda, que se difundió de oriente hacia todas direcciones (Callejo González, 2002).

Guerrero García A. (1999), menciona que M. Clement-Grandcourt y Jacques Prats, indican que las especies del género *Triticum* se clasifican, según su número de cromosomas, en diploides, tetraploides y hexaploides (**Tabla 2**).

Tabla 2. Clasificación de acuerdo al número de cromosomas.

NUMERO DE CROMOSOMAS	TRIGOS
2n= 14 cromosomas (diploides)	<i>Triticum monococcum</i> o escaño menor
2n=28 cromosomas (tetraploides)	<i>Triticum diccocooides</i> o escaña almidonera salvaje <i>Triticum diccocom</i> o escaña almidonera <i>Triticum turgidium</i> o trigo redondillo <i>Triticum polonicum</i> o trigo de Polonia <i>Triticum durum</i> o trigo duro
2n=42 cromosomas (hexaploides)	<i>Triticum spelta</i> o escaña mayor <i>Triticum aestivum</i> o trigo blando <i>Triticum compactum</i> o trigo erizado

2.1.4 Propiedades físicas del grano relacionadas con la calidad

Todos los sistemas de clasificación de granos se basan en pruebas rápidas de ejecución sencilla. A excepción de la humedad, la gran mayoría de las pruebas son de carácter físico o visual (Serna Saldívar, 2001).

2.1.4.1 Humedad

La determinación de humedad del grano de trigo es sin duda una prueba requerida y por lo tanto es un criterio de los más comunes para la determinación del grado de calidad de los cereales. La prueba indica la cantidad de materia seca que el comprador está adquiriendo, y además dicta las pautas para el manejo durante el almacenamiento. El contenido de humedad crítico es del 14%, humedad superior a este valor implica mayor costo y manejo, debido a que se tendrá que someter a un proceso de secado; además de ser penalizados. Sin embargo CODEX STAN 199-1995 indica que es admitido un contenido de humedad del 14.5%, pudiéndose establecer por la industria un valor cercano de acuerdo a los fines y objetivos. Las pruebas más usuales se realizan con probadores electrónicos que miden la capacidad que tiene el material para conducir la electricidad o bien mediante el uso de aparatos de infrarrojo cercano (Serna Saldívar, 2001).

2.1.4.2 Peso hectolítrico

Es el criterio más utilizado para la determinación de grado y calidad. Es una medida de densidad de la muestra y es un posible indicador del rendimiento de la molienda y las condiciones generales de la muestra, ya que en esta prueba se reflejan también problemas que surgen durante el período de crecimiento o cosecha, reduciendo su peso (USWA, 2013). Generalmente el valor se expresa en lb/bu (2150.42 pulgadas) o kg/hl (100 litros) (Serna Saldívar, 2001; Wilson H., Godiño M., 2000).

Los valores de peso presentados para trigo oscilan entre 73 y 84 kg/hl, aunque generalmente se encuentran entre 78 y 80kg/hl (Guerrero A., 1999).

2.1.4.3 Material extraño

Se define como el material presente ajeno al trigo, que se puede extraer de manera fácil empleando el probador Carter Dockage Tester. Este tipo de material no debe de afectar la calidad de la molienda, debido a que se puede extraer fácilmente; pero si puede producir otros efectos económicos a los compradores (USWA, 2012).

2.1.4.4 Granos dañados

Se consideran granos dañados a los que presentan apariencia visual no sana (Serna Saldívar, 2001). Estados Unidos los define como todos aquellos granos de trigo y otros cereales dañados por el calor, con patologías causadas por insectos, con germen dañado, grano germinado, grano con hongos o afectado por el medio ambiente, grano dañado por heladas y chupado (Lizarro L. J., 1970). Algunos de los daños mencionados se pueden observar en la **Figura 2**.

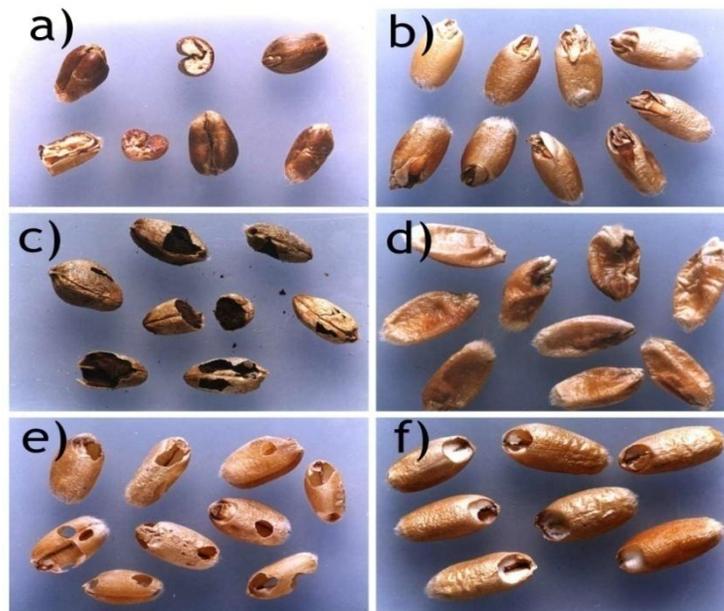


Figura 2. Granos de trigo dañados. a) daño por calor, b) grano germinado, c) daño por hongo, d) grano helado, e) daño por insecto, f) germen dañado.

Fuente: <http://www.bcr.com.ar/pages/laboratorios/verCatalogo.aspx?Grano=Trigo>

2.1.4.5 Peso de 1000 granos

Esta determinación es un indicador del tamaño del grano de trigo y nos da un panorama del rendimiento que se puede esperar en la molienda (Serna Saldívar, 2001). Son preferibles los granos grandes densos ya que éstos contendrán mayor proporción de endospermo. Al igual que el peso hectolítrico no es un índice 100% confiable (Wilson H., Godiño M., 2000)

2.1.5 Clasificaciones del trigo

Alrededor del mundo son varios los tipos de trigo que se cultivan; de acuerdo a su hábito de crecimiento, éstos se pueden clasificar en trigos invernales, primaverales e intermedios o facultativos. El trigo panificable o harinero (*Triticuma estivum*) también se puede clasificar en base a su coloración, en este caso la clasificación será por color, rojo o blanco, y en el caso del trigo duro (*Triticum durum*), ámbar (De la Cruz Quispe W. H., 2009).

En el trigo su color está determinado por una capa de pigmentos que se encuentra ubicada entre el endospermo y las capas externas del grano (pericarpio); los trigos blancos carecen de esta pigmentación. El color es importante en los productos que se elaboran como harina integral y cereal para desayuno (Mohan K. M., Martino D.L., 1997).

En cuestión de la comercialización, la clasificación está dada por características que afectan su uso en la manufactura de los alimentos procesados. De esta manera el trigo hexaploide (*Triticum aestivum*), o harinero es clasificado por la dureza del grano en: duro, semi-duro y suave. Siendo los dos primeros empleados principalmente en la panificación, mientras que los últimos son empleados para la elaboración de galletas y repostería. El trigo tetraploide (*Triticum durum*), posee un endospermo muy duro de apariencia cristalina, adecuado para producción de pastas alimenticias (INIA, 1997).

En el sistema de Estados Unidos, al trigo se le asigna un grado y una clase. El primero para dar una idea al comprador de la calidad y condición del grano, y en la segunda el uso para la industria molinera y terminal. (Serna Saldívar, 2001).

De esta manera de acuerdo a la USDA & FGIS (2000), existen 8 clases de trigo: duro, rojo de primavera, duro rojo de invierno, suave rojo de invierno, duro blanco, suave blanco, sin clase y mixto.

El trigo mixto es la clase con que se designa a los cargamentos que contienen menos del 90% de una clase de trigo y más del 10% de una o varias clases de trigo.

El trigo sin clase es cualquier variedad que no pueda ser identificada bajo ningún criterio de los estándares oficiales de USDA & FGIS (2000).

2.1.5.1 Trigo Hard red Winter o HRW (duro rojo de invierno)

El trigo duro rojo de invierno en Estado Unidos, es cultivado en Texas, Oklahoma, Kansas, Colorado y California. Es un trigo importante empleado en panificación, el 40% de la producción de Estados Unidos es de este tipo y representa casi el 40% de las exportaciones. Este tipo de trigo es empleado para la fabricación de pan con levadura de alta calidad (CANIMOLT, 2014).

Cuenta con un contenido proteico de medio a alto (10.0-14.0%), tiene un endospermo medio duro, salvado rojo y gluten medio (USDA & FGIS, 2000).

2.1.5.2 Trigo Hard Red Spring o HRS (duro rojo de primavera)

El trigo duro rojo de primavera en Estado Unidos, es cultivado en los estados de Dakota del Norte, Dakota del Sur, Minnesota y Montana. Es un trigo importante en panificación, que posee el más alto contenido proteico, que usualmente se

encuentra entre 13-14%, en adición a sus buenas características molineras y panificadoras. Es empleado para fabricación de pan de molde,(CANIMOLT, 2014).

Cuenta con un endospermo duro, salvado rojo, gluten fuerte y gran absorción de agua (USDA & FGIS, 2000).

2.1.5.3 Trigo Hard White o HW (duro blanco)

Es una clase nueva de trigo en Estados Unidos, se produce en California, Colorado, Idaho, Kansas, Montana y Nebraska, y cuando se encuentra disponible para la exportación se hace vía Pacífico y el Golfo. Tiene un endospermo duro, salvado blanco y un nivel de proteína medio alto (10.0-14.0%). Es empleado para el pan con levadura, los panecillos, los fideos y para aplicaciones de harina de alta extracción (USDA & FGIS, 2000; CANIMOLT, 2014).

2.1.5.4 Trigo Soft White o SW (suave blanco)

Crece principalmente en el Pacífico Noreste de los Estados Unidos y se transporta por el Pacífico. Este trigo tiene un nivel de proteína bajo (8.5-10.5%), baja humedad, y tiene excelentes resultados en la molienda. Es empleado para la elaboración de pan sin levadura, bizcochos, pasteles, galletas y fideos (USDA & FGIS, 2000).

2.1.5.5 Trigo Soft Red Winter o SRW (suave rojo de invierno)

Este tipo de trigo crece principalmente en un tercio de la región Este de los Estados Unidos y es transportado por el Golfo, Atlántico y Grandes Lagos. Es empleado para la elaboración de pan sin levadura, bizcochos, pasteles y galletas; de él se obtiene un gran rendimiento, a pesar de su bajo contenido proteico (8.5-

10.5%), posee un endospermo suave, salvado rojo y gluten débil (USDA & FGIS, 2000).

2.1.5.6 Trigo Durum o DU (durum)

Este tipo de trigo se desarrolla principalmente en la región Norte Central y en el desierto Sur-Oeste de los Estados Unidos y es transportado por el Golfo, Grandes Lagos y Pacífico. Este tipo de trigo es el más duro de todos y posee un alto contenido de proteína (12.0-15.0%), con un endospermo amarillo y salvado blanco. Es empleado para hacer macarrones y tallarines (USDA & FGIS, 2000).

2.1.6 Composición química del trigo

Considerando la existencia de un gran número de variedades de trigo, resulta sorprendente que la composición varíe tan poco. Kent-Jones D. W (1956) deduce de acuerdo a recopilación de investigaciones, los límites aproximados de la composición del trigo (**Tabla 3**).

Tabla 3. Composición aproximada del trigo

Componente	%
Humedad	8 a 17
Almidón	63 a 71
Proteína	8 a 15
Celulosa (fibra)	2 a 2,5
Grasa	1,5 a 2
Azúcares	2 a 3
Material Mineral (Cenizas)	1,5 a 2

2.2 MOLIENDA DE TRIGO

Serna Saldívar (2001), menciona que la mayor parte de los trigos son morturados a través de un sistema de rodillos y tamizado. La industria tiene como objetivo obtener la mayor extracción de harina en trigos panaderos y suaves o semolina cuando se trata de trigo durum. De esta industria se obtienen como subproductos el salvado y salvadillo.

El proceso inicia con la limpieza del grano retirando todo material diferente al trigo, empleando mesas cribadoras, mesas de gravedad, separadores de discos y magnetos. El grano limpio es acondicionado antes de pasar a la molienda. El acondicionamiento del trigo tiene como objetivo facilitar la separación del pericarpio del endospermo, suavizar este último para lograr que la reducción de partícula sea más efectiva y también para lograr un mejor comportamiento de las fracciones durante el tamizado. El grano se acondiciona agregando agua con aspersores o tornillos transportadores. Enseguida el grano humedecido es transportado a silos de acondicionamiento donde reposa por un período de tiempo, en el cual el grano absorberá el agua concentrada en la parte exterior. Una vez acondicionado se conduce a una máquina abrasiva que cuenta con un sistema de aspiración por aire, cuyo fin es eliminar impurezas localizadas en el pericarpio y quebrar los granos vacíos o contaminados por insectos (Serna Salívar, 2001).

2.2.1 Molienda de trigos panaderos y suaves

La molienda de trigo se realiza con dos tipos de molino de rodillos: **a)** molinos de quiebra, **b)** molino de reducción de partícula (**Figura 3**), realizándose la separación y clasificación de las partículas por medio de tamizadores y purificadores (**Figura 4**). El objetivo de la molienda es quebrar el grano para obtener el salvado sin residuos de endospermo, para posteriormente los restos de

endospermo ser reducidos hasta obtener una harina que cumpla con las características deseadas de color, cenizas y proteínas (Serna Saldívar, 2001).

Los molinos de quiebra constan de rodillos metálicos corrugados, mientras que los rodillos de reducción son lisos.

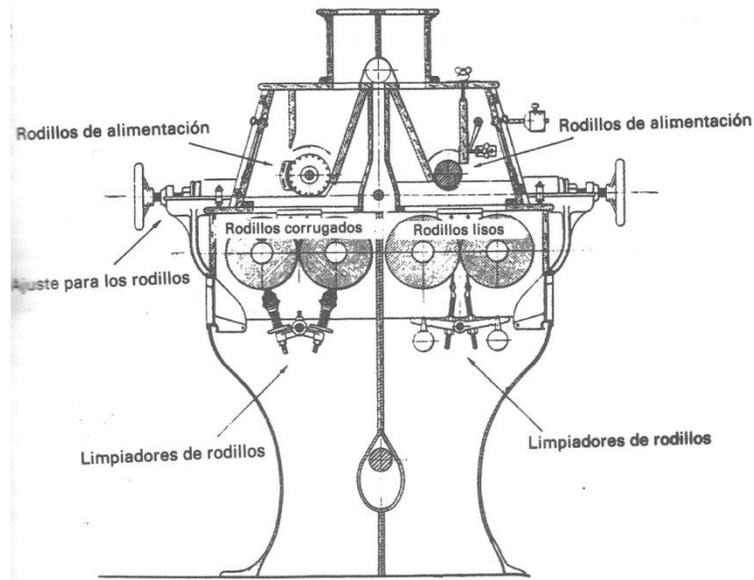


Figura 3. Molino de rodillos: diagrama ilustrativo. Publicado por Serna Saldívar 2001, con autorización de la American Association of Cereal Chemists.

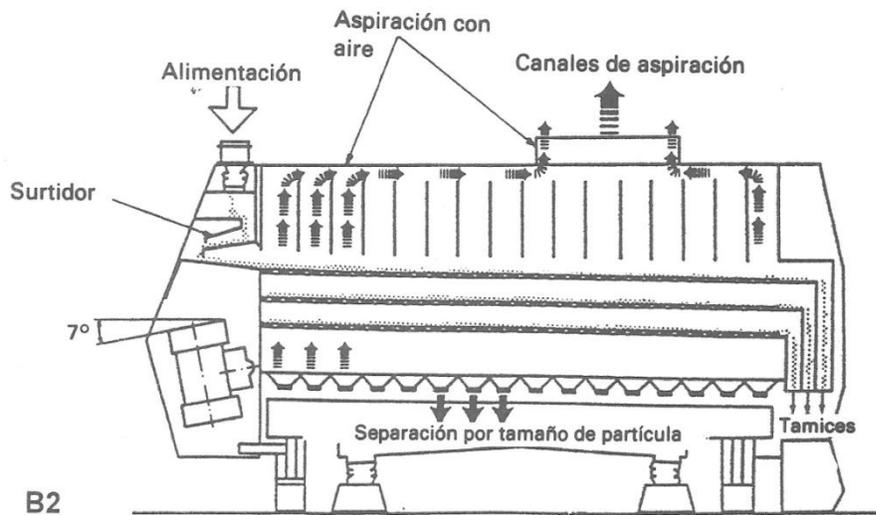


Figura 4. Purificador. B2: diagrama ilustrativo. Publicado por Serna Saldívar 2001, con autorización de la American Association of Cereal Chemists.

Dentro de los molinos empleados a nivel laboratorio se encuentra el molino Chopin CD1, el cual como el molino industrial, está compuesto por dos vías independientes: trituration y compresión (CONCEREAL, 2014). Las vías se pueden apreciar en la **Figura 5**.

Trituración

- Compuesto por 3 cilindros estriados fijos que aseguran 2 pasadas sucesivas entre los rodillos, girando a velocidades diferenciales.
- Tamizado de la molienda por cernedor centrífugo con tamiz fijo de doble abertura.

Compresión

- Compuesto por dos cilindros lisos a presión ajustable que aseguran 1 pasada.
- Se hacen 1 ó 2 pasadas entre los 2 rodillos lisos girando a velocidad diferencial y a presión controlada.
- Tamizado por cernedor centrífugo de tamiz fijo con abertura simple.

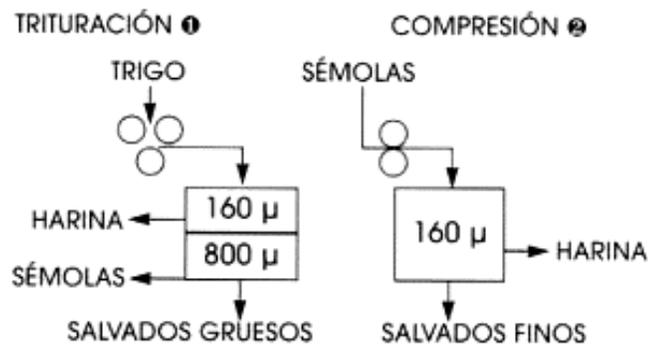


Figura 5. Esquema de funcionamiento de molino experimental Chopin CD1.

Fuente: <http://www.chopin.fr/media/produits/pdf/cd1-molino.pdf>

2.2.2 Molienda de trigos duros o cristalinos

Con diferencia al trigo anterior, la molienda de trigos durum tiene como fin la obtención de semolinas. El tamaño de partícula es intermedio y de coloración amarilla, siendo considerada la partícula del tamaño de harina un defecto durante el proceso. El proceso de molienda es muy similar al de harina presentando variaciones solo en calibración para producir el mínimo de harina y así obtener mayores rendimientos de semolina. Además los sistemas de tamizado son diseñados para clasificar a la semolina y separar a la harina considerada como contaminante y como una fracción que interfiere en el proceso de tamizado (Serna Saldívar, 2001).

2.3 HARINA

Por harina de trigo se entiende el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa la parte del salvado y el germen, el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura (CODEX Alimentarius, 1995).

2.3.1 Composición química de la harina

Después del proceso de molienda se presenta una merma en la composición del grano con respecto a la harina, donde se observa una notable disminución en el contenido de los compuestos, siendo el de mayor impacto el contenido proteico.

Mateo Box J.M., (2005) menciona la composición química de la harina, así como la del grano de trigo del que procede, como se indica en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Composición química de la harina de trigo y del grano del que procede.

Parámetro	Composición química en %	
	Grano	Harina
Humedad	8 – 17	13 – 15,5
Almidón	63 – 71	65 – 70
Proteína	8 – 15	8 – 13
Fibra (celulosa)	2 – 2,5	Indicios – 0,2
Grasas	1,5 – 2	0,8 – 1,5
Azúcares	2 – 3	1,5 – 2
Minerales	1,5 – 2	0,3 – 0,5

Sin embargo Sánchez Pineda, (2003), indica que la composición de la harina se ve altamente influenciada por el grado de extracción durante el proceso de molienda. Con este antecedente, reporta otra composición de la harina de trigo considerando una tasa de extracción del 76% como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Composición de la harina con grado de extracción del 76%.

Componente	Porcentaje
Almidón	60 a 72
Humedad	14 a 16
Proteínas	8 a 14
Otros compuestos nitrogenados	1 a 2
Azúcares	1 a 2
Grasas	1,2 a 1,4
Minerales	0,4 a 0,6
Celulosa, vitaminas, enzimas y ácidos.	-

2.3.2 Calidad de la harina

Existe una gran serie de pruebas de laboratorio que permiten establecer las características de calidad de una harina y definir así, su aptitud para panificación. Enseguida se hace mención de algunas de ellas.

2.3.2.1 Humedad

El contenido de humedad es una característica importante particularmente durante el almacenamiento de la harina ya que si el contenido es elevado se presentan condiciones que favorecen el desarrollo de patógenos e insectos, así como el calentamiento de la harina.

Existen varios métodos para la determinación de humedad, éstos pueden ser de los que demoran más tiempo del realmente deseado, por tal motivo se han desarrollado y diseñado instrumentos de buena precisión que reducen significativamente el tiempo de análisis.

Dentro de los métodos que reducen los tiempos se encuentra el uso de termobalanza, la cual se basa en la evaporación del agua presente con un registro continuo de pérdida en el peso, hasta que la muestra se sitúe a peso constante; otro método es el empleo del analizador de infrarrojo cercano cuyo fundamento consiste en la emisión de un haz de luz monocromática sobre la muestra, la cual, en función a sus componentes, realiza una absorción selectiva de energía y reflejará otra determinada cantidad, la cual es cuantificada por detectores presentes en el equipo y es utilizada para determinar indirectamente la cantidad de energía absorbida.(Berzaghi P., 2012).

2.3.2.2 Cenizas

El porcentaje de cenizas en harina es bajo, sin embargo influye extraordinariamente en la calidad y comportamiento de la misma. La materia mineral (ceniza) se encuentra en el residuo que queda cuando se incinera la harina y la materia orgánica se quema (Ferrerías C., 2009).

De acuerdo a la USWA 2012, se define como el porcentaje del peso proveniente de minerales en el trigo o harina. En el grano de trigo, se encuentra localizada en el salvado. En la harina, el contenido de ceniza revela indirectamente la cantidad

de contaminación de harina con salvado, motivo por el cual se tiene una relación directa con el grado de extracción durante el proceso de molienda.

De manera general, si se aumenta el grado de extracción se observarán en la harina los siguientes cambios (Ferrerías C, 2009):

- El color tiende a oscurecerse.
- Crece la carga microbiana de las harinas.
- Aumenta el contenido de fibra, cenizas, grasas y proteínas.
- Disminuye el período de conservación de la harina.

2.3.2.3 Granulometría

El tamaño de partícula de la harina, puede apreciarse a la vista o mediante tamizado de la muestra. Este parámetro proporciona a la industria molinera información sobre el funcionamiento estable del proceso de molienda.

2.3.2.4 Color

La determinación del color en las harinas y otros productos de molienda es importante ya que se relaciona con la calidad de los productos terminados, eficiencia del proceso de molienda, grado de extracción y como medida del control de calidad para harinas blanqueadas (Serna Saldívar, 2001).

Por lo general la determinación de color se lleva a cabo mediante el uso de colorímetros, los cuales se basan en la teoría de los colores opuestos que establece que un color no puede ser verde y rojo a la vez. Como resultado se pueden usar colores sencillos para describir los atributos: rojo/verde y amarillo/azul. Cuando un color se expresa en CIE $L^* a^* b^*$, la L^* define la claridad, a^* denota la saturación rojo/verde y b^* la saturación amarillo/azul. (X-Rite. 2002).

De acuerdo a lo antes mencionado, en cuanto a la harina de trigo se refiere el valor en la escala CIE $L^* a^* b^*$ que nos es de mayor interés es la escala L^* . El color de la harina se ve afectado por el tamaño de partícula del endospermo del trigo, así como por el contenido de ceniza que afecta el color del producto terminado. (USWA, 2012).

2.3.2.5 Proteínas

Son compuestos orgánicos cuaternarios de alto peso molecular constituidos por cadenas de aminoácidos con radicales que poseen grupos amínicos, $-NH_2$, y grupos carboxílicos, $-COOH$.

Son elementos esenciales de todas las células vivas y se han encontrado por métodos fisicoquímicos cinco fracciones proteicas en el caso del trigo.

- Albúmina
- Globulina
- Proteasa
- Prolamina (gliadina)
- Glutelina (glutenina)

Desde el punto de vista de panificación y repostería las tres primeras no son de gran relevancia ya que se presentan en pequeñas cantidades (Vadillo V. J, 2014).

Siendo un componente muy importante ya que su calidad y cantidad está directamente relacionada con la calidad panadera que tendrá la harina, la determinación de proteínas se basa en la combustión de compuestos nitrogenados orgánicos, bajo la acción de ácido sulfúrico concentrado, en el método Kjeldhal (Ferrerías C., 2009).

2.3.2.6 Gluten

Se define como un complejo de proteínas insolubles en agua, que se forman por la eliminación del almidón de la harina mediante lavado, dando como resultado una masa gomosa con propiedades elásticas y cohesivas compuesto principalmente de glutelinas y prolaminas (Vadillo V. J, 2014; Serna Saldívar, 2001).

Existen diversas técnicas para extraerlo y cuantificarlo (Métodos AACC 38-10 y 38-11).

2.3.2.7 Índice de sedimentación o de Zeleny

La prueba de sedimentación es empleada para hacer una estimación general de las propiedades de hidratación y grado de expansión de las proteínas.

Las proteínas del gluten se hidratan e hinchan en agua y soluciones diluidas de sustancias químicas. El volumen de las partículas de harina se utiliza como medida de la cantidad y calidad de gluten. (Serna Saldívar, 2003).

Al hincharse (hidratarse) las partículas de proteína disminuyen su velocidad de sedimentación; cuanto más lenta es ésta, mayor será la calidad de las mismas (Vadillo V. J, 2014).

Las pruebas de Zeleny (Métodos AACC56-60, 56-61A y 56-63), de sedimentación, se basan en la capacidad de expansión de las gluteinas en soluciones de isopropanol-ácido láctico y miden el volumen de la sedimentación después de un período de descanso de la harina (Mohan K.M., Díaz de Ackermann M., Castro M., 2001).

La escala establecida para este parámetro se muestra en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Calidad panadera de acuerdo a valores de sedimentación. Guerrero A., 1999.

Valor	Calidad
Más de 38	Trigos mejorantes o de fuerza
Entre 28 y 38	Buen valor panadero
Entre 18 y 28	Valor panadero aceptable.
Menor a 18	Baja calidad.

2.3.2.8 Métodos rápidos

Un tema que ha desarrollado bastante interés por muchas industrias incluyendo la alimentaria es el uso de espectrometría infrarroja cercana (NIR). Esta tecnología puede ser empleada en una gran variedad de aplicaciones industriales. Es idónea para la medición de materias primas que requieren de pruebas de rutina para el control de calidad, ya que comparado con los métodos convencionales de dichas pruebas es mucho más rápida.

La región del infrarrojo cercano comprende el intervalo espectral entre 780 y 10^6 nm. Esta región puede ser dividida en tres zonas: i) infrarrojo cercano 780-2500 nm (NIR), ii) medio $2500 - 4 \times 10^4$ nm (MIR) y iii) lejano 4×10^4 - 10^6 nm (FIR). (Alcalá Bernárdez, 2006).

El esquema básico de un espectrofotómetro NIR consiste en: fuente de radiación, sistema de selección de longitud de onda, compartimento de la muestra y detector.

El diseño instrumental del equipo NIR puede ser de tres tipos (**Figura 6**): transmitancia (el haz de luz atraviesa la muestra desde la fuente de radiación hasta el detector, empleado para muestras de gases, líquidos, semilíquidos y sólidos), reflectancia (el haz de luz es reflejado por la propia muestras hasta llegar al detector, empleado para muestras sólidas y semisólidas) y transflectancia (el haz de luz atraviesa la muestra y se refleja en un detector que está en contacto

con la misma hasta llegar al detector, para muestras líquidas y semilíquidas).Castillo Martínez (2007).

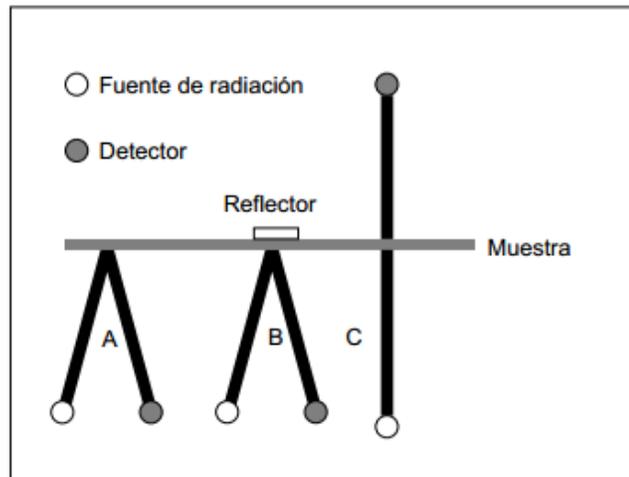


Figura 6. Esquema de los tres diseños de equipos NIR. A) Reflectancia, B) Transreflectancia y C) Transmitancia. Alcalá Bernárdez, 2006.

Los motivos que hacen tan atractiva esta tecnología incluyen: registro de sólidos, líquidos o gases; no requiere pre tratamiento de la muestra, el registro espectral es rápido; es una técnica no destructiva, rápida, económica y además, permite el análisis en la línea de producción.

Cabe hacer mención que en la determinación del equipo NIR afectan las interacciones entre las moléculas como puentes de hidrógeno, además de características físicas como temperatura y tamaño de partícula (Castillo Martínez 2007).

2.3.3 Calidad reológica de la harina

Pérez L., y Garza R. (2013), mencionan que la reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. La reología de los alimentos es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados en la industria de los alimentos.

2.3.3.1 Alveógrafo

La fuerza panadera de las harinas se mide de diversas maneras, uno de los métodos más empleados es el índice de Chopin, que se mide con el alveógrafo de Chopin. Esta prueba es muy empleada por los franceses y se ha adoptado también por la Unión Europea (Guerrero A., 1999).

Su funcionamiento se basa en la extensión tridimensional de una porción de masa (disco con dimensiones estandarizadas) que bajo la acción de una presión de aire se infla y toma forma de una burbuja, obteniéndose un registro gráfico de la presión en el interior de la burbuja hasta que explota. Esta deformación simula la producida durante la fermentación bajo la presión del gas de origen biológico o químico (Vadillo V. J, 2014).

De acuerdo Pérez Lemus A. P., García R. R., (2013) los alveógrafos se utilizan comúnmente en la industria de la harina y del trigo para:

- Seleccionar y evaluar las variedades de trigo.
- Clasificar la harina de trigo determinando sus propiedades viscoelásticas con el fin de ajustarlas a las necesidades de los diferentes procesos.

Incluso sirve para control de proceso de molienda, selección de mezclas de trigo para la producción de harinas y verificación de la acción de aditivos autorizados en el comportamiento de la harina. En la **Figura 7** se muestra el gráfico de alveógrafo donde se observa la diferencia presentada por 3 tipos de harinas, cuyo comportamiento determina su uso.

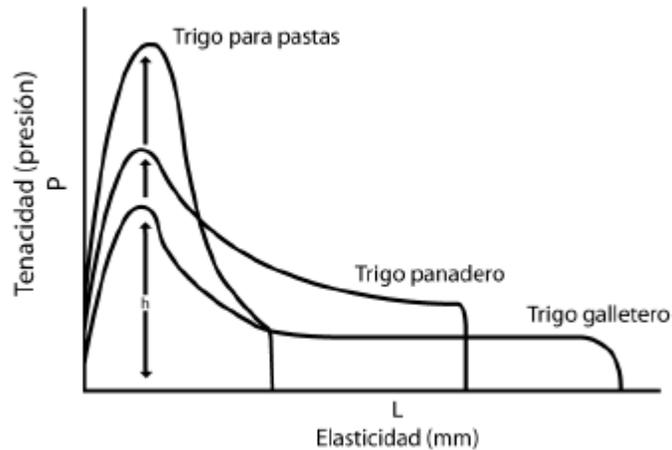


Figura 7. Comportamiento gráfico de alveógrafo de Chopin.

La prueba consiste en agregar 250 gr de muestra de harina en la amasadora, añadiendo a la misma una solución salina al 2.5% (la cantidad de humedad añadida es determinada en función a la humedad que contiene la harina). Después del período de amasado se obtienen 4 partes iguales, que son laminadas con un rodillo con la finalidad de obtener un grosor homogéneo, posteriormente estas láminas se moldean para obtener discos uniformes en diámetro y grosor. Estos discos son colocados en la cámara de fermentación del equipo. Transcurrido el tiempo de reposo los discos son colocados uno por uno en el centro de la placa de soporte del alveógrafo, poniendo la cubierta para cerrar y ejercer presión sobre la muestra, con movimientos lentos. Se remueve la cubierta y se inyecta el aire, bajo esta acción la muestra se inflará formando un globo, el cual se romperá (Serna Saldívar., 2001; Ferreras Charro R., 2009).

Los parámetros proporcionados por el equipo son:

- ❖ **P** (Tenacidad o resistencia): La superficie de la curva está delimitada por P. Este parámetro indica en mm de H₂O la resistencia que presenta la masa a la rotura. Su valor es elevado cuanto más consistencia posea la masa (USWA, 2012)

- ❖ **G** (Índice de hinchamiento): Determina la capacidad de hinchamiento de la masa (Pérez Lemus A. P., García R. R., 2013). Es un valor proporcional a la extensibilidad.
- ❖ **L** (Extensibilidad): Representa la longitud de la curva o distancia desde el inicio de la curva hasta el punto de ruptura de la burbuja. Determina la habilidad que posee la masa para expandirse por el dióxido de carbono (CO₂) producido por las levaduras durante el proceso de fermentación (Pérez Lemus A. P., García R. R., 2013).
- ❖ **W** (Fuerza de la harina): El área bajo la curva, refleja la energía necesaria para inflar la masa hasta el punto de ruptura. Este valor determina el trabajo de deformación de la masa en el alveógrafo en Joules y el valor es directamente proporcional a la fuerza de la harina en cuestión (USWA, 2013; Pérez Lemus A. P., García R. R., 2013).
- ❖ **P/L** (Equilibrio de la harina): Los valores de tenacidad y extensibilidad tienen cierta importancia, pero la verdadera y destacable es el cociente de ambas magnitudes, lo que se denomina P/L. Este valor refleja para que tipo de trabajo panadero es adecuada una muestra (Vadillo V. J, 2014).
 - Valores P/L mayores o iguales a 1 son propios de harinas para masa dura o semidura (Pérez Lemus A. P., García R. R., 2013):
 - ✓ Mayor 1= Hay más glutenina y menos gliadina.
 - ✓ Igual 1= Hay igual contenido de gliadina y glutenina
 - Valores P/L menores a 1 deben poseerlos harinas para masa semiblanda o blanda (Pérez Lemus A. P., García R. R., 2013):
 - ✓ Menor 1= Hay más gliadina y menos glutenina. Masa muy extensible.
 - Las mejores harinas de masa blanda presentan valores P/L comprendidos entre 0.4 y 0.6 (Pérez Lemus A. P., García R. R., 2013).

- ❖ **P/G** (Relación tenacidad/índice de hinchamiento): Brinda la proporción de gliadinas y gluteninas, al igual que la relación P/L.
- ❖ **le** (Índice de elasticidad): También conocido como P200/P. P es como sabemos el valor de la tenacidad que se mide por medio del alveógrafo de Chopin expresado en mm de H₂O. P200 es el valor de la presión registrada por el alveógrafo cuando se han insuflado 200 cm³ de aire (Thinkingfoods, 2014). Normalmente corresponde a la presión medida en el punto correspondiente a 40 mm desde el origen de la curva alveográfica (**Figura 8**).

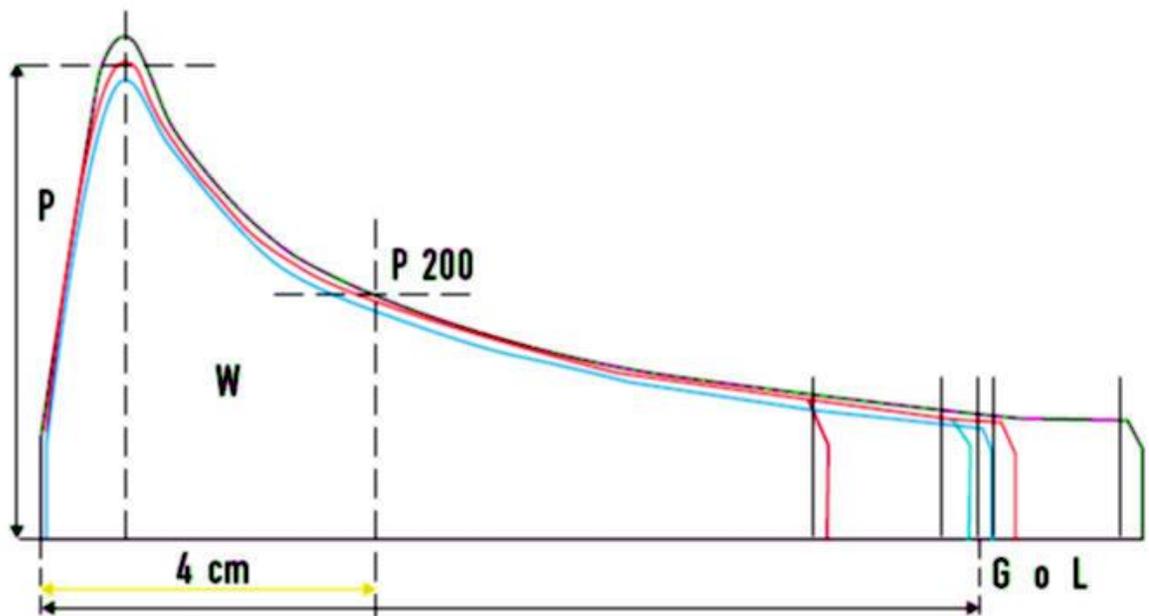


Figura 8. Parámetros en un alveograma.

Fuente: <http://www.concereal.es/alveografo>

Serna Saldívar (2003) menciona que para determinar el tipo de trigo se emplean los siguientes datos: $W > 230$ Trigo fuerte; $W < 230$ Trigo débil.

2.3.3.2 Farinógrafo

El farinógrafo de Brabender se emplea para medir las características y aptitudes de las harinas en el amasado. Este método se aplica para la determinación de la absorción de agua y el comportamiento mecánico al amasado de una harina de trigo. El farinógrafo es una amasadora que permite medir la consistencia de las masas, y por lo tanto el potencial de la hidratación de una harina para una consistencia dada (Ferrerías C., 2009).

El principio de la prueba se basa primeramente en determinación por medio de prueba y error la cantidad óptima de agua para lograr la consistencia ideal de la masa (500 unidades farinográficas o Brabender) (Serna Saldivar 2001).

El análisis de farinograma brinda los siguientes resultados:

- ❖ **Absorción:** Es la cantidad de agua necesaria para centrar la curva del farinógrafo en la línea 500 BU (Unidades Brabender o Unidades Farinográficas). Esto se relaciona con la cantidad de agua necesaria en una harina para ser procesada de manera óptima en productos finales. La absorción se expresa como un porcentaje (USWA, 2013)
- ❖ **Tiempo máximo (tiempo de desarrollo de masa):** es el tiempo que tarda la masa en alcanzar máxima consistencia (pico de la curva). Su valor indica el tiempo óptimo de mezclado bajo condiciones estandarizadas. El tiempo máximo se expresa en minutos (Serna Saldívar, 2001).
- ❖ **Hora de llegada:** Es el momento en el que la parte superior de la curva toca la línea 500 BU. Esto indica la tasa de hidratación de harina (la velocidad a la que el agua es absorbida por la harina). Es expresada en minutos (Serna Saldívar, 2001).
- ❖ **Hora de salida:** Es el momento en el que la parte superior de la curva sale de la línea 500 BU esto indica el momento en el que la masa empieza a descomponerse y es un indicador de la consistencia de la masa durante el proceso. El tiempo de salida se expresa en minutos.

- ❖ **Estabilidad:** Es la diferencia de tiempo entre la hora de llegada y de salida. Esto indica el tiempo que la masa mantiene la máxima consistencia y es un buen indicador de fuerza de la masa. La estabilidad se expresa en minutos (USWA, 2013).
- ❖ **Índice de tolerancia al mezclado (MTI):** Es la diferencia de valor en unidades BU o UF, de la parte superior de la curva en el tiempo de pico y el valor en la parada de la curva 5 minutos después del pico. Esto indica el grado de ablandamiento durante la mezcla. El índice de tolerancia se expresa en minutos (Serna Saldívar, 2001).

Los parámetros anteriormente mencionados se muestran en la **Figura 9**.

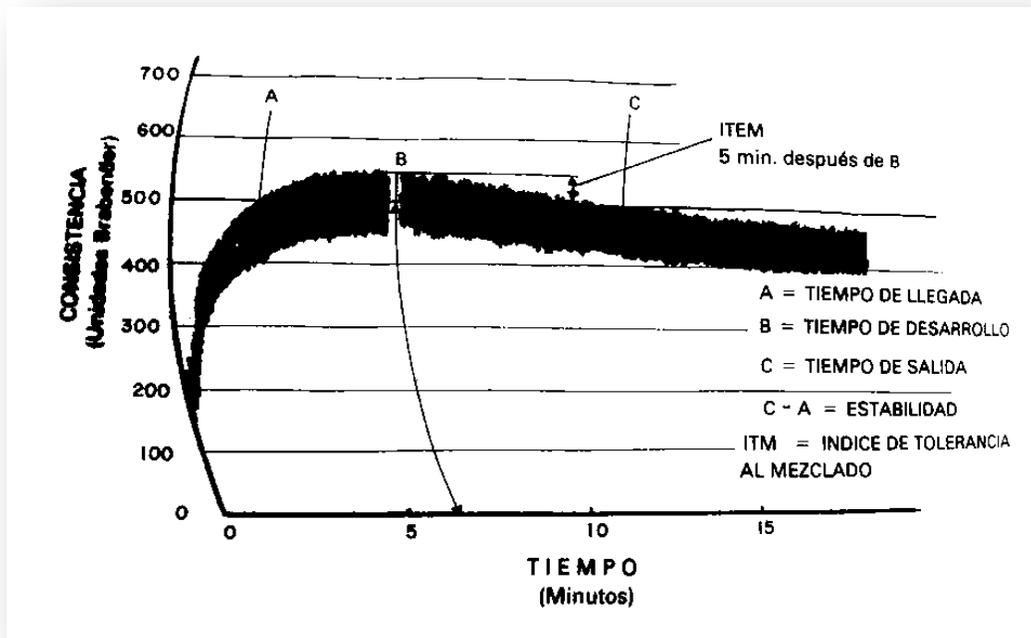


Figura 9. Curva típica del farinógrafo y sus parámetros. Serna Saldívar, 2001.

2.3.4 Calidad enzimática de la harina

2.3.4.1 Índice de caída o *falling number*

Mediante esta prueba se mide la actividad de la α -amilasa y es empleada para evaluar el grado de germinación que pudo propiciarse bajo condiciones de humedad y calor, durante el período de almacenamiento del grano de trigo.

El método se basa en una rápida gelatinización de la harina, en un baño maría, mediante una agitación. Durante la prueba se degrada el almidón bajo la acción de la enzima y se mide el tiempo de caída del vástago de agitación dentro del tubo viscosímetro. Mientras el tiempo de caída se prolongue más tiempo (valores altos) se deduce que en el trigo no hubo indicios de germinación (baja actividad α -amilasa) y por lo tanto es apto para panificación, en cambio si el tiempo de caída es más rápido nos indica que hay germinación y el pan que se obtendrá de esta harina tendrá una miga húmeda y pegajosa (Camuzzi H., Camuzzi A., Domínguez G., 2014). Valores elevados indicarán nivel bajo de esta enzima. (USWA, 2012).

CAPITULO 3

MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACION DEL SITIO EXPERIMENTAL

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de Molinos del Fénix, dentro del Laboratorio de Calidad, en las áreas de análisis de trigos, reológicos y fisicoquímicos, en Ramos Arizpe Coahuila, México; y en el Laboratorio de Procesamiento del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.

3.2 MATERIAL BIOLÓGICO

Durante la etapa experimental del proyecto se evaluaron dos tipos de trigo, Hard Red Winter (HRW) procedente de Harlem Montana y Hard Red Spring (HRS) procedente de Dakota del Sur Estados Unidos, proporcionados por la empresa.

3.3 MATERIAL, EQUIPOS Y REACTIVOS DE LABORATORIO EMPLEADOS

En las Tablas 7, 8 y 9, se muestran los reactivos, material y equipo utilizados, para el desarrollo experimental de la presente investigación.

Tabla 7. Relación de reactivos.

REACTIVOS
Acido Bórico 2.2%
Acido Sulfúrico N 0.0026
Agua Destilada
Alcohol Isopropílico
Azul de Bromofenol 4 ppm
Cloruro de Sodio 2.0%
Cloruro de Sodio 2.5%
Hidróxido de Sodio 50%
Mezcla Digestora para Proteínas
Solución de Ácido Láctico
Solución Stock de Ácido Láctico.

Tabla 8. Material.

MATERIAL
Accesorio equipo FN
Bolsas plásticas
Brocha
Cinta adhesiva
Crisoles
Cronómetro
Cucharón metálico
Cucharón plástico
Desecador
Espátula acanalada
Espátula
Marcador de aceite
Papel absorbente
Pinzas
Probeta 100 ml con tapón vidrio
Probeta 25 ml
Recipiente plástico
Vaso precipitado 250 ml

Tabla 9. Equipo.

EQUIPO	MARCA
Alveógrafo	CHOPIN
Carter Dockage Style No. XT2	SEEDBURO
Colorímetro CR-400	MINOLTA
Contador de Granos	PFEUFFER
Falling NumberType: 1800	PERTEN
Farinógrafo	BRABENDER
HE50	PFEUFFER
Molino Experimental	CHOPIN
Mufla	THERMOLYNE
NIR Inframatic IM 9500	PERTEN
NIR Inframatic 8600	PERTEN
Pesa para Peso Hectolítrico	Fairbanks-Morse
StrandSizerShaker	SEEDBURO
Termobalanza	OHAUS

3.4 METODOLOGIA

Para la realización de las determinaciones fisicoquímicas y reológicas en esta investigación, se llevó a cabo una selección manual, separando en ambos tipos de trigo (HRS y HRW), dos fracciones: una de grano vítreo (completamente sano) y otra de grano con panza blanca (aparición amarillenta-blancuzca). Una vez obtenidas, se caracterizaron éstas así como cada uno de los tipos de trigo sin fraccionar, siendo evaluadas las siguientes variables:

- ❖ % humedad: empleando método infrarrojo cercano NIR y equipo HE50.
- ❖ % proteína: empleando método infrarrojo cercano NIR y convencional Kjeldhal.
- ❖ Peso de 1000 granos.
- ❖ Peso hectolítrico (K/H).

Una vez realizados estos análisis se procedió a la molienda, determinándose en este proceso:

- ❖ Cantidad de salvado obtenido.
- ❖ Harina total obtenida.
- ❖ Rendimiento.
- ❖ Sobrante total.
- ❖ Mermas.

A las harinas obtenidas se les realizaron pruebas fisicoquímicas y reológicas que incluyeron los siguientes análisis:

- ❖ Fisicoquímicos: % proteína, % cenizas, % gluten húmedo, *falling number*, sedimentación y color.
- ❖ Reológicos: Alveograma, farinograma y humedad.

3.4.1 Trigo

3.4.1.1 Determinación de materia extraña

Para la determinación de materia extraña del trigo se utilizó el equipo Carter Dockage Tester Style No. XT2 (**Figura 10**). El cual trabaja con un aspirador y una combinación de criba y cernidor, separando el material de tamaño diferente al grano de trigo. Para el análisis se pesó una cantidad de 1 kg y se colocó en la tolva del equipo Carter.

Para la determinación de impurezas totales se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia extraña} = \frac{\text{Peso del total de materia extraña}}{\text{Peso del grano}} \times 100$$



Figura 10. Carter Dockage Tester para limpieza de trigo

3.4.1.2 Peso hectolítrico

La fracción de trigo limpio se vacía en la tolva de la báscula Fairbanks-Morse (Figura 11) para determinación de peso hectolítrico. Se abre la compuerta de la tolva con un solo golpe y se deja caer el grano en el recipiente. Enseguida con ayuda de una espátula se retira el excedente y la muestra se pesa, registrando directamente el peso obtenido en kg/hL.



Figura 11. Báscula Fairbanks-Morse para determinación de peso hectolítrico

3.4.1.3 Peso de 1000 granos

Para determinar el peso de 1000 granos se empleó el contador de granos Pfeuffer (Figura 12), en el cual se colocan los granos en la cavidad del equipo y se inicia el conteo presionando el botón con coloración amarilla START. Una vez que el equipo contó los 1000 granos, se procede a obtener el peso en gramos (g) directamente en la balanza granataria marca Oahus.



Figura 12. Equipo para conteo de 1000 granosPfeuffer.

3.4.1.4 Determinación de humedad

Para la determinación de humedad en el trigo se empleó el equipo HE50 (**Figura 13**). El cual cuenta con un kit en el que contiene un recipiente pequeño cilíndrico para la toma de muestra, que es depositada en la cámara de medición del equipo con un sensor de temperatura integral, para enseguida cerrarla perfectamente con ayuda de una matraca y ser colocada adecuadamente en los pines de conexión. Cuando el equipo está colocado se selecciona el tipo de producto a evaluar y se oprime el botón de iniciar prueba, la muestra es molida y homogeneizada al momento de cerrar la cámara. El equipo proporciona directamente el contenido de humedad en porcentaje.



Figura 13. Determinador de humedad HE50

3.4.1.5 Grano quebrado y chupado

Para la determinación de grano quebrado y chupado se empleó el equipo Strand Sizer Shaker Marca Seedburo (**Figura 14**). Para realizar la determinación se colocó en la charola la muestra de trigo y se oprimió el botón de inicio. El equipo cuenta con una malla que permite caigan al depósito los granos de interés que posteriormente se pesarán en la balanza Ohaus para obtener la cantidad en gramos de grano quebrado y chupado que contiene la muestra. Para la determinación porcentual de este parámetro se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grano quebrado y chupado} = \frac{\text{Peso obtenido} * 100}{\text{Peso de muestra colocada.}}$$



Figura 14. Strand Sizer Shaker para obtener el % de grano quebrado y chupado.

3.4.1.6 Acondicionamiento de trigo

Una vez que el trigo se ha caracterizado, es necesario realizar un proceso de acondicionamiento, en el cual se añade agua a la muestra de trigo de acuerdo a la humedad a la que se quiere llevar el grano para la molienda. En este trabajo de investigación se llevó el trigo a una humedad del 14% para un mejor funcionamiento del molino, empleando la siguiente fórmula:

$$ml \text{ de Agua añadidos} = \left\{ \left(\frac{100 - \% \text{ Humedad ORIGINAL del grano}}{100 - \% \text{ Humedad deseada del grano}} \right) - 1 \right\} \times \text{Peso de la muestra.}$$

Las muestras de trigo y la cantidad de agua determinada se mezclaron perfectamente en un recipiente plástico; enseguida se colocaron en bolsas plásticas identificadas y se sellaron con cinta adhesiva sin tener exceso de aire. Estas muestras se mantuvieron en reposo durante un período de 24 horas.

3.4.2 Molienda

La molienda de las muestras se realizó en el molino experimental Chopin (**Figura 15**), de acuerdo al método AACC 26-10 1983.



Figura 15. Molino experimental Chopin CD1. Sección 1 y 2.

Después de período de reposo de 24 horas, las muestras colocadas en las bolsas plásticas fueron abiertas y cada una de las muestras de trigo fueron colocadas en la tolva de la sección 1 (trituration) del molino, de la cual se obtienen 3 fracciones: salvado, harina fina y harina gruesa.

La fracción de harina gruesa obtenida en la primera sección de molienda pasa a la sección 2 (compresión) obteniendo dos fracciones: harina fina y harina gruesa.

Nota: La harina gruesa obtenida en la sección 2, pasa por esta misma sección sin exceder 3 veces. Siendo la toma de decisión subjetiva, ya que es empleando la vista como definimos si se requiere de otra molienda.

3.4.3 Harina

3.4.3.1 Fisicoquímicos, métodos convencionales

3.4.3.1.1 Sedimentación

La prueba de sedimentación es un método volumétrico y se realizó de acuerdo al método de la AACC 56-61A, empleando las siguientes soluciones:

- Azul de bromocresol a 4 ppm.
- Solución de ácido láctico.

Para la realización de la prueba se pesaron 3.2 gramos de muestra y se colocaron en una probeta de vidrio de 100 ml con tapón (**Figura 16**), a esta probeta se le añadieron las soluciones de azul de bromocresol y ácido láctico, en intervalos de tiempo definidos (tiempo 0 y minuto 4 respectivamente) con agitaciones de manera vertical y horizontal hasta que finalmente se dejó en reposo, para tomar la lectura del precipitado en la probeta.

Para el cálculo de la sedimentación corregido en base a 14% de humedad, se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Valor de Sedimentación} = \frac{\text{Lectura} * 86}{100 - \text{Humedad de la harina}}$$

Siendo:

86= Constante que corresponde a porcentaje en seco.



Figura 16. Determinación de sedimentación.

3.4.3.1.2 Falling Number

Se realizó la prueba *falling number* (FN) o índice de caída, por el método AACC 56-81B. Para la realización de la prueba se pesó la muestra de harina empleando la tabla de corrección del peso de la muestra a base de humedad del 14%. (Figura 17).

%	.0	.2	.4	.6	.8	
8	6.54	6.56	6.57	6.59	6.60	
9	6.62	6.63	6.64	6.66	6.67	G
10	6.69	6.70	6.72	6.73	6.75	R
11	6.76	6.78	6.80	6.81	6.83	A
12	6.84	6.86	6.87	6.89	6.90	M
13	6.92	6.94	6.95	6.97	6.98	M
14	7.00	7.02	7.03	7.04	7.07	E
15	7.08	7.10	7.12	7.13	7.15	S
16	7.17	7.18	7.20	7.22	7.24	
17	7.25	7.27	7.29	7.31	7.32	

Figura 17. Corrección del peso de la muestra a base de humedad del 14%. Donde la tabla indica del lado izquierdo el % de humedad de la muestra en enteros y en la parte superior se indican los decimales de humedad que puede tener la harina. Perten instruments 1992.

La cantidad de harina a pesar de acuerdo a su contenido de humedad, determinada mediante el apoyo de la **Figura 17**, fue colocada en los tubos de FN, a los que se añadieron 25 ml de agua destilada y se agitaron con la finalidad de mezclar completamente la muestra. Los tubos fueron colocados en el soporte y éste se colocó en el equipo FN (**Figura 18**).



Figura 18. Equipo falling number Type 1800.

El método muestra indirectamente la actividad de la α -amilasa que se produce debido a los daños causados por germinación.

3.4.3.1.3 Obtención de gluten húmedo

La determinación de gluten húmedo se llevó a cabo de acuerdo al método AACC 38-10 1983. Y consistió en pesar 25 gramos de muestra que se colocaron en un vaso de precipitado de 250 ml y se añadió, de acuerdo a su contenido de humedad, una solución de NaCl al 2.0%, para enseguida ser amasada

perfectamente con ayuda de una espátula. La masa se dejó reposar y se lavó manualmente a chorro de agua, para remover el almidón y todo el material soluble, hasta que el agua fuera cristalina. Se eliminó el exceso de agua y se pesó para obtener el gluten húmedo.

Para la obtención de gluten húmedo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Gluten Húmedo} = \frac{\text{Peso del gluten obtenido} \times 100}{25}$$

3.4.3.1.4 Cenizas

La determinación de cenizas se realizó bajo el método AACC 08-12. Para el análisis se pesaron 2 gramos de muestra en un crisol previamente puesto a peso constante e identificado, el cual fue colocado en una mufla (**Figura 19**) a una temperatura de 600°C.

Transcurrido el período de prueba (5.5 horas) se apagó la mufla y se esperó a que la temperatura descendiera a los 400°C, para sacar el crisol y colocarlo en un desecador; al estar completamente frío, se pesó en la balanza analítica, para enseguida realizar el cálculo empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso de crisol con muestra} - \text{Peso de crisol solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$



Figura 19. Mufla para la determinación de cenizas.

3.4.3.1.5 Color

Se determinó el color de las muestras de harina empleando el colorímetro Konica Minolta Modelo CR-400 (**Figura 20**), que emplea el sistema CIE L*a*b*.

La prueba se llevó a cabo homogeneizando la muestra de harina y colocándola en un recipiente de cuarzo, eliminando la muestra excedente y cerrándolo. Enseguida se colocó el brazo del colorímetro sobre el recipiente de cuarzo y se oprimió el botón para llevar a cabo la lectura.



Figura 20. Colorímetro Konica Minolta CR-400 para determinación de color.

3.4.3.1.6 Proteínas

Para la determinación de proteínas se pesó sobre papel filtro 0.05 gramos de muestra (harina o trigo), en balanza analítica Ohaus. En el caso de trigo, se trituró la muestra en un mortero para así poder ser evaluado.

La realización de esta prueba constó de tres etapas, mostradas en la **Figura 21**.



Figura 21. Etapas para la determinación de proteínas.

Una vez llevada a cabo la titulación se emplearon las siguientes fórmulas:

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{\text{ml de ácido sulfúrico gastados} * \text{Normalidad ácido} * 0.014}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\%N)(\text{Factor de conversión})$$

Los factores de conversión empleados en la determinación de proteína, fueron 5.7 para harina y 5.83 para trigo.

3.4.3.2 Físicoquímicos, métodos rápidos

En la actualidad existen una gran diversidad de equipos con la tecnología de espectrometría infrarroja cercana (NIR), en esta investigación se emplearon los equipos NIR marca Perten modelos 9500 y 8600, a fin de evaluar su comportamiento en comparación a los métodos convencionales, para la determinación de: % humedad, % proteína y % cenizas en ambos equipos; además de % gluten húmedo y color en L* para el caso de NIR 9500.

3.4.3.2.1 NIR Inframatic 8600

Se empleó el equipo de NIR INFRAMATIC Modelo 8600 de Perten (**Figura 22**). Utilizando los métodos patentados y aprobados oficialmente para % de humedad, % de proteínas y % de cenizas por la AACC 08-21 (Perten, 2014).



Figura 22. Equipo NIR Inframatic 8600

Para la determinación la muestra fue colocada en el embudo y se ejerció presión sobre la misma con una pieza de acrílico, para que ésta quedara uniforme en el

interior; enseguida se seleccionó el producto a ser analizado, del cual ya se encuentra creado el canal de análisis indicando las longitudes de onda específicas. Los resultados se muestran en pantalla y se imprimen automáticamente al término del análisis. Para determinaciones subsecuentes, la muestra es retirada con un cepillo y/o brocha.

3.4.3.2.2 NIR Inframatic 9500

El equipo NIR INFRAMATIC Modelo 9500 de Perten se muestra en la **Figura 23**. Para la realización de la prueba, la muestra de harina se colocó en la celda de análisis, empleando la estación de llenado, enseguida esta celda se cerró. En la pantalla del equipo se presionó la opción analizar, y cuando el equipo lo indicó se introdujo la celda en la tolva del IM 9500, dando como resultado en harina: % de humedad, % de proteínas, % de cenizas, % gluten húmedo y escala en color L*. Al concluir el análisis el equipo indica el momento en el que la celda debe ser retirada; a ésta se le debe retirar la muestra de harina con ayuda de un cepillo, para la siguiente prueba. Para el análisis de trigo solamente proporciona 2 parámetros: % humedad y % proteína.



Figura 23.Equipo NIR IM 9500

3.4.3.3 Humedad

Para la determinación de humedad se colocaron 5 gramos de muestra en la termobalanza Ohaus (**Figura24**), tras un período de aproximadamente 5 minutos el equipo proporcionó los resultados y se realizó el registro de los datos.



Figura 24. Termobalanza Ohaus para determinación de humedad.

3.4.3.4 Reológicos

3.4.3.4.1 Alveograma

Se realizaron las pruebas empleando el alveógrafo marca Chopin, bajo el método AACCC 54-30A 1991 (**Figura 25**), en 2 etapas: la primera amasando (empleando una solución de NaCl al 2.5%) y en la segunda generando una curva para indicar la presión de aire que es necesaria para inflar una pieza hasta su punto de rotura. (U.S. Wheat Associates, 2012).



Figura 25. Alveógrafo Chopin.

3.4.3.4.2 Farinograma

Se realizaron las pruebas empleando el farinógrafo marca Brabender, bajo el método AACC 54-21 2000 (**Figura 26**), donde los parámetros de la prueba se introducen en el ordenador con el programa instalado para el análisis de los mismos.

Para llevar a cabo la determinación, se colocaron en la mezcladora 300 gramos de harina aproximadamente, de acuerdo a la humedad de la harina (el programa del equipo indica la cantidad a ser agregada). Se añadió agua destilada a 30°C para el amasado y se generó una curva que indica la fuerza empleada en función del tiempo a medida que la harina y el agua se mezclan para formar la masa. (U.S. Wheat Associates, 2012).



Figura 26. Farinógrafo de Brabender.

3.4.4 Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en una prueba de varianza factorial que incluyó dos factores, el primero con dos niveles para evaluar la variable tipos de trigo: Hard Red Spring (HRS) y Hard Red Winter (HRW); el segundo factor con tres niveles que evaluaron la caracterización del tipo de grano, mezcla compuesta (MC), grano vítreo (GV) y grano con panza blanca (PB). Las observaciones se realizaron en tres repeticiones y se realizó la prueba de Duncan para la separación de medias.

El paquete utilizado fue el programa computacional Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CARACTERIZACION DEL GRANO DE TRIGO

La caracterización del grano de trigo representa un tema de gran interés al involucrarse como variables diversos tipos de trigo y aspectos de calidad que les son evaluados a fin de adquirir materia prima apta para el proceso de molienda y generar harina. Estos parámetros tienen límites máximos permisibles indicados en base a normatividad y/o requerimientos de la industria.

En esta investigación además de ser considerado lo anteriormente mencionado, resulta de gran relevancia la caracterización de las fracciones de interés, a fin de conocer el impacto causado en cada uno de los análisis de calidad, al contar con granos completamente sanos (grano vítreo); y granos con defecto fisiológico (panza blanca); en los dos tipos de trigo empleados (Hard Red Winter y Hard Red Spring) **Figura 27**.

Tratamientos evaluados:

Tipos de trigo:

- ❖ HRW: Hard red winter.
- ❖ HRS: Hard red spring.

Tipos de grano:

- ❖ MC: Mezcla compuesta (GV+PB).
- ❖ GV: Grano vítreo.
- ❖ PB: Grano con panza blanca.



Figura 27. Trigos empleados y fracciones de interés obtenidas.

4.1.1 Separación de las fracciones de trigo

Las cantidades de trigo empleadas para la separación de las fracciones de grano vítreo y grano con panza blanca; así como las que se excluyeron para el análisis, se muestran en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Kilogramos de trigo empleado.

TIPO DE TRIGO	TOTAL DE KG
Hard Red Winter	24.5
Hard Red Spring	61.5

Como se puede observar en la **Tabla 10**, se empleó una cantidad mayor de trigo HRS, esto debido a que este tipo de trigo contenía menor proporción de grano con panza blanca; en consecuencia se requirieron 61.5 kg para obtener los 6 kg de panza blanca necesarios para llevar a cabo los análisis correspondientes para el desarrollo del proyecto.

Las proporciones de fracciones obtenidas en trigo Hard Red Spring (HRS) se muestran en la **Tabla 11** y en trigo Hard Red Winter (HRW) en la **Tabla 12**.

Tabla 11. Porcentaje de fracciones en trigo HRS.

Fracción	Porcentaje
Quebrado y Chupado	1.7695
Grano Vítreo	75.6900
Panza Blanca	7.7836
Sobrante *	14.753

**Incluye: Punta negra, grano picado, grano verde y basura.*

Tabla 12. Porcentaje de fracciones en trigo HRW.

Fracción	Porcentaje
Quebrado y chupado	1.5650
Grano Vítreo	67.416
Grano con Panza Blanca	17.844
Sobrante *	13.173

**Incluye: Punta negra, grano picado, grano verde y basura.*

De acuerdo a los resultados mostrados en las **Tablas 11 y 12**, se encuentra que el trigo HRS presenta mayor calidad en vitrosidad, parámetro de gran importancia puesto que es de relevancia para la industria de panificación.

4.1.2 Evaluación de los parámetros de calidad del trigo

El análisis de varianza con dos niveles (**Anexo 7.1.1**), muestra que entre los dos tipos de trigo hay diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en seis de las variables analizadas.

Como resultado de la prueba de Duncan, análisis de medias, (**Tabla 13**), se encontró que el trigo HRS es superior al HRW en el contenido de humedad, peso hectolítrico y contenido de proteína determinado por el método convencional y método de infrarrojo cercano (NIR). Sin embargo el trigo HRW es superior en cantidad de agua añadida para acondicionamiento y en el peso de mil granos.

Con respecto al contenido de humedad determinado por NIR no se presentó diferencia, siendo estadísticamente igual en ambos tipos de trigo.

Tabla 13. Prueba de medias de Duncan para el tipo de trigo (parámetros de calidad del trigo).

Trigo	Humedad NIR	Humedad HE50	H ₂ O Acondicionamiento.	K/H	Peso mil granos	Proteína NIR	Proteína Convencional
HRS	11.44	11.37	50.66	79.7	28.31	13.05	9.99
HRW	11.19	10.94	64.35	78.02	31.2	11.18	8.31

De acuerdo al reporte de calidad de cosecha 2013 publicado por United States Wheat Associates (USWA), el contenido promedio de humedad en HRS fue de 12.2% y en HRW los valores en promedio fueron de 10.9%. Los resultados obtenidos en esta investigación mostraron un 11.44 % por el método NIR y 11.37% por el método HE50 para trigo HRS, mientras que para el HRW los resultados fueron de 11.19% (NIR) y 10.94% (HE50), datos que se encuentran cercanos a los reportados por USWA.

La variación presentada entre ambos métodos de análisis (indirectos) es atribuida al fundamento de los mismos. En este sentido el equipo NIR realiza una prueba no destructiva cuyo fundamento para la determinación radica en la emisión de un rayo de luz infrarroja que atraviesa el grano, donde parte de esa luz será absorbida y otra fracción de ese haz de luz atravesará la muestra; esta última pasa por un detector por ser cuantificada y obtener el total de energía emitida, para determinadas moléculas (Castillo Martínez, 2007). De esta manera se mide principalmente el contenido de humedad más próximo la superficie del material, siendo capaz de medir tanto agua libre como ligada.

Caso contrario lo presenta el equipo HE50, donde éste determina principalmente el contenido de agua libre. El fundamento del equipo se basa en la resistencia eléctrica (conductancia), donde la muestra es comprimida entre dos electrodos, y se mide el paso de la corriente eléctrica con el tenor de agua en los granos. Es decir, cuanto mayor sea el contenido de agua en el grano, se presentará menor resistencia eléctrica.(Vidal Larroca K., 2011)

En cuanto al contenido proteico USWA, reporta un contenido promedio para HRS de 13.6% y para HRW de 13.4%. Como resultado de esta investigación se obtuvieron contenidos de 13.05% por el método NIR y 9.99% por el método convencional para trigo HRS, mientras que para el HRW los resultados fueron de 11.18% (NIR) y 8.31% (convencional). Lo anterior presenta una diferencia numérica notable de acuerdo a lo reportado por USWA (2013) como se muestra en la **Figura 28**.

Como se puede observar en la **Figura 28**, se presenta una variación entre métodos considerable de 3 puntos porcentuales, siendo el método NIR el que genera resultados aproximados a lo indicado por USWA para la cosecha analizada.

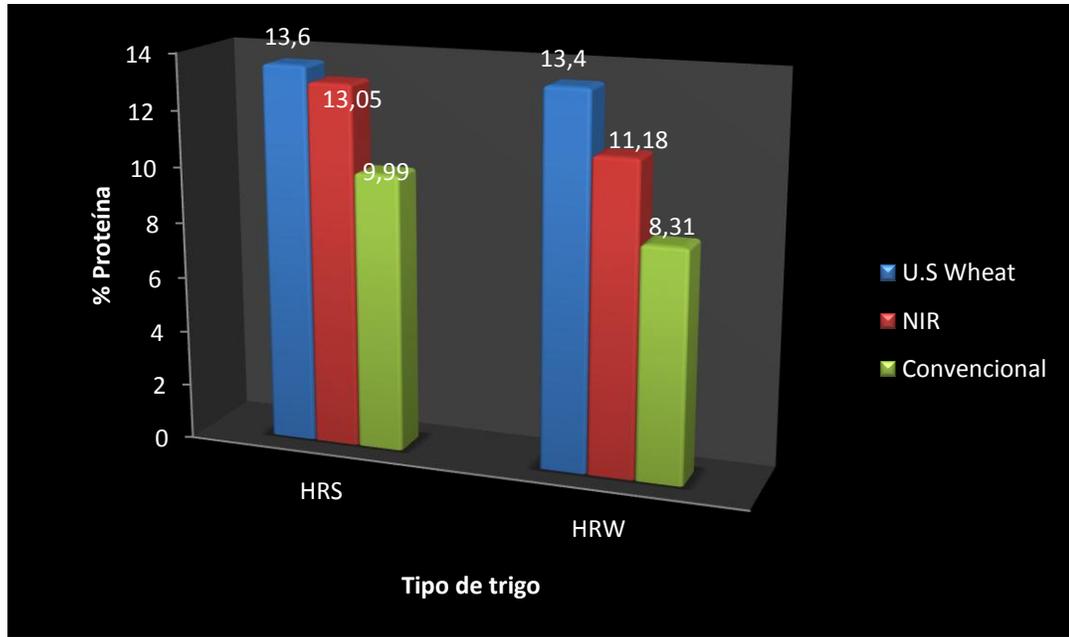


Figura 28. Comparativo entre análisis de medias en contenido proteico por NIR y convencional, con lo reportado por la U.S. Wheat 2013.

La variación observada entre los datos obtenidos y lo reportado, radica en que la U.S. Wheat Associates en sus análisis para HRS tomó muestras representativas de 7 estados de los Estados Unidos de América y 12 para el caso de HRW, tal como se muestra en las **Figuras 29 y 30**.

En el caso particular de este estudio para ambos tipos de trigo se analizaron muestras procedentes de solo un estado, en el caso de HRS de South Dakota y para el caso de HRW de Harlem Montana. De acuerdo a lo anterior se presentan contenidos de proteína con una variación justificable, dado que el trigo proviene solo de un estado, con condiciones geográficas y climatológicas particulares.



Figura 29. Procedencia de muestras reportadas por U.S. Wheat Associates (2013) para HRS, y de la empleada en esta investigación.



Figura 30. Procedencia de muestras reportadas por U.S. Wheat Associates (2013) para HRW, y de la empleada en esta investigación.

En el análisis de varianza con tres niveles, para la caracterización del tipo de grano, mezcla compuesta (MC), grano vítreo (GV) y grano con panza blanca (PB), se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en todas las variables, excepto en peso hectolítrico (K/H) y humedad NIR, como se muestra en el **Anexo 7.1.2**.

Como resultado de la prueba de Duncan para la caracterización del tipo de grano, se observó que la MC presenta mayor contenido de humedad. Para el peso hectolítrico (K/H) no hay diferencia estadística entre tipo de granos. En cuanto al peso de mil granos, MC y GV presentan valores más elevados, sin mostrar una diferencia estadísticamente significativa, lo que les da mejores características con respecto a PB; lo anterior era de esperarse debido a que el grano con panza blanca tiene un peso menor ya que es más ligero, como se puede observar en la prueba de Duncan correspondiente a la caracterización del tipo grano (**Anexo 7.1.3**), la presencia de este defecto tiene alta influencia en esta variable.

En lo que corresponde a la variable proteína determinada bajo los métodos NIR y convencional, el grano con mayor concentración fue GV, como se muestra en la **Figura 30**, en la cual se presenta una diferencia estadísticamente significativa y numérica entre métodos, sin embargo el comportamiento sigue la misma tendencia. El de menor contenido proteico lo presenta el grano con PB, cuyo valor es atribuido al defecto fisiológico que presenta el trigo (Peña Bautista, R. J., 2008).

Como se puede apreciar en la **Figura 31**, se presenta una variación entre métodos para determinación de proteína entre tipos de grano, de aproximadamente 3 puntos, misma que se presentó entre tipos de trigo. Los resultados obtenidos bajo el método NIR fueron de 9.93% como mínimo (PB) y 13.47% (GV) como máximo; en método convencional los valores obtenidos se encuentran entre 7.51% (PB) y 10.79% (GV).

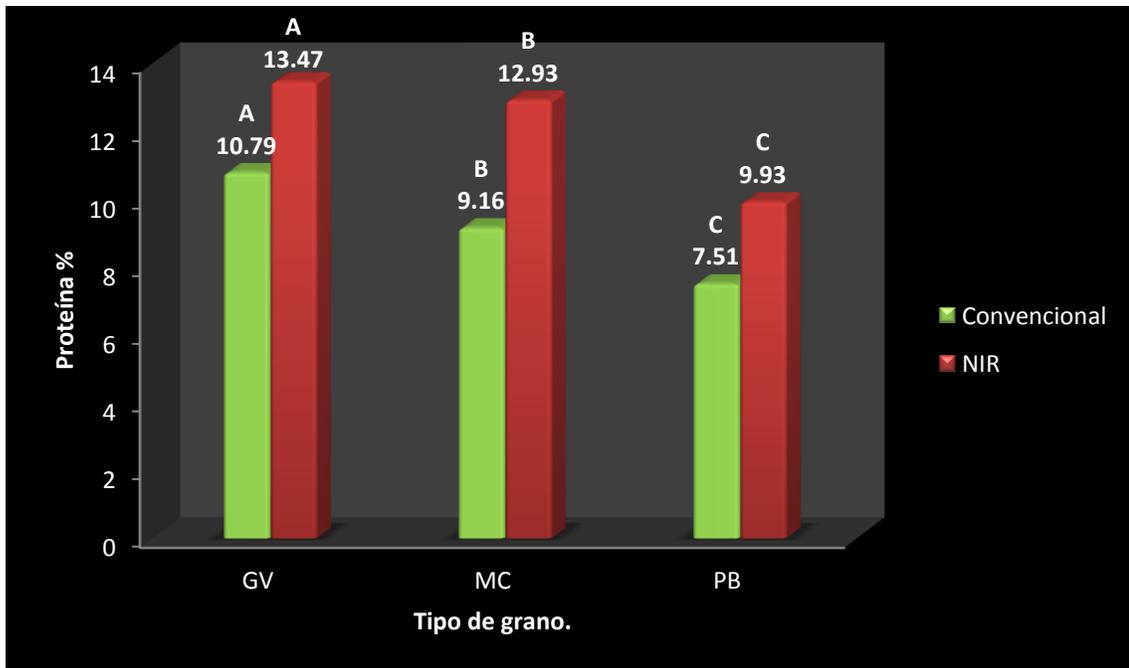


Figura 31. Contenido de proteína determinado por método convencional y equipo NIR, para tipo de grano basado en la prueba de Duncan (Anexo 3).

Los valores antes mencionados se encuentran dentro de los rangos indicados por Bravo M.J y Ortiz H.G.R (1999), donde mencionan que el contenido de proteína para *Triticuma estivum* bajo el método NIR sin llevar acabo separación alguna de las fracciones, como es el caso de MC en esta investigación, osciló entre los valores 12.0-13.1%. De esta manera el valor obtenido en este trabajo se encuentra 0.08 puntos porcentuales por debajo del rango máximo reportado.

Considerando las fracciones separadas en esta investigación, se observa que los datos que se encuentran fuera de este rango, son PB con un comportamiento mucho menor; y GV con un comportamiento mayor a lo indicado por Bravo M.J y Ortiz H.G.R (1999). Sin embargo, esta desviación es aceptable por la estructura que poseen estos tipos de grano.

Vásquez-Lara F. y colaboradores (2009), reportan en su investigación valores de contenido proteico que van de 8.42 a 13.55%, así como Kent Jones (1956), menciona que el contenido de proteínas varía de 8 a 15%, ambos trabajos en

referencia a trigo panificable (*Triticum aestivum*). Los resultados obtenidos, bajo ambos métodos empleados en esta investigación (NIR y convencional), se encuentran en valores mínimos y máximos cercanos (7.51%-13.47% respectivamente) a lo obtenido en los trabajos anteriormente mencionados.

La variación que se observa en las investigaciones y reportes realizados sobre la determinación de proteínas, con los resultados obtenidos en este proyecto, puede ser causada principalmente por el tipo de grano empleado, y como se mencionó anteriormente, su procedencia, condiciones medioambientales de la zona geográfica, condiciones del cultivo, método de análisis empleado y reactivos para dicha determinación; en el caso exclusivo del equipo NIR, la sensibilidad que posee el mismo de acuerdo a marca y modelo.

De este modo y teniendo como antecedente los datos publicados por Bravo Molina J. y Ortiz Hernández G.R. (1999), Vázquez Lara F. (2009) y Jones (1956), se deduce que el contenido de proteína en los tipos de granos GV, MC y PB se encuentran dentro de los valores establecidos para trigo en diversas investigaciones de cosechas y fechas diferentes.

En cuanto a la humedad determinada por NIR, esta variable no presentó diferencia significativa (**Anexo 7.1.3**). Sin embargo se observa una variación numérica entre el detector de humedad HE50 y el equipo NIR 9500 de 0.3 puntos porcentuales, como se muestra en la **Figura 32**. Los valores obtenidos bajo ambos métodos se encuentran dentro de los rangos aceptables de acuerdo a la normatividad CODEX STAN 199-1995, cuyo nivel máximo de humedad es del 14.5%. Siendo favorable un contenido menor, ya que esto permite agregar más agua para el acondicionamiento del grano, lo que hace incrementar el peso del grano sin prácticamente aumentar el costo de producción de harina, uso final del trigo empleado en esta investigación (USWA, 2013).

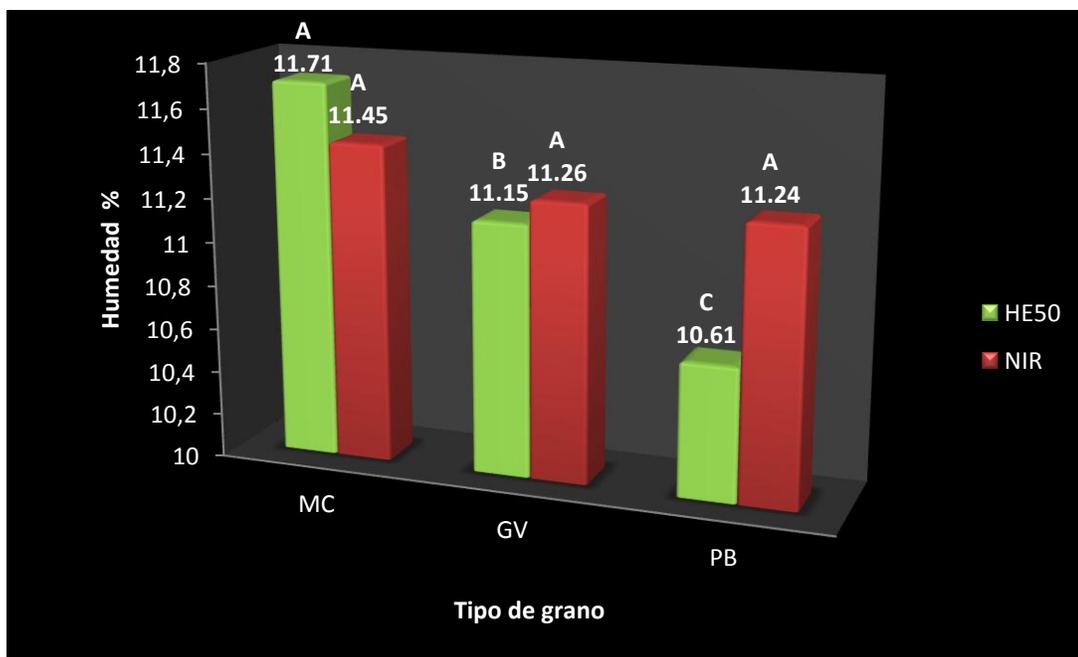


Figura 32. Humedades HE50 y NIR. Basados en la prueba de Duncan (Anexo 3).

Como se mencionó anteriormente, la variación presentada entre ambos métodos radica en la capacidad de los equipos para medir el tipo y contenido de agua presente en la muestra. Es decir, el equipo NIR tiene la capacidad de medir el total del agua en la muestra, tanto de agua libre, como de ligada; en cambio HE50 mide solamente el agua libre; motivo por el cual se observa en la **Figura 32**, que mediante el uso del equipo NIR se cuantifica un contenido ligeramente superior al determinado por HE50 en dos de los tres tipos de grano.

En el análisis de varianza (**Anexo 7.1.4**) de la interacción del tipo de trigo y su caracterización en cuanto a tipo de grano, es decir en qué tipo de trigo se destaca una característica particular de acuerdo a la incidencia de grano con defecto fisiológico (PB), se observa que en las variables humedad, peso hectolítrico y proteína NIR, el factor determinante del comportamiento es precisamente el tipo de trigo (HRW o HRS).

4.2 MOLIENDA

En el análisis de varianza correspondiente a molienda se encontró que solo existe diferencia significativa en las variables de harina obtenida de la primera sección de molienda y en la merma total del proceso, entre los tipos de trigo (HRS y HRW), (**Anexo7.2.1**).

En la **Figura 33**, se observan las fracciones obtenidas en la primera sección de la molienda. Así mismo en la **Figura 34** se muestra la harina fina obtenida en la molienda de los tipos de grano estudiados.



Figura 33. Fracciones obtenidas de la primera sección de molienda. a) harina fina, b) harina gruesa, c) salvado.



Figura 34. Harina obtenida de GV, MC, y PB.

Como se puede observar en la **Tabla 14**, correspondiente al análisis de medias (prueba de Duncan), a pesar de no existir una diferencia estadísticamente significativa entre los dos tipos de trigo, se puede observar que en las fracciones de harina, obtenidas en las dos secciones correspondientes al proceso de molienda, se presenta una diferencia numérica mayor en Hard Red Winter (HRW) con respecto a Hard Red Spring (HRS).

Tabla 14. Prueba de Duncan para los dos tipos de trigo. Mostrándose sombreados los cuadros estadísticamente iguales. (Proceso de molienda).

Trigo	Salvado	Harina 1	H. no fina	Merma 1	Harina 2	Sobrante	Merma 2	Harina Total	Rend.	Sobrante total	Merma total
HRW	40.78	10.79	49.85	1.42	67.88	31.85	-0.26	884.52	44.22	16.31	1.32
HRS	39.7	10.49	50.69	0.88	66.84	31.79	-1.35	882.49	44.12	16.37	0.19

Nota: Primera sección involucra salvado, harina 1, harina no fina (gruesa) y merma 1. Segunda sección: Harina 2, sobrante y merma 2.
Porcentaje de harina y sobrante de la segunda sección, considerando como 100% la harina no fina (gruesa) de la primera etapa.

Harina total: Sumatoria en gramos de harina fina obtenida en primera y segunda etapa.

Las variables con mayor impacto de la **Tabla 14**, son la cantidad total de harina obtenida y el rendimiento del proceso de molienda, en las cuales se observa que HRW obtiene los mayores valores. Gambarotta L., (2005) menciona que en el rendimiento, la variable que causa un impacto considerable es el peso hectolítrico, el cual se ve afectado por la humedad del grano; ya que la presencia de agua hace que éstos se hinchen, reduciendo de esta forma la cantidad de granos que pueden entrar dentro del cilindro de ensayo, cuanto mayor contenido de humedad en el grano, más bajo el peso hectolítrico. También menciona que el peso de 1000 granos es un indicador del rendimiento que se puede esperar de la molienda de grano, como se observa en la **Figura 35**, con los datos obtenidos en esta investigación.

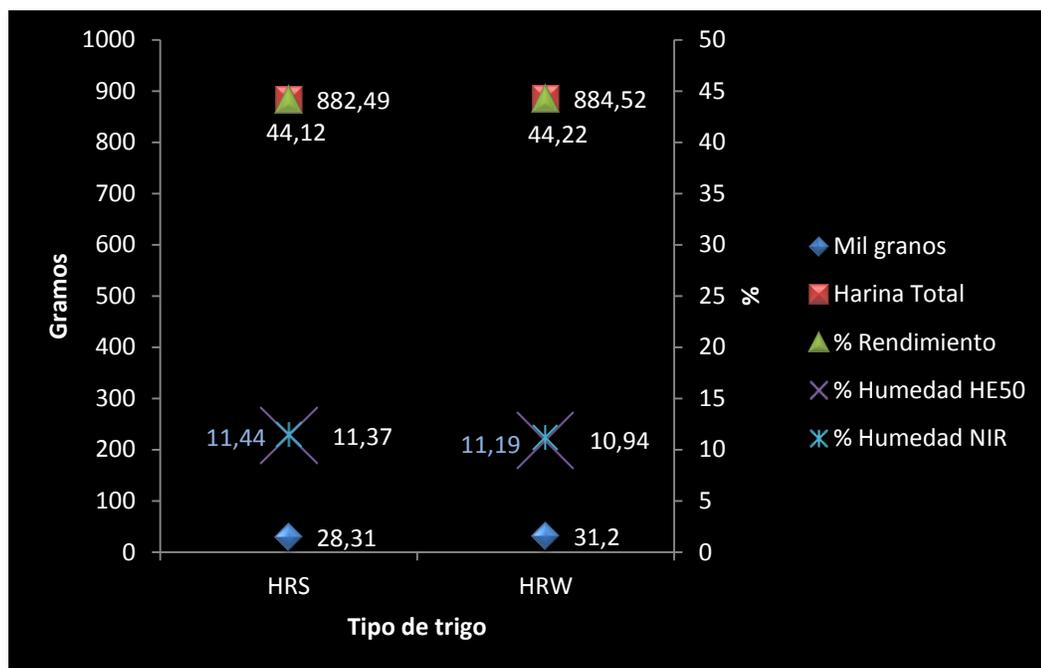


Figura 35. Relación de las variables % humedad y peso de 1000 granos, con la harina total obtenida y rendimiento, para los dos tipos de trigo.

Considerando lo que reporta Gambarotta L. (2005), y la prueba de Duncan para tipo de grano en el apartado de evaluación de calidad del mismo (**Tabla 13**), HRW presentó las características que lo llevarían a tener un mayor rendimiento en el proceso de molienda, ya que contenía valores inferiores en humedad

determinados bajo dos métodos (NIR y HE50), lo cual es indicativo de mayor peso hectolítrico. Así mismo el peso de 1000 granos fue superior en este tipo de trigo. Lo anteriormente mencionado se ilustra en la **Figura 35**.

De acuerdo a lo indicado en el reporte de calidad de cosecha 2013 publicado por la U.S. Wheat Associates, los rendimientos de molienda (extracción) empleando un molino experimental Buhler se encuentran en 69.5% para HRS y 70.7% para HRW, datos que se encuentran muy por encima de los resultados reportados de manera global para los tipos de trigo en esta investigación, sin embargo cabe resaltar que la diferencia del tipo de molino empleado juega un papel importante en los valores obtenidos durante el proceso ya que en este caso se empleó el molino marca Chopin CD1.

Considerando la variabilidad que representa el uso de diversos equipos Osella C.A. y colaboradores (2006), en su investigación emplearon dos tipos de molino experimental diferentes, cuyos rendimientos de extracción fueron los siguientes: 55-66% para molino diseño propio de Molinos Matilde y 53-66% para molino experimental Buhler Miag. Además mencionan que el porcentaje de extracción de molino industrial empleado por esta empresa es en promedio de 77%.

Como se mencionó anteriormente el molino utilizado en esta investigación fue marca Chopin, que dentro de las especificaciones propias del equipo indica que el porcentaje de extracción esperado es de 60-65% (CONCEREAL, 2014). Los datos obtenidos se encuentran en valores globales de 44.12% para HRS y 44.22% para HRW, datos que son inferiores a lo que la literatura nos indica. Este comportamiento puede estar influenciado por la vida de trabajo con la que cuenta el molino. Lo recomendado para obtener valores estándares en rendimiento de extracción, es dar al equipo un mantenimiento adecuado y oportuno.

De acuerdo al análisis de varianza (**Anexo 7.2.2**) correspondiente a tipo de grano (MC, GV y PB), se observa que esta variable confiere características particulares determinantes a las fracciones obtenidas durante el proceso de molienda para la obtención de harina, ya que los productos obtenidos si generan una diferencia

estadísticamente significativa en la mayoría de las variables a excepción de las mermas (secciones 1 y 2; así como totales); este efecto es atribuido a que el tipo de grano y su estructura, no tiene influencia sobre la merma durante el proceso de molienda, dicha pérdida (merma) puede ser causada debido al funcionamiento del molino empleado.

De acuerdo a la prueba de Duncan correspondiente a tipo de grano se observa que en la primera sección del proceso de molienda el mejor grano fue el panza blanca en cuanto a salvado y obtención de harina se refiere (**Anexo 7.2.3**); este comportamiento se atribuye a la presencia del defecto fisiológico en el trigo cuyos gránulos de almidón, en el endospermo, se encuentran en mayor cantidad y mucho más separados que en el grano vítreo (**Figura 36**); para el caso de la merma en esta etapa no se presentó diferencia entre los tipos de grano.

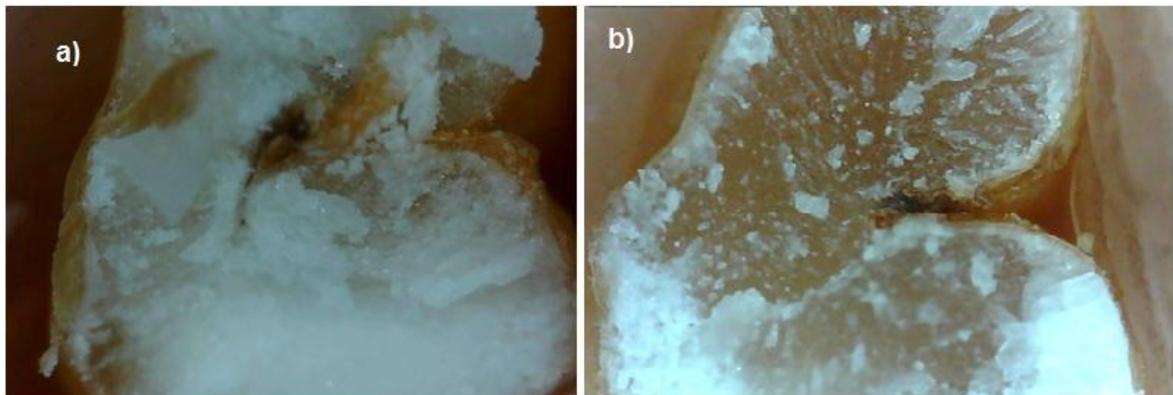


Figura 36. Vista transversal microscópica de grano: a) panza blanca (PB) y b) vítreo (GV).

En la segunda sección del proceso de molienda el grano con panza blanca fue nuevamente del que se generaron mejores resultados en la obtención de harina. Esto debido a que en el proceso es mucho más fácil desprender el almidón (endospermo) que pudo haberse quedado en la molienda de la sección 1, por el tamaño y separación de los gránulos presentes como anteriormente ya se mencionó.

La mayor cantidad de sobrante se presentó en la molienda del grano vítreo, cuyo comportamiento que se atribuye a la fuerte unión en la estructura del grano, brindó como resultado mayores cantidades de sobrante. En la merma en esta etapa tampoco hubo diferencia estadística (**Anexo 7.2.3**).

En los datos de harina total obtenida en ambas secciones se observó que PB obtuvo los mejores valores seguido por los granos de MC y GV que se comportaron de la misma manera, siendo estadísticamente iguales; sin embargo se presenta una diferencia numérica en la que se observa que del grano MC se obtiene una cantidad mayor de harina que la obtenida del GV (**Anexo 7.2.3**). En la determinación del rendimiento del proceso de molienda se obtuvo que el mejor comportamiento lo presentó el grano con PB; Roming R.R y Olson R.S (1969) mencionan que la presencia de dicho defecto tiene una relación con el rendimiento, que dependerá de la variedad; pero se tiene una asociación positiva, es decir se obtiene un mayor rendimiento en grano con este defecto.

En el sobrante total del proceso de molienda, el grano superior fue el grano vítreo. Respecto a la interacción del tipo de trigo y tipo de grano, solo se presenta diferencia significativa en el caso de la harina obtenida en la primera etapa de la molienda (**Anexo 7.2.4**).

4.3 HARINA

4.3.1 Fisicoquímicos, métodos convencionales

En el análisis de varianza correspondiente a la determinación de características físicas y químicas, por métodos convencionales para harina obtenida por tipos de trigo (**Anexo 7.3.1**), se encontró que existe diferencia significativa en todas las variables con excepción del contenido de cenizas y el color en eje a* (correspondiente a color rojizo siendo positivo y verdozo con resultado negativo como se muestra en la **Figura 37**).

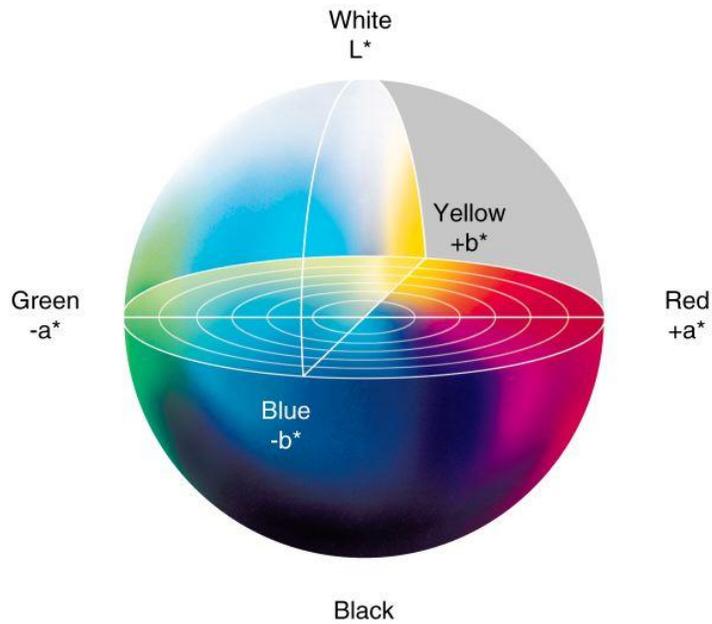


Figura 37. Diagrama de cromaticidad CIE L* a* b*

Como resultado de la prueba de medias de Duncan (**Tabla 15**), el trigo HRS es superior en las variables de sedimentación, gluten, color en el eje b* y en contenido proteico, en el resto de las variables el mejor tipo es HRW.

Tabla 15. Prueba de Duncan para harina de trigo obtenida por tipo de trigo. Los recuadros sombreados indican las medias que son estadísticamente iguales. (Fisicoquímicos, métodos convencionales).

Trigo	FN	%Proteína	Sedimentación	Gluten húmedo	% Cenizas	*L	*a	*b
HRS	456.33	8.74	24.53	39.14	0.465	88.72	-1.4	11.16
HRW	502.22	8.08	18.27	34.28	0.465	89.29	-1.45	10.71

Los resultados obtenidos bajo las condiciones de esta investigación, difieren lo reportado por USWA (2013), para cada uno de los dos tipos de trigo evaluados como se muestra en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Reporte de U.S Wheat Associates 2013 para aspectos fisicoquímicos de harina obtenida de trigos HRS y HRW.

	FN	%Proteína	Sedimentación	Gluten húmedo	%Cenizas	*L
Reporte de cosechas. U.S. Wheat Associates 2013. HRS	411	12.6	57.8	35.3	0.53	90.9
Reporte de cosechas. U.S. Wheat Associates 2013. HRW	467	12.3	52	31.1	0.60	90.8

Observando los datos presentados en las **Tablas 15 y 16**, se aprecia una variación considerable en la variable *falling number* (FN), cuyo comportamiento se atribuye al grado de extracción, como lo menciona Ferreras Charro R. (2009), quien indica que mientras se realice una mayor extracción, menor es el valor de FN, ésto debido a que mientras más presión se ejerza en el molino y se trituren más las capas externas del grano, mayor actividad α -amilasica, que causará una disminución en los valores de FN.

Como se aprecia en los resultados, los datos de FN obtenidos son superiores a los reportados por USWA (2013); teniendo como antecedente lo publicado por Ferreras Charro R. (2009); en el apartado anterior (molienda), se observa que los rendimientos, entre lo obtenido y lo reportado presentan una variación considerable, siendo mucho mayor la extracción reportada por USWA (2013), razón por la cual sus valores reportados para FN son inferiores a los obtenidos en este proyecto de investigación.

Otra variable relacionada directamente con el grado de extracción, es el contenido de cenizas, cuyos valores en ambos tipos de trigo se comportaron de manera similar y son inferiores a lo indicado por USWA (2013); ésto a causa del grado de extracción.

Las variables de % proteína, % gluten húmedo y sedimentación, se encuentran directamente relacionadas, ya que estas determinaciones tienen como común denominador el contenido de proteínas. Los datos en ambos tipos de trigo son inferiores a lo indicado por USWA (2013), siendo razón principal de este

comportamiento la cantidad y origen de muestras empleadas por esta institución y las utilizadas dentro del desarrollo de este proyecto, factores que también afectan la variable de color en L*.

Además en el caso exclusivo de sedimentación, es importante resaltar, que en su determinación se empleó el grano entero molido, caso contrario a lo realizado en este proyecto, donde, se utilizó un molino diferente, retirando del grano la fracción de salvado y harina gruesa (no fina).

El comportamiento por mucho inferior de proteína, al igual que el determinado en grano de trigo entero, fue influenciado principalmente por el método y reactivos empleados, sin embargo se presenta una tendencia similar, es decir HRS presenta valores superiores a HRW, coincidiendo con USWA 2013.

De acuerdo a USWA 2012, la media del contenido proteico durante la conversión de harina, es decir la pérdida durante el proceso de molienda, fue de 1.1 puntos porcentuales; y durante el periodo de 2007-2011 fue de 1.3 puntos porcentuales. Los resultados de esta investigación en cuanto a merma proteica, presentan en promedio valores de 1.59 puntos, haciendo uso del equipo de infrarrojo cercano (NIR) y 0.74 puntos empleando el método convencional se presentan en la **Figura 38**.

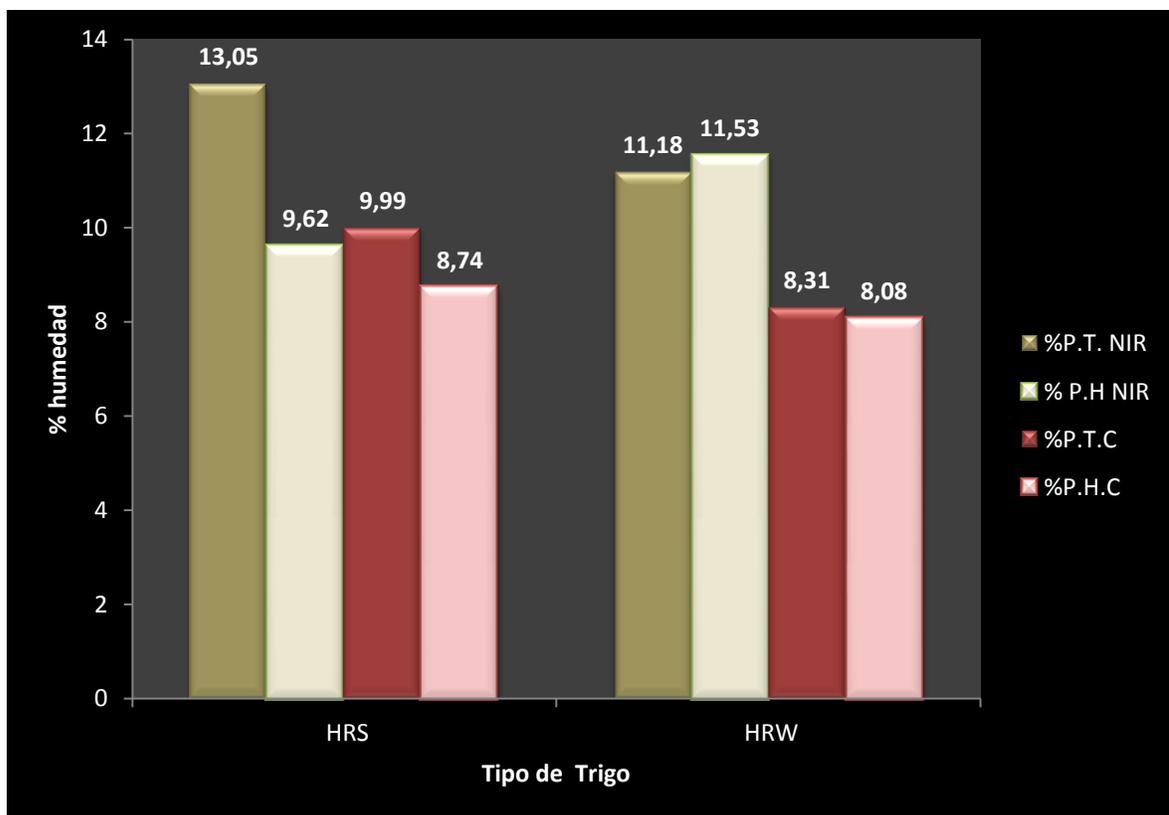


Figura 38. Promedio el contenido proteico en tipo de trigo y harina. Determinada por método rápido (NIR) y convencional. % P.T (porcentaje de proteína en trigo), % P. H (porcentaje de proteína en harina), C (método convencional),

En lo que se refiere al análisis de varianza para tipo de grano, se presenta diferencia significativa en todas las variables con excepción del color en el eje b* (Tabla 17).

Tabla 17. Concentrado del análisis de varianza para el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
FallingNumber	2	10163.11	5081.56	13.43	0.001
Sedimentación	2	197.35	98.67	96.78	<.0001
Gluten	2	615.08	307.54	55.59	<.0001
Cenizas	2	0.02	0.01	9.08	0.004
*L	2	20.60	10.30	176.42	<.0001
*a	2	2.02	1.01	141.84	<.0001
*b	2	0.83	0.41	3.45	0.065
%Proteína	2	35.67	17.84	75.55	<.0001

En las variables de *falling number* (FN), cenizas y color eje a*, los tipos de grano con mejor comportamiento fueron MC y GV; para el contenido de gluten, proteína y eje color b*, los valores más elevados los presentó GV; con respecto al color en L* el tipo de grano con mayor luminosidad fue PB. (**Anexo 7.3.3**).

En base a los resultados de la prueba de Duncan se observa que los valores obtenidos en la variable FN para cada tipo de grano presentan diferencia numérica considerable. Sin embargo dichos valores obtenidos por Ferreras Charro R, (2009) se encuentran en los 433 ± 4 segundos; De la Horra A.E., Seghezzo M.L., Molfese E., Ribotta P.D y León A.E., (2012), como resultado de su investigación, publican datos que fluctúan entre los valores de 343-439 segundos; ambos trabajos indican datos inferiores a los obtenidos en la presente investigación, sin embargo su porcentaje de extracción osciló en valores de 65.5-73.1%, razón por la cual sus resultados son menores.

Para las variables sedimentación, gluten húmedo y contenido proteico, los resultados se comportan estadísticamente diferentes entre tipo de grano, de tal manera que para el caso de sedimentación, el valor más elevado lo presentó MC (24.41ml), valor que se encuentra por debajo de lo mencionado por Casta Pierre (2010), para buena calidad; él menciona que este valor debe ser superior a 35 ml, sin embargo, también indica el valor mínimo aceptable, cuyo valor es 22 ml. De este modo, MC y GV se encuentran ligeramente por encima del mínimo aceptable, siendo PB inadecuada para panificación.

El contenido de gluten húmedo en los tres tipos de grano (MC, GV, PB) presenta valores dentro de los rangos establecidos en diversas investigaciones. De la Horra A.E., Seghezzo M.L., Molfese E., Ribotta P.D y León A.E., (2012); mencionan como resultado de su investigación valores de 28.2-42.2%. Cazares Torres M.J., (2011), obtuvo valores de 23.5 - 39.0%. Vázquez C., Germán M., Matos C y Alfredo (2009), reportan valores de 22.24-32.58%. En el **Anexo 7.3.3**, se puede observar que el mejor comportamiento lo presentó GV, con diferencia numérica y estadística con respecto a PB, estos datos influenciados por el contenido de proteínas.

En cuanto al contenido proteico se refiere, el comportamiento numérico y estadístico, fue el mismo presentado en gluten, teniéndose con mayor y menor contenido el GV y PB respectivamente. De la Horra A.E., Seghezzo M.L., Molfese E., Ribotta P.D y León A.E., (2012) indican valores de 11.60- 16.29% empleando trigo harinero procedente de Argentina, los contenidos reportados se encuentran muy por encima de los resultados obtenidos en esta investigación; mientras que la harina proveniente de trigo americano y australiano evaluada por Islas R.A, MacRitchie F., Gandikota S y HouG (2005), reporta contenidos de 9.1 – 13.3%, datos mayores pero en menor proporción. La diferencia encontrada en el contenido proteico, radica en la procedencia del trigo empleado, ya que las condiciones climatológicas y ubicación geográfica tienen alta influencia en el contenido de proteína del trigo y en consecuencia de su harina. Además el grano con defecto fisiológico al estar directamente relacionado con la absorción de nitrógeno y en consecuencia con el contenido proteico, causa que la diferencia presentada entre GV y PB sea mucho mayor.

En cuanto a la pérdida en contenido proteico, en el proceso de conversión de trigo a harina; en promedio el tipo de grano presentó una pérdida de 1.53 puntos porcentuales mediante el uso de NIR. En método convencional se presentó una pérdida en promedio de 0.74 puntos porcentuales (**Figura 39**). Estos datos mantienen el mismo comportamiento que los reportados para tipo de trigo, lo cual nos indica la reproductibilidad de ambos métodos. Sin embargo es importante, hacer mención que para el método convencional se presentan factores que alteran la determinación, causa por la cual los valores son inferiores a los obtenidos mediante NIR.

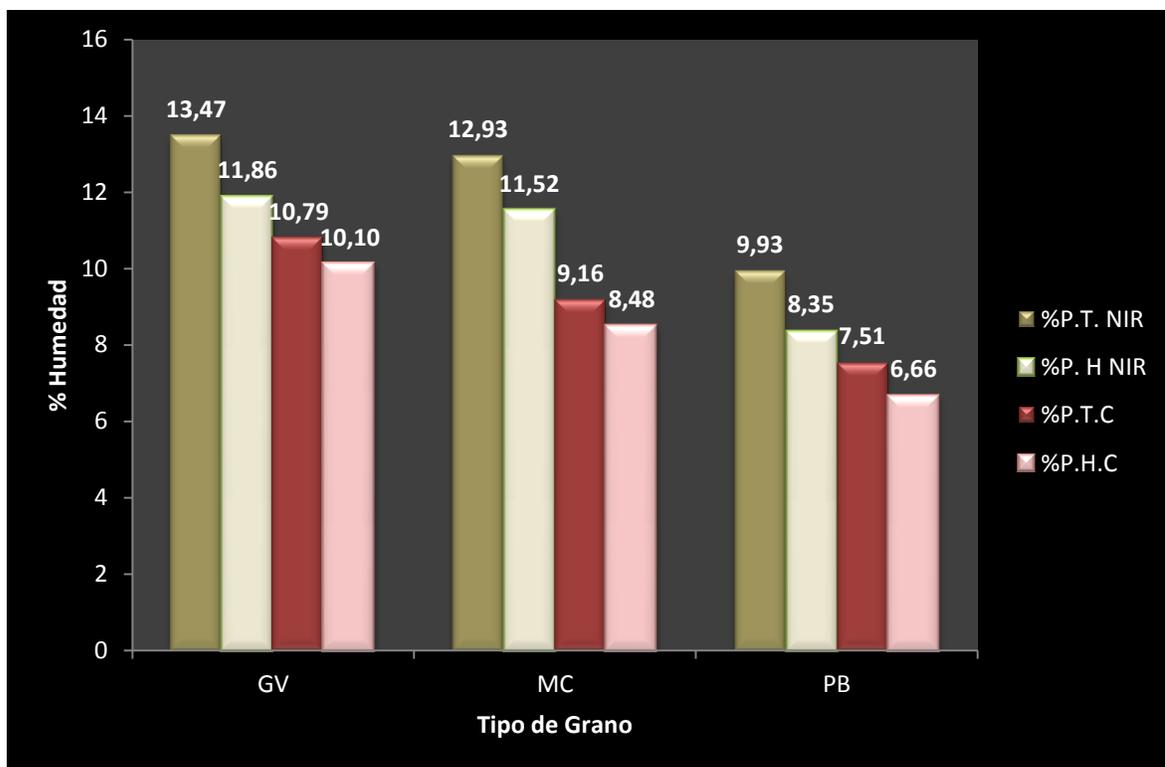


Figura 39. Promedio del contenido proteico en tipo de grano y harina. Determinada por método rápido (NIR) y convencional. % P.T (porcentaje de proteína en trigo), % P. H (porcentaje de proteína en harina), C (método convencional),

El contenido de cenizas presentó un comportamiento estadísticamente similar, entre tipo de granos (MC, GV, PB) que se encuentra dentro del rango de los valores publicados por Islas R.A, MacRitchie F., Gandikota S y HouG (2005), quienes obtienen valores de 0.33 -0.56%; así como los publicados por De la Horra A.E., Seghezzi M.L., Molfese E., Ribotta P.D y León A.E., (2012) con valores de 0.41-0.64%.

Montoya-López J., Grijaldo-Grijaldo G.A., Lucas-Aguirre J.C., (2012), mencionan valores para color en L*(92.01), correspondientes a luminosidad, empleando harina obtenida en molino industrial, valor que es superior a los obtenidos en esta investigación, sin embargo el tipo de grano con mayor luminosidad es PB, debido a la estructura que presenta el grano, siendo de coloración amarillo – opaco, con un mayor contenido de almidón.

En el **Anexo 7.3.4** correspondiente al análisis de varianza se muestra que si hay presencia de interacción entre tipo de trigo y tipo de grano en las variables de sedimentación y color en L*.

4.3.2 Fisicoquímicos, métodos rápidos

En el análisis de varianza correspondiente a fisicoquímicos para tipo de trigo (**Anexo 7.4.1**), mediante el uso de métodos rápidos NIR, se encontró que existe diferencia significativa entre los dos tipos de trigo en casi todas las variables, excepto en humedad obtenida de NIR 8600 y en color en *L en el análisis NIR 9500.

El trigo HRS es superior en las variables % proteína obtenida por NIR 8600 y % ceniza empleando el NIR 9500. En el resto de las variables es superior HRW (Prueba de Duncan **Tabla 18**).

Tabla 18. Prueba de Duncan para harina obtenida por tipo de trigo. En los cuadros sombreados se muestran las medias estadísticamente iguales. (Fisicoquímicos, métodos rápidos).

	NIR 8600			NIR 9500				
	Humedad	Proteína	Ceniza	Humedad	Proteína	Ceniza	Gluten	*L
Variedad HRS	13.9	12.57	0.44	13.21	11.53	0.43	34.46	90.17
Variedad HRW	13.63	11.49	0.59	13.42	9.62	0.46	28.60	90.19

En lo que respecta a la harina obtenida por tipo de grano, existe diferencia significativa en todas las variables, excepto en la ceniza del método 8600, como se muestra en el análisis de varianza correspondiente (**Anexo 7.4.2**).

Con respecto a la prueba de Duncan, se obtuvo que en el método 8600, PB fue quien obtuvo valores más elevados de humedad y en la variable % proteína los mejores granos fueron los GV y MC. En el método 9500, en la variable humedad y color en L* el mejor grano fue el PB; mientras que en las variables proteína, ceniza y gluten, el mejor grano fue el GV (**Anexo 7.4.3**).

Se muestra en la **Figura 40** un comparativo de los resultados obtenidos mediante métodos convencionales y empleo de equipos de infrarrojo cercano (NIR), en donde se logra observar que las variables de humedad y cenizas presentan una menor variación entre métodos de análisis, en cambio para el caso de proteína y gluten la variación es considerable.

La diferencia en el contenido de proteína presentada entre método infrarrojo cercano (NIR) y convencional, es mayor que la presentada entre los dos diferentes modelos de NIR, esto a causa del modelo y sensibilidad que poseen ambos equipos; sin embargo el comportamiento de los resultados sigue la misma tendencia siendo en cualquiera de los métodos HRS superior a HRW.

Con respecto a la determinación de gluten húmedo (directamente relacionado con el contenido proteico) el mayor porcentaje lo presentó HRS bajo ambos métodos de análisis (convencional y NIR 9500), observándose valores mayores en métodos convencionales.

El factor de PB influyó en las variables de humedad, proteína, gluten y color, ya que este defecto, debido al porcentaje en el que se encontraba en la muestra, ocasionó un menor valor en los tres primeros; incrementando color en L*.

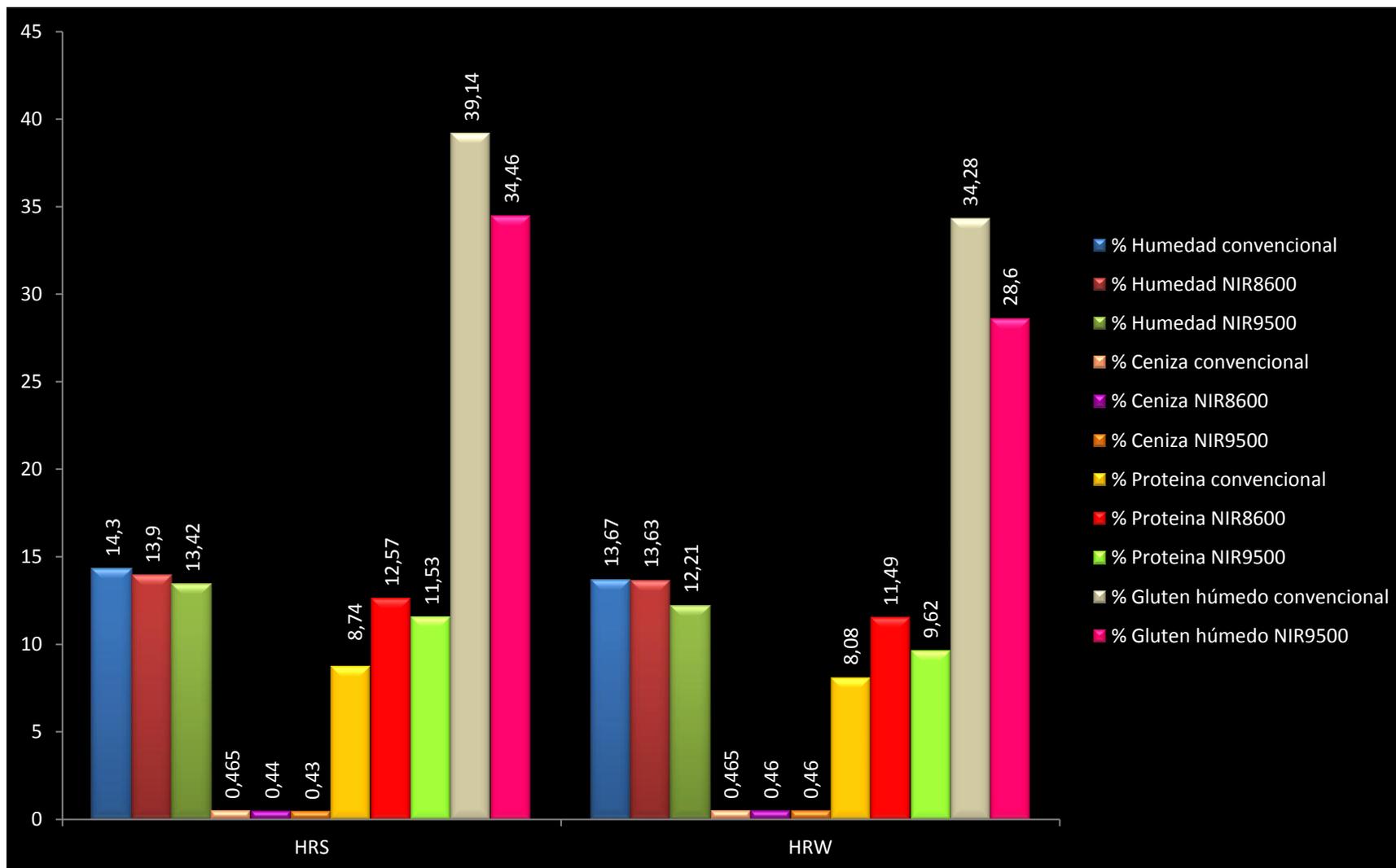


Figura 40. Comparativo de análisis fisicoquímicos por método convencional y empleo de equipos de infrarrojo cercano NIR, para harina obtenida por tipo de trigo.

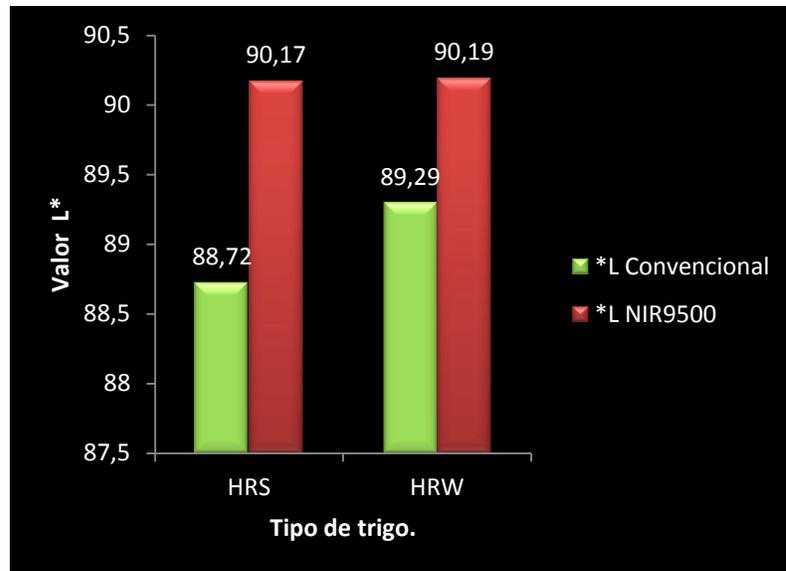


Figura 41. Comparativo de color en L* por método convencional y NIR 9500.

Se presentó interacción entre la variedad de grano y tipo de grano en las variables proteína del método 8600 y en las variables proteína, ceniza, gluten y color en *L del método 9500 (**Anexo 7.4.4**).

En la variable de color se presenta una variación en promedio de 1.17 puntos entre métodos (**Figura 41**), observándose mayor luminosidad en el trigo HRW, esto a causa del contenido inicial de PB en este tipo de grano.

En la **Figura 42**, se observa el comparativo de análisis fisicoquímicos para harinas obtenidas por tipo de grano. Se logra apreciar que al igual que en relación a tipo de trigo, las variables en las que se presenta una menor variación entre métodos corresponden a humedad y cenizas, mientras que en proteínas, gluten húmedo y color existe mayor variación, en donde PB obtiene los menores valores en cuando a proteína y gluten se refiere, presentándose un incremento en color eje L* (**Figura 43**) que es atribuido a la estructura almidonosa que posee este tipo de grano.

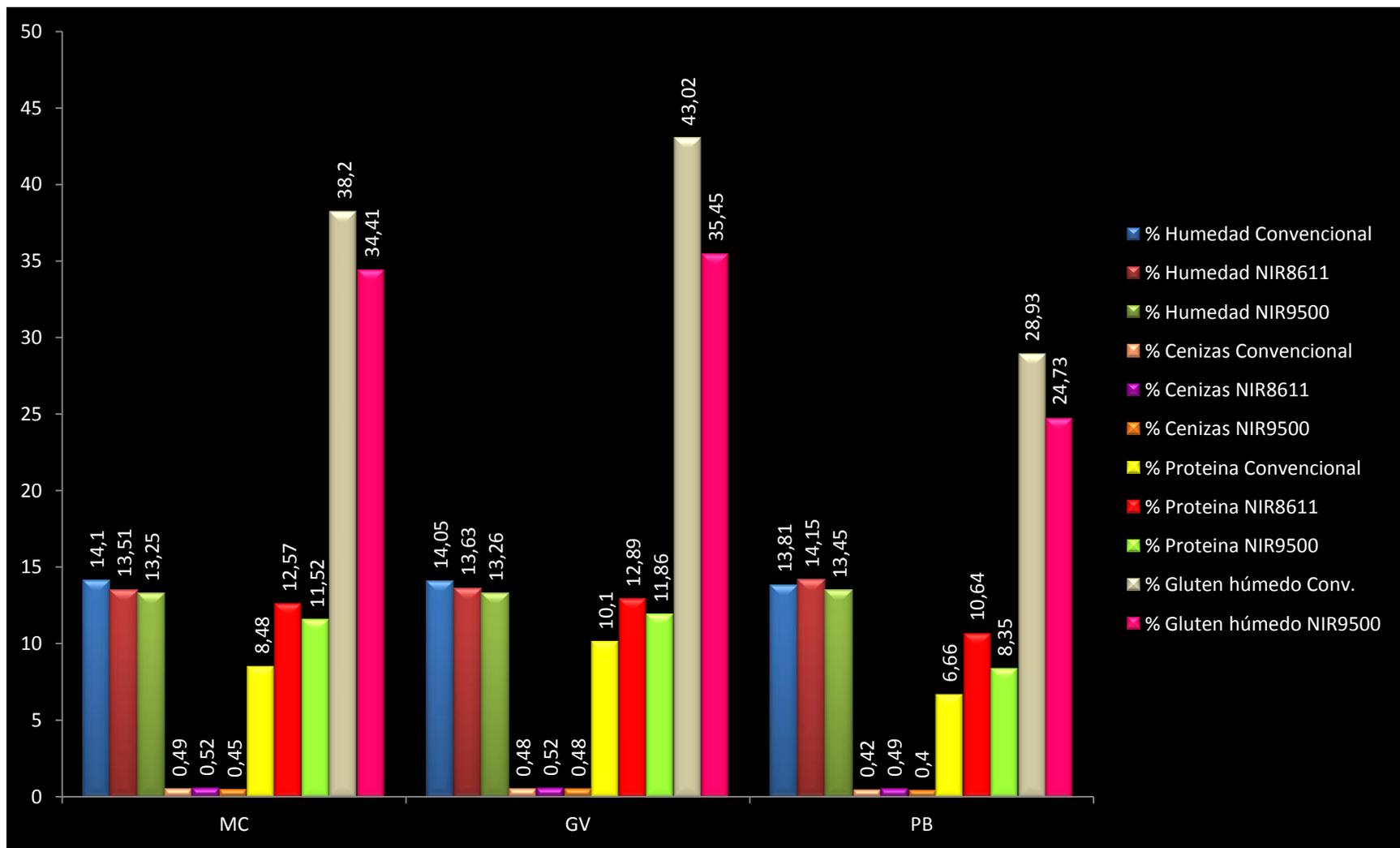


Figura 42. Comparativo de análisis fisicoquímicos por método convencional y empleo de equipos de infrarrojo cercano NIR, para harina obtenida por tipo de grano.

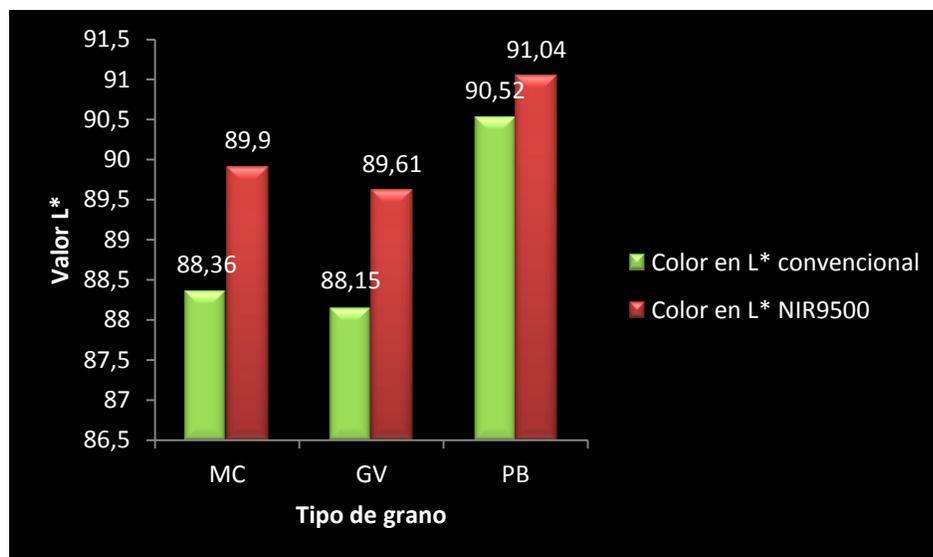


Figura 43. Comparativo de color en L*, para harina obtenida por tipo de grano.

4.3.3 Reología

4.3.3.1 Alveograma

En el análisis de varianza correspondiente a la evaluación en alveógrafo de Chopin, para tipo de trigo, se encontró que existe diferencia significativa entre Hard Red Spring y Hard Red Winter, en todas las variables involucradas en el estudio (**Anexo7.5.1**).

De acuerdo a la prueba de Duncan correspondiente a tipo de trigo (**Tabla 19**), se observa que el trigo HRS tiene un mayor contenido de humedad, y los mejores valores en extensibilidad (L), índice de hinchamiento (G), fuerza (W) e índice de elasticidad (Ie); el trigo HRW es superior en el resto de las variables, que corresponden a la resistencia (P), relación P/L y relación P/G.

Tabla 19. Prueba de Duncan para tipo de trigo (Alveograma).

Trigo	Humedad	P	L	G	W	P/L	P/G	Ie
HRS	14.3	70	130.4	25.32	311.55	0.55	2.78	62.76
HRW	13.67	73.3	106.2	22.88	263.11	0.69	3.19	58.27

En los dos tipos de trigo y recordando que el trigo HRS contiene un mayor contenido de proteína que el HRW, los datos presentan un comportamiento lógico con relación a la fuerza (W) que poseerá la harina de estos trigos (**Figura 44**).

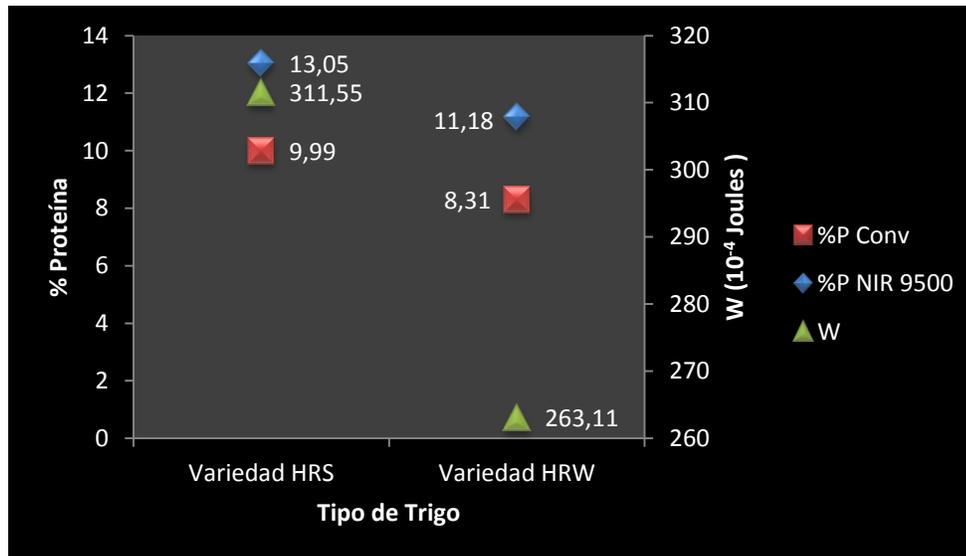


Figura 44. Relación de la fuerza con el contenido proteico en el tipo de trigo (HRS y HRW). En base a la prueba de Duncan.

Como se observa en la **Tabla 19** la fuerza que posee el trigo HRS y HRW es de 311.55×10^{-4} Joules y 263.11×10^{-4} Joules respectivamente. Donde se presenta gran diferencia en este parámetro que es el más destacable del análisis mediante el alveógrafo. De acuerdo a lo reportado por USWA para cosechas 2013, los valores para HRS son de 345×10^{-4} Joules y para HRW de 250×10^{-4} Joules, datos que presentan una diferencia numérica pequeña considerando que el reporte contempla varios estados de los Estados Unidos que cosechan cada uno de los tipos de trigo, y en caso particular de esta investigación hablamos de un estado de origen para cada uno de ellos.

Los valores óptimos de fuerza (W) son establecidos por la industria para un producto final determinado, sin embargo es de gran importancia tener conocimiento del valor en W que aporta un tipo de trigo en particular y el costo económico de adquisición de dicho trigo, para de este modo formular mezclas con

la finalidad de obtener un producto final que cumpla con las especificaciones, haciendo un equilibrio entre la calidad que se ofrecerá al consumidor y los costos de producción.

Peña Bautista R.J., Pérez Herrera P., Villaseñor Mir E. Gómez Valdez M.M., Mendoza Lozano M.A., Monterde Gabilondo R., (2008), mencionan que trigos para panificación semi-mecanizada y tortilla de harina, deben poseer valores W de entre 200 y 300. De este modo la fuerza presentada por HRS y HRW en esta investigación corresponde a este rango.

Vadillo V.J, (2014), menciona que valores de P/L superiores a 0.6 están fuera de los mejores para trigo panificable. En base a lo anteriormente mencionado, HRS contiene buen valor de P/L, y HRW se encuentra 0.09 puntos por encima, lo cual lo hace, no ser apto para harina de panificación.

En 2008 Peña Bautista R.J., Pérez Herrera P., Villaseñor Mir E. Gómez Valdez M.M., Mendoza Lozano M.A y Monterde Gabilondo R., mencionan que valores de P/L entre 0.6-0.8 son preferibles para harinas panificables y valores inferiores a 0.6 son adecuados para la elaboración de galleta; lo cual difiere a lo reportado por Vadillo V.J (2014); de este modo se tiene que HRW es apto para producción de pan y HRS para galleta en cuanto a relación P/L se refiere. La variación entre las investigaciones nos hace ver cuán importante es el establecimiento de valores óptimos en estas variables por la industria para un producto terminado en particular.

En lo que se refiere al tipo de grano (MC, GV y PB), en el análisis de varianza, se observa que existe diferencia significativa en todas las variables, a excepción de la relación P/G (**Anexo 7.5.2**).

De acuerdo a la prueba de Duncan (**Anexo 7.5.3**) para tipo de grano se observó que en las variables de contenido de humedad, P, L, G e le, los mejores granos fueron GV y MC. Para la variable W el grano con mayor fuerza fue GV. El comportamiento con incrementos en estas variables se atribuye a que el grano vítreo y muestra compuesta poseen un contenido proteico mayor al que posee el

grano con panza blanca (Roming R.E., Olson R.S., 1969), haciendo que este último obtenga valores menores que los dos primeros **Figuras 45 y 46**.

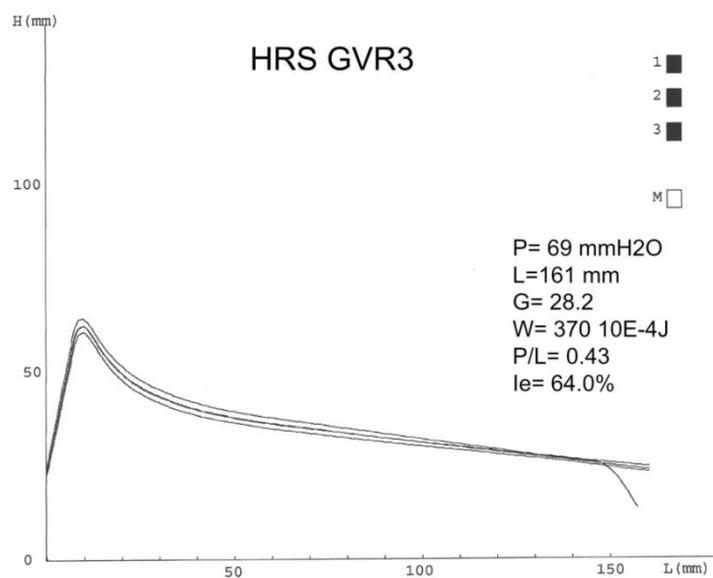


Figura 45. Alveograma de harina obtenida de grano vítreo.

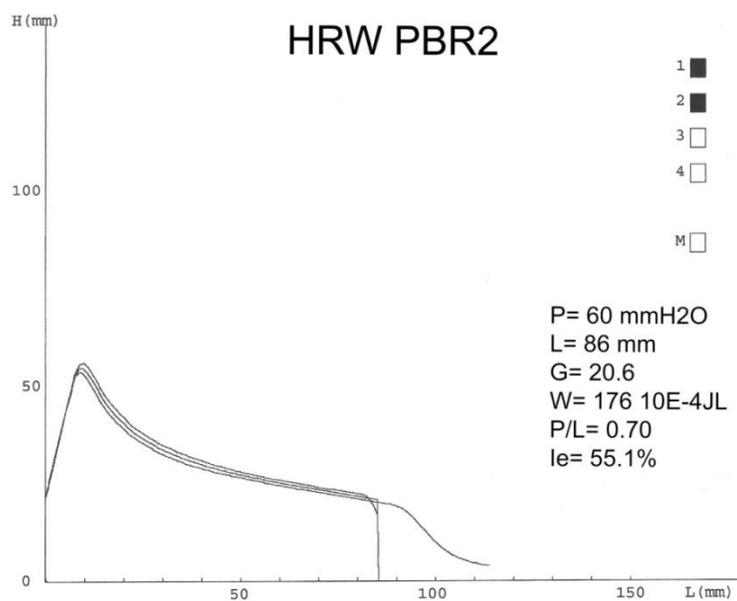


Figura 46. Alveograma de harina obtenida de grano con panza blanca.

Los valores obtenidos para tipo de trigo se encuentran dentro de los reportados por Islas Rubio A., MacRitchie F., Gandikota S y HouG., en 2005; quienes mencionan en su investigación que tres de nueve harinas de trigo panificable mostraron resultados menores a 300×10^{-4} Joules; así como dentro de los reportados por Gómez-Ortiz S., Cifuentes-Díaz de León A., Orea-Lara G. (2006), que presentan valores de 194-262 $\times 10^{-4}$ Joules. La fuerza presentada por PB en esta investigación se encuentra en valores inferiores a 300, sin embargo en los trabajos anteriormente mencionados los valores se refieren a trigo (*Triticum aestivum*) sin hacer separación alguna de esta fracción para ser evaluada individualmente.

De la Horra A.E., Seghezzo M.L., Molfese E., Ribotta P.D y León A.E., (2012) reportan valores de fuerza (W) comprendidos entre los rangos de 235-536 $\times 10^{-4}$ Joules. Hernández, Posadas, Cervantes, González, Santacruz, Benítez y Peña (2013), en su investigación muestran como resultado de la evaluación de 117 líneas de trigo panificable, valores de W: menores de 55 $\times 10^{-4}$ Joules, promedio 240 $\times 10^{-4}$ Joules y máximos de 494 $\times 10^{-4}$ Joules. Dentro de los valores reportados en las investigaciones anteriormente mencionadas, se encuentran los obtenidos por MC y GV, siendo el de mayor fuerza GV, debido al mayor contenido proteico que posee.

Estas investigaciones realizadas de manera muy generalizada en trigo panificable nos proporcionan datos con gran similitud a los obtenidos, lo que es indicativo de la calidad panadera que poseen los tipos de trigo evaluados.

Peña Bautista R.J., Pérez Herrera P., Villaseñor Mir E. Gómez Valdez M.M., Mendoza Lozano M.A., Monterde Gabilondo R., 2008, mencionan que los trigos para panificación mecanizada deben tener valores de W mayores a 340-350; aquellos para panificación semi-mecanizada y tortilla de harina, valores W de entre 200 y 300; y finalmente, los que se utilizarán en la producción de galleta, valores W menores a 200. Considerando lo anteriormente mencionado al hacer uso en la industria de harina proveniente de los tipos de grano evaluados en este proyecto,

tendríamos que MC y PB podría ser empleada para la elaboración de tortilla de harina y panificación semi-mecanizada y GV para panificación mecanizada.

En la **Figura 47** se muestra el comportamiento de la fuerza (W), de los tipos de grano de acuerdo al contenido proteico de la harina.

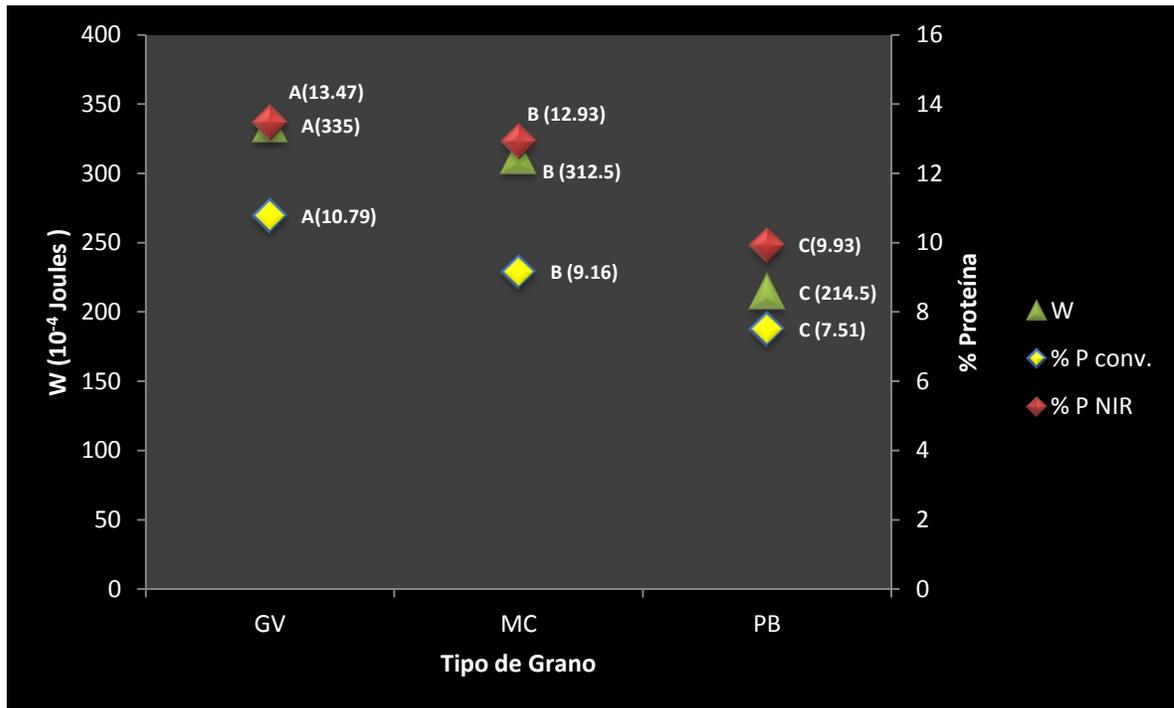


Figura 47. Relación de la fuerza con el contenido proteico en el tipo de grano. En base a la prueba de Duncan.

Es de gran importancia tener un panorama general del comportamiento que brinda la presencia del defecto fisiológico PB en un porcentaje determinado en el trigo, así como el impacto que tiene en la industria el adquirir trigo 100% sano (GV); ya que esta información le permite a la industria determinar la viabilidad y rentabilidad de recibir trigo con cierto porcentaje del defecto fisiológico PB.

Peña Bautista R.J., Pérez Herrera P., Villaseñor Mir E. Gómez Valdez M.M., Mendoza Lozano M.A., Monterde Gabilondo R., en 2008, mencionan que en cuanto a las harinas panificables, éstas deben tener buena extensibilidad, con valores de P/L menores a 1.1 y, de preferencia, entre 0.6 y 0.8; y que las harinas

para galleta son mejores cuando tienen valores de P/L menores a 0.6. En general, las harinas de trigo con valores de P/L mayores a 1.3 se clasifican como tenaces (poco extensibles).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, las muestras de MC (0.59), GV (0.57), se encuentran ligeramente inferiores a 0.6, lo cual les brinda la oportunidad de ser consideradas como harina panificable al igual que PB.

En la variable P/G todos los tipos de granos fueron estadísticamente iguales (**Anexo 7.5.3**).

En la interacción tipo de trigo (HRS y HRW), y tipo de grano (MC, GV, PB) se presentaron interacciones en las variables de contenido de humedad, P, P/G como se puede observar en el **Anexo 7.5.4**.

4.3.3.2 Farinograma

En el análisis de varianza correspondiente a la prueba realizada en el farinógrafo, los resultados muestran que existe diferencia significativa entre los tipos de trigo en todas las variables (**Anexo 7.6.1**).

De acuerdo al análisis de medias (prueba de Duncan) para tipo de trigo, HRS es superior en todas las variables, a excepción del índice de tolerancia al mezclado (MTI), donde HRW fue superior (**Tabla 20**).

Tabla 20. Prueba de Duncan para tipo de trigo.(Farinograma).

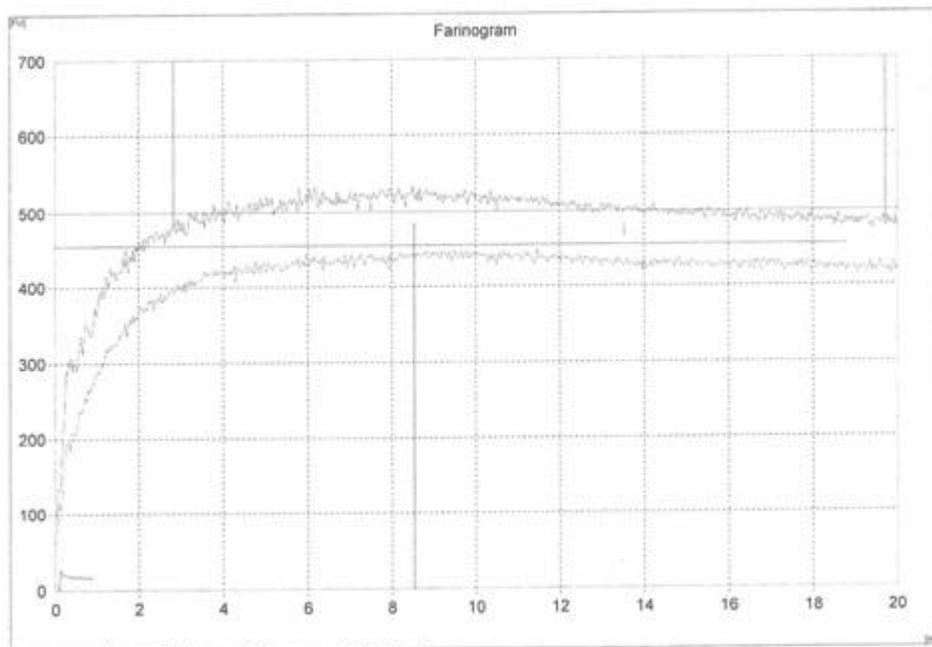
Trigo	Humedad	Abs500FU	Abs14%	TD	Estabilidad	MTI	Time to breakdown	FQN
HRS	14.3	57.51	57.83	6.91	10.46	28.11	12.74	127.44
HRW	13.67	55.59	55.24	4.58	8.78	36.22	9.51	94.77

En el análisis farinográfico las variables con mayor impacto corresponden a la absorción al 14% y la estabilidad. Ambos datos en los dos tipos de trigo difieren a

lo reportado por USWA (2013), cuyos valores se encuentran en HRS 64%, para la absorción al 14% y 11.0 min para la estabilidad; y para HRW en 59.8% y 12.3min. Esta variación es causada, como se mencionó anteriormente por la cantidad de muestras y procedencia geográfica de las mismas analizadas por USWA para dicho reporte. Sin embargo, al igual que lo indicado por USWA, HRS posee mayores valores en estas variables.

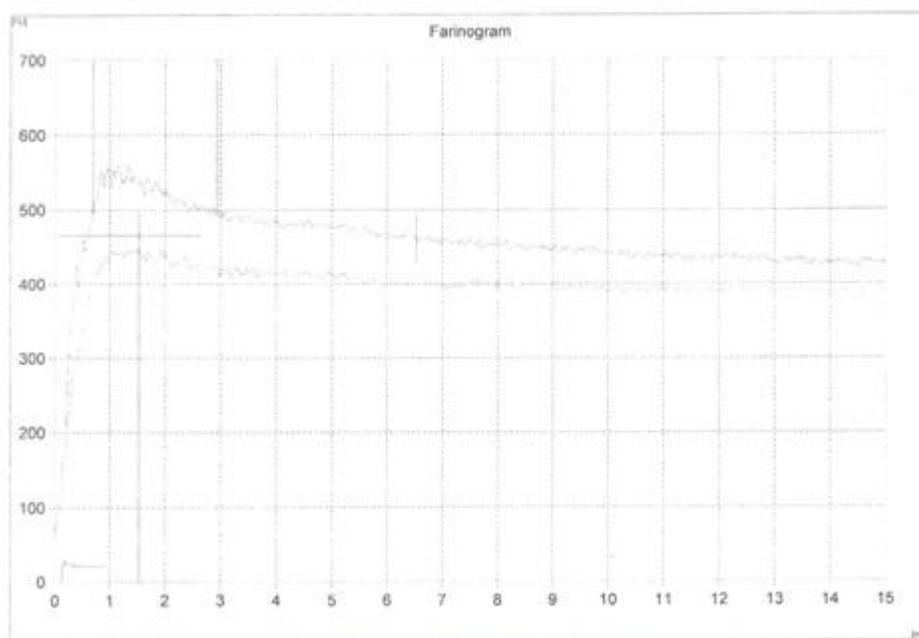
En lo que se refiere al análisis de varianza correspondiente a tipo de grano, se encontró que también existe diferencia significativa en todas las variables involucradas en la prueba (**Anexo 7.6.2**). De acuerdo a el análisis de medias (prueba de Duncan), los resultados indican que en las variables correspondientes a contenido de humedad, absorción al 14%, tiempo de desarrollo (TD), estabilidad, tiempo de ruptura y número de calidad farinográfica (FQN) los mejores granos fueron GV y MC; en la absorción 500 FU el grano con el mejor comportamiento fue el GV, y en la variable correspondiente al índice de tolerancia al mezclado (MTI) el mejor grano fue el PB, como se muestra en el **Anexo 7.6.3**.

En las **Figuras 48 y 49**, se muestran farinogramas correspondientes a grano vítreo (GV) y grano con defecto fisiológico (PB), respectivamente.



Abs 14%: 58.8%. Estabilidad: 16.9 minutos. TD: 8.5 minutos.

Figura 48. Farinograma de harina obtenida de grano vítreo.



Abs 14%: 52.10%. Estabilidad: 1.9 minutos. TD: 1.4 minutos

Figura 49. Farinograma de harina obtenida de grano panza blanca.

Investigaciones sobre estudios farinográficos se muestran en la **Tabla 21**, indicándose las variables de interés.

Tabla 21. Investigaciones farinográficas sobre absorción al 14% y estabilidad de harinas.

Autores	Título	Absorción 14% (%)	Estabilidad (minutos)
Gambarota L., 2005	Caracterización de las fracciones de harina de trigo pan. Análisis de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las fracciones de harina de trigo pan obtenidas en el molino experimental BUHLER MLU-202.	54-66.7	6.5-9.0
Díez Mínguez J. (2014)	Caracterización de la harina de teff para su uso en panificación.	58.2-61.9	3.58-11.05
De la Horra A.E., Seghezzo M.L., Molfese E., Ribotta P.D & León A.E., (2012).	Wheat flours quality indicators: industria quality index and its relation with predictive test.	55.6-63.6	12.1-39
Cazares Torres M.J. (2011).	Evaluación fisicoquímica y farinográfica de la harina de trigo (<i>Triticum aestivum</i>) obtenida en los pasajes de molienda de la industria "Molinos Miraflores"	60.87-69.0	3.0-23.0

Comparando los datos obtenidos en esta investigación y los datos reportados en diversas investigaciones mostradas en la **Tabla 21**, los valores de absorción al 14% obtenidos para GV (58.3%) y MC (57.73%), coinciden con los valores indicados por De la Horra A.E., Seghezzo M.L., Molfese E., Ribotta P.D & León A.E., (2012); y Gambarota L., en 2005.

Como se muestra en la **Figura 50**, los valores de PB no se encuentran dentro de estos rangos, ya que la estructura de este tipo de grano, causa una disminución en la absorción de agua, por su bajo contenido proteico, lo cual es indeseable para la panificación ya que esto disminuye el rendimiento del producto terminado.

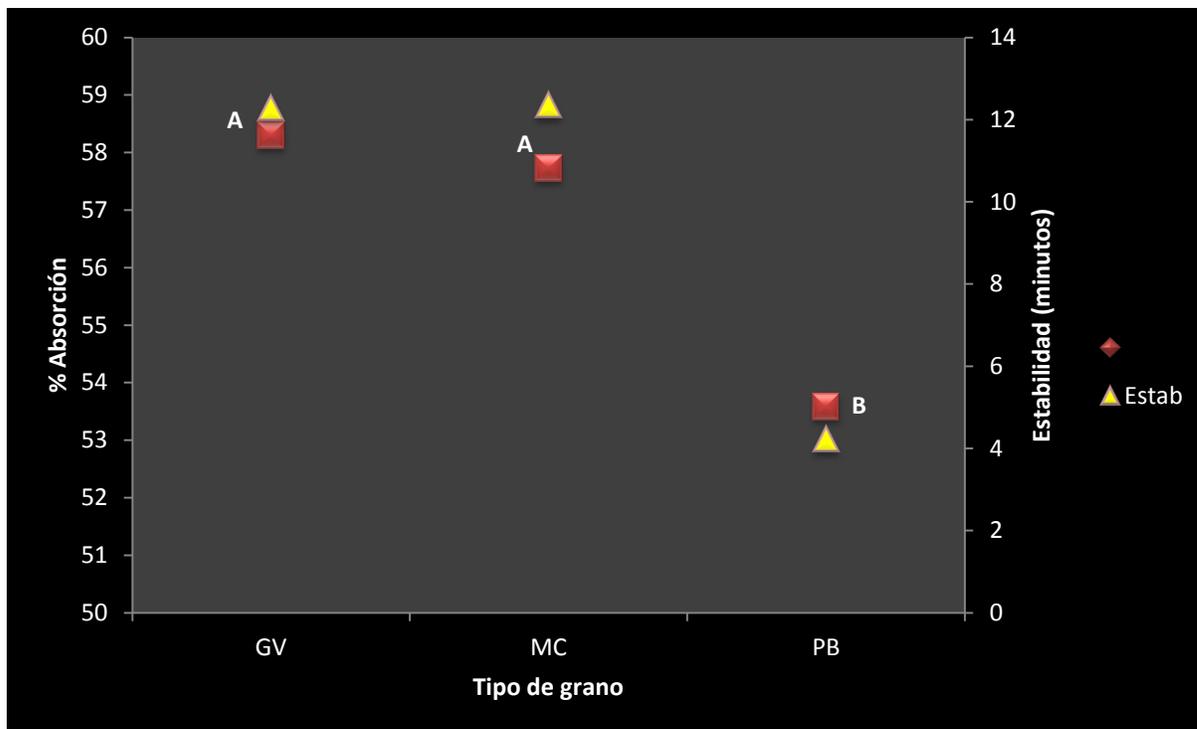


Figura 50. Relación de absorción al 14% y estabilidad en el estudio farinográfico.

Como se muestra en la **Figura 50**, en la variable de estabilidad, GV obtuvo 12.28 min y MC 12.36 min, datos que se encuentran dentro de los intervalos reportados por Cazares Torres M.J., (2011); y De la Horra A.E., Seghezzi M.L., Molfese E., Ribotta P.D & León A.E., (2012).

Para el caso de PB en esta misma variable, este tipo de grano obtuvo valores de 4.23 min, dato que se encuentra dentro de los rangos encontrados por Cazares Torres M.J., (2011); y Díez Mínguez J. (2014) en mezclas de harina de trigo con teff. El dato por mucho inferior en estabilidad de este tipo de grano respecto a los dos anteriores, es debido principalmente al contenido proteico, que lo hace ser menos fuerte, por lo tanto opone menor resistencia al amasado y el trabajo realizado sobre la masa es menor. Caso contrario a lo que ocurre con GV y MC cuyo contenido proteico es más elevado, requiriendo en consecuencia mayor trabajo para el amasado.

Las variables de absorción al 14% y estabilidad, mantienen un comportamiento similar, es decir, si el primero es elevado el segundo también tenderá a ser mayor y viceversa, como se muestra en la **Figura 50**.

Respecto al análisis de varianza de la interacción entre el tipo de trigo y el tipo de grano, existe interacción en las variables humedad, estabilidad y tolerancia (**Anexo 7.6.4**).

En base a todo lo anterior se presenta una gran diferencia numérica y estadística en todas las variables de estudio entre grano vítreo (GV) y panza blanca (PB), razón por la cual la presencia de este defecto es de gran importancia en una muestra de trigo (MC), ya que se disminuye en gran proporción su calidad para panificación. Sin embargo la alta incidencia de este defecto en el trigo puede ser aprovechada, realizándole al trigo una separación por color y emplear la harina obtenida como un recurso más, debido a sus características para mezclas de harina de panificación.

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en la etapa experimental de esta investigación permitieron plantear las siguientes conclusiones:

- ❖ El trigo HRS contiene una mayor vitrosidad, en consecuencia el contenido proteico también aumenta, en trigo y en la harina.
- ❖ El grano con defecto fisiológico panza blanca, presenta mayor rendimiento en el proceso de molienda.
- ❖ La proporción de panza blanca presente en trigo HRW lo hace obtener mejor rendimiento en molienda que el obtenido de HRS.
- ❖ Las mermas durante el proceso de molienda no se ven influenciadas por la estructura del tipo trigo y tipo de grano empleados de este modo, las mermas son constantes siendo el factor causal el molino empleado y su modelo.
- ❖ Existe merma proteica en el grano después de la molienda independientemente del método de análisis.
- ❖ Los mayores contenidos de proteína, gluten húmedo y sedimentación, los presentó la harina obtenida de trigo HRS.
- ❖ La fracción separada de grano vítreo presenta mayores contenidos proteicos tanto en trigo como en harina.
- ❖ La fracción de grano con defecto fisiológico panza blanca, proporciona mayor blancura a la harina obtenida después del proceso de molienda.

- ❖ HRS presenta mayor fuerza, mayor absorción al 14% y estabilidad, que la HRW.
- ❖ El grano vítreo presenta valores en fuerza (W) de $335 \cdot 10^{-4}$ J, superiores a los presentados por tipo de trigo, por lo cual se sugiere para panificación mecanizada.
- ❖ La harina de trigo con grano PB disminuye la calidad de uso; presenta valores en fuerza de $214.5 \cdot 10^{-4}$ J, lo cual le da la posibilidad de ser empleada para la producción de tortillas de harina.
- ❖ En el estudio farinográfico el tipo de grano que presenta mayor absorción al 14% fue GV, e incluso mayor que el presente en trigo HRS y HRW.
- ❖ El grano con panza blanca en el estudio farinográfico muestra resultados de absorción 14% (53.58%) y estabilidad (4.23 min), inferiores a los esperados en harina para panificación, de manera que coincide con el análisis alveográfico en la posibilidad de ser empleado panificación semi-mecanizada y elaboración de tortillas de harina.
- ❖ Los contenidos de proteína, gluten húmedo y color en L*; se ven afectados por el método de análisis fisicoquímico empleado.

6.1 Recomendaciones

- ❖ El empleo de métodos rápidos de análisis proporciona una reducción de tiempos y costos de análisis, factores determinantes en cualquier industria para una mejor eficiencia. Para obtener resultados mediante uso de métodos rápidos (NIR) aproximados a los que se obtienen por métodos convencionales, es importante tener un control y monitoreo sobre la duración de la calibración de los equipos, para en caso de presentarse desviaciones fuera de valores establecidos, hacer los ajustes correspondientes en el equipo.

- ❖ Realizar pruebas de panificación en las harinas de interés correspondientes a grano vítreo y grano con defecto fisiológico panza blanca. Para evaluación experimental real de los resultados obtenidos.

- ❖ Determinar con qué porcentaje de trigo con panza blanca se mantienen las características de la harina aptas para panificación sin pasar a ser apto para elaboración de otro tipo de productos.

7.1 Literatura citada

- Alcalá Bernárdez M., 2006. Utilización de la espectroscopia NIR en el control analítico de la industria farmacéutica desarrollos iniciales en PAT. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra.
- Arriaga H. O., Chidichimo H. O y Sempe M. E, 1980. El carácter vítreo del grano de trigo. Facultad de agronomía UNLP. La Plata. Buenos Aires.
- Berzaghi P., 2012. Demostración de software para el tratamiento de datos espectrales NIRS. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias con la colaboración de UnityScientific y AgrotroNIK Analizadores S.L. Italia.
- Callejo González, 2002. Industrias de cereales y derivados. Madrid. AMV Ediciones.
- CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo), 2014. Consultado 19 Mayo 2014. Disponible en: <http://www.canimolt.org/trigo/tipos-de-trigo/estados-unidos-1>
- Castillo Martínez M., 2007. Aplicación de la Espectroscopia NIR al control Analítico de procesos de la industria química (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra.
- Camuzzi H., Camuzzi A., Domínguez G., 2014. Curso de perito clasificador de cereales oleaginosas y legumbres. Aplicación Industrial. Ago escuela privada de Córdoba. Argentina. Consultado junio 2014. Disponible en: http://www.agroescuela-cordoba.com.ar/images_db/noticias_archivos/111.pdf
- Cazares Torres M.J., 2011. Evaluación fisicoquímica y farinográfica de la harina de trigo (*Triticumaestivum*) obtenida en los pasajes de molienda de la industria “Molinos Miraflores”. Universidad técnica de Ambato. Ecuador.
- CODEX Alimentarius, 1996. Cereales, Legumbres, Leguminosas, Productos derivados y proteínas vegetales. Roma. Segunda edición. FAO.

- CODEX STAN 199-1995- Norma del codex para el trigo y el trigo duro. Consultado el día 29 Mayo 2014. Disponible en: file:///C:/Users/Abigail/Downloads/CXS_199s.pdf
- CONCEREAL(consultores cerealistas). Molino de laboratorio CD1. Consultado el día 29 Mayo 2014. Disponible en: http://www.concereal.es/molino_cd1
- Contreras Castro C. R., 1986. Método de estimación de calidad molinera y panadera de trigos panaderos mexicanos (*Triticum aestivum* L). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México
- De la Cruz Quispe W. H. 2009.Complementacion proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de quinua (*ChenopodiumquinoaWilld*) y suero en pan de molde. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- De la Horra A.E., Seghezzo M.L., Molfese E., Ribotta P.D & León A.E., (2012). Wheat flours quality indicators: industria quality index and its relation with predictive test. Agriscientia XXIX (2): 81-89. Argentina.
- Ferreras C. Rebeca., 2009. Análisis reológicos de las diferentes fracciones de harina obtenida en la molienda del grano de trigo. Tesis. Universidad de Salamanca. Escuela politécnica superior de Zamora.
- Gambarotta L., 2005. Caracterización de las fracciones de harina de trigo pan. Análisis de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de las fracciones de harina de trigo pan obtenidas en el molino experimental BUHLER MLU-202. Universidad de Belgrano. Buenos Aires.
- Gómez-Ortiz S., Cifuentes-Díaz de León A., Orea-Lara G., 2006. Cambios reologicos en una masa panaria durante el tiempo de reposo. CIIDIR-IPN. Durango México.
- Guerrero García Andrés, 1999. Cultivos herbáceos extensivos. España. Ediciones Mundi-Prensa.
- Hernández, Posadas, Cervantes, González, Santacruz, Benitez y Peña, 2013. Distribución de fracciones de proteína y su contribución a las características de calidad de trigo. México. Revista Fitotecnia Mexicana.

- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria), 2014. La estanzuela. Explorando altos rendimientos de trigo. Editores: Daniel L. Martino y ManMohanKohli. Uruguay. Octubre 20-23, 1997. Consultado el día 18 mayo 2014. Disponible en: <http://books.google.com.mx/books?id=BwsR8srlzSoC&pg=PA291&dq=trigo+harinero&hl=es&sa=X&ei=uDh5U4u1J879oAT18IC4Dw&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=trigo%20harinero&f=false>.
- Islas R.A, MacRitchie F., Gandikota S y HouG,2005. Relaciones de la composición proteínica y mediciones reologicas en masa con calidad panadera de harinas de trigo. México. Revista Fitotecnia Mexicana.
- Kent-Jones D.W, 1956. Química moderna de los cereales. Aguilar. Madrid.
- Kirk R.S., Sawyer R., y Egan H. 2008. Composición y análisis de alimentos de pearson. México. Segunda edición. Patria.
- Lizarro L.J. 1970. Curso para laboratoristas de planta del idema. Centro Interamericano de Desarrollo Rural y Reforma Agropecuaria. Costa Rica.
- Mateo Box J.M., 2005. Prontuario de agricultura. Cultivos agrícolas. España. Ediciones Multi-Prensa.
- Mohan K.M., Díaz de Ackermann., Castro M., 2001. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo: un enfoque multidisciplinario. Uruguay. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) y CIMMYT (Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo). Uruguay.
- Mohan K.M., Martino D. L., 2009. Explorando altos rendimientos de trigo. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) y CIMMYT (Centro Internacional de mejoramiento de Maíz y Trigo). Uruguay.
- Montoya-López J., Grijaldo-Grijaldo G.A., Lucas-Aguirre J.C., 2012. Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. Universidad de Antioquia. Medellín Colombia.
- Osella C.A., D. Sánchez H., J. González R y A. de la Torre M., 2006. Molienda de trigo: Ensayos comparativos de escala industrial con planta piloto. Industria alimentaria. Vol. 17 N°3. Argentina.

- Pensar para comer, 2012. Info. Harinas. Consultado el 21 Mayo 2014. Disponible en: <http://pensarparacomer.blogspot.mx/2012/07/harinas-blancas-vs.html>
- Peña Bautista R.J., Pérez Herrera P., Villaseñor Mir E. Gómez Valdez M.M., Mendoza Lozano M.A., Monterde Gabilondo R., 2008. Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2006-2007. Publicación especial CONASIST-CONATRIGO. México DF.
- Pérez Lemus A. P., García R.R., 2013. Evaluación del comportamiento reológico de dos muestras de harina de trigo (*Triticum aestivum L.*) acondicionada con mezcla de fibras comerciales. Tesis. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Diutana. Colombia.
- Perten Instruments, 1992. Manual de equipo FallingNumber 1800.
- Perten, 2014 (Mayo, 14). Folleto equipo NIR: Disponible en: http://www.perten.com/Global/Brochures/IM%208600/IM8600_spa_final_20110901.pdf
- Robles Sánchez Raúl., 1990. Producción de granos y forrajes. México Quinta edición. Limusa.
- Roming R.E., Olson R.S., 1969. Yield-protein relationships in wheat grain, as affected by nitrogen and water. Agric.
- Sánchez Pineda de las Infantas M.T., 2003 Procesos de elaboración de alimentos y bebidas. Primera edición. Madrid. Mundi Prensa.
- Serna Saldívar Sergio R. Othón. 2001. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. México. AGT.
- Serna Saldívar Sergio R. Othón., 2003. Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. México. AGT.Mundi Prensa.
- Thinkingfoods, 2014. Sitio web consultado 23 Junio 2014: <http://www.thinkingfoods.es/hacer-pizza.html>
- USDA & FGIS, 2000. Manual de normas de los Estados Unidos para la inspección del trigo.
- U.S. Wheat. Reporte de la calidad de las cosechas 2012.

- U.S. Wheat. Reporte de la calidad de las cosechas 2013. Consultado el día 29 Mayo 2014. Disponible en:
[http://www.uswheat.org/cropQuality/doc/CA38A8D34CC545C485257C5A005AE87C/\\$File/cq2013-sp.pdf?OpenElement#](http://www.uswheat.org/cropQuality/doc/CA38A8D34CC545C485257C5A005AE87C/$File/cq2013-sp.pdf?OpenElement#)
- Vadillo V.J. (2014). La calidad en los trigos. Semillas Agrícolas, S. A. Núm. 2/89 HD. Consultado 03 junio 2014. Disponible en:
http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_02.pdf
- Vásquez-Lara F y colaboradores, 2009. Propiedades reológicas y composición proteica: parámetros de calidad en harinas de líneas experimentales de trigo. BIOtecnica.
- Vázquez Catillo, German Manuel, Matos Chamorro, Alfredo., 2009. Evaluación de algunas características fisicoquímicas de las harinas de trigo Peruano en función a su calidad panadera. Revista de investigación universitaria. Perú.
- Vidal Larroca K., 2011. Soja. Semillas y sus características esenciales. Revista agrotecnia. Edición N° 8. Paraguay.
- Wilson H., Godiño M., 2000. Tecnología de almacenamiento de granos de trigo. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Uruguay.
- X-Rite, 2002. Guía para entender la comunicación del color. Consultado el día 14 mayo 2014. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/comunicacion-del-color-artes-graficas/comunicacion-del-color-artes-graficas.pdf>

ANEXOS

8.1 Anexos para parámetros de calidad del trigo

8.1.1 Concentrado del análisis de varianza correspondiente al factor tipo de trigo (HRS y HRW).

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	1	0.845	0.845	17.69	0.0012
H₂OAcnd.	1	843.50936	843.509	17.77	0.0012
K/H	1	12.667	12.667	21.84	0.0005
1000 granos	1	37.4978	37.4978	33.98	<.0001
Proteína NIR	1	15.76866	15.76866	903.22	<.0001
Proteína Conv.	1	12.73004	12.73	14.88	0.0002
Humedad NIR	1	0.2964	0.2964	2.54	0.1369

8.1.2 Concentrado del análisis de varianza correspondiente al factor tipo de grano (MV, GV, PB).

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	2	3.6311	1.81555	38	<.0001
H₂OAcnd.	2	678.73	339.3684	7.15	0.009
K/H	2	4.08111	2.04055	3.52	0.0627
1000 granos	2	11.63893	5.8194	5.27	0.0227
Humedad NIR	2	0.167	0.0835	0.72	0.508
Proteína NIR	2	43.73941	21.8697	1252.69	<.0001
Proteína Conv.	2	32.3316	16.1658	18.9	0.0002

8.1.3 Prueba de Duncan para el tipo de grano (MC, GV, PB).

Humedad Convencional		
MC	11.71	A
GV	11.15	B
PB	10.61	C

K/H		
GV	79.51	A
PB	78.66	A B
MC	78.4	B

Estadísticamente
Iguales

Mil granos		
GV	30.64	A
MC	29.93	A B
PB	28.7	B

Humedad NIR		
MC	11.45	A
GV	11.26	A
PB	11.24	A

Proteína NIR		
GV	13.47	A
MC	12.93	B
PB	9.93	C

Estadísticamente
Iguales

Proteína Convencional		
GV	10.79	A
MC	9.16	B
PB	7.51	C

8.1.4 Concentrado del análisis de varianza correspondiente a la interacción que se presenta entre el tipo de trigo y tipo de grano (Caracterización del trigo).

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	2	1.21	0.6	12.7	0.0011
H ₂ OAcnd.	2	224.105	112.0526	2.36	0.136
K/H	2	6.45444	3.22722	5.56	0.0195
1000 granos	2	1.7692	0.8846	0.8	0.4712
Humedad NIR	2	0.0874333	0.043716	0.37	0.6952
Proteína NIR	2	0.7335	0.36676	21.01	0.0001
Proteína Conv.	2	3.8813	1.94065	2.27	0.146

8.2 Anexos para proceso de molienda

8.2.1 Concentrado del análisis de varianza, para la diferencia entre tipo de trigo (HRS y HRW) como fuentes de variación. En los renglones se muestran las variables que corresponden.

		GL	SC	CM	Fc	Pr > F
1° Sección	Salvado	1	5.23	5.23	3.60	0.08
	Harina 1	1	0.40	0.40	6.75	0.02
	H. no fina	1	3.18	3.18	2.31	0.15
	Merma 1	1	1.28	1.28	1.06	0.32
2° Sección	Harina 2	1	4.83	4.83	0.86	0.37
	Sobrante	1	0.01	0.01	0.00	0.95
	Merma 2	1	5.40	5.40	4.92	0.05
Totales	Harina Total	1	6976.95	6976.95	1.02	0.80
	Rendimiento	1	0.05	0.05	0.02	0.89
	Sobrante total	1	0.01	0.01	0.01	0.91
	Merma total	1	5.69	5.69	5.15	0.04

8.2.2 Concentración del análisis de varianza, para la diferencia entre tipo de grano (MC, GV y PB) como fuente de variación. Mostrándose en los renglones las variables correspondientes.

		GL	SC	CM	Fc	Pr > F
1° Sección	Salvado	2	132.22	66.11	45.54	<.0001
	Harina 1	2	43.13	21.56	364.72	<.0001
	H. no fina	2	255.47	127.74	92.89	<.0001
	Merma 1	2	6.22	3.11	2.57	0.12
2° Sección	Harina 2	2	1421.34	710.67	126.38	<.0001
	Sobrante	2	1538.43	769.21	187.87	<.0001
	Merma 2	2	3.41	1.71	1.55	0.25
Totales	Harina Total	2	105139.93	52569.96	7.71	<.0001
	Rendimiento	2	197.86	98.93	42.29	<.0001
	Sobrante total	2	570.29	285.14	300.39	<.0001
	Merma total	2	2.97	1.49	1.35	0.30

8.2.3 Prueba de Duncan para los tipos de grano (MC, GV, PB). Se indica sombreadas las variables que fueron estadísticamente iguales.

Salvado		
PB	43.92	A
MC	39.32	B
GV	37.47	C

Harina 1		
PB	12.61	A
MC	9.79	B
GV	9.32	C

H. no fina		
GV	54.21	A
MC	51.4	B
PB	45.19	C

Merma 1		
PB	1.93	A
GV	1.01	A
MC	0.513	A

Harina 2		
PB	79.74	A
MC	62.99	B
GV	59.34	C

Sobrante		
GV	39.88	A
MC	36.75	B
PB	18.88	C

Estadísticamente Iguales

Merma 2		
MC	-0.3	A
GV	-0.76	A
PB	-1.36	A

Harina Total		
PB	976.96	A
MC	843.8	B
GV	829.77	B

Rendimiento		
PB	48.84	A
MC	42.19	B
GV	41.48	B

Estadísticamente Iguales

Sobrante total		
GV	21.63	A
MC	18.84	B
PB	8.54	

Merma total		
PB	1.31	A
GV	0.6	A
MC	0.36	A

Estadísticamente Iguales

8.2.4 Concentrado del análisis de varianza, para la interacción entre el tipo de trigo (HRS y HRW) y tipo de grano (MC, GV, PB). Mostrándose en los renglones las variables que corresponden.

		GL	SC	CM	Fc	Pr > F
1° Sección	Salvado	2	1.74	0.87	0.60	0.56
	Harina 1	2	4.09	2.04	34.56	<.0001
	H. no fina	2	8.71	4.36	3.17	0.08
	Merma 1	2	4.51	2.25	1.86	0.20
2° Sección	Harina 2	2	5.93	2.97	0.53	0.60
	Sobrante	2	9.77	4.89	1.19	0.34
	Merma 2	2	0.50	0.25	0.23	0.80
Totales	Harina Total	2	16419.83	8209.91	1.20	0.86
	Rendimiento	2	0.70	0.35	0.15	0.86
	Sobrante total	2	4.29	2.14	2.26	0.15
	Merma total	2	6.08	3.04	2.75	0.10

8.3 Anexos para fisicoquímicos, métodos convencionales

8.3.1 Concentrado del análisis de varianza para tipo de trigo (HRS, HRW), mostrándose las variables en los renglones.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
FallingNumber	1	9476.05	9476.05	25.05	0.0003
Sedimentación	1	176.41	176.41	173.02	<.0001
Gluten	1	106.19	106.19	19.20	0.0009
Cenizas	1	0.00	0.00	0.00	1.0000
*L	1	1.46	1.46	25.04	0.0003
*a	1	0.01	0.01	1.58	0.2300
*b	1	0.92	0.92	7.73	0.0160
%Proteína	1	2.01	2.01	8.50	0.0120

8.3.2 Concentrado del análisis de varianza para el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
FallingNumber	2	10163.11	5081.56	13.43	0.001
Sedimentación	2	197.35	98.67	96.78	<.0001
Gluten	2	615.08	307.54	55.59	<.0001
Cenizas	2	0.02	0.01	9.08	0.004
*L	2	20.60	10.30	176.42	<.0001
*a	2	2.02	1.01	141.84	<.0001
*b	2	0.83	0.41	3.45	0.065
%Proteína	2	35.67	17.84	75.55	<.0001

8.3.3 Prueba de Duncan para tipo de grano (MC, GV, PB).

FallingNumber		
GV	505.83	A
MC	483.83	A
PB	448.17	B

Sedimentación		
MC	24.41	A
GV	23.02	B
PB	16.79	C

Gluten		
GV	43.02	A
MC	38.20	B
PB	28.93	C

Cenizas		
MC	0.49	A
GV	0.48	A
PB	0.42	B

L		
PB	90.52	A
MC	88.36	B
GV	88.15	B

*a		
GV	-1.18	A
MC	-1.20	A
PB	-1.90	B

*b		
GV	11.24	A
MC	10.80	A B
PB	10.77	B

%Proteína		
GV	10.10	A
MC	8.48	B
PB	6.66	C

8.3.4 Concentrado del análisis de varianza para la interacción entre el tipo de trigo (HRS, HRW) y tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
FallingNumber	2	2352.44	1176.22	3.11	0.081
Sedimentación	2	23.71	11.85	11.63	0.002
Gluten	2	35.91	17.95	3.25	0.074
Cenizas	2	0.00	0.00	0.28	0.763
*L	2	1.51	0.76	12.97	0.001
*a	2	0.01	0.01	1.00	0.397
*b	2	0.13	0.06	0.54	0.596
% Proteína	2	1.00	0.50	2.11	0.163

8.4 Anexos para fisicoquímicos, métodos rápidos

8.4.1 Concentrado del análisis de varianza para el tipo de trigo (HRS y HRW), mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad NIR8600	1	0.32	0.32	3.51	0.0854
Proteína NIR8600	1	5.19	5.19	44.91	<.0001
Ceniza NIR8600	1	0.10	0.10	119.90	<.0001
Humedad NIR9500	1	0.20	0.20	12.93	0.0037
Proteína NIR9500	1	16.49	16.49	757.72	<.0001
Ceniza NIR9500	1	0.00	0.00	23.05	0.0004
Gluten húmedo NIR9500	1	154.59	154.59	758.48	<.0001
Color eje L* NIR9500	1	0.00	0.00	0.21	0.6553

8.4.2 Concentrado del análisis de varianza para el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad NIR8600	2	1.40	0.70	7.69	0.0071
Proteína NIR8600	2	17.82	8.91	77.02	<.0001
Ceniza NIR8600	2	0.00	0.00	1.47	0.2677
Humedad NIR9500	2	0.16	0.08	5.22	0.0234
Proteína NIR9500	2	44.81	22.41	1029.33	<.0001
Ceniza NIR9500	2	0.02	0.01	77.90	<.0001
Gluten húmedo NIR9500	2	419.64	209.82	1029.48	<.0001
Color eje L* NIR9500	2	6.89	3.44	245.44	<.0001

8.4.3 Prueba de Duncan para el tipo de grano (MC, GV, PB).

Humedad NIR 8600			ProteínaNIR8600			Ceniza NIR8600		
PB	14.15	A	GV	12.89	A	MC	0.52	A
GV	13.63	B	MC	12.57	A	GV	0.52	A
MC	13.51	B	PB	10.64	B	PB	0.49	A

Humedad NIR 9500			Proteína NIR 9500			Ceniza NIR 9500		
PB	13.45	A	GV	11.86	A	GV	0.48	A
GV	13.26	B	MC	11.52	B	MC	0.45	B
MC	13.25	B	PB	8.35	C	PB	0.40	C

Gluten húmedo NIR 9500			Color eje L* NIR		
GV	35.45	A	PB	91.04	A
MC	34.41	B	MC	89.90	B
PB	24.73	C	GV	89.61	C

8.4.4 Concentrado del análisis de varianza para la interacción entre tipo de trigo (HRS yHRW) y el tipo de grano (MC, GV, PB), mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad NIR8600	2	0.291	0.146	1.600	0.2425
Proteína NIR8600	2	15.127	7.563	65.380	<.0001
CenizaNIR8600	2	0.003	0.001	1.580	0.246
HumedadNIR9500	2	0.028	0.014	0.910	0.429
ProteínaNIR9500	2	1.024	0.512	23.510	<.0001
Ceniza NIR9500	2	0.002	0.001	9.900	0.0029
Gluten húmedoNIR9500	2	9.588	4.794	23.520	<.0001
Color eje L* NIR9500	2	0.349	0.174	12.420	0.0012

8.5 Anexos para alveograma

8.5.1 Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipos de trigo (HRS y HRW). En los renglones se muestran las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	1	1.74	1.74	68.17	<.0001
P	1	50.00	50.00	14.52	0.0025
L	1	2640.22	2640.22	45.09	<.0001
G	1	26.65	26.65	48.54	<.0001
W	1	10560.8	10560.8	64.09	<.0001
P/L	1	0.09	0.09	38.04	<.0001
P/G	1	0.77	0.77	35.35	<.0001
le	1	90.68	90.68	152.10	<.0001

8.5.2 Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipo de grano (MC, GV, PB). En los renglones se muestran las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	2	0.27	0.14	5.37	0.02
P	2	384.33	192.17	55.79	<.0001
L	2	5445.33	2722.66	46.50	<.0001
G	2	60.35	30.18	54.98	<.0001
W	2	49261	24630.5	149.4	<.0001
P/L	2	0.05	0.03	11.36	0.00
P/G	2	0.02	0.01	0.43	0.66
le	2	51.48	25.74	43.18	<.0001

8.5.3 Prueba de Duncan correspondiente a tipo de grano (MC, GV, PB).

Humedad		
MC	14.1	A
GV	14.05	A
PB	13.81	B

P		
GV	75.5	A
MC	74.33	A
PB	65.16	B

L		
GV	135	A
MC	125.6	A
PB	94.33	B

G		
GV	25.81	A
MC	24.93	A
PB	21.56	B

W		
GV	335	A
MC	312.5	B
PB	214.5	C

P/L		
PB	0.69	A
MC	0.59	B
GV	0.57	B

P/G		
PB	3.02	A
MC	2.99	A
GV	2.94	A

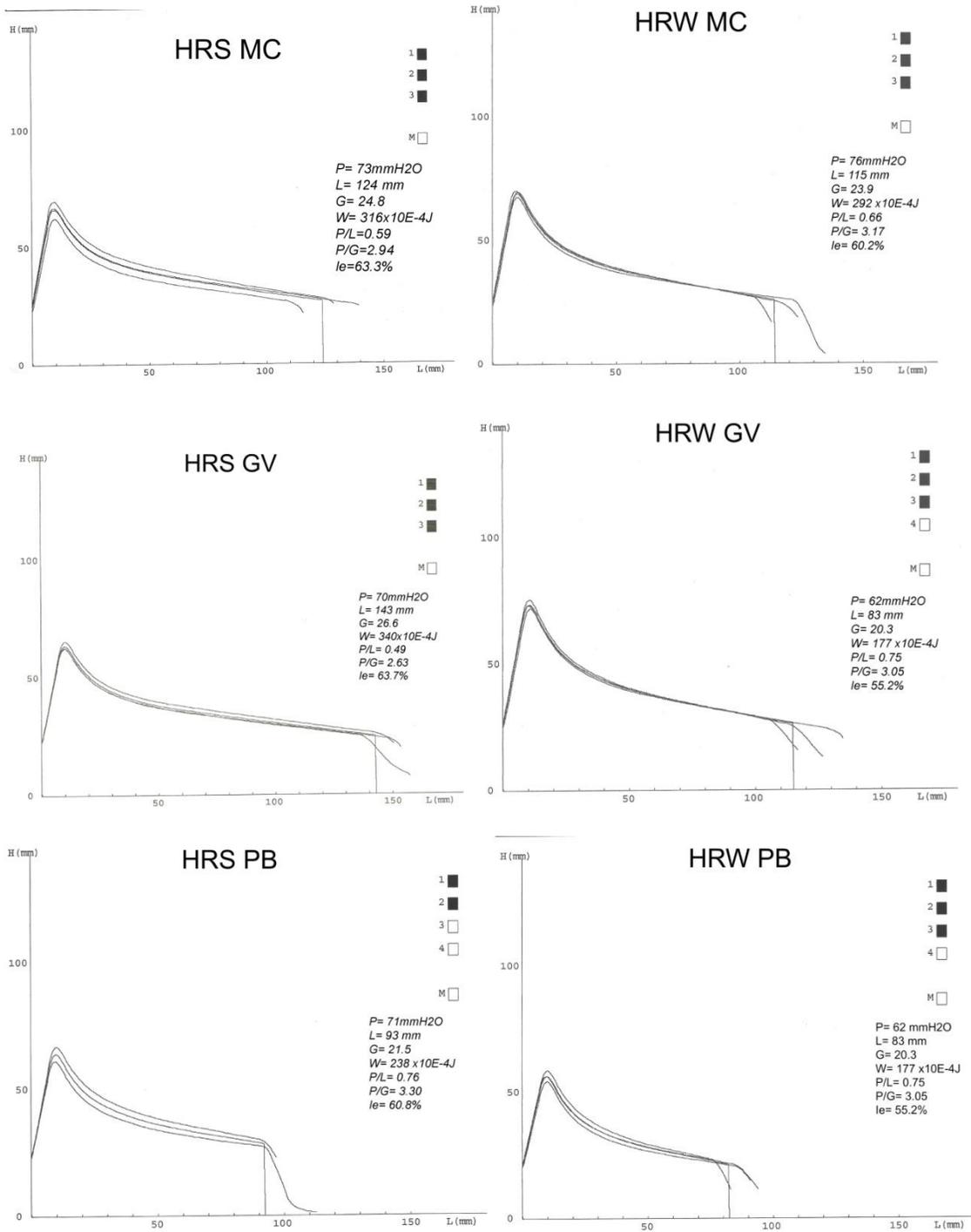
Ie		
GV	61.81	A
MC	61.61	A
PB	58.13	B

Estadísticamente Iguales.

8.5.4 Concentrado del análisis de varianza para la interacción de tipos de trigo (HRS y HRW) y el tipo de grano (MC, GV, PB). Mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	2	0.47	0.24	9.28	0.00
P	2	226.33	113.17	32.85	<.0001
L	2	109.78	54.89	0.94	0.42
G	2	0.50	0.25	0.46	0.64
W	2	928.77	464.388	2.82	0.0992
P/L	2	0.01	0.01	2.84	0.10
P/G	2	0.43	0.21	9.82	0.00
Ie	2	5.14	2.57	4.31	0.04

8.5.5 Gráficos obtenidos en el alveógrafo de Chopin para tipo de trigo (HRS, HRW) y tipo de grano (GV, MC, PB).



8.6 Anexos para farinograma

8.6.1 Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipos de trigo (HRS y HRW). En los renglones se muestran las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	1	1.74	1.74	68.17	<.0001
Abs500FU	1	16.63	16.63	55.02	<.0001
Abs14%	1	30.16	30.16	128.34	<.0001
TD	1	24.27	24.27	18.23	0.0011
Estabilidad	1	12.67	12.67	6.07	0.0299
MTI	1	296.06	296.06	5.09	0.043
Time to breakdown	1	47.05	47.05	25.86	0.0003
FQN	1	4802.00	4802.00	25.83	0.0003

8.6.2 Concentrado del análisis de varianza para la diferencia en tipo de grano (MC, GV, PB). En los renglones se muestran las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	2	0.27	0.14	5.37	0.0216
Abs500FU	2	67.22	33.61	111.22	<.0001
Abs14%	2	79.58	39.79	169.32	<.0001
TD	2	93.36	46.68	35.07	<.0001
Estabilidad	2	261.92	130.96	62.71	<.0001
MTI	2	4948.00	2474.00	42.57	<.0001
Time to breakdown	2	370.57	185.29	101.87	<.0001
FQN	2	36852.11	18426.06	99.12	<.0001

8.6.3 Prueba de Duncan para los tipos de grano (GV, MC, PB).

Humedad		
MC	14.1	A
GV	14.05	A
PB	13.81	B

Abs500FU		
GV	58.26	A
MC	57.53	B
PB	53.85	C

Abs14%		
GV	58.3	A
MC	57.73	A
PB	53.58	B

TD		
MC	7.5	A
GV	7.21	A
PB	2.53	B

Estabilidad		
MC	12.36	A
GV	12.28	A
PB	4.23	B

MTI		
PB	55.5	A
GV	22.5	B
MC	18.5	B

Time to breakdown		
MC	14.56	A
GV	14.1	A
PB	4.71	B

FQN		
MC	146.16	A
GV	141.00	A
PB	47.17	B

8.6.4 Concentrado del análisis de varianza para la interacción de tipos de trigo (HRS y HRW) y el tipo de grano (MC, GV, PB). Mostrándose en los renglones las variables.

	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Humedad	2	0.47	0.24	9.28	0.0037
Abs500FU	2	0.47	0.23	0.77	0.482
Abs14%	2	0.98	0.49	2.09	0.1667
TD	2	1.54	0.77	0.58	0.575
Estabilidad	2	25.77	12.88	6.17	0.014
MTI	2	995.11	497.56	8.56	0.004
Time to breakdown	2	14.13	7.07	3.88	0.05
FQN	2	1339.00	669.50	3.60	0.059