



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL**  
**DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS,  
NUTRICIONALES Y REOLÓGICAS DE LAS MEZCLAS DE HARINA DE  
CEREALES Y LEGUMINOSA”**

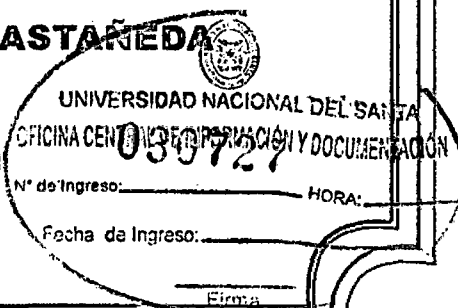
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES: BACH. LOLI JAÉN NIELS PAUL**  
**BACH. VÁSQUEZ LOZANO CYNTHIA KAREN**

**ASESOR: Ms JORGE DOMÍNGUEZ CASTAÑEDA**

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**

**2015**





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR**

El presente trabajo de tesis titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS, NUTRICIONALES Y REOLÓGICAS DE LAS MEZCLAS DE HARINAS DE CEREALES Y LEGUMINOSA"** ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor, designado por **RESOLUCIÓN DECANATURAL N° 093-2013-UNS-FI**.

---

**Ms. JÓRGE DOMÍNGUEZ CASTAÑEDA**  
**ASESOR**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

*"Evaluación de las Características Fisicoquímicas, Nutricionales y Reológicas de las mezclas de Harinas de Cereales y Leguminosa"*

**TESISTAS**

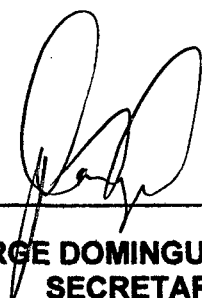
**Bach. Loli Jaén Niels Paul**  
**Bach. Vásquez Lozano Cynthia Karen**

Revisado y aprobado el día 10 de junio de 2015 por el siguiente Jurado Evaluador,  
designado mediante Resolución Decanatural N° 147-15-UNS CFI:



---

**Dra. LUZ PAUCAR MENACHO**  
**PRESIDENTA**



---

**Ms. JORGE DOMINGUEZ CASTAÑEDA**  
**SECRETARIO**



---

**M. Sc. SAUL EUSEBIO LARA**  
**INTEGRANTE**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres: LUZ y ABEL, por enseñarme que aunque las cosas no son como yo quisiera, ellos siempre van a estar ahí para apoyarme.*

*A mis hermanas: INGRID y LUPITA, dos de las personas más importantes en mi vida, quienes con sus risas, juegos y palabras me han apoyado en los momentos más difíciles.*

*A mis abuelos: CARLOS y MARIA, por el apoyo incondicional y el amor brindado todos estos años; sin ustedes nada de lo que tengo hoy sería posible.*

### **CYNTHIA VÁSQUEZ**

*A mis queridos padres: NELSON y MIRTHA, porque a pesar de las situaciones adversas nunca han dejado de acompañarme, sin ustedes, este sueño no sería posible.*

*A mis hermanos ALEXANDER, JHONATAN y EDWIN, por creer siempre en mí, por su apoyo incondicional y por el amor que nos une.*

*A la razón de mi vida: LIAM ESTEBAN*

**PAUL LOLI**

## **AGRADECIMIENTO**

**De manera muy especial al Ms. Jorge Domínguez Castañeda, por el apoyo brindado en el desarrollo de la presente tesis.**

**A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por las experiencias vividas y los conocimientos compartidos con nosotros, porque sin ustedes, nuestra formación profesional no hubiese sido posible.**

**Al Ing. John Gonzales Capcha, por el gran apoyo brindado durante la ejecución y desarrollo de la presente tesis, por su tiempo, por la comprensión y sobretodo por su amistad.**

**A nuestros compañeros y amigos de la universidad, por ser parte de nuestra formación profesional, por las experiencias compartidas y por todos los momentos vividos a lo largo de estos años.**

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Cereales y Leguminosas.....	8
2.2 Harinas de Cereales.....	17
2.2.1 Harina de trigo.....	17
2.2.2 Harina de maíz.....	18
2.2.3 Harina de cebada.....	18
2.2.4 Harina de arveja.....	18
2.2.5 Harina de quinua.....	19
2.3 Mezclas de cereales.....	19
2.4 Mezclas con harinas de otros cereales.....	21
2.4.1 Mezclas con harina de Cebada.....	21
2.4.2 Mezclas con harina de Maíz.....	22
2.4.3 Mezclas con harina de Quinua.....	23
2.5 Reología de masas.....	23
2.5.1 Masas de harinas.....	24
2.5.2 Cualidades elásticas de las harinas.....	26
2.5.2.1 Farinografía.....	26
2.5.2.2 Amilografía.....	31
2.5.2.3 Extensografía.....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35

3.1	Lugar de ejecución.....	35
3.2	Materiales.....	35
3.2.1	Materia prima.....	35
3.2.2	Equipos e instrumentos, reactivos y otros materiales.....	35
3.3	Procedimiento experimental.....	37
3.3.1	Método para la obtención de harina de cereales.....	39
3.3.2	Métodos para la obtención de mezclas de harinas y análisis.....	40
3.3.3	Diseño experimental.....	41
3.3.4	Plan de Recolección de Datos.....	45
3.3.5	Plan de procesamiento de información.....	45
3.3.6	Caracterización Físicoquímica de las Mezclas.....	46
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1	Análisis proximal de las harinas obtenidas.....	48
4.2	Score químico.....	50
4.3	Análisis físicoquímicos.....	52
4.3.1	Diseño de las mezclas de los cereales y leguminosas.....	52
4.3.2	Contenido de Proteína de las muestras .....	53
4.3.3	Análisis Proximal de las mezclas de harinas.....	58
4.3.4	Caracterización Reológica en mezclas de harinas.....	69
4.3.4.1	Caracterización Farinográfica en mezclas de harinas.....	69
A.	Análisis farinográfico de la harina de trigo.....	72
B.	Análisis farinográfico de las mezclas.....	74
▪	Análisis de absorción de agua.....	77
▪	Análisis de tiempo de desarrollo.....	82
▪	Análisis de estabilidad.....	85



▪	Análisis de índice de tolerancia.....	88
▪	Análisis de consistencia.....	91
4.3.4.2	Caracterización Amilográfica en mezclas de harinas.....	94
A.	Análisis amilográfico de la harina de trigo.....	94
B.	Análisis amilográfico de las mezclas.....	96
▪	Índice de gelatinización.....	100
▪	Análisis de temperatura de gelatinización.....	104
▪	Análisis de gelatinización máxima.....	107
4.3.4.3	Caracterización Extensográfica en mezclas de harinas..	110
A.	Análisis extensográfico de la harina de trigo.....	111
B.	Análisis extensográfico de las mezclas.....	112
▪	Análisis de la energía.....	117
▪	Análisis a la resistencia a la extensión.....	120
▪	Análisis a la extensibilidad.....	123
▪	Análisis máximo a la extensibilidad.....	126
V.	CONCLUSIONES.....	130
VI.	RECOMENDACIONES.....	131
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	132
VIII.	ANEXOS.....	137
	ANEXO 1: Determinación Porcentaje de Humedad: Método Estufa.....	137
	ANEXO 2: Determinación de porcentaje de Cenizas.....	137
	ANEXO 3: Determinación de porcentaje de Grasa.....	138
	ANEXO 4: Análisis Farinográfico.....	139
	ANEXO 5: Análisis Extensográfico.....	139
	ANEXO 6: Análisis Amilográfico.....	140

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 01. Composición química de algunos cereales, en base a 100 g de producto.....</b>	<b>9</b>
<b>Cuadro 02. Composición de aminoácidos indispensables del maíz, en base a 100 g de producto.....</b>	<b>10</b>
<b>Cuadro 03. Composición de aminoácidos indispensables del trigo, en base a 100 g de producto.....</b>	<b>12</b>
<b>Cuadro 04. Composición promedio de un cariósido de cebada perteneciente a la especie <i>Hordeum distichon L.</i>.....</b>	<b>14</b>
<b>Cuadro 05. Composición de la arveja "<i>Pisum sativum L.</i>" por cada 100 g de parte comestible cruda.....</b>	<b>16</b>
<b>Cuadro 06. Medidas Panaderas para análisis farinográficos.....</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 07. Análisis proximal de la harina de Trigo.....</b>	<b>48</b>
<b>Cuadro 08. Análisis proximal de la harina de Quinoa.....</b>	<b>48</b>
<b>Cuadro 09. Análisis proximal de la harina de Maíz.....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 10. Análisis proximal de la harina de Cebada.....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 11. Análisis proximal de la harina de Arveja.....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 12. Score químico de las primeras formulaciones evaluadas.....</b>	<b>50</b>
<b>Cuadro 13. Formulaciones seleccionadas por presentar más alto score químico.....</b>	<b>52</b>

<b>Cuadro 14. Contenido de proteína de las muestras en grano.....</b>	<b>53</b>
<b>Cuadro 15. Análisis descriptivo de las proteínas en las distintas formulaciones.....</b>	<b>54</b>
<b>Cuadro 16. Anova de un factor para proteína.....</b>	<b>55</b>
<b>Cuadro 17. Análisis Descriptivo de los análisis proximales (humedad, fibra, Aw, pH, acidez y ceniza) en las distintas formulaciones.....</b>	<b>55</b>
<b>Cuadro 18. Análisis Descriptivo de los Análisis Proximales (humedad, fibra, Aw, pH, acidez y ceniza) en las distintas formulaciones.....</b>	<b>56</b>
<b>Cuadro 19. Comparaciones Múltiples de los Análisis Proximales – Tukey.....</b>	<b>58</b>
<b>Cuadro 20. Subconjuntos Múltiples Humedad – Tukey.....</b>	<b>59</b>
<b>Cuadro 21. Subconjuntos Múltiples Fibra – Tukey.....</b>	<b>60</b>
<b>Cuadro 22. Subconjuntos Múltiples Aw – Tukey.....</b>	<b>63</b>
<b>Cuadro 23. Subconjuntos Múltiples pH – Tukey.....</b>	<b>63</b>
<b>Cuadro 24. Subconjuntos Múltiples Acidez – Tukey.....</b>	<b>63</b>
<b>Cuadro 25. Subconjuntos Múltiples Cenizas – Tukey.....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 26. Valores del Análisis Farinográfico de la harina de trigo y las mezclas de las distintas formulaciones.....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 27. Parámetros para la evaluación de Harina de trigo.....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 28. Propiedades farinográficas de la harina de Trigo.....</b>	<b>70</b>
<b>Cuadro 29. Propiedades farinográficas de la harina de Trigo.....</b>	<b>72</b>

<b>Cuadro 30. Anova de un Factor para la Absorción de Agua.....</b>	<b>73</b>
<b>Cuadro 31. Comparaciones Múltiples Absorción de Agua – Tukey.....</b>	<b>77</b>
<b>Cuadro 32. Subconjuntos Múltiples de Absorción de Agua- Tukey.....</b>	<b>78</b>
<b>Cuadro 33. Análisis Descriptivo de Tiempo de Desarrollo del análisis en las distintas formulaciones.....</b>	<b>78</b>
<b>Cuadro 34. Anova de un Factor para el Tiempo de Desarrollo.....</b>	<b>79</b>
<b>Cuadro 35. Comparaciones Múltiples Tiempo de Desarrollo – Tukey.....</b>	<b>82</b>
<b>Cuadro 36. Subconjuntos Múltiples del Tiempo de Desarrollo – Tukey.....</b>	<b>83</b>
<b>Cuadro 37. Análisis Descriptivo de Estabilidad del análisis en las distintas formulaciones.....</b>	<b>83</b>
<b>Cuadro 38. Anova de un Factor para Estabilidad.....</b>	<b>84</b>
<b>Cuadro 39. Comparaciones Múltiples para la Estabilidad – Tukey.....</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 40. Comparaciones Múltiples para la Estabilidad – Tukey.....</b>	<b>85</b>
<b>Cuadro 41. Análisis Descriptivo del Índice de Tolerancia del análisis en las distintas formulaciones.....</b>	<b>86</b>
<b>Cuadro 42. Anova de un factor para el índice de tolerancia.....</b>	<b>87</b>
<b>Cuadro 43. Comparaciones Múltiples para el Índice de Tolerancia – Tukey.....</b>	<b>88</b>
<b>Cuadro 44. Subconjuntos Múltiples del Índice de Tolerancia – Tukey.....</b>	<b>88</b>
<b>Cuadro 45. Análisis Descriptivo de la Consistencia del análisis en las Distintas formulaciones.....</b>	<b>89</b>

<b>Cuadro 46. Anova de un Factor para la Consistencia.....</b>	<b>90</b>
<b>Cuadro 47. Comparaciones Múltiples para la Tolerancia – Tukey.....</b>	<b>91</b>
<b>Cuadro 48. Subconjuntos Múltiples de la Consistencia – Tukey.....</b>	<b>91</b>
<b>Cuadro 49. Valores del Análisis Amilográfico de la harina de trigo y las mezclas de harina de trigo y Harina de Cebada, Arveja, Maíz, quinua.....</b>	<b>92</b>
<b>Cuadro 50. Extensograma de la Formulación 3 (Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de quinua 15%).....</b>	<b>92</b>
<b>Cuadro 51. Extensograma de la Formulación 4 (Harina de trigo 80% + Harina de cebada 5% + Harina de quinua 15%).....</b>	<b>94</b>
<b>Cuadro 52. Extensograma de la Formulación 5 (Harina de trigo 80% + Harina de cebada 10% + Harina de quinua 10%).....</b>	<b>96</b>
<b>Cuadro 53. Extensograma de la Formulación 6 (Harina de trigo 90% + Harina de quinua 10%).....</b>	<b>100</b>
<b>Cuadro 54. Media del inicio de energía con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>100</b>
<b>Cuadro 55. Media de la Resistencia a la Extensión con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>101</b>
<b>Cuadro 56. Media de la Extensibilidad con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>102</b>
<b>Cuadro 57. Media del Máximo de Extensibilidad con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>104</b>

<b>Cuadro 58. Subconjuntos Múltiples de Temperatura de Gelatinización – Tukey.....</b>	<b>104</b>
<b>Cuadro 59. Análisis Descriptivo de Gelatinización Máxima en las distintas formulaciones.....</b>	<b>105</b>
<b>Cuadro 60. Anova de un Factor para la Gelatinización Máxima.....</b>	<b>106</b>
<b>Cuadro 61. Comparaciones múltiples de la Gelatinización Máxima.....</b>	<b>107</b>
<b>Cuadro 62. Subconjuntos Múltiples de Gelatinización Máxima – Tukey.....</b>	<b>107</b>
<b>Cuadro 63. Valores del Análisis Extensográfico de la harina de trigo y las mezclas de harina de trigo con Harina de Cebada, Arveja, Maíz y Quinoa....</b>	<b>108</b>
<b>Cuadro 64. Propiedades Extensográficas de la harina de trigo.....</b>	<b>109</b>
<b>Cuadro 65. Análisis Descriptivo de la Energía en las Distintas Formulaciones.....</b>	<b>110</b>
<b>Cuadro 66. Anova de un Factor para la Energía.....</b>	<b>111</b>
<b>Cuadro 67. Comparaciones Múltiples de la Energía – Tukey.....</b>	<b>117</b>
<b>Cuadro 68. Subconjuntos Múltiples de Energía – Tukey.....</b>	<b>118</b>
<b>Cuadro 69. Análisis Descriptivo de la Resistencia a la Extensión en las distintas formulaciones.....</b>	<b>118</b>
<b>Cuadro 70. Anova de un Factor para la Resistencia a la Extensión.....</b>	<b>119</b>
<b>Cuadro 71. Comparaciones Múltiples de la Resistencia a la Extensión – Tukey.....</b>	<b>120</b>
<b>Cuadro 72. Subconjuntos de la Resistencia a la Extensión – Tukey.....</b>	<b>120</b>

<b>Cuadro 73. Análisis Descriptivo de la Extensibilidad en las Distintas Formulaciones.....</b>	<b>121</b>
<b>Cuadro 74. Anova de un Factor para la Extensibilidad.....</b>	<b>122</b>
<b>Cuadro 75. Comparaciones Múltiples de la Extensibilidad – Tukey.....</b>	<b>123</b>
<b>Cuadro 76. Subconjuntos Múltiples de la Extensibilidad – Tukey.....</b>	<b>123</b>
<b>Cuadro 77. Análisis Descriptivo del Máximo de Extensibilidad en las distintas formulaciones.....</b>	<b>124</b>
<b>Cuadro 78. Anova de un Factor para el Máximo de Extensibilidad.....</b>	<b>125</b>
<b>Cuadro 79. Análisis Descriptivo del Máximo de Extensibilidad en las distintas formulaciones.....</b>	<b>126</b>
<b>Cuadro 80. Anova de un factor para el máximo de extensibilidad.....</b>	<b>126</b>
<b>Cuadro 81. Comparaciones múltiples del máximo de extensibilidad – Tukey.....</b>	<b>127</b>
<b>Cuadro 82. Subconjuntos Múltiples del Máximo de Extensibilidad – Tukey.....</b>	<b>128</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 01. Maíz (Zea mays L.)</i> .....	11
<i>Figura 02. Maíz (Zea mays L.)</i> .....	12
<i>Figura 03. Cebada (Hordeum vulgare)</i> .....	14
<i>Figura 04. Arveja (Pisum Sativum)</i> .....	16
<i>Figura 05. Modelo mecánico de la reología de la masa panaria a través del cuerpo de Burgers</i> .....	25
<i>Figura 06. Farinógrafo Brabender</i> ..	29
<i>Figura 07. Farinogramas de dos clases de harinas</i> .....	29
<i>Figura 08. Farinogramas de harina de trigo de acuerdo a su fuerza y elasticidad</i> .....	30
<i>Figura 09. Amilógrafo Brabender</i> .....	32
<i>Figura 10. Extensógrafo Brabender</i> .....	34
<i>Figura 11. Diagrama de Flujo para la Evaluación de las características fisicoquímicas, nutricionales y reológicas de mezclas de harinas de cereales y leguminosa</i> .....	38
<i>Figura 12. Diagrama de flujo para la obtención de harina de cereales</i> .....	40
<i>Figura 13. Media de proteína con respecto a las formulaciones seleccionadas</i> .....	57



<b>Figura 14. Media de humedad con respecto a las formulaciones seleccionadas.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 15. Media de fibra con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 16. Media de Aw con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 17. Media de pH con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 18. Media de acidez con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 19. Media de ceniza con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 20. Farinograma de la harina de trigo.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 21. Farinograma de la formulación 1 (Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 5% + Harina de Quinoa 15%).....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 22. Farinograma de la formulación 2 (Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 10% + Harina de Quinoa 10%).....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 23. Farinograma de la formulación 3 (Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de Quinoa 15%).....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 24. Farinograma de la formulación 4 (Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 5% + Harina de Quinoa 15%).....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 25. Farinograma de la formulación 5 (Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 10% + Harina de Quinoa 10%).....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 26. Farinograma de la formulación 6 (Harina de trigo 90% + Harina de Quinoa 10%).....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 27. Media de la Absorción de Agua con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 28. Media de Tiempo de Retención con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 29. Media de Estabilidad con respecto a las Formulaciones.....</b>	<b>87</b>

<b>Figura 30. Media del Índice de tolerancia con respecto a las Formulaciones.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 31. Media de la consistencia con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 32. Amilograma de la harina de trigo.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 33. Amilograma de la formulación 1 (Harina de trigo 80% + harina de arveja 5% + harina de quinua 15%).....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 34. Amilograma de la formulación 2 (Harina de trigo 80% + harina de arveja 10% + harina de quinua 10%).....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 35. Amilograma de la formulación 3 (Harina de trigo 80% + harina maíz 5% + harina de quinua 15%).....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 36. Amilograma de la formulación 4 (Harina de trigo 80% + harina de cebada 5% + harina de quinua 15%).....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 37. Amilograma de la formulación 5 (Harina de trigo 80% + harina de cebada 10% + harina de quinua 10%).....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 38. Amilograma de la formulación 6 (Harina de trigo 90% + harina de quinua 10%).....</b>	<b>99</b>
<b>Figura 39. Media del inicio de gelatinización con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 40. Media de la temperatura de gelatinización con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 41. Media de gelatinización máxima con respecto a las formulaciones.....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 42. Extensograma de la harina de trigo.....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 43. Extensograma de la Formulación 1 (Harina de trigo 80% + Harina de arveja 5% + Harina de quinua 15%).....</b>	<b>112</b>

<i>Figura 44.</i> Extensograma de la Formulación 2 (Harina de trigo 80% + Harina de arveja 10% + Harina de quinua 10%).....	112
<i>Figura 45.</i> Extensograma de la Formulación 3 (Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de quinua 15%).....	113
<i>Figura 46.</i> Extensograma de la Formulación 4 (Harina de trigo 80% + Harina de cebada 5% + Harina de quinua 15%).....	113
<i>Figura 47.</i> Extensograma de la Formulación 5 (Harina de trigo 80% + Harina de cebada 10% + Harina de quinua 10%).....	114
<i>Figura 48.</i> Extensograma de la Formulación 6 (Harina de trigo 90% + Harina de quinua 10%).....	114
<i>Figura 49.</i> Media de la energía con respecto a las formulaciones.....	119
<i>Figura 50.</i> Media de la Resistencia a la Extensión con respecto a las formulaciones.....	122
<i>Figura 51.</i> Media de la Extensibilidad con respecto a las formulaciones.....	125
<i>Figura 52.</i> Media del Máximo de Extensibilidad con respecto a las formulaciones.....	128

## **RESUMEN**

Las harinas compuestas adecuadas para panificación se han desarrollado como respuesta al creciente costo del trigo y como medida para preservar tradiciones culinarias en las regiones. La harina de trigo es el principal ingrediente en la industria panadera y galletera. Estas industrias se han fortalecido en los últimos años produciendo un incremento en la demanda de este cereal y generando una serie de investigaciones para remplazarlo tanto en sus características como en comportamiento.

Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importante de la humanidad. Los más utilizados en la alimentación humana son el trigo, el arroz y el maíz, aunque también son importantes la cebada, la sémola, la alverja. Para la presente investigación utilizamos cereales como la arverja, trigo, maíz, cebada y quinua.

El valor nutritivo de las proteínas de leguminosas y cereales está limitado por la deficiencia en algunos aminoácidos; por ello, algunas combinaciones de cereales con leguminosas pueden ser muy ventajosas desde un punto de vista nutricional.

La Reología puede definirse como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales causadas por la aplicación de un esfuerzo. El comportamiento reológicos de los alimentos es muy complejo y a la vez desempeña un papel muy importante en muchos sistemas de proceso.

Las propiedades reológicas determinan el comportamiento de la masa de harina de harina de trigo durante el manejo mecánico, además de influencia en la calidad del producto final. Tener conocimiento del comportamiento reológico de las masas y sus propiedades empieza a tomar importancia debido a la creciente automatización de la industria de la panificación.

De acuerdo al problema de Investigación, se establece una comparación entre las muestras provenientes de las mezclas de harina de trigo más harina de cereales y leguminosas (trigo, cebada, maíz, quinua, alverja) con la muestra patrón o testigo: harina de trigo, por lo que se considera aplicar un Diseño de un Factor Completamente Aleatorizado. Teniendo como resultado final la

formulaciones 6 (Harina de trigo 90% + harina de Quinoa 10%), la que más se asemeja a la harina de trigo la cual es la ideal para la industria de la panificación. Por las características farinográficas similares con la muestra testigo Harina de Trigo como tiempo de desarrollo adecuado (>5.32 minutos), buena estabilidad (>9.16 minutos) y bajo índice de tolerancia (<48 FE).

De acuerdo a los estudios reológicos realizados a las formulaciones podemos precisar que de todas la que más se asemeja a las características reológicas de la harina de trigo: Farinografía (consistencia 535 FE, tiempo de desarrollo 2.26 min, Estabilidad: 10.51 min, índice de tolerancia: 14 FE.), Amilografía (inicio de gelatinización: 63.4°C, temperatura de gelatinización: 90.6 °C y gelatinización máxima: 1530 AU) y extensográfico (Extensibilidad: 117 mm, Resistencia a la extensión: 1182 BU y Máximo 1307 BU), siendo la formulación 6 Farinografía (consistencia 572 FE, tiempo de desarrollo 5.04 min, Estabilidad: 7.25 min, índice de tolerancia: 61 FE.), Amilografía (inicio de gelatinización: 61°C, temperatura de gelatinización: 91 °C y gelatinización máxima: 1528 AU) y Extensografico (Extensibilidad: 109 mm, Resistencia a la extensión: 946 BU y Máximo 1062 BU) la que tiene mejores resultados, pero también podemos decir que la formulaciones 1 y 5 están cercanas a los valores reológicos de la harina de trigo.

Los estudios reológicos hechas a las formulaciones nos permite decir que todas son aptas para ser usadas en la industria de la panificación y ser consideradas harinas fuertes de alta calidad nutricional, lo cual podemos proponer para la elaboración de panes, panes de molde, bizcochos, panetones, etc, ya que la calidad de estas harinas cumplen con los estándares para poder desarrollar una masa de alta resistencia leudante.

## **ABSTRACT**

Suitable for baking composite flours have been developed in response to the rising cost of wheat and as a measure to preserve culinary traditions in the regions. Wheat flour is the main ingredient in baking and biscuit industry. These industries have strengthened in recent years producing an increased demand for cereal and generating a series of investigations to replace both its characteristics and behavior.

Cereals are the most important source of nutrients of humanity. The most used in human food are wheat, rice and corn, but are also important barley, grits, the peas. For this investigation we used arverja grains like wheat, corn, barley and quinoa.

The nutritional value of proteins from legumes and cereals is limited by the deficiency in some amino acids; therefore, some combinations of cereals and pulses can be very advantageous from a nutritional standpoint.

Rheology can be defined as the science that studies the deformation and flow of materials caused by the application of an effort. The rheological behavior of food is very complex and also plays an important role in many process systems.

The rheological properties determine the behavior of the dough of wheat flour for the mechanical handling, as well influence on the quality of the final product.

Having knowledge of the rheological behavior of the masses and their properties begins to take importance due to the increasing automation of the baking industry.

According to the research problem, a comparison between samples from mixtures of wheat flour over cereal and legume flour (wheat, barley, corn, quinoa, peas) with standard or control sample sets: wheat flour, by applying what is considered a Design Factor Completely Randomized. Having as final result the formulations six (90% wheat flour Quinoa flour + 10%), which more resembles wheat flour which is ideal for baking industry. For farinographic similar characteristics with Wheat Flour control sample as proper development time (> 5.32 minutes), good stability (> 9.16 minutes) and low tolerance index (<48 FE).

According to the rheological studies to formulations we can specify that all which most resembles the rheological properties of wheat flour: Farinografía (consistency 535 FE, development time 2.26 min, Stability: 10.51 min, tolerance index 14 FE), Amilografía (gelatinization onset: 63.4 ° C, gelatinization temperature: 90.6 ° C and maximum gelatinization 1530 AU) and extensográfico (Extensibility: 117 mm, Resistance extension: 1182 1307 Maximum BU and BU), with formulation 6 Farinografía (consistency 572 FE, development time 5.04 min, Stability: 7.25 min, tolerance index: 61 FE.), Amilografía (onset of gelation: 61 ° C, gelatinization temperature: 91 ° C and maximum gelatinization: 1528 AU) and Extensográfico (Extensibility: 109 mm, Resistance to extension 946 BU and BU Maximum 1062) which has better results, but we can also say that the formulations 1 and 5 are close to the rheological values of wheat flour.

Rheological studies made formulations allows us to say that all are suitable for use in the baking industry and be considered strong flours high nutritional quality, which can propose for making bread, loaves, biscuits, panettone etc., since the quality of these meals meet the standards to develop a high leavening mass resistance.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Se conoce bajo la denominación de cereal a las plantas gramíneas y a sus frutos maduros, enteros, sanos y secos. Se consideran útiles para la alimentación los siguientes cereales: trigo, arroz, maíz, avena, cebada, centeno, mijo y sorgo. En alimentación humana se utilizan principalmente trigo, arroz y en menor medida centeno y maíz.

Además de su valor cultural en todas las latitudes, ya que de su cultivo se originó la práctica de la agricultura, los cereales, que son los frutos de diferentes gramíneas, proporcionan en la dieta del hombre una fuente de energía concentrada. Su contenido en glúcidos y proteínas prácticamente pueden satisfacer todas las necesidades alimentarias humanas. Sus lípidos poliinsaturados evitan la formación de colesterol. Son ricos en sales minerales y oligoelementos, y contienen todas las vitaminas que el organismo requiere.

Su cultivo adaptado a diferentes zonas geográficas, su abundante producción, su relativamente fácil almacenamiento y su propiedad de conservación por largo tiempo sin que pierdan su poder nutritivo hace de los cereales, alimentos accesibles en todas las regiones del planeta.

Uno de los cereales que constituye en la actualidad, la base económica de las culturas es el trigo, cuya producción mundial totaliza 567 millones de TM, siendo los principales productores: China 17,30%, EE.UU. 11,50%, India 9,40%, Rusia 7,9%. El comercio mundial de la gramínea se caracteriza por las importaciones que alcanzan a 112 millones de TM, las regiones y países más importantes que compran este cereal son Asia 18,40%, Rusia 16,60%, Europa 14,10% y China 11,30%.

En los últimos años, los precios de los cereales y otras materias primas para la alimentación animal y humana se elevaron llegando a suponer incrementos medios del 60% consecuencia de una caída en las producciones y una mayor demanda de países en desarrollo.

Estos incrementos provocaron graves crisis en los sectores ganaderos por el precio de los piensos y un fuerte incremento de los precios de los alimentos.



En el Perú desde el año 2008 emprenden campañas para reemplazar parcialmente la harina de trigo por cereales y tubérculos que se produzcan en abundancia. Se ha iniciado la producción y consumo de un pan tipo francés que contiene 30% de papa sancochada y 70% de trigo. Se reporta que tiene la misma apariencia y sabor que el pan común.

Las harinas compuestas adecuadas para panificación se han desarrollado como respuesta al creciente costo del trigo y como medida para preservar tradiciones culinarias en las regiones. La harina de trigo es el principal ingrediente en la industria panadera y galletera. Estas industrias se han fortalecido en los últimos años produciendo un incremento en la demanda de este cereal y generando una serie de investigaciones para reemplazarlo tanto en sus características como en comportamiento. En respuesta a estas exigencias se han creado nuevas mezclas de harinas en las que la harina de trigo se sustituye total o parcialmente por otras harinas de origen vegetal, la Food and Agriculture Organization (FAO) en los años 60 llamó a estas harinas, harinas compuestas (Elías, L., 1999 y Mühlenchemie, 2012)

La tecnología de harinas compuestas se comenzó a utilizar para demostrar el procedimiento de mezclar harina de trigo con harinas de cereales y leguminosas para hacer panes y galletas. Sin embargo, la mezcla de harinas de otros cereales, raíces y tubérculos, de leguminosas u otras materias primas puede también considerarse como una tecnología de harinas compuestas (FAO, 1995). Como ejemplo puede citarse el caso de la harina de sorgo y maíz para hacer tortillas.

Desde hace ya unos 30 años han surgido investigaciones en todo el mundo sobre el comportamiento de harinas de diferentes cereales y leguminosas en productos panaderos entre otros. Esto ha ocasionado un aumento en la producción de nuevos productos vegetales además de diversificar productos panaderos dándole nuevos sabores y aumentando su calidad nutricional.

Dentro del desarrollo de harinas compuestas de cereales-leguminosas, estudios de la utilización de harina de garbanzo en la sustitución de harina de trigo en los niveles 10, 20 y 30% han reportado que la harina de garbanzo aumenta la absorción de agua además del tiempo de desarrollo de la masa,

mientras que la extensibilidad de la masa, la fuerza y la resistencia disminuyeron. La aceptabilidad fue mayor para el nivel 10% dando resultados muy similares al control (Mohammed, et al; 2012).

Dentro del desarrollo de productos con mejoras en la calidad nutricional se cuenta con el trabajo realizado por Reyes, Palomo, y Bressani (2004) quienes evaluaron la calidad química, nutritiva y sensorial de pan preparado con harina compuesta trigo-arroz. Los niveles evaluados fueron 15, 20, 30, 40, 50 y 60% de harina de arroz, encontrando que a mayor nivel de arroz la textura se hacía más harinosa. Lograron aumentar la calidad proteica del pan con la sustitución seleccionando los niveles 30 y 40% como los más apropiados, los cuales aportan cantidades adecuadas de calorías, proteína y sodio.

En la industria de pastas también se ha evaluado el uso de harinas compuestas para el desarrollo de sus productos. Gómez, et al (2010), realizaron una sustitución de sémola de trigo con germen de maíz hidrolizado en niveles 10, 15 y 20%, obteniendo una pasta larga, nutritiva y aceptable sensorialmente, encontraron que con la sustitución disminuyeron los tiempos de cocción, el volumen y los sólidos disueltos. Los atributos sensoriales señalaron que la mejor pasta fue la sustituida en 10% además de lograr un aumento en el aporte energético y niveles de fósforo, hierro y magnesio.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CEREALES Y LEGUMINOSAS**

Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importante de la humanidad. Los más utilizados en la alimentación humana son el trigo, el arroz y el maíz, aunque también son importantes la cebada, la sémola, la alverja.

Los cereales y sus derivados son ricos en carbohidratos tanto de absorción rápida (tras la ingestión pasan a la sangre en poco tiempo) como de absorción lenta (fibra). El contenido de la fibra varía según el proceso industrial de preparación.

El contenido proteico es muy variable, entre un 6 y un 16% del peso, dependiendo del tipo de cereal y del procesamiento industrial. La composición en aminoácidos de las proteínas de los cereales depende de la especie y variedad; en general son pobres en aminoácidos esenciales, por lo que se las cataloga de proteínas de moderada calidad biológica.

El contenido en grasas de los cereales naturales es muy bajo; siendo el maíz uno de los que más cantidad posee, 4% aproximadamente, y por ello se utiliza para obtener aceite.

Los cereales contienen minerales como el calcio, fósforo (aunque la presencia de ácido fólico interfiere parcialmente su absorción), hierro y en menor cantidad potasio. Contienen también todas las vitaminas del complejo B. Carecen de vitamina A (excepto el maíz amarillo que contiene carotenos). La vitamina E está en el germen que se pierde con la molienda del grano y la vitamina B1, es abundante en el salvado. De todas formas, la mayor parte de los cereales de uso más común sobre todo infantil como los copos de cereales del desayuno y diversa bollería están enriquecidos artificialmente con vitaminas. (Aguirre, E. y Rodríguez, 1997)

A continuación se dan algunas características principales de los cereales, enfatizando su composición de aminoácidos indispensables que son

importantes en la alimentación, ya que en ello se fundamenta la calidad de las proteínas.

**Cuadro 1:** Composición química de algunos cereales, en base a 100 g de producto.

Característica	Unidad	Cereal			
		Maíz	Trigo	Avena	Amaranto
Energía	kc	365.00	359.00	389.00	374.00
Proteína total	g	9.42	12.60	16.89	14.45
Digestibilidad	%	85.00	95.00	95.00	95.00
Hidratos de carbono	g	74.26	73.40	66.27	66.17
Grasa total	g	4.74	2.60	6.90	6.51
Agua	g	10.80	9.10	8.22	9.84
Cenizas	g	0.78	2.30	1.72	3.04
Ác. grasos saturados	g	0.60	0.31	1.22	1.66
Ác. grasos monoinsaturados	g	1.30	0.30	2.18	1.43
Ác. grasos poliinsaturados	g	2.50	0.77	2.53	2.89
Fibra dietética (AOAC)	g	3.20	3.30	6.60	6.70
Ác. ascórbico (C)	mg	0.00	0.00	0.00	4.20
Tiamina (B1)	mg	0.34	0.59	0.76	0.08
Riboflavina (B2)	mg	0.08	0.22	0.14	0.21
Niacina (B3)	mg	1.60	4.40	0.96	1.29
Ácido Pantoténico	mg	0.43	0.94	1.35	1.05
Vitamina B6	mg	0.62	0.34	0.12	0.22
Ácido fólico	Mg	19.00	43.00	56.00	49.00
Vitamina A	Mg	47.00	0.00	0.00	0.00
Alfa tocoferol (E)	mg	0.00	1.01	1.09	0.00
Tocoferol total	mg	0.00	1.01	1.09	0.00
Calcio	mg	158.00	58.00	54.00	153.00
Hierro	mg	2.71	3.60	4.72	7.59
Magnesio	mg	147.00	160.00	177.00	266.00
Fósforo	mg	235.00	332.00	523.00	455.00
Potasio	mg	284.00	370.00	429.00	366.00
Sodio	mg	1.00	3.00	2.00	21.00
Zinc	mg	2.21	2.60	3.97	3.18
Cobre	mg	0.19	0.41	0.63	0.78
Manganeso	mg	0.50	4.06	4.92	2.26
Fitoesterol	mg	0.00	0.00	0.00	24.00

Fuente: Muñoz, 2010.

### A. Maíz (*Zea mays* L.)

El maíz ha sido, desde hace muchos años, uno de los productos más importantes en la dieta latinoamericana (Estévez et al., 2003). En cuanto a la alimentación humana, el maíz es el tercer cereal en importancia, después del trigo y el arroz; sin embargo, posee un contenido proteínico relativamente bajo y una composición de aminoácidos esenciales desfavorable (Gutiérrez et al., 2008). En el Cuadro 2, se detalla la composición de aminoácidos indispensables en el maíz amarillo.

**Cuadro 2:** Composición de aminoácidos indispensables del maíz, en base a 100 g de producto.

<b>Aminoácido</b>	<b>mg/100g</b>
Histidina	258
Isoleucina	350
Leucina	1190
Lisina*	254
Metionina	182
Fenilalanina	464
Treonina	342
Triptófano*	67
Valina	461

Fuente: Muñoz, 2010.

Es generalmente conocido que el maíz normal tiene un elevado contenido de carbohidratos (73 %), mientras que el contenido de proteínas es significativamente menor (7 al 9 %), con un bajo nivel de aminoácidos indispensables principalmente la lisina con 1.6 % y triptófano con 0.47 % necesarios para el desarrollo humano; mientras que el maíz de alta calidad proteínica (QPM) contiene en promedio 3.1 % de lisina y 1 % de triptófano (Pérez-Navarrete et al., 2006).



**Figura 1: Maíz (*Zea mays* L.)**

**Fuente: Muñoz, 2010.**

### **B. Trigo (*Triticum aestivum* L.)**

El trigo es uno de los principales cereales en la dieta de una enorme parte de la población mundial y, por lo tanto, puede suponer una importante contribución a una dieta de alta calidad nutritiva y a la salud humana. Es conocido el efecto benéfico del salvado de trigo para mejorar la regularidad intestinal e impedir el estreñimiento. Además se han realizado abundantes investigaciones sobre su efecto protector contra el cáncer de colon y de mama (Chao et al., 2000).

La fibra insoluble, como la del salvado de trigo, es resistente a la fermentación por las bacterias del colon e incrementa el volumen fecal mediante la retención de agua (Cummings et al., 1976; Stephen y Cummings, 1980).

Hay varias sustancias fitoquímicas presentes en el trigo integral que también pueden tener efectos beneficiosos para la salud (Chao et al., 2000).

Las proteínas del trigo tienen la capacidad de interactuar entre ellas y con otros componentes como los lípidos, para formar complejos de lipoproteínas viscoelásticas (gluten) (Feillet, 1984). En el Cuadro 3, se muestra la composición de aminoácidos indispensables en el trigo.

**Cuadro 3:** Composición de aminoácidos indispensables del trigo, en base a 100 g de producto.

<b>Aminoácido</b>	<b>mg/100g</b>
Histidina	248
Isoleucina	435
Leucina	840
Lisina*	248
Metionina	174
Fenilalanina	581
Treonina*	321
Triptofano	128
Valina	493

Fuente: Muñoz, 2010.



**Figura 2:** Trigo (*Triticum aestivum* L.)

Fuente: Muñoz, 2010.

### **C. Cebada**

El cereal que más se germina en el mundo es la cebada (*Hordeum vulgare*) debido a que éste es el que más poder diastásico (actividad enzimática) produce una vez germinado, alcanzando una producción mundial de 142,8 millones de toneladas en el año 2008. El uso principal de la cebada es para la elaboración de cerveza y bebidas alcohólicas, pero también se la utiliza en la obtención de maltas para panificación y otros usos alimentarios. Otra forma de consumir cebada es a través de su harina. [Borneo R., 2008] [Perotti E., 2009]

Tiene más proteína que el trigo, pero tiene mucho menos gluten. Por esta razón los panes de cebada son más compactos y menos esponjosos. La mezcla que se hace en muchas regiones con harina de trigo, resulta muy benéfica: la cebada aporta su mayor riqueza en lisina (aminoácido limitante en el trigo), con lo cual el pan gana en valor proteico y la textura se hace más liviana. [Palmetti N., 2006]

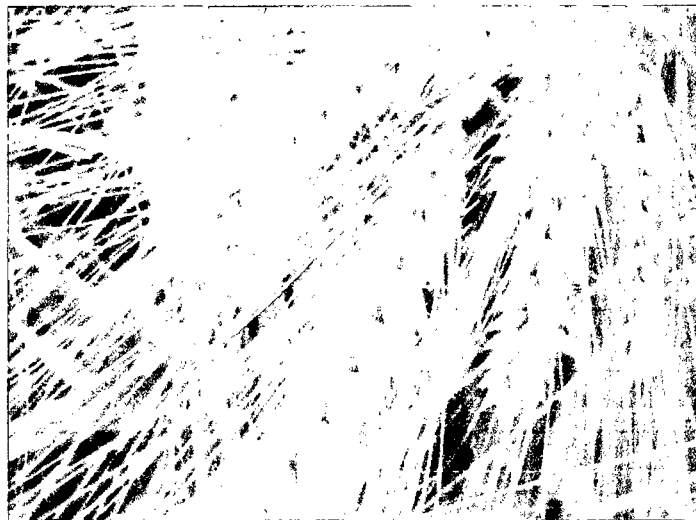
La cebada es muy buena fuente de inositol, que evita la rigidez de los capilares, regula el colesterol, protege el sistema nervioso; además posee vitaminas del grupo B, ácido fólico, colina y vitamina K. En materia de minerales, la cebada es buena fuente de potasio, magnesio y fósforo, pero su mayor virtud es la riqueza en oligoelementos: hierro, azufre, cobre, cinc, manganeso, cromo, selenio, yodo y molibdeno. Además, la cebada es el cereal mejor dotado de fibra (17%) y sobre todo en materia de fibra soluble (betaglucanos). Esto la convierte en alimento ideal para estados carenciales y para el proceso de crecimiento. [Palmetti N., 2006]



**Cuadro 4:** Composición promedio de un cariósipide de cebada perteneciente a la especie *Hordeum distichon L*

<b>Componentes</b>	<b>Porcentajes (%)</b>
Humedad	12,0 - 13,0
Carbohidratos	65,0 - 72,0
Proteína	10,0 - 11,0
Grasa	1,5 - 2,5
Fibra	2,5 - 4,5
Ceniza	2,0 - 3,0

Fuente: Muñoz, 2010



**Figura 3:** Cebada (*Hordeum vulgare*)

Fuente: Muñoz, 2010.

#### **D. Arveja**

La arveja pertenece a la familia de las leguminosas, al igual que el frijol, el garbanzo y la lenteja. La arveja es muy apreciada y valorada por su calidad nutricional y el aporte a la salud de los consumidores. Se consume fresca o verde y también en estado seco. [Nutrinet, 2009]

Las arvejas contienen minerales como hierro, fósforo, magnesio, zinc y potasio. Unos 150 g de arvejas cubren aproximadamente la cuarta parte de las necesidades diarias de hierro, la quinta de las de fósforo y la sexta de las de magnesio. También son ricas en proteínas y carbohidratos, bajas en grasa y constituyen una buena fuente de fibra, vitaminas A, B y C; cuando se consumen frescas o refrigeradas, suministran tiamina y hierro. La fibra de la arveja es soluble en agua, promueven el buen funcionamiento intestinal y ayudan a eliminar las grasas saturadas. Además, la arveja proporciona energía que hace permanecer más tiempo la glucosa en la sangre. En su estado fresco es tal vez el vegetal más rico en tiamina (vitamina B1), esencial para la producción de energía, la función nerviosa y el metabolismo de los carbohidratos. [Petryk N., 2009]

**Cuadro 5:** Composición de la arveja "*Pisum sativum*" por cada 100 g de parte comestible cruda.

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>
Proteínas	5.42 g
Fibra	5.10 g
Vitamina A	64.0 µg
Vitamina B <sub>1</sub>	0.266 mg
Vitamina B <sub>2</sub>	0.132 mg
Niacina	2.71 mg
Folatos	65.0 µg
Vitamina C	40.0 mg
Calcio	25.0 mg
Fósforo	108 mg
Magnesio	33.0 mg
Hierro	1.47 mg
Potasio	244 mg
Zinc	1.47 mg
Sodio	5.00 mg
Grasa saturada	0.071 g
Grasa Total	0.400 g

Fuente: Muñoz, 2010.



**Figura 4:** Arveja (*Pisum Sativum*)

Fuente: Muñoz, 2010.

## **2.2 HARINAS DE CEREALES**

La elaboración de las harinas ha ido cambiando según la tecnología ha evolucionado. En un principio se trituraba el grano del cereal entero con su cubierta. Hoy, sin embargo, se ha convertido en un complejo proceso mecánico que origina un producto en forma de fino polvo homogéneo, blanco, o casi blanco, según la clase de cereal molido.

Desgraciadamente en este proceso de molienda o trituración de los granos de cereales se eliminan las diferentes capas externas y el germen del embrión del grano, que es donde se encuentra localizada la mayor parte de los componentes vitamínicos, minerales y fibra natural. Esto provoca que solo se aproveche la parte interna del grano, desperdiándose entre un 15% hasta un 40% del resto del cereal disminuyendo con esta trituración el valor nutricional y las principales propiedades vitamínicas de los cereales.

### ***Nutrientes principales de las harinas***

Los principales nutrientes de las harinas de los cereales son el almidón (carbohidratos) y el gluten (proteína), con un contenido promedio del 75% y el 9% respectivamente, quedando las vitaminas y los minerales con un valor inferior. Las grasas de los cereales están entre 1,5% y un 5%. Como excepción están el arroz y el maíz pues no contienen gluten, por lo que sus harinas se utilizan para personas con la enfermedad celiaca.

#### **2.2.1 Harina de trigo**

La harina integral de trigo es una de las más utilizadas y conserva íntegros todos los componentes vitamínicos, minerales y de fibra natural. Sus granos son de tamaños grandes y pequeños, con una estratificación concéntrica delicada. La harina integral de trigo contiene además dextrina, sacarosa, maltosa y abundante fibra, vitaminas (del grupo B y PP) y minerales (potasio, magnesio, calcio, hierro, sodio, fósforo, azufre, zinc y yodo). En el germen se encuentran grasas con ácidos grasos esenciales polinsaturados y vitaminas E y D.

La harina de trigo se usa principalmente para la elaboración del pan con todos sus variantes y de pastas. Junto con las de otros cereales, se emplea para la preparación de papillas infantiles, cremas, repostería, etc.

#### **2.2.2 Harina de maíz**

La harina de maíz no contiene gluten por lo que se utiliza para los enfermos celiacos. Sus granos de almidón son de tamaño mediano y de forma angulosa. Algo que diferencia a la harina de maíz de otras harinas o cereales es que la harina de maíz contiene sustancias precursoras de la vitamina A (Beta-carotenos).

#### **2.2.3 Harina de cebada**

Cebada descascarillada y molida, baja en gluten. Se usa como espesante o, mezclada con harinas ricas en gluten, en la elaboración de panes.

#### **2.2.4 Harina de arveja**

Se entiende por harina de arveja al polvo fino o fécula que se obtiene de la molienda de la leguminosa para ser utilizadas en el consumo humano. Ésta deberá estar libre de toda sustancia toxica o cuerpo extraño a su naturaleza. Las características químicas de la harina de arveja corresponderán al promedio ponderado de las características químicas de las harinas. Deberán tener la consistencia de un polvo fluido en toda su masa, sin grumos de ninguna clase.

Siendo su composición química la siguiente:

<b>Humedad:</b>	<b>10,5 - 11,0%.</b>
<b>Proteínas:</b>	<b>21,4%.</b>
<b>Materia Grasa:</b>	<b>2.12%.</b>
<b>Cenizas:</b>	<b>3.43%</b>

### **2.2.5 Harina de quinua**

La harina de quinua contiene principalmente la maltosa, disacárido encontrado como principal azúcar en la quinua integral, posibilita el proceso de malteado para la elaboración de productos especiales (bebidas y productos que involucran procesos fermentativos).

Con respecto a su valor nutricional, comparado con el arroz blanco, el grano de quinua tiene aproximadamente el doble de proteína, seis veces la cantidad de fibra dietaria y calcio, y cerca de seis veces el valor de sodio y potasio, el alto contenido de fibra dietaria de 9.6% +/- 0.1 tiene importancia relacionada con su indigestibilidad en el intestino delgado.

## **2.3 MEZCLAS DE CEREALES**

El consumo de cereales y leguminosas en un solo alimento aumenta la calidad de la proteína consumida gracias a la complementación aminoacídica que se produce. Los cereales representan una importante fuente de aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y sus niveles son adecuados para compensar los bajos valores existentes en las leguminosas. Esta complementación no solo ocurre a nivel de proteína, sino también de vitaminas y minerales (Granito et al., 2003).

La utilización de ambas especies (cereales y leguminosas) en la dieta podría incrementarse si se desarrollan productos de fácil consumo y que sean sensorialmente atractivos (Almeida-Domínguez et al., 1990; Abd et al., 2000). El valor nutritivo de las proteínas de leguminosas y cereales está limitado por la deficiencia en algunos aminoácidos; por ello, algunas combinaciones de cereales con leguminosas pueden ser muy ventajosas desde un punto de vista nutricional (Almeida-Domínguez et al., 1990). Así las mezclas de proteínas de cereales que son deficientes en lisina pero con buen nivel de aminoácidos azufrados pueden ser complementadas por las proteínas de la soya, las cuales son deficientes en aminoácidos azufrados y con buen nivel en lisina, lográndose mezclas proteicas con valores biológicos superiores a cualquiera de las fuentes utilizadas por

separado, incluso a otras fuentes de proteínas tradicionales (Apro et al., 2004).

Mezclas de cereales y leguminosas han sido empleadas en la formulación de alimentos infantiles (Bressani, 1983), pastas (Granito et al., 2003), papillas (Cerezal-Mezquita et al., 2007) y galletas (INCAP, 2002).

El resultado final es una harina mixta vegetal o harina compuesta, que contiene los niveles óptimos de proteínas y de aminoácidos necesarios para satisfacer los requerimientos nutricionales de la población y de alto valor biológico y muy digeribles (Apro et al., 2004).

Las mezclas de maíz y frijol tratadas por el proceso de extrusión-cocción, han sido propuestas para elaborar alimentos precocidos, desde hace décadas. La propuesta estaba basada en dos aspectos importantes: en las mejoras nutricionales (incremento del % de proteínas y de su calidad) y en la mayor diversidad de texturas y formulaciones posibles de ser obtenidas por este proceso (Fritz et al., 2006).

En todo el mundo, y especialmente en los países en desarrollo, la dieta se basa normalmente en el consumo de un cereal, por lo general maíz, sorgo o arroz, y de una legumbre, ya sean frijoles comunes, soya, garbanzo, principalmente. Los resultados de muchos estudios han mostrado que estos dos tipos de alimentos fundamentales se complementan nutritivamente entre sí. Así, por ejemplo, se observó un efecto complementario al alimentar a ratas con dietas que suministraban las proteínas a partir de esos dos componentes -maíz y frijoles comunes- en diversas proporciones, que variaban del 100 al 0 por ciento de uno y del 0 al 100 por ciento del otro. Cuando cada componente suministraba cerca del 50 por ciento de las proteínas de la dieta, se obtenía una calidad elevada, superior a la calidad de cada uno de los componentes considerado aisladamente. La causa de ello radica en la composición de aminoácidos indispensables de cada componente. Las proteínas del maíz son deficientes en lisina y triptófano, pero tienen cantidades considerables de aminoácidos que contienen azufre (metionina y cistina). Mediante estos estudios se llegó a la conclusión de que la mejor manera en que las proteínas de los frijoles o de las legumbres alimenticias complementan a las proteínas del maíz es en una proporción de 30 partes de frijoles por 70

partes de maíz. Se ha demostrado que el efecto complementario descrito anteriormente también tiene lugar en los seres humanos (FAO, 1993).

## **2.4 MEZCLA CON HARINAS DE OTROS CEREALES**

No hay duda que la bondad del pan depende sobre todo de su sabor, pero también hay otros factores que influyen sobre el sabor mismo y sobre su aspecto apetecible, que también están en relación con la blancura de la miga y con la cualidad de crujir de la costra, estos son la elasticidad de la red glutínica y del desarrollo de anhídrido carbónico [Rollin E., 1962].

La mayor parte del pan producido en la actualidad se obtiene a partir de la harina de trigo que por su riqueza en gluten, permite elaborar un pan más ligero y sabroso. Los panes elaborados a partir de otros cereales menos ricos en gluten, como el centeno, son más densos y resultan más pesados. [Botanical. 1999]

Según Rollin (1962), si una harina de trigo ofrece altas cualidades panificables (harina fuerte) podrá soportar en mezcla un porcentaje de harina de otro cereal más elevado; viceversa, si la harina de trigo es de débiles cualidades panificables (harina débil) el porcentaje deberá ser reducido; por tanto, tratando con el mismo porcentaje de mezcla de harinas de trigo de cualidades panificables diversas, se obtendrán productos de panificación diversos.

### **2.4.1 Mezclas con Harina de Cebada.**

El pan de cebada fue más utilizado que el resto de panes en la antigüedad hasta que los romanos lo reemplazaron por el pan de trigo que fue utilizado por las clases más acomodadas mientras los pobres seguían comiendo pan de cebada, especialmente durante la Edad Media. En los países occidentales la cebada se utiliza fundamentalmente para la producción de cerveza y malta. Otras veces se añade un poco de cebada malteada a la pasta del pan de trigo para incrementar la acción de las levaduras. En



países de Oriente próximo el pan de cebada se utiliza con frecuencia. [Botanical, 1999b]

La cebada contiene cantidad considerable de materia proteica, pero no de gluten, por lo que un pan hecho con su harina resulta pesado, la miga húmeda y sin elasticidad; la costra toma un color pardo rojizo y de digestión menos fácil que el de trigo y centeno [Rollin E., 1962]. Asimismo, la cantidad de pentosanos presentes en esta harina [Proyecto PHPPF, 2009] podría afectar la capacidad de absorber agua y las propiedades reológicas de la masa y características de productos panificables. [Panera, 2009b] Sin embargo, algunos la mezclan con harina de trigo para lograr panificados más nutritivos, dado el aporte del aminoácido lisina (carente en el trigo) que brinda la cebada, con lo cual el resultado es de superior calidad proteica. [Palmetti N., 2006]

#### 2.4.2 Mezclas con Harina de Maíz

Rollin (1962) menciona que el grano de maíz difiere sustancialmente del trigo, tanto por la forma, como el color y su composición. No contiene las proteínas que ligándose entre sí forman el gluten y, por lo tanto, la masa de harina de maíz sola no tiene cohesión, no resiste el esfuerzo de tracción, no es elástica.

A partir de la harina de maíz integral o refinada, se puede elaborar pan si se combina con harina de trigo. El maíz carece de gluten por lo que no puede utilizarse este tipo de harina como ingrediente exclusivo en la fabricación de panes si no se combina con otras harinas panificables (trigo, centeno). [Botanical, 1999b]

El horneado en el pan elaborado con harina de maíz es un punto de control importante puesto que el porcentaje de azúcares en la harina de maíz es superior al de la harina de trigo, por lo que se observa más acentuada la caramelización de todas las partes de la costra. Por consiguiente, se deberán adoptar temperaturas de horneado más bajas en un 15%, así se evitará una coloración demasiado vivaz y un endurecimiento demasiado acentuado en la costra. [Rollin E., 1962]

### **2.4.3 Mezclas con Harina de Quinua.**

La harina de quinua es utilizada para enriquecer harinas de panificación en la elaboración de pan (aunque carece de gluten puede ser panificable mezclándolo con harina de trigo), galletas, pastas, barritas, tartas, batidos, pasteles, spaghetis, etc., aportando un alto valor nutritivo, ya que es un cereal que contiene los 10 aminoácidos esenciales. [Tripod, 2009]

Según Nieto (1982, 1991), Ballón (1982), Ruales (1992) y Jacobsen (1993), citado por FAO (2003), diferentes pruebas en la Zona Andina, y fuera de ella, han mostrado la factibilidad de adicionar 10, 15, 20% de harina de quinua en pan, hasta 40% en pasta, hasta 60% en bizcochos y hasta 70% en galletas.

## **2.5 REOLOGIA DE MASAS**

La Reología puede definirse como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales causadas por la aplicación de un esfuerzo. El comportamiento reológico de los alimentos es muy complejo y a la vez desempeña un papel muy importante en muchos sistemas de proceso. [Ramírez J., 2006]

Varias son las razones para determinar las propiedades reológicas de alimentos: para el diseño de plantas, en el cálculo de operaciones básicas para transferencia de calor, masa, cantidad de movimiento y dimensiones de tuberías y válvulas. También se aprovechan para control instrumental de calidad del material crudo previo el procesamiento, de productos intermedios durante la manufactura, y de los productos finales después de la producción. Sirven para evaluar la calidad preferida por el consumidor por medio de correlaciones entre las medidas reológicas y pruebas sensoriales. Permiten elucidar la estructura o composición de alimentos y analizar los cambios estructurales que ocurren durante un proceso. [Alvarado J., 1996]

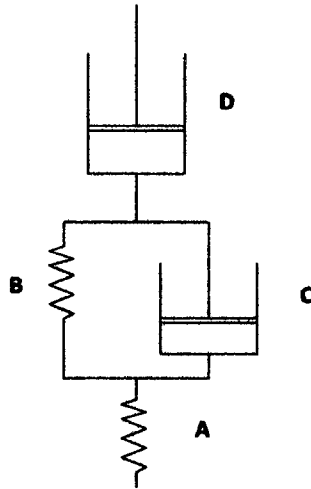
Las propiedades reológicas determinan el comportamiento de la masa de harina de trigo durante el manejo mecánico, además de influencia en la calidad del producto final. Tener conocimiento del comportamiento reológico de las masas y sus propiedades empieza a

tomar importancia debido a la creciente automatización de la industria de la panificación (Launay, 1990; Manietal, 1992).

### 2.5.1 Masas de Harinas.

Muller (1973) señala que si se mezcla agua y harina de trigo en proporciones adecuadas se obtendrá una masa. Si la masa se estira mediante la tracción de sus extremos, se alargará y parecerá fluir como un líquido viscoso. Si se deja libres los extremos, la tira de masa se contraerá como una pieza blanda de goma, pero la recuperación elástica será solo parcial: la tira de masa no adquirirá su longitud original. Este experimento demuestra que la masa exhibe simultáneamente las propiedades viscosas propias de un líquido y las elásticas características de un sólido, por tanto la masa es viscoelásticas.

Por otro lado, Cauvin (1998) afirma que el modelo mecánico más simple que se puede emplear para interpretar los estudios reológicos que versan sobre la masa panaria es el cuerpo de Burgers (Figura 5). Cuando la tensión se aplica a la masa, la respuesta inmediata es una deformación elástica (elemento A), seguido de una respuesta elástica retrasada debido al estiramiento del elemento b al sufrir el elemento C un flujo viscoso. El flujo viscoso del elemento D relaja la deformación elástica instantánea de A.



**Figura 5:** Modelo mecánico de la reología de la masa panaria a través del cuerpo de Burgers.

Fuente: Cauvin, S. 1998.

Cuando se deja de aplicar la tensión, cualquier deformación elástica remanente de A desaparece inmediatamente. La supresión de la deformación sobre el elemento B se alivia solo cuando C experimenta un flujo viscoso (en la dirección opuesta). No existe fuerza alguna que invierta el flujo que ha tenido lugar en D, de tal forma que esa deformación de la masa permanece cuando se alcanza el equilibrio final. [Cauvin S., 1998]

Estructuralmente se considera que la masa de trigo es un sistema complejo donde la interacción entre las proteínas hidratadas, la matriz de almidón y las interacciones almidón-proteína influyen en sus propiedades viscoelásticas. La base molecular para las interacciones almidón-almidón son las fuerzas de Van der Waals y los puentes de hidrógeno. Las proteínas de gluten interactúan por enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno, entrecruzamientos e interacciones hidrofóbicas para formar una red continua, que es la base para el desarrollo y retención de gas en la masa. [Rodríguez E., 2005a]

Se menciona que cuando la masa de trigo se somete a deformación, los entrecruzamientos físicos y los puentes químicos débiles que sostienen los constituyentes de la masa se pueden

romper y reorganizar, permitiendo su relajamiento parcial o completo [Rodríguez E., 2005a].

## **2.5.2 Cualidades Elásticas de las Harinas**

Las cualidades plásticas se caracterizan por el grado de elasticidad, tenacidad y flexibilidad de la masa. A menudo se emplea el término de fuerza para referirse al cuerpo de la masa, esta noción de fuerza panadera se utiliza para clasificar el trigo, ya que un trigo fuerte dará una harina de fuerza. [Rollin E., 1962]

Las propiedades plastoelásticas de la harina repercuten sobre:

- ✓ La absorción de agua (rendimiento).
- ✓ La manejabilidad (masas gruesas y pegajosas)
- ✓ La tolerancia de la masa (facultad de soportar procesos de reposo muy prolongados).
- ✓ Las propiedades del gluten (determinan en gran manera las características plásticas).
- ✓ Las propiedades fermentativas (que varían en función de las cantidades que posea de azúcar simple, enzimas y de los gránulos de almidón dañado, ya que las enzimas las ataca fácilmente).

Para medir la calidad panadera de la harina se ha desarrollado numerosos métodos, entre ellos:

### **2.5.2.1 Farinografía.**

Según Pantanelli (1996) el farinógrafo mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y la absorción del agua necesaria para alcanzar esta consistencia.

El farinógrafo genera una curva que reproduce en forma visual el conjunto de características de calidad de la harina. La curva aumenta hasta un máximo de consistencia a medida que las proteínas de la harina se

desdoblan en gluten y caen, puesto que pierden resistencia por el amasado continuo.

El equipo está compuesto por una amasadora de dos brazos, que giran a 55 y 82 rpm., respectivamente, conectado a un dinamómetro compensado, cuyos movimientos se transmiten, por un sistema de palancas con amortiguador de aceite a un dispositivo tipo báscula, y este último conectado a una computadora donde se registra en tiempo real las gráficas o farinogramas, donde se graba la resistencia que opone la masa al trabajo mecánico a que se le somete en la amasadora.

El mixer está dotada con camisa de agua y control termostático para mantenerla a 30°C. Se coloca en la amasadora 300 gr. de harina y, se dosifica el 56 % de agua hasta conseguir la absorción correcta, lo cual ocurre cuando la curva alcanza la línea 500 FE. Luego se toma una muestra nueva de harina y se comienza el amasado, al tiempo que se registra en el farinógrafo la evolución de la masa y la resistencia que opone al amasado. Esta operación se prolonga hasta que la curva muestra síntomas de debilitamiento.

Según Benion (1970), la forma de la curva varía según el tipo de harina y la naturaleza de los aditivos. Los índices que normalmente se determinan con el farinógrafo son:

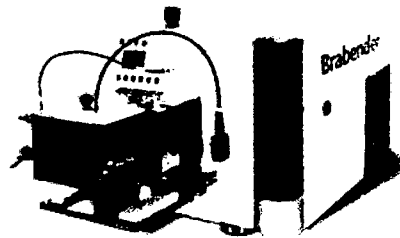
1. *Consistencia de la masa.*- Esta característica y la capacidad de absorción de agua se deducen de la cantidad de agua necesaria para producir una masa de consistencia correcta que llegue a la línea 500 FE. Cuando se prueba una harina con buena capacidad de absorción, se tendrá que ajustar, pues

el pico de la curva subirá por encima de este nivel. El ajuste se ha de hacer con cada tipo de harina, para mantener el pico de la curva en esta línea.

2. *Evolución de la masa.*- Es de gran importancia para poder determinar el tiempo de amasado. Cada harina necesita su tiempo de amasado y el farinógrafo es sumamente útil para indicar este tiempo. La situación del punto más alto de la curva indica el tiempo que puede ser necesario para la confección de la masa en condiciones industriales. Hay muchas harinas comerciales de las que se obtiene pan de baja calidad a causa de que la masa ha sido poco trabajada. Igualmente se estropean harinas por exceso de trabajo. Las harinas con alto contenido proteico (aptas para pastas) llevan asociado un tiempo largo de amasado.
3. *Estabilidad de la masa.*- Indica el tiempo que transcurre hasta que se debilita la masa y es una medida de la cantidad de fermentación que resistirá una harina y, en cierto modo, es un indicativo de la tolerancia de la misma al tiempo de fermentación. También es una medida del exceso de amasado que resiste una harina, antes que esta empiece a debilitarse.
4. *Debilitamiento de la masa.*- Queda representado por la caída de la curva por debajo de la línea de 500 FE., durante un periodo determinado del amasado. Las harinas fuertes darán valores bajos, mientras que las débiles darán valores altos. (Benion 1970)

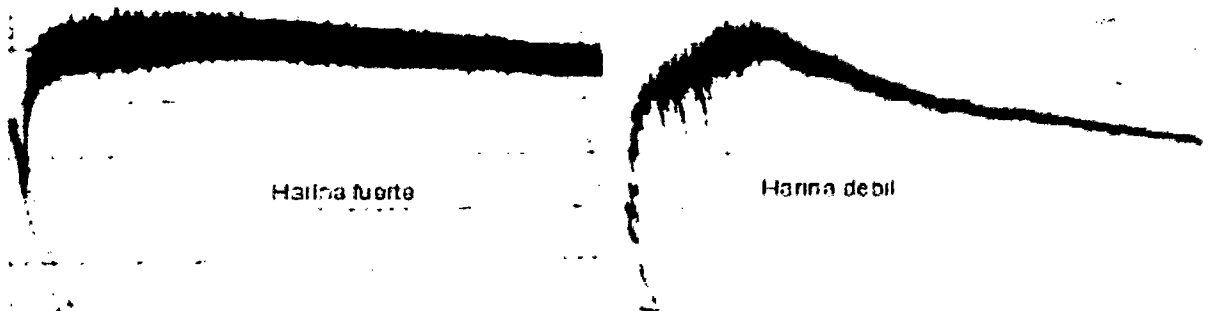
Según Pantanelli (1996) la aptitud de una harina para panificación utilizando los análisis farinográficos se puede evaluar mediante la siguiente clasificación:

1. Calidad óptima: caída de la masa entre 0 y 30 unidades farinográficas y una estabilidad superior a 10 minutos.
2. Calidad buena: caída de la masa entre 30 y 50 unidades y estabilidad no inferior a 7 minutos.
3. Calidad discreta: caída de la masa entre 50 y 70 unidades farinográficas y estabilidad no inferior a 5 minutos.
4. Calidad mediocre: caída de la masa entre 70 y 130 unidades farinográficas y estabilidad no inferior a 3 minutos.
5. Calidad baja: caída superior a 130 unidades farinográficas y estabilidad inferior a 2 minutos.



**Figura 6: Farinógrafo Brabender**

Fuente: Farinograph®-E Worldwide  
standard for testing flour quality

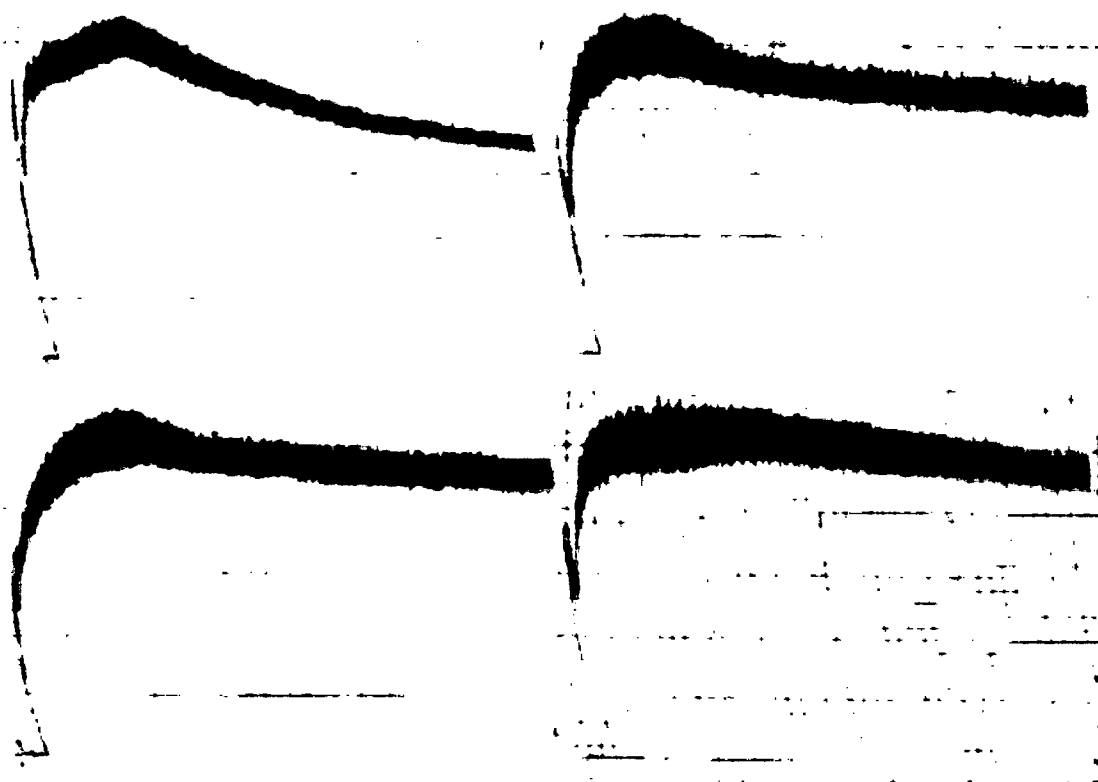


**Figura 7: Farinogramas de dos clases de harinas**

Fuente: Muller, 1973



En la figura 7, con dos harinas distintas, se pueden observar grandes diferencias, principalmente en la gran estabilidad de la harina fuerte y el grado de decaimiento pronunciado en la harina débil.



**Figura 8. Farinogramas de harina de trigo de acuerdo a su fuerza y elasticidad.**

Fuente: Muller, 1973

En la figura 9, se puede observar cómo se clasifican las harinas interpretadas por el farinógrafo. De izquierda a derecha: harinas fuertes y de arriba a abajo: harinas más elásticas (más ancho más elástica).

Por otro lado, en el cuadro 6 se menciona otros parámetros que se toma en cuenta en los análisis farinográficos.

**Cuadro 6: Medidas Panaderas para análisis farinográficos**

Parámetro	Valor
Tiempo de desarrollo	4' > Harina fuerte < 4' Harina floja
Estabilidad	Harinas más estables suelen ser más fuertes y fermentación más larga.
Índice de tolerancia	Pan común. 125 a 165 U.B.

Fuente: Calaveras J., 1996.

### 2.5.2.2 Amilografía

Se realiza con el amilógrafo y mide de manera continua la resistencia a la agitación de una suspensión de harina-agua mientras se va elevando la temperatura a la velocidad constante de 1,5°C / min a partir de 25°C hasta 95°C. De esta forma se detectan los cambios de viscosidad del producto después de la gelatinización (a los 60°C) del almidón, detectándose los cambios siguientes:

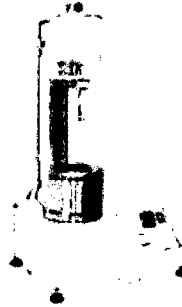
- Pérdida de birrefringencia
- Hinchamiento irreversible de los gránulos
- Liberación de amilosa
- Aumento rápido de la viscosidad

Harinas con alta actividad  $\alpha$ -amilásica darán viscosidades bajas. Por el contrario harinas con poca actividad  $\alpha$ -amilásica darán viscosidades elevadas.

El valor del amilógrafo establece el efecto de la  $\alpha$ -amilasa durante el proceso de panificación. En definitiva el amilógrafo da información sobre la calidad del almidón y el contenido en enzimas de una harina.

La valoración de la propiedad gelatinizadora de la harina permite saber con anterioridad a la estructura de

la miga, la necesidad de añadir harinas especiales, aditivos diastásicos, etc. Valores correctos para panificación se sitúan entre 400-500 AU. Las harinas procedentes de trigos germinados darán valores inferiores a 400 AU y no son aptas para panificación.



**Figura 9: Amilógrafo Brabender**

**Fuente: amylograph®-E Worldwide  
standard for testing flour quality**

### **2.5.2.3 Extensografía**

El extensógrafo mide la estabilidad de la masa y la resistencia que la misma opone durante el período de reposo.

Los principales índices que se obtienen de la curva son:

- ✓ Resistencia R, altura del extensograma (EU) correspondientes al punto de base situado a 5cm de distancia del comienzo de la curva.
- ✓ Resistencia R1, altura máxima de la curva.
- ✓ Extensibilidad E, corresponde a la longitud de la base desde el comienzo hasta el final del extensograma (mm).
- ✓ Extensibilidad E1, longitud de la base desde el comienzo de la curva hasta el final del punto correspondiente a la máxima resistencia R1.
- ✓ La resistencia R/E.

- ✓ Área del extensograma, fuerza de la masa, área bajo la curva del extensograma.

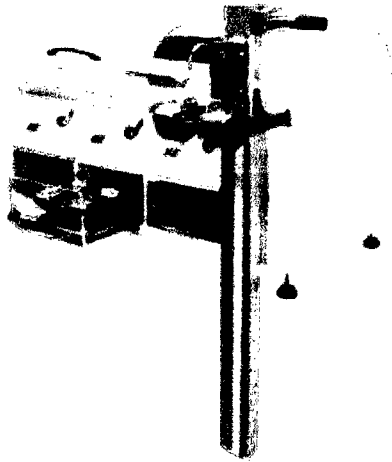
La harina de buena calidad dará curvas cada vez más elevadas, demostrando su buena estabilidad. Para la interpretación de los resultados se toma la altura de la curva a los 5 cm. La extensibilidad viene dada por la longitud de la curva; el área abarcada representa la energía, pues prácticamente está compuesta por: cantidad de deformación y fuerza necesaria para efectuarla.

Un valor alto de energía unido a gran extensibilidad, indica una harina fuerte. Un valor bajo de energía y gran extensibilidad, muestra una harina floja inadecuada para panificación, y es mas a propósito para galletas, harinas preparadas con levaduras artificiales o para pastas. Una masa corta da una curva alta y baja extensibilidad.

Stanley y col. (1998) menciona que las únicas propiedades reológicas necesarias para un buen comportamiento durante la panificación parecen ser la extensibilidad y una viscosidad lo suficientemente grande.

La aptitud de una harina para panificación utilizando los análisis extensográficos se puede evaluar mediante la siguiente clasificación:

1. Óptimo: relación entre 0.5 y 1.
2. Bueno: relación no inferior a 0.35
3. Discreto: relación no inferior a 0.25
4. Mediocre: no inferior a 0.1
5. Bajo: relación inferior a 0.1



**Figura 10: Extensógrafo Brabender**

**Fuente: Extensograph®-E measuring the stretching behaviour of the dough and baking characteristics**

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes:

- Laboratorio de Investigación y desarrollo de productos agroindustriales de la Escuela de Agroindustria – Universidad Nacional del Santa.
- Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustria – Universidad Nacional del Santa.
- Instituto de Investigación Agroindustrial de la Escuela de Agroindustria – Universidad Nacional del Santa

#### **3.2 MATERIALES.**

##### **3.2.1 Materia Prima.**

Para el análisis y el desarrollo de la investigación la obtención de las distintas harinas se optó por adquirir la materia prima en grano (trigo, cebada, quinua, arveja y maíz) en el mercado La Perla (Chimbote).

##### **3.2.2 Equipos e instrumentos, reactivos y otros materiales.**

Fueron necesarios para la realización de este trabajo de investigación, los siguientes equipos e instrumentos, materiales y reactivos:

###### **A. Equipos.**

✓ **Equipo: Amylograph - E**

Marca: (Brabender)

Modelo: 800250

Serie: 1925888

✓ **Equipo :Farinograph – AT**

Marca:(Brabender)

Modelo : 810161.001

Serie : 1925864

✓ **Equipo: Extensograph – E**

Marca : (Brabender)  
Modelo : 860723  
Serie : 1925035

✓ **Tamices**

Mallas N° : 10, 18, 60 y 120.  
Marca : ATM Products.

✓ **Vibrador de tamices**

Marca : SOILTEST  
Modelo : CL-3050-8.  
Serie : 3508-A.

✓ **Balanza Analítica**

Marca : PRECISA  
Modelo : PW-254.

✓ **Estufa**

Marca : Blue-M.  
Modelo : SW-17TC-1.  
Serie : SW-1990.

✓ **Mufla**

Marca : Thermolyne.  
Serie : 34703484.

✓ **pH metro digital**

Marca : Hach.  
Modelo : EC20.

**B. Reactivos.**

- ✓ Hexano
- ✓ Solución de hidróxido de sodio (0.1N y 0.01N).
- ✓ Agua destilada

**C. Otros Materiales.**

- ✓ Bolsas de polipropileno.
- ✓ Paletas de plástico
- ✓ Tamices n° 60, 120

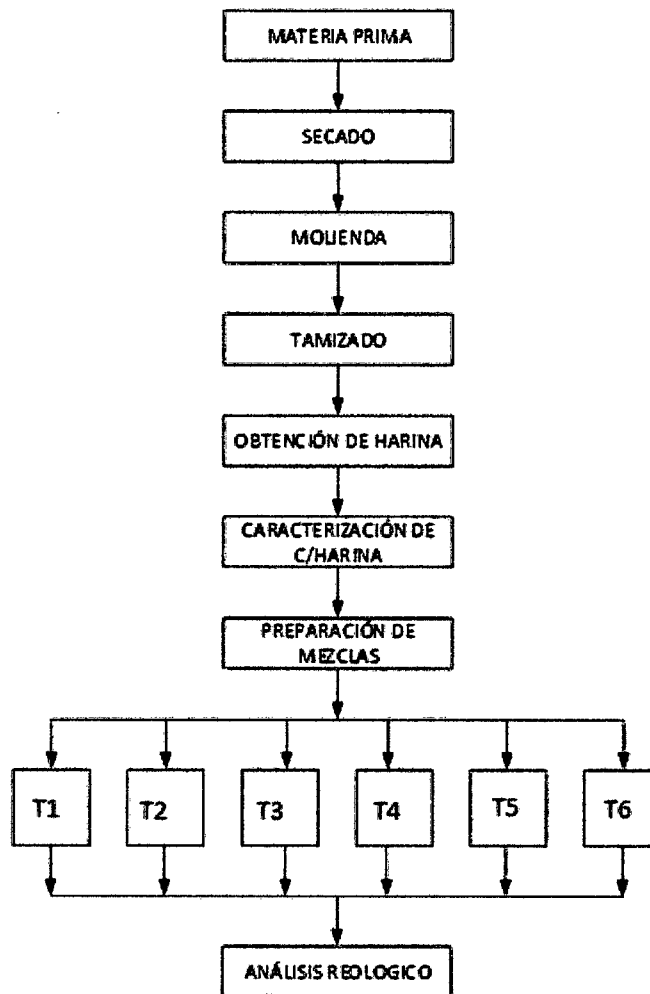
- ✓ Cuchillos
- ✓ Jarras plásticas.
- ✓ Materiales de vidrio y porcelana: Probetas, placas petri, vasos de precipitación.

### **3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

A continuación se muestra el diagrama de flujo para la evaluación de las características fisicoquímicas, nutricionales y reológicas de harinas de cereales y leguminosas expandidas a granel en los mercados de Chimbote.



**Figura 11:** Diagrama de Flujo para la Evaluación de las características fisicoquímicas, nutricionales y reológicas de las mezclas de harinas de cereales y leguminosa



### **3.3.1 Método para la obtención de harinas de cereales**

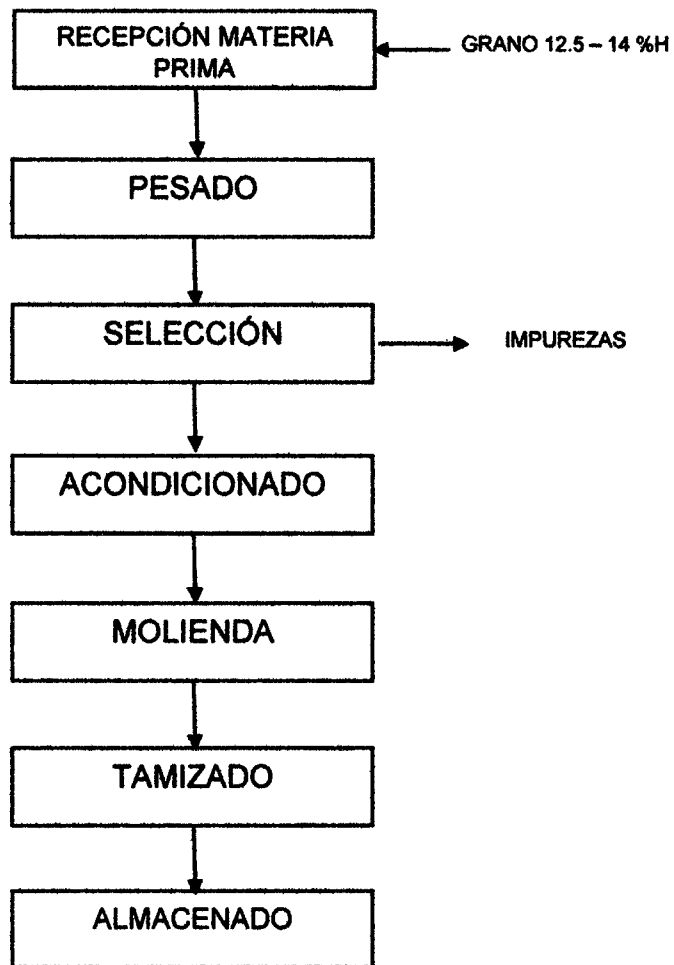
En la figura 12 se describe el proceso de obtención de harina de trigo, cebada, maíz y quinua, cumpliendo cada uno con los requisitos higiénicos y sanitarios correspondientes para generar un producto inocuo y de calidad para consumo humano.

- **Recepción.-** Se verificó las condiciones de humedad y temperatura que posee la materia prima. Además se realizó los análisis respectivos del cereal para determinar su calidad.
- **Pesado.-** Se tomó en cuenta el peso de la materia prima con la finalidad de determinar rendimientos, además la cantidad apta según la capacidad de los equipos.
- **Selección.-** Se realizó la separación de las impurezas mediante un sistema de ventilación, luego las impurezas recogidas se pesaron para después formar parte del residuo final.
- **Acondicionado.-** Para una mejor separación del endospermo del pericarpio, se acondicionó los granos, teniendo en cuenta la humedad según el tipo de harina a fabricarse.
- **Molienda.-** En este proceso de rotura, el grano se trituró gradualmente en un molino de discos para facilitar la separación entre el endospermo y pericarpio hasta obtener harina.

Los controles de rotura son fundamentales para mantener un nivel equilibrado entre extracción y ceniza. En las reducciones se controló el sobrecalentamiento, ya que se perjudica la proteína y existe un exceso de deshidratación.

- **Tamizado.-** El producto obtenido de la molienda se separó según el diámetro de la partícula mediante una serie de tamices hasta llegar a 120  $\mu\text{m}$ . Los productos que son retenidos por el tamiz fueron clasificados de acuerdo a su granulometría (harina flor, harina, salvadillo, salvado).

- Almacenado.- Una vez que el producto ha sido envasado, se almacenó en una bodega a temperatura ambiente y una humedad relativa controlada, para garantizar la calidad de la harina.



**Figura 12:** Diagrama de flujo para la obtención de harina de cereales

### 3.3.2 Métodos para la obtención de mezclas de harinas y análisis.

Las harinas de maíz, cebada, quinua y arveja se mezclaron con harina de trigo (muestra patrón) en proporciones de 10 y 20 % (p/p), se consideraron mezclas de 3 tipos de harina siendo la harina de trigo la que en mayor porcentaje consideraremos, por estudios preliminares que demuestran la factibilidad de estos porcentajes de sustitución para la elaboración de productos panificables.

### 3.3.3 Diseño Experimental

De acuerdo al problema de Investigación, se establece una comparación entre las muestras provenientes de las mezclas de harina de trigo más harina de cereales y leguminosas (trigo, cebada, maíz, quinua, alverja) con la muestra patrón o testigo: harina de trigo, por lo que se considera aplicar un Diseño de un Factor Completamente Aleatorizado.

El modelo matemático aplicable en este experimento es:

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

Donde:

$\mu$  = Efecto Global (Atribuible al Experimento)

$\tau$  = Efecto del Tratamiento

$\varepsilon$  = Efecto aleatorio

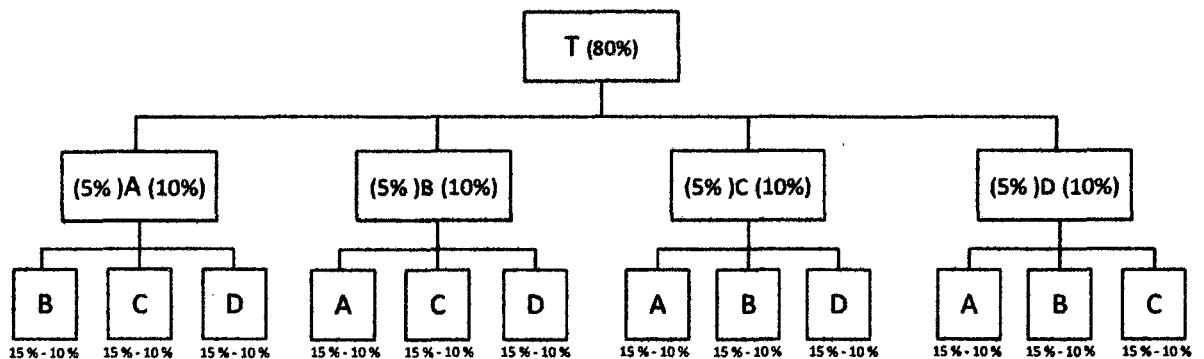
$j = 1 \dots k$  (niveles del factor de estudio)

$i = 1 \dots n$  (observaciones)

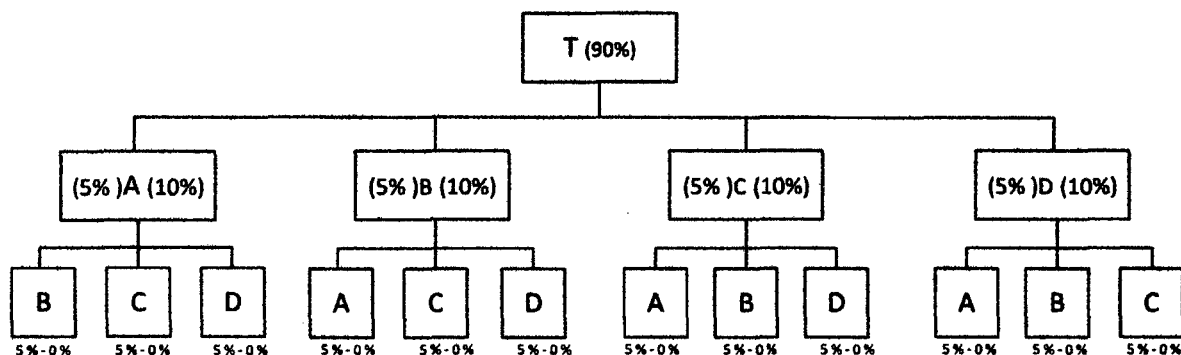
Además, se establece que el factor de estudio en este experimento, son las mezclas de harinas de cereales y leguminosa.

Se detalla a continuación, los tratamientos que se aplicaron en el experimento, así:

HARINA DE TRIGO SUSTITUIDA AL 20% CON LAS MEZCLAS RESPECTIVAS



HARINA DE TRIGO SUSTITUIDA AL 10% CON LAS MEZCLAS RESPECTIVAS.



HARINA DE TRIGO SUSTITUIDA AL 20% CON LAS MEZCLAS RESPECTIVAS.

Harina de trigo	Harina de arveja (A)	Harina de maíz (B)	Harina de cebada (C)	Harina de quinua (D)
80%	5%	15%	0%	0%
		0%	15%	0%
		0%	0%	15%
	10%	10%	0%	0%
		0%	10%	0%
		0%	0%	10%

Harina de trigo	Harina de maíz (B)	Harina de arveja (A)	Harina de cebada (C)	Harina de quinua (D)
80%	5%	15%	0%	0%
		0%	15%	0%
		0%	0%	15%
	10%	10%	0%	0%
		0%	10%	0%
		0%	0%	10%

Harina de trigo	Harina de cebada (C)	Harina de arveja (A)	Harina de maíz (B)	Harina de quinua (D)
		15%	0%	0%
	5%	0%	15%	0%
		0%	0%	15%
80%		10%	0%	0%
	10%	0%	10%	0%
		0%	0%	10%

Harina de trigo	Harina de quinua (D)	Harina de arveja (A)	Harina de maíz (B)	Harina de cebada (C)
		15%	0%	0%
	5%	0%	15%	0%
		0%	0%	15%
80%		10%	0%	0%
	10%	0%	10%	0%
		0%	0%	10%

HARINA DE TRIGO SUSTITUIDA AL 10% CON LAS MEZCLAS RESPECTIVAS.

Harina de trigo	Harina de arveja (A)	Harina de maíz (B)	Harina de cebada (C)	Harina de quinua (D)
		5%	0%	0%
	5%	0%	5%	0%
90%		0%	0%	5%
	10%	0%	0%	0%

Harina de trigo	Harina de maíz (B)	Harina de arveja (A)	Harina de cebada (C)	Harina de quinua (D)
		5%	0%	0%
	5%	0%	5%	0%
90%		0%	0%	5%
	10%	0%	0%	0%

Harina de trigo	Harina de cebada (C)	Harina de arveja (A)	Harina de maíz (B)	Harina de quinua (D)
		5%	0%	0%
	5%	0%	5%	0%
90%		0%	0%	5%
	10%	0%	0%	0%

Harina de trigo	Harina de quinua (D)	Harina de arveja (A)	Harina de maíz (B)	Harina de cebada (C)
		5%	0%	0%
	5%	0%	5%	0%
90%		0%	0%	5%
	10%	0%	0%	0%

Las harinas de maíz, cebada, quinua, arveja se mezclaron con harina de trigo (muestra patrón) en proporciones de 5 y 10% (p/p) considerando estudios preliminares que demuestran la factibilidad de estos porcentajes de sustitución para la elaboración de productos panificables. [Proyecto PHPPF, 2009] [El Comercio, 2008] [FAO, 2003]

Posteriormente, se realizó los análisis farinográficos (Anexo 4) de las mezclas de harinas elegidas, seleccionando los mejores tratamientos tomando como criterio el score químico. Dichos tratamientos fueron evaluados mediante análisis extensográficos

(Anexo 5) y en el amilógrafo (Anexo 6) para verificar los resultados farinográficos.

#### **3.3.4 Plan de Recolección de Datos**

Los datos obtenidos, serán tabulados, ordenados de acuerdo a la caracterización de cada una de las muestras.

Los resultados experimentales de los tratamientos con mezclas de harinas de cereales con harina de trigo fueron obtenidos siguiendo los métodos de trabajo establecidos por la casa fabricante de los equipos: Farinógrafo Brabender, el extensógrafo y amilógrafo, constituyen las representaciones gráficas de los resultados proporcionados por los equipos utilizados.

En el análisis de los resultados farinográficos, amilográficos y extensográficos obtenidos se aplicará un Diseño Estadístico de un Factor Completamente Aleatorizado con una réplica mediante Análisis de Varianza (ANOVA).

#### **3.3.5 Plan de Procesamiento de la Información**

Para el procesamiento de la información obtenida se utilizó el paquete informático Microsoft Office a través de los programas: Word, Excel; en el caso del diseño experimental y para realizar las correspondientes pruebas de comparación múltiple se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS CENTURION.

Para la interpretación de resultados, hay que tomar en cuenta:

- ✓ Análisis de los resultados estadísticos, destacando relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos.
- ✓ Interpretación de los resultados, con apoyo de la revisión bibliográfica, en el aspecto pertinente.
- ✓ Establecimiento de conclusiones y recomendaciones

En el análisis de los resultados farinográficos, amilográfico y extensográfico obtenidos se aplicó un Diseño Estadístico de un Factor Completamente Aleatorizado con una réplica mediante



**Análisis de Varianza (ANOVA) a un nivel de significancia del 5%. Para establecer los mejores tratamientos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey.**

### **3.3.6 Caracterización Físicoquímica de las Mezclas**

#### **➤ Análisis Proximal.**

**Las mediciones de humedad, proteína y cenizas de la harina se llevará a cabo por los métodos N°44-15A de AACC (1995), N°920.87 de la AOAC (1980) y 920.03 de la AOAC (1980), respectivamente. El contenido de grasa se determinará según el método 920.39C de la AOAC (1997). Los carbohidratos totales se determinarán por diferencia (100% - de los otros componentes). Todas las pruebas serán realizadas por triplicado.**

#### **➤ Análisis Reológicos de las Mezclas**

**Las diferentes formulaciones (mezclas de harinas) serán sometidas a análisis amilográficos, farinográficos y extensográficos (ver anexos 4,5 y 6).**

#### **➤ Score Químico o Computo Químico de las Mezclas**

**Dentro de los métodos químicos se encuentra el método de cómputo químico, conocido como puntaje químico, número químico o score químico propuesto por Mitchell y Block (1946), este método se basa en calcular el porcentaje de presencia de los aminoácidos esenciales, con respecto al patrón de referencia de aminoácidos esenciales para niños mayores de un año y adultos g/100 g (FAO/OMS, 1985). El porcentaje del aminoácido esencial, que está en menor proporción indica el aminoácido limitante al cual se le denomina score químico (SQ), cuando no hay déficit de ningún aminoácido esencial el SQ es 100% y equivale al de una proteína ideal o de referencia: por el contrario, si una proteína es carente en un aminoácidos esenciales su SQ es cero.**

Los patrones de referencia, reciben este nombre debido a que son proteínas que permiten una óptima síntesis proteica por lo que son utilizados como modelos, referencias o mezclas aminoacídicas deseables.

$$\text{Computo Quimico} = \frac{\text{g. AAE Mezcla o Alimento}}{\text{g. EAA Proteina Patron}}$$

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1 ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS HARINAS OBTENIDAS

Una vez obtenidas las harinas a emplear en el desarrollo del presente trabajo de investigación, se realizó el respectivo análisis proximal de las mismas.

Las harinas analizadas fueron: harina de trigo, harina de quinua, harina de cebada, harina de maíz y harina de arveja; cuyos resultados se muestran a continuación:

**Cuadro 7: Análisis proximal de la harina de Trigo**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Humedad	14.22 +/- 0.02
Proteínas	13.00 +/- 0.01
Cenizas	0.51 +/- 0.02
Grasas	1.44 +/- 0.02
Carbohidratos	72.70 +/- 0.1

**Cuadro 8: Análisis proximal de la harina de Quinua**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Humedad	11.00 +/- 0.15
Proteínas	12.50 +/- 0.01
Cenizas	2.15 +/- 0.1
Grasas	7.06 +/- 0.1
Carbohidratos	66.21 +/- 0.02

**Cuadro 9: Análisis proximal de la harina de Maíz**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Humedad	10.13 +/- 0.01
Proteínas	9.35 +/- 0.1
Cenizas	0.64 +/- 0.01
Grasas	2.50 +/- 0.2
Carbohidratos	79.35 +/- 0.1

**Cuadro 10: Análisis proximal de la harina de Cebada**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Humedad	12.29 +/- 0.02
Proteínas	7.70 +/- 0.1
Cenizas	3.17 +/- 0.1
Grasas	1.00 +/- 0.05
Carbohidratos	72.80 +/- 0.2

**Cuadro 11: Análisis proximal de la harina de Arveja**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Humedad	10.10 +/- 0.01
Proteínas	7.60 +/- 0.01
Cenizas	2.80 +/- 0.15
Grasas	1.10 +/- 0.21
Carbohidratos	64.40 +/- 0.1

En los cuadros mostrados anteriormente (del 07 al 11) se reportan los valores obtenidos en los diferentes análisis realizados a las harinas con las cuales se trabajará para en las diversas formulaciones, objeto de estudio, del presente trabajo de investigación.

De los datos reportados para cada una de las harinas se observa que se encuentran dentro de los valores que se muestran en la bibliografía, así Salinas et al (2008) reportaron un contenido de proteína para maíz de 9.42 y Muñoz (2010) un valor de 9.40 %. Para el caso del trigo se informan valores de 15.76 (Bhatia y Rabson, 1987; Wehrhahne, 2005) y Muñoz (2010) reporta un valor de 16.89. Para la Quinoa 13.6, con respecto a la Arveja se reportan contenido de 7.1 así como la cebada de 8.4

#### 4.2 SCORE QUIMICO

El score químico es el cálculo de los aminoácidos esenciales limitantes de un alimento, en este caso, de las formulaciones a evaluar.

Un total de 28 tratamientos fueron sometidos al cálculo de score químico, seleccionando así las 06 formulaciones con mayor puntaje.

El cálculo de score químico fue realizado matemáticamente (teóricamente), más no haciendo uso de cromatografía de gases.

Los 28 tratamientos evaluados inicialmente fueron:

**Cuadro 12: Score químico de las primera formulaciones evaluadas**

Formulaciones	Score Químico
T <sub>1</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (5%) + harina de maíz (15%)	65.39
T <sub>2</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (5%) + harina de cebada (15%)	65.07
T <sub>3</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (5%) + harina de quinua (15%)	74.32
T <sub>4</sub> = T <sub>10</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (10%) + harina de maíz (10%)	65.84
T <sub>5</sub> = T <sub>16</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (10%) + harina de cebada (10%)	65.62
T <sub>6</sub> = T <sub>22</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (10%) + harina de quinua (10%)	71.79
T <sub>7</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de maíz (5%) + harina de arveja (15%)	66.28

T <sub>8</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de maíz (5%) + harina de cebada (15%)	64.62
T <sub>9</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de maíz (5%) + harina de quinua (15%)	73.87
T <sub>11</sub> = T <sub>17</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de maíz (10%) + harina de cebada (10%)	64.73
T <sub>12</sub> = T <sub>23</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de maíz (10%) + harina de quinua (10%)	70.90
T <sub>13</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de cebada (5%) + harina de arveja (15%)	66.18
T <sub>14</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de cebada (5%) + harina de maíz (15%)	64.83
T <sub>15</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de cebada (5%) + harina de quinua (15%)	73.77
T <sub>18</sub> = T <sub>24</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de cebada (10%) + harina de quinua (10%)	70.68
T <sub>19</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de quinua (5%) + harina de arveja (15%)	69.26
T <sub>20</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de quinua (5%) + harina de maíz (15%)	67.92
T <sub>21</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de quinua (5%) + harina de cebada (15%)	67.60
T <sub>25</sub> = T <sub>29</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de arveja (5%) + harina de maíz (5%)	64.45
T <sub>26</sub> = T <sub>33</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de arveja (5%) + harina de cebada (5%)	64.34
T <sub>27</sub> = T <sub>37</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de arveja (5%) + harina de quinua (5%)	67.43
T <sub>28</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de arveja (10%)	64.90
T <sub>30</sub> = T <sub>34</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de maíz (5%) + harina de cebada (5%)	63.90
T <sub>31</sub> = T <sub>38</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de maíz (5%) + harina de quinua (5%)	66.98
T <sub>32</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de maíz (10%)	64.00
T <sub>35</sub> = T <sub>39</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de cebada (5%) + harina de quinua (5%)	66.87
T <sub>36</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de cebada (10%)	63.79
T <sub>40</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de quinua (10%)	69.96

---

De los 40 tratamientos evaluados, se seleccionaron las 6 formulaciones que se muestran en el siguiente cuadro, debido al alto aporte de aminoácidos que ofrecen.

**Cuadro 13:** Formulaciones seleccionadas por presentar más alto score químico.

Formulaciones	Score Químico
(F1) T <sub>3</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (5%) + harina de quinua (15%)	74.32
(F2) T <sub>6</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de arveja (10%) + harina de quinua (10%)	71.79
(F3) T <sub>9</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de maíz (5%) + harina de quinua (15%)	73.87
(F4) T <sub>15</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de cebada (5%) + harina de quinua (15%)	73.77
(F5) T <sub>18</sub> : Harina de trigo (80%) + harina de cebada (10%) + harina de quinua (10%)	70.68
(F6) T <sub>40</sub> : Harina de trigo (90%) + harina de quinua (10%)	69.96

**(\*) A partir de esta selección, las formulaciones a desarrollar serán abreviadas por las siguientes nomenclaturas:**

- **F1: Harina de trigo (80%) + harina de arveja (5%) + harina de quinua (15%)**
- **F2: Harina de trigo (80%) + harina de arveja (10%) + harina de quinua (10%)**
- **F3: Harina de trigo (80%) + harina de maíz (5%) + harina de quinua (15%)**
- **F4: Harina de trigo (80%) + harina de cebada (5%) + harina de quinua (15%)**
- **F5: Harina de trigo (80%) + harina de quinua (10%) + harina de cebada (10%)**
- **F6: Harina de trigo (90%) + harina de quinua (10%)**

De las formulaciones seleccionadas, se observa que en todas ellas se encuentra presente la quinua, esto porque este cereal es de gran calidad proteínica, siendo rico en el aminoácido lisina, mientras que, por el contrario, las proteínas de los demás cereales son deficientes en estos aminoácidos, otorgándole así un mayor cómputo químico a las mezclas en las cuales se encuentra en mayor proporción.

### 4.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

#### 4.3.1 Diseño de las Mezclas de los Cereales y Leguminosas

De acuerdo al contenido de proteína de cada uno de los cereales y leguminosa de estudio, se calcularon las cantidades a utilizar en cada mezcla. Para determinar el porcentaje de sustitución, el cálculo

se realizó mediante el cálculo de Score Químico o computo Químico de cada mezcla, dando lugar a la información presentada en el cuadro 13, en el que, como se mencionó anteriormente, se observa a la quinua presente en todas nuestras formulaciones por aportar mayor cantidad de aminoácidos esenciales.

#### 4.3.2 Contenido de Proteína de las muestras

En el Cuadro 14 se presenta el contenido de proteína en los cereales y leguminosas a utilizar, los cuales se ordenaron de menor a mayor contenido de proteína.

**Cuadro 14: Contenido de proteína de las muestras en grano**

<b>Componente</b>	<b>Proteína g/100 g</b>	<b>Tablas de Nutrición</b>
Trigo	13.26 ± 0.37	15.76
Quinua	14.05 ± 0.14	13.6
Arveja	7.97 ± 0.32	7.1
Cebada	8.73 ± 0.15	8.4
Maíz	9.22 ± 0.15	9.42

El valor mostrado representa el promedio de tres repeticiones. Factor de conversión de 5.81.

Los valores encontrados de proteínas para cada uno de las muestras son congruentes con lo reportado en la bibliografía, así Salinas et al (2008) reportaron un contenido de proteína para maíz de 9.42 y Muñoz (2010) un valor de 9.42 %. Para el caso del trigo se informan valores de 15.76 (Bhatia y Rabson, 1987; Wehrhahne, 2005) y Muñoz (2010) reporta un valor de 16.89. Para la Quinua 13.6, con respecto a la Arveja se reportan contenido de 7.1 así como la cebada de 8.4

En el cuadro N° 15 se presenta el análisis descriptivo de las mezclas de las formulaciones distintas.

El análisis estadístico de los datos obtenidos por triplicado muestra desviaciones insignificantes por lo cual tenemos resultados aceptables para el procesamiento estadístico.



**Cuadro 15: Análisis Descriptivo de las Proteínas en las Distintas Formulaciones**

**ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS PROTEÍNAS EN LAS DISTINTAS FORMULACIONES**

Formulación	N°	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la		Mínimo	Máximo
					media al 95%			
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	15.2333	.02082	.01202	15.1816	15.2850	15.21	15.25
F2	3	15.0567	.04041	.02333	14.9563	15.1571	15.02	15.10
F3	3	14.7267	.03055	.01764	14.6508	14.8026	14.70	14.76
F4	3	14.6200	.03000	.01732	14.5455	14.6945	14.59	14.65
F5	3	14.2567	.04509	.02603	14.1447	14.3687	14.21	14.30
F6	3	14.7367	.04041	.02333	14.6363	14.8371	14.70	14.78
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>14.7717</b>	<b>.32291</b>	<b>.07611</b>	<b>14.6111</b>	<b>14.9322</b>	<b>14.21</b>	<b>15.25</b>

La tabla de ANOVA, que nos ofrece el estadístico F con su nivel de significación. Si el nivel de significación (sig.) intraclass es menor o igual que 0,05, rechazamos la hipótesis de igualdad de medias, si es mayor, aceptamos la igualdad de medias, es decir, no existen diferencias significativas entre los grupos.

**Cuadro 16: Anova de un Factor para Proteína**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	°Sig.
Inter-grupos	1.758	5	.352	278.725	.000
Intra-grupos	.015	12	.001		
Total	1.773	17			

El ANOVA del contenido proteico de las mezclas para las concentraciones de las distintas harinas, reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 278.725 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo

**Cuadro 17: Comparaciones Múltiples Proteínas - Tukey**

(I) Formulación Mezcla harina	(J) Formulación Mezcla harina	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	.17667*	.02900	.001	.0793	.2741
	F3	.50667*	.02900	.000	.4093	.6041
	F4	.61333*	.02900	.000	.5159	.7107
	F5	.97667*	.02900	.000	.8793	1.0741
	F6	.49667*	.02900	.000	.3993	.5941
	F1	-.17667*	.02900	.001	-.2741	-.0793
F2	F3	.33000*	.02900	.000	.2326	.4274
	F4	.43667*	.02900	.000	.3393	.5341
	F5	.80000*	.02900	.000	.7026	.8974
	F6	.32000*	.02900	.000	.2226	.4174
F3	F1	-.50667*	.02900	.000	-.6041	-.4093
	F2	-.33000*	.02900	.000	-.4274	-.2326
	F4	.10667*	.02900	.029	.0093	.2041
	F5	.47000*	.02900	.000	.3726	.5674
	F6	-.01000	.02900	.999	-.1074	.0874
	F1	-.61333*	.02900	.000	-.7107	-.5159
F4	F2	-.43667*	.02900	.000	-.5341	-.3393
	F3	-.10667*	.02900	.029	-.2041	-.0093
	F5	.36333*	.02900	.000	.2659	.4607
	F6	-.11667*	.02900	.016	-.2141	-.0193

F5	F1	-.97667*	.02900	.000	-1.0741	-.8793
	F2	-.80000*	.02900	.000	-.8974	-.7026
	F3	-.47000*	.02900	.000	-.5674	-.3726
	F4	-.36333*	.02900	.000	-.4607	-.2659
	F6	-.48000*	.02900	.000	-.5774	-.3826
F6	F1	-.49667*	.02900	.000	-.5941	-.3993
	F2	-.32000*	.02900	.000	-.4174	-.2226
	F3	.01000	.02900	.999	-.0874	.1074
	F4	.11667*	.02900	.016	.0193	.2141
	F5	.48000*	.02900	.000	.3826	.5774

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

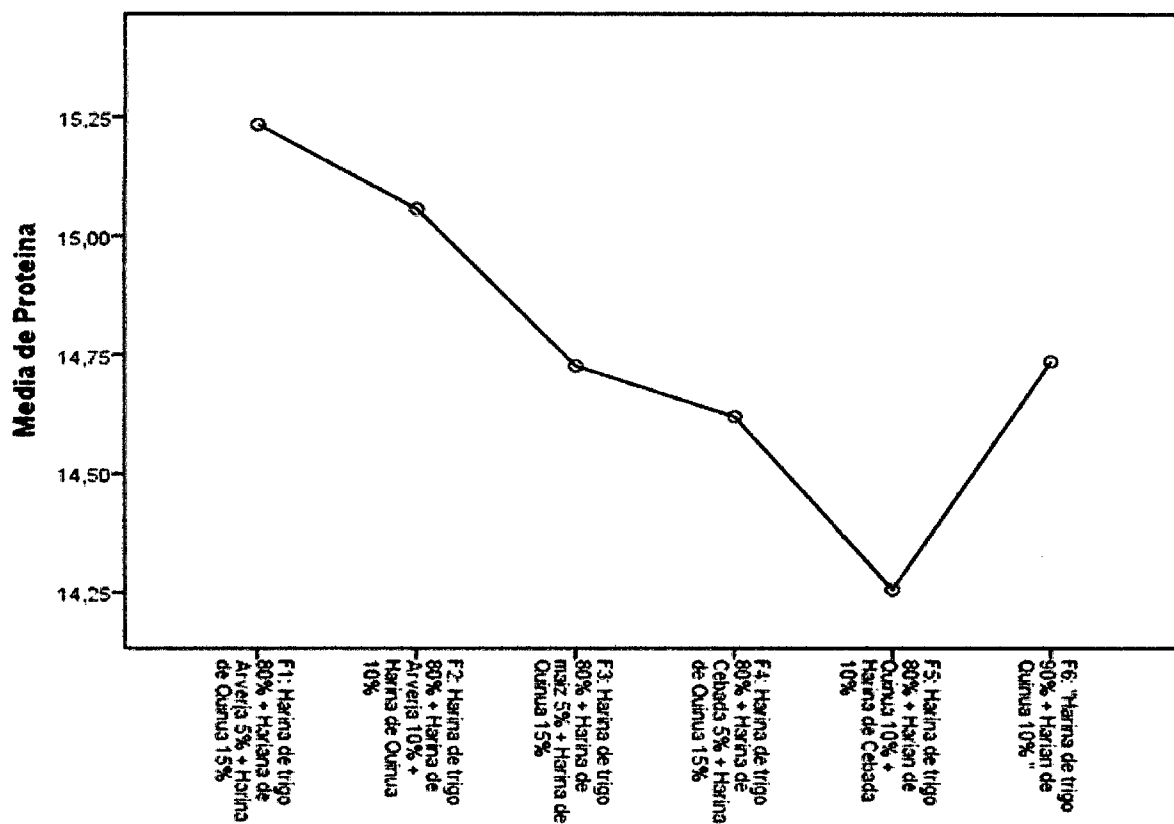
Según el cuadro 17 podemos determinar que la comparaciones de una formulación con respecto a las demás son en su mayoría significativas siendo la no significativa la formulación F6 con respecto a la formulación F3.

**Cuadro 18: Subconjuntos Múltiples de Proteínas - Tukey**

Formulación Mezcla harina	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
F5	3	14.2567				
F4	3		14.6200			
F3	3			14.7267		
F6	3			14.7367		
F2	3				15.0567	
F1	3					15.2333
Sig.		1.000	1.000	.999	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a. Us a el tamaño maestral de la media armónica = 3.000.

I



**Figura 13:** Media de proteína con respecto a las formulaciones seleccionadas

En el gráfico anterior se aprecia que la formulación F1 - harina de trigo (80%) + harina de arveja (5%) + harina de quinua (15%) - posee una media de 15.233% de proteínas y la media más baja es la de la formulación F5 - harina de trigo (80%) + harina de quinua (10%) + harina de cebada (10%) - con un 14.25% de proteína. De esto se concluye que la muestra que más proteínas aporta es la formulación F1.

### 4.3.3 Análisis Proximal de la Mezclas de harinas

Los análisis proximales a los que se sometieron las distintas formulaciones de harinas son: Humedad, Fibra, Aw, pH, Acidez y Ceniza.

Se presenta el análisis descriptivo de las mezclas de las formulaciones distintas para cada uno de los análisis mencionados.

El análisis estadístico de los datos obtenidos por triplicado muestra desviaciones insignificantes por lo cual tenemos resultados aceptables para el procesamiento estadístico.

**Cuadro N° 19: Análisis Descriptivo de los Análisis Proximales (Humedad, Fibra, Aw, pH, Acidez y Ceniza) en las Distintas Formulaciones**

Formulaciones	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
Humedad	F1	3	13,5667	,41633	,24037	12,5324	14,6009	13,10	13,90
	F2	3	14,4000	,30000	,17321	13,6548	15,1452	14,10	14,70
	F3	3	13,7000	,17321	,10000	13,2697	14,1303	13,50	13,80
	F4	3	14,2000	,20000	,11547	13,7032	14,6968	14,00	14,40
	F5	3	13,3667	,30551	,17638	12,6078	14,1256	13,10	13,70
	F6	3	14,4000	,20000	,11547	13,9032	14,8968	14,20	14,60
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>13,9389</b>	<b>,48403</b>	<b>,11409</b>	<b>13,6982</b>	<b>14,1796</b>	<b>13,10</b>	<b>14,70</b>
Fibra	F1	3	3,1333	,02082	,01202	3,0816	3,1850	3,11	3,15
	F2	3	3,2467	,04163	,02404	3,1432	3,3501	3,20	3,28
	F3	3	3,0167	,04041	,02333	2,9163	3,1171	2,98	3,06
	F4	3	3,1333	,02517	,01453	3,0708	3,1958	3,11	3,16
	F5	3	3,2433	,04509	,02603	3,1313	3,3553	3,20	3,29
	F6	3	3,0633	,06807	,03930	2,8942	3,2324	3,01	3,14
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>3,1394</b>	<b>,09452</b>	<b>,02228</b>	<b>3,0924</b>	<b>3,1865</b>	<b>2,98</b>	<b>3,29</b>
Aw	F1	3	,1617	,00493	,00285	,5494	,5739	,56	,56
	F2	3	,1633	,00451	,00260	,5521	,5745	,56	,57
	F3	3	,1583	,00603	,00348	,5434	,5733	,55	,56
	F4	3	,1700	,00265	,00153	,5634	,5766	,57	,57
	F5	3	,1453	,01222	,00706	,5150	,5757	,53	,56
	F6	3	,1820	,00400	,00231	,5721	,5919	,58	,59
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>,1634</b>	<b>,01270</b>	<b>,00299</b>	<b>,5571</b>	<b>,5698</b>	<b>,53</b>	<b>,59</b>
pH	F1	3	6,5633	,01528	,00882	6,5254	6,6013	6,55	6,58
	F2	3	6,5133	,02517	,01453	6,4508	6,5758	6,49	6,54
	F3	3	6,5100	,02646	,01528	6,4443	6,5757	6,49	6,54
	F4	3	6,3067	,01528	,00882	6,2687	6,3446	6,29	6,32
	F5	3	6,2800	,03606	,02082	6,1904	6,3696	6,24	6,31
	F6	3	7,0633	,05508	,03180	6,9265	7,2001	7,01	7,12
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>6,5394</b>	<b>,26640</b>	<b>,06279</b>	<b>6,4070</b>	<b>6,6719</b>	<b>6,24</b>	<b>7,12</b>

	F1	3	,0381	,00137	,00079	,0347	,0415	,04	,04
	F2	3	,0477	,00156	,00090	,0438	,0516	,05	,05
	F3	3	,0441	,00090	,00052	,0419	,0463	,04	,05
Acidez	F4	3	,0390	,00226	,00131	,0334	,0446	,04	,04
	F5	3	,0426	,00137	,00079	,0392	,0460	,04	,04
	F6	3	,0369	,00090	,00052	,0347	,0391	,04	,04
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>,0414</b>	<b>,00407</b>	<b>,00096</b>	<b>,0394</b>	<b>,0434</b>	<b>,04</b>	<b>,05</b>
	F1	3	1,8537	,00551	,00318	1,8400	1,8673	1,85	1,86
	F2	3	1,8720	,00200	,00115	1,8670	1,8770	1,87	1,87
	F3	3	1,8047	,00404	,00233	1,7946	1,8147	1,80	1,81
Ceniza	F4	3	1,8137	,00252	,00145	1,8074	1,8199	1,81	1,82
	F5	3	1,7873	,00351	,00203	1,7786	1,7961	1,78	1,79
	F6	3	1,7630	,00458	,00265	1,7516	1,7744	1,76	1,77
	<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>1,8157</b>	<b>,03845</b>	<b>,00906</b>	<b>1,7966</b>	<b>1,8348</b>	<b>1,76</b>	<b>1,87</b>

Se determina que la desviación no es significativa por lo que podemos decir que los análisis proximales presentan resultados similares, los cual se pueden comprobar en las medias estimadas para cada análisis, lo cual valida la repetitividad de los análisis hechos y el cálculo empleado para la obtención de estos.

**Cuadro N° 20: Anova de un Factor para Análisis Proximal (Humedad, Fibra, Aw, pH, Acidez y Ceniza)**

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Humedad	Inter-grupos	3,049	5	,610	7,841	,002
	Intra-grupos	,933	12	,078		
	Total	3,983	17			
Fibra	Inter-grupos	,130	5	,026	14,021	,000
	Intra-grupos	,022	12	,002		
	Total	,152	17			
Aw	Inter-grupos	,002	5	,000	10,581	,000
	Intra-grupos	,001	12	,000		
	Total	,003	17			
pH	Inter-grupos	1,194	5	,239	233,653	,000
	Intra-grupos	,012	12	,001		
	Total	1,206	17			
Acidez	Inter-grupos	,000	5	,000	23,700	,000
	Intra-grupos	,000	12	,000		
	Total	,000	17			
Ceniza	Inter-grupos	,025	5	,005	331,531	,000
	Intra-grupos	,000	12	,000		
	Total	,025	17			

El ANOVA presentado demuestra la no significancia de las desviaciones de las repeticiones.

**Cuadro N° 21: Comparaciones Múltiples de los Análisis Proximales -  
Tukey**

Variable dependiente	(I) Formulación Mezcla harina	(J) Formulación Mezcla harina	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Humedad	F1	F2	-,83333*	,22771	,030	-1,5982	-,0685
		F3	-,13333	,22771	,990	-,8982	,6315
		F4	-,63333	,22771	,129	-1,3982	,1315
		F5	,20000	,22771	,945	-,5649	,9649
		F6	-,83333*	,22771	,030	-1,5982	-,0685
		F1	,83333*	,22771	,030	,0685	1,5982
	F2	F3	,70000	,22771	,080	-,0649	1,4649
		F4	,20000	,22771	,945	-,5649	,9649
		F5	1,03333*	,22771	,007	,2685	1,7982
		F6	,00000	,22771	1,000	-,7649	,7649
		F1	,13333	,22771	,990	-,6315	,8982
		F2	-,70000	,22771	,080	-1,4649	,0649
	F3	F4	-,50000	,22771	,307	-1,2649	,2649
		F5	,33333	,22771	,691	-,4315	1,0982
		F6	-,70000	,22771	,080	-1,4649	,0649
		F1	,63333	,22771	,129	-,1315	1,3982
		F2	-,20000	,22771	,945	-,9649	,5649
		F3	,50000	,22771	,307	-,2649	1,2649
	F4	F5	,83333*	,22771	,030	,0685	1,5982
		F6	-,20000	,22771	,945	-,9649	,5649
		F1	-,20000	,22771	,945	-,9649	,5649
		F2	-1,03333*	,22771	,007	-1,7982	-,2685
		F3	-,33333	,22771	,691	-1,0982	,4315
		F4	-,83333*	,22771	,030	-1,5982	-,0685
F5	F6	-1,03333*	,22771	,007	-1,7982	-,2685	
	F1	,83333*	,22771	,030	,0685	1,5982	
	F2	,00000	,22771	1,000	-,7649	,7649	
	F3	,70000	,22771	,080	-,0649	1,4649	
	F4	,20000	,22771	,945	-,5649	,9649	
	F5	1,03333*	,22771	,007	,2685	1,7982	
F6	F2	-,11333	,03512	,062	-,2313	,0046	
	F3	,11667	,03512	,053	-,0013	,2346	
	F4	,00000	,03512	1,000	-,1180	,1180	
	F5	-,11000	,03512	,073	-,2280	,0080	
	F6	,07000	,03512	,399	-,0480	,1880	
	F1	,11333	,03512	,062	-,0046	,2313	
F2	F3	,23000*	,03512	,000	,1120	,3480	
	F4	,11333	,03512	,062	-,0046	,2313	
	F5	,00333	,03512	1,000	-,1146	,1213	
	F6	,18333*	,03512	,002	,0654	,3013	
	F1	-,11667	,03512	,053	-,2346	,0013	
	F2	-,23000*	,03512	,000	-,3480	-,1120	
F3	F4	-,11667	,03512	,053	-,2346	,0013	
	F5	-,22667*	,03512	,000	-,3446	-,1087	
	F6	-,04667	,03512	,765	-,1646	,0713	
	F1	,00000	,03512	1,000	-,1180	,1180	
	F2	-,11333	,03512	,062	-,2313	,0046	
	F3	,11667	,03512	,053	-,0013	,2346	
F4	F5	-,11000	,03512	,073	-,2280	,0080	
	F6	,07000	,03512	,399	-,0480	,1880	
	F1	,11000	,03512	,073	-,0080	,2280	
	F2	-,00333	,03512	1,000	-,1213	,1146	
	F3	,22667*	,03512	,000	,1087	,3446	

		F4	,11000	,03512	,073	-,0080	,2280
		F6	,18000*	,03512	,003	,0620	,2980
		F1	-,07000	,03512	,399	-,1880	,0480
		F2	-,18333*	,03512	,002	-,3013	-,0654
	F6	F3	,04667	,03512	,765	-,0713	,1646
		F4	-,07000	,03512	,399	-,1880	,0480
		F5	-,18000*	,03512	,003	-,2980	-,0620
		F2	-,00167	,00531	,999	-,0195	,0162
		F3	,00333	,00531	,987	-,0145	,0212
	F1	F4	-,00833	,00531	,630	-,0262	,0095
		F5	,01633	,00531	,080	-,0015	,0342
		F6	-,02033*	,00531	,023	-,0382	-,0025
		F1	,00167	,00531	,999	-,0162	,0195
		F3	,00500	,00531	,927	-,0128	,0228
	F2	F4	-,00667	,00531	,802	-,0245	,0112
		F5	,01800*	,00531	,047	,0002	,0358
		F6	-,01867*	,00531	,038	-,0365	-,0008
		F1	-,00333	,00531	,987	-,0212	,0145
		F2	-,00500	,00531	,927	-,0228	,0128
	F3	F4	-,01167	,00531	,305	-,0295	,0062
		F5	,01300	,00531	,214	-,0048	,0308
		F6	-,02367*	,00531	,008	-,0415	-,0058
		F1	,00833	,00531	,630	-,0095	,0262
		F2	,00667	,00531	,802	-,0112	,0245
	F4	F3	,01167	,00531	,305	-,0062	,0295
		F5	,02467*	,00531	,006	,0068	,0425
		F6	-,01200	,00531	,280	-,0298	,0058
		F1	-,01633	,00531	,080	-,0342	,0015
		F2	-,01800*	,00531	,047	-,0358	-,0002
	F5	F3	-,01300	,00531	,214	-,0308	,0048
		F4	-,02467*	,00531	,006	-,0425	-,0068
		F6	-,03667*	,00531	,000	-,0545	-,0188
		F1	,02033*	,00531	,023	,0025	,0382
		F2	,01867*	,00531	,038	,0008	,0365
	F6	F3	,02367*	,00531	,008	,0058	,0415
		F4	,01200	,00531	,280	-,0058	,0298
		F5	,03667*	,00531	,000	,0188	,0545
		F2	,05000	,02611	,438	-,0377	,1377
		F3	,05333	,02611	,375	-,0344	,1410
	F1	F4	,25667*	,02611	,000	,1690	,3444
		F5	,28333*	,02611	,000	,1956	,3710
		F6	-,50000*	,02611	,000	-,5877	-,4123
		F1	-,05000	,02611	,438	-,1377	,0377
		F3	,00333	,02611	1,000	-,0844	,0910
	F2	F4	,20667*	,02611	,000	,1190	,2944
		F5	,23333*	,02611	,000	,1456	,3210
		F6	-,55000*	,02611	,000	-,6377	-,4623
		F1	-,05333	,02611	,375	-,1410	,0344
		F2	-,00333	,02611	1,000	-,0910	,0844
	F3	F4	,20333*	,02611	,000	,1156	,2910
		F5	,23000*	,02611	,000	,1423	,3177
		F6	-,55333*	,02611	,000	-,6410	-,4656
		F1	-,25667*	,02611	,000	-,3444	-,1690
		F2	-,20667*	,02611	,000	-,2944	-,1190
	F4	F3	-,20333*	,02611	,000	-,2910	-,1156
		F5	,02667	,02611	,902	-,0610	,1144
		F6	-,75667*	,02611	,000	-,8444	-,6890
		F1	-,28333*	,02611	,000	-,3710	-,1956
	F5	F2	-,23333*	,02611	,000	-,3210	-,1456
		F3	-,23000*	,02611	,000	-,3177	-,1423



		F4	-,02667	,02611	,902	-,1144	,0610
		F6	-,78333*	,02611	,000	-,8710	-,6956
		F1	,50000*	,02611	,000	,4123	,5877
		F2	,55000*	,02611	,000	,4623	,6377
	F6	F3	,55333*	,02611	,000	,4656	,6410
		F4	,75667*	,02611	,000	,6690	,8444
		F5	,78333*	,02611	,000	,6956	,8710
		F2	-,00960*	,00120	,000	-,0136	-,0056
		F3	-,00600*	,00120	,003	-,0100	-,0020
	F1	F4	-,00090	,00120	,971	-,0049	,0031
		F5	-,00450*	,00120	,026	-,0085	-,0005
		F6	,00120	,00120	,909	-,0028	,0052
		F1	,00960*	,00120	,000	,0056	,0136
		F3	,00360	,00120	,091	-,0004	,0076
	F2	F4	,00870*	,00120	,000	,0047	,0127
		F5	,00510*	,00120	,011	,0011	,0091
		F6	,01080*	,00120	,000	,0068	,0148
		F1	,00600*	,00120	,003	,0020	,0100
		F2	-,00360	,00120	,091	-,0076	,0004
	F3	F4	,00510*	,00120	,011	,0011	,0091
		F5	,00150	,00120	,805	-,0025	,0055
		F6	,00720*	,00120	,001	,0032	,0112
		F1	,00090	,00120	,971	-,0031	,0049
		F2	-,00870*	,00120	,000	-,0127	-,0047
	F4	F3	-,00510*	,00120	,011	-,0091	-,0011
		F5	-,00360	,00120	,091	-,0076	,0004
		F6	,00210	,00120	,528	-,0019	,0061
		F1	,00450*	,00120	,026	,0005	,0085
		F2	-,00510*	,00120	,011	-,0091	-,0011
	F5	F3	-,00150	,00120	,805	-,0055	,0025
		F4	,00360	,00120	,091	-,0004	,0076
		F6	,00570*	,00120	,005	,0017	,0097
		F1	-,00120	,00120	,909	-,0052	,0028
		F2	-,01080*	,00120	,000	-,0148	-,0068
	F6	F3	-,00720*	,00120	,001	-,0112	-,0032
		F4	-,00210	,00120	,528	-,0061	,0019
		F5	-,00570*	,00120	,005	-,0097	-,0017
		F2	-,01833*	,00317	,001	-,0290	-,0077
		F3	,04900*	,00317	,000	,0384	,0596
	F1	F4	,04000*	,00317	,000	,0294	,0506
		F5	,06633*	,00317	,000	,0557	,0770
		F6	,09067*	,00317	,000	,0800	,1013
		F1	,01833*	,00317	,001	,0077	,0290
		F3	,06733*	,00317	,000	,0567	,0780
	F2	F4	,05833*	,00317	,000	,0477	,0690
		F5	,08467*	,00317	,000	,0740	,0953
		F6	,10900*	,00317	,000	,0984	,1196
		F1	-,04900*	,00317	,000	-,0596	-,0384
		F2	-,06733*	,00317	,000	-,0780	-,0567
	F3	F4	-,00900	,00317	,117	-,0196	,0016
		F5	,01733*	,00317	,002	,0067	,0280
		F6	,04167*	,00317	,000	,0310	,0523
		F1	-,04000*	,00317	,000	-,0506	-,0294
		F2	-,05833*	,00317	,000	-,0690	-,0477
	F4	F3	,00900	,00317	,117	-,0016	,0196
		F5	,02633*	,00317	,000	,0157	,0370
		F6	,05067*	,00317	,000	,0400	,0613
		F1	-,06633*	,00317	,000	-,0770	-,0557
	F5	F2	-,08467*	,00317	,000	-,0953	-,0740
		F3	-,01733*	,00317	,002	-,0280	-,0067

	F4	-.02633*	,00317	,000	-.0370	-.0157
	F6	,02433*	,00317	,000	,0137	,0350
	F1	-.09067*	,00317	,000	-.1013	-.0800
	F2	-.10900*	,00317	,000	-.1196	-.0984
F6	F3	-.04167*	,00317	,000	-.0523	-.0310
	F4	-.05067*	,00317	,000	-.0613	-.0400
	F5	-.02433*	,00317	,000	-.0350	-.0137

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

**Cuadro N° 22: Subconjuntos Múltiples Humedad - Tukey**

Formulación Mezcla harina	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
F5	3	13,3667		
F1	3	13,5667	13,5667	
F3	3	13,7000	13,7000	13,7000
F4	3		14,2000	14,2000
F2	3			14,4000
F6	3			14,4000
Sig.		,691	,129	,080

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

**Cuadro N° 23: Subconjuntos Múltiples Fibra - Tukey**

Formulación Mezcla harina	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
F3	3	3,0167	
F6	3	3,0633	
F1	3	3,1333	3,1333
F4	3	3,1333	3,1333
F5	3		3,2433
F2	3		3,2467
Sig.		,053	,062

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

**Cuadro N° 24: Subconjuntos Múltiples Aw - Tukey**

Formulación Mezcla harina	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
F5	3	,1453		
F3	3	,1583	,1583	
F1	3	,1617	,1617	
F2	3		,1633	
F4	3		,1700	,1700
F6	3			,1820
Sig.		,080	,305	,280

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

**Cuadro N° 25: Subconjuntos Múltiples pH - Tukey**

°	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
F5	3	6,2800		
F4	3	6,3067		
F3	3		6,5100	
F2	3		6,5133	
F1	3		6,5633	
F6	3			7,0633
<b>Sig.</b>		<b>,902</b>	<b>,375</b>	<b>1,000</b>

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

**Cuadro N° 26: Subconjuntos Múltiples Acidez - Tukey**

Formulación Mezcla harina	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
F6	3	,0369			
F1	3	,0381			
F4	3	,0390	,0390		
F5	3		,0426	,0426	
F3	3			,0441	,0441
F2	3				,0477
<b>Sig.</b>		<b>,528</b>	<b>,091</b>	<b>,805</b>	<b>,091</b>

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

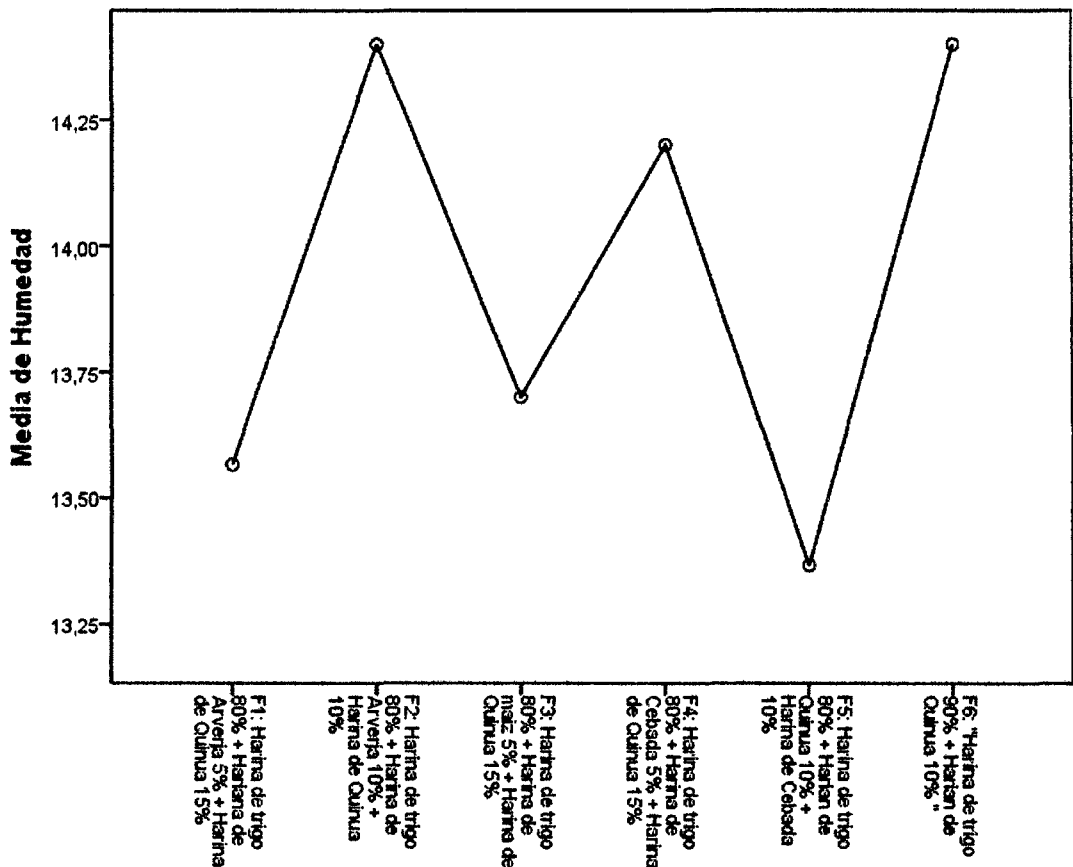
a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.

**Cuadro N° 27: Subconjuntos Múltiples Cenizas - Tukey**

Formulación Mezcla harina	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
F6	3	1,7630				
F5	3		1,7873			
F3	3			1,8047		
F4	3			1,8137		
F1	3				1,8537	
F2	3					1,8720
<b>Sig.</b>		<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>,117</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

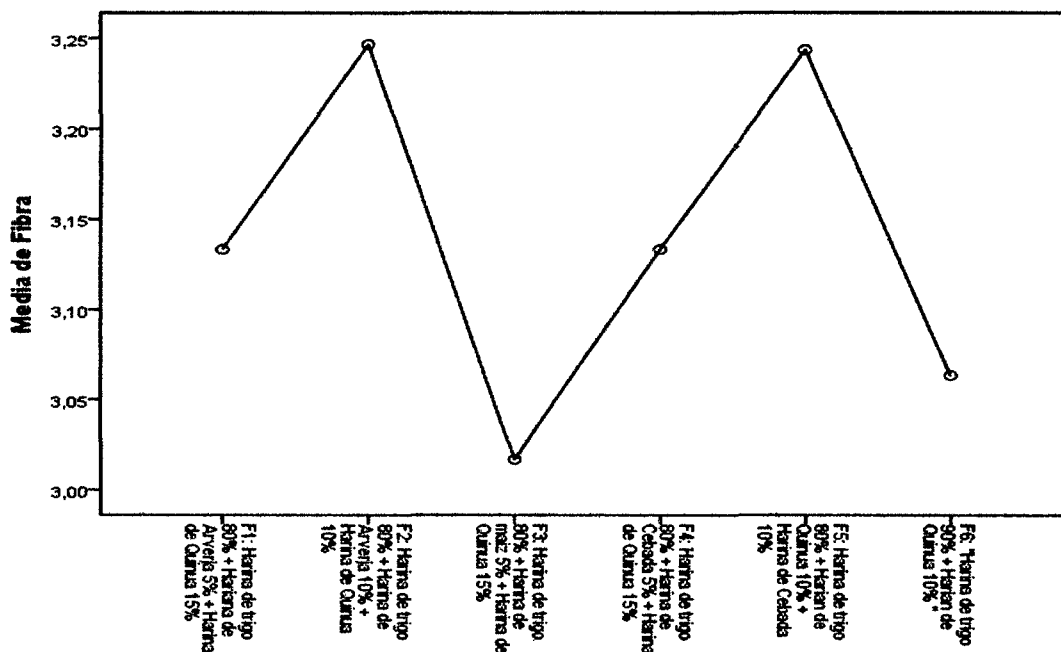
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.



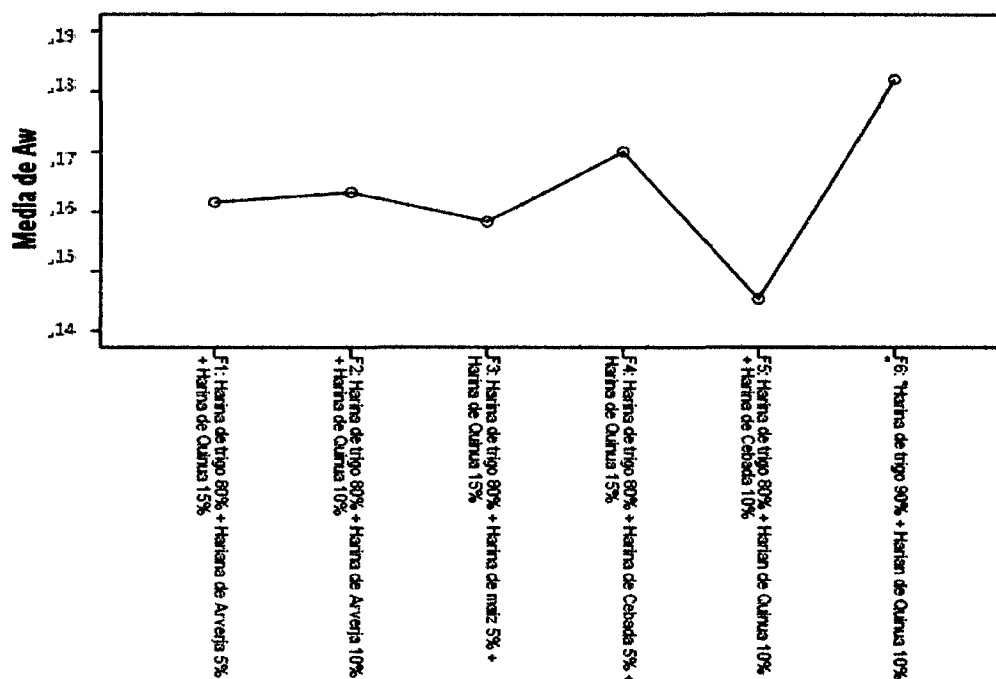
**Figura 14:** Media de humedad con respecto a las formulaciones seleccionadas

En el gráfico anterior se aprecia que las formulaciones F2 y F6 poseen una media de 14.400% de humedad y la media más baja es la de la formulación F5 (13.3667%). De esto se concluye que las 02 muestras que más humedad poseen son las formulaciones F2 y F6. Esto debido a que los cereales presentes en las formulaciones mencionadas (trigo, quinua y arveja) poseen en su composición una mayor cantidad de agua, tendiendo también, a captar más humedad del ambiente.



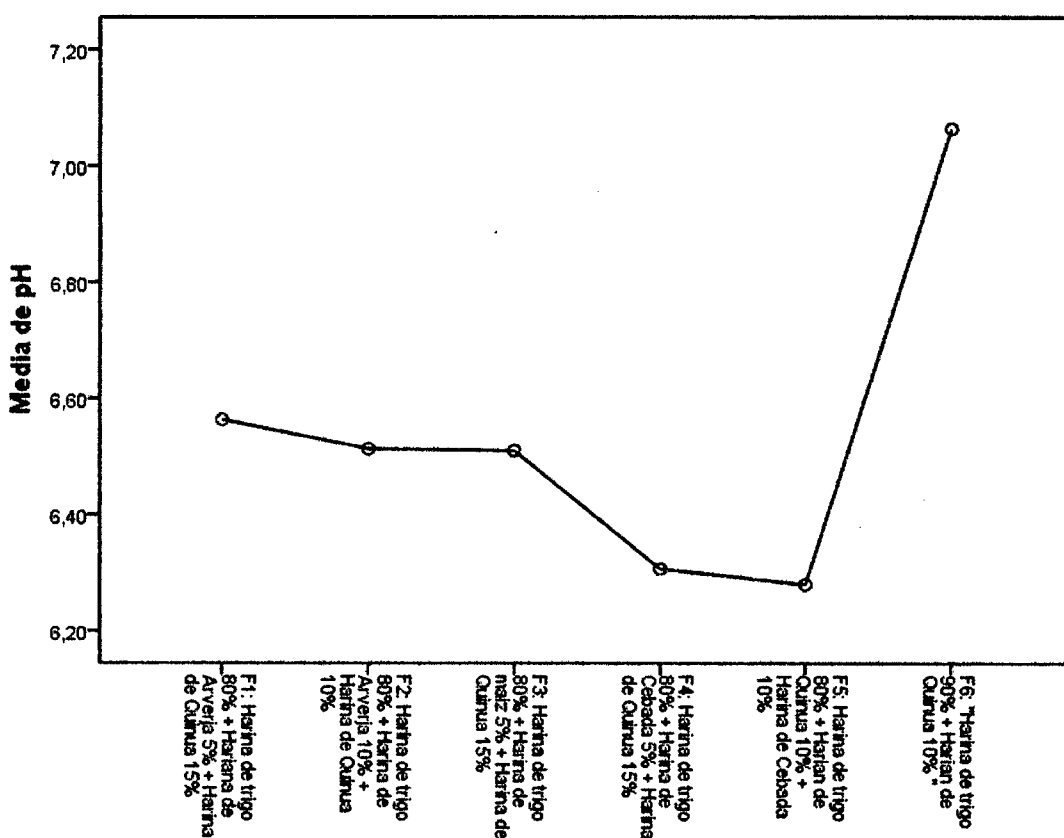
**Figura 15: Media de fibra con respecto a las formulaciones**

En la figura anterior se observa que la formulación F2 (3.2467%) es aquella, entre las 6 formulaciones estudiadas, la que más fibra aporta, mientras que la formulación F3 es la que menos fibra posee, con una media de 3.0167%



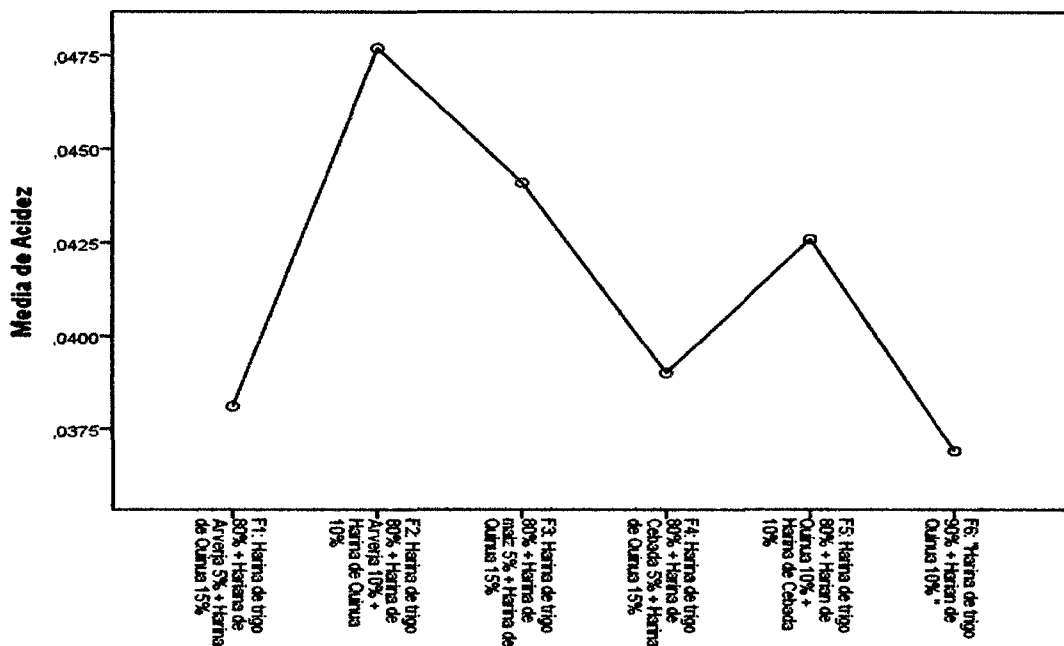
**Figura 16: Media de Aw con respecto a las formulaciones**

De la figura anterior, se concluye que la formulación F6 (0.5820%) es aquella, entre las 6 formulaciones estudiadas, la que más actividad de agua posee aporta, mientras que la formulación F5 es la que menos actividad de agua presenta, con una media de 0.5452%. Estos resultados se encuentran relacionados con los obtenidos en el porcentaje de humedad, por ello la similitud, ya que las harinas presentes en dichas formulaciones son altamente higroscópicas, es decir, captan la humedad presente en el ambiente.



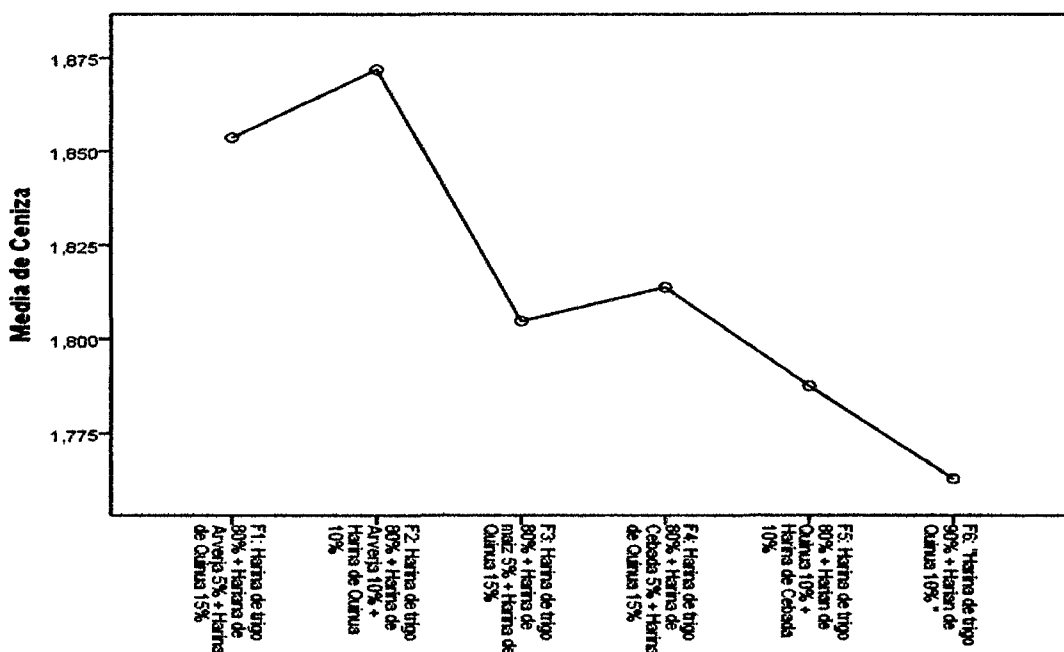
**Figura 17:** Media de pH con respecto a las formulaciones

En el gráfico 17, se observa que la formulación F6 (7,0633) es aquella que posee más alta medida de pH, mientras que la formulación F5 es la que menor pH presenta, con una media de 6,2800.



**Figura 18: Media de acidez con respecto a las formulaciones**

De la figura anterior se observa que la formulación F2 (0,477%) es aquella, entre las 6 formulaciones estudiadas, la que más porcentaje de acidez tiene, mientras que la formulación F6 es la que menos acidez posee, con una media de 0,369%.



**Figura 19: Media de ceniza con respecto a las formulaciones**

Del gráfico 19, se concluye que la formulación F2 (1.8720%) es aquella que mayor presencia de cenizas posee en su composición, éstas se encuentran formadas principalmente por calcio, magnesio, sodio, potasio, etc; mientras que la formulación F6 es la que menor media presenta en cuanto a ceniza (1,7630%).

#### **4.3.4 Caracterización Reológica en Mezclas de Harinas**

##### **4.3.4.1 Caracterización Farinográfica en Mezclas de Harinas**

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se obtuvieron diferentes farinogramas (de la figura 21 a 26), asimismo, los resultados del análisis correspondiente a absorción de agua, tiempo de desarrollo, estabilidad e índice de tolerancia de cada tratamiento y su réplica, se encuentran en las figuras del al 21 al 26.

En el cuadro 21 se registran los promedios de las réplicas de cada mezcla de cereales y leguminosas nacionales con harina de trigo, los cuales fueron obtenidos de sus respectivos farinogramas.



**Cuadro N° 28: Valores del Análisis Farinográfico de la harina de trigo y las mezclas de las distintas formulaciones.**

	UNID.	Formulación 1			Formulación 2			Formulación 3			Formulación 4			Formulación 5			Formulación 6		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
TIEMPO DE DESARROLLO (DDT)	Mm:ss	3.55	3.52	3.54	4.05	4.01	4.05	1.2	1.24	1.22	1.31	1.29	1.34	2.37	2.4	2.38	5.04	5.02	5.01
CONSISTENCIA (C)	FE	595	593	595	602	604	601	579	576	578	734	732	737	907	906	909	573	571	572
ABSORCION DE AGUA POR DEFECTO (WAC)	%	58.4	58.3	58.6	58.6	58.5	58.8	58	58.3	58.5	61.9	61.6	61.8	66.2	65.8	66.4	57.8	57.6	57.3
ABSORCION DE AGUA CON RESPECTO A LA HUMEDAD (WAM)	%	58.3	58	58.2	58.7	58.5	58.4	57.8	57.6	57.8	62.1	62.5	62	65.4	65.1	65.3	58.3	58.1	58.4
ESTABILIDAD (S)	Mm:ss	5.32	5.31	5.3	4.46	4.49	4.43	5.51	5.5	5.49	4.31	4.29	4.32	3.34	3.3	3.36	7.22	7.2	7.25
BAJADA (D)	FE	156	154	155	155	151	153	161	160	162	246	247	246	334	333	335	142	141	143
INDICE DE TOLERANCIA (MTI)	FE	68	67.8	68.1	73	73.2	72.8	37	37.4	37.3	85	85.3	85.1	164	163	164.2	61	61.2	61.1
TIEMPO DE RUPTURA (TBD)	Mm:ss	6	6.12	6.01	5.47	5.46	5.44	2.48	2.47	2.46	4.36	4.3	4.39	4.18	4.2	4.17	7.43	7.4	7.45

Formulación 1: Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 5% + Harina de Quinoa 15%

Formulación 2: Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 10% + Harina de Quinoa 10%

Formulación 3: Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de Quinoa 15%

Formulación 4: Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 5% + Harina de Quinoa 15%

Formulación 5: Harina de trigo 80% + harina de Quinoa 10% + Harina de Cebada 10%

Formulación 6: Harina de trigo 90% + harina de Quinoa 10%

Los datos de consistencia entre mezclas muestran diferencias por mezcla, esto es debido a que cada mezcla contiene un contenido de acuerdo a sus formulaciones, esto es debido a diversos factores que influyen en la consistencia de las harinas:

- Uno de ellos es que una harina con baja proteína y calidad pobre, presenta un tiempo de resistencia al mezclado menor que una harina con alta proteína y calidad buena.
- La proteína es el compuesto que más afecta la funcionalidad y calidad de los productos de trigo; esto es debido a que importantes factores como la absorción de agua, el tiempo de amasado y la estabilidad dependen de la cantidad de la proteína (Kent, 1983).

El cuadro 28 muestra los parámetros farinográficos de las mezclas de harina, se observa que la absorción de agua difiere de acuerdo a cada mezcla, la calidad del producto final de la harina se relaciona con la absorción de agua del farinograma (Saxena y Col., 1997). Además Dhaliwal y col. (1987) evaluaron las propiedades de molienda y rango de las características de calidad de 5 variedades comerciales de harina encontrando una correlación directa de absorción de agua con proteínas.

La estabilidad es el intervalo de tiempo donde se mantiene la máxima consistencia de la masa e indica la fuerza de la misma. Se considera una masa de buena calidad panadera aquella con una estabilidad de 10 a 15 min (Peña-Bautista y col., 2008). Los valores de estabilidad de las harinas evaluadas mostradas en el cuadro 21, fueron menores a 10 min, por lo que según Peña - Bautista y col. (2008), se relacionan con harinas de masas débiles, las cuales corresponden a las obtenidas de trigos suaves, lo que se podría relacionar con su alto contenido de gluten seco.

En este caso, las características reológicas observadas del cuadro 28, se atribuyen a la fuerza de su masa y calidad proteica de la harina, reflejado en su contenido de gluten y volumen de sedimentación de la harina de trigo.

El análisis Farinografico permite visualizar las tres etapas del proceso de Mezclado:

- Hidratación de los componentes de la harina
- Desarrollo del gluten, y
- Colapsamiento de la masa, con respecto al tiempo.

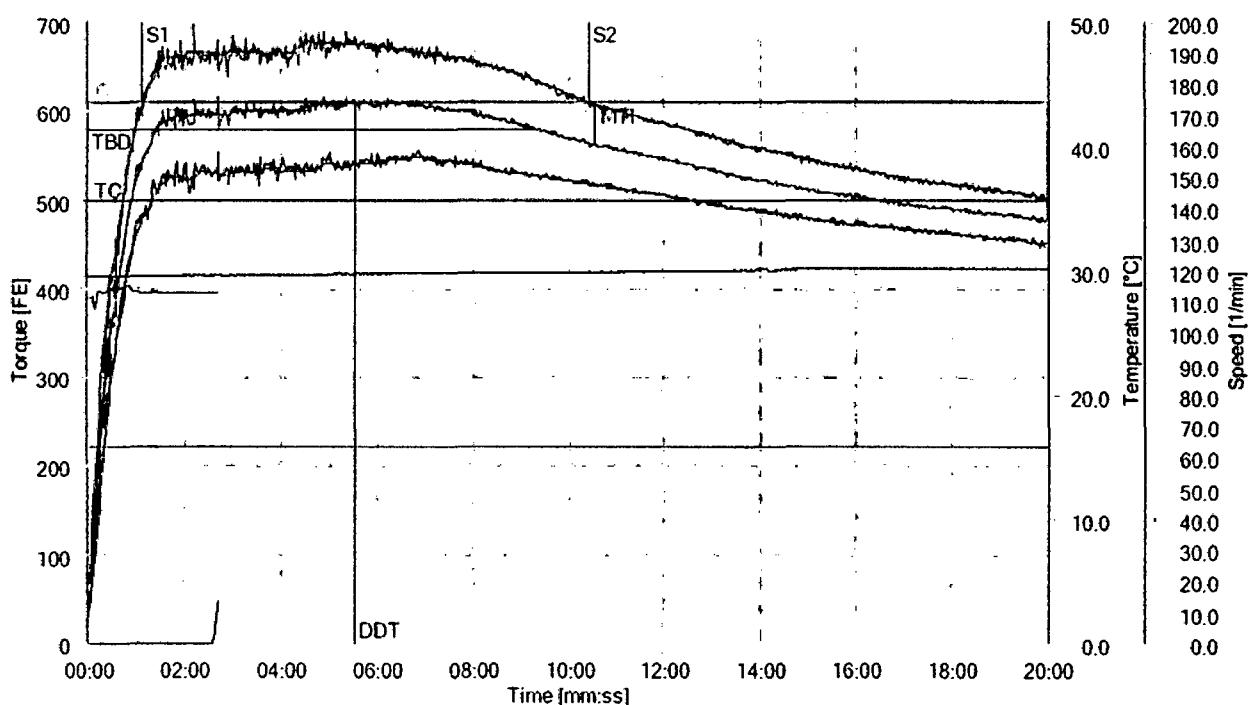
Oliver y Allen, 1992. indican que de esta manera podemos saber el tiempo de trabajo mecánico que se le puede aplicar a la masa hasta antes de colapsar su malla de gluten. También nos permite saber el porcentaje de agua que se requiere para alcanzar una consistencia de 500 UB (Unidades Brabender).

Las gráficas siguientes muestran los farinogramas con comportamientos diferentes, estos comportamientos están en función del contenido y calidad de su proteína.

#### A. Análisis Farinográfico de la harina de Trigo:

**Cuadro N° 29: Parámetros para la evaluación de Harina de Trigo.**

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>
Sample	Harina Trigo
Method	AACC 300
Evaluation	AACC
Mixer	300 g
Speed	63.0 1/min
Measuring time	20:00 mm:ss
Mixer info	1925864
Sample weight	287.3 g
Moisture content	10.2 %
WA (given):	56.0 %
Additional liquid	0.0 %
Default moisture content	14.0 %
Default consistency	500 FE
Min. consistency range	480 FE
Max. consistency range	520 FE
Remarks	primer Ensayo

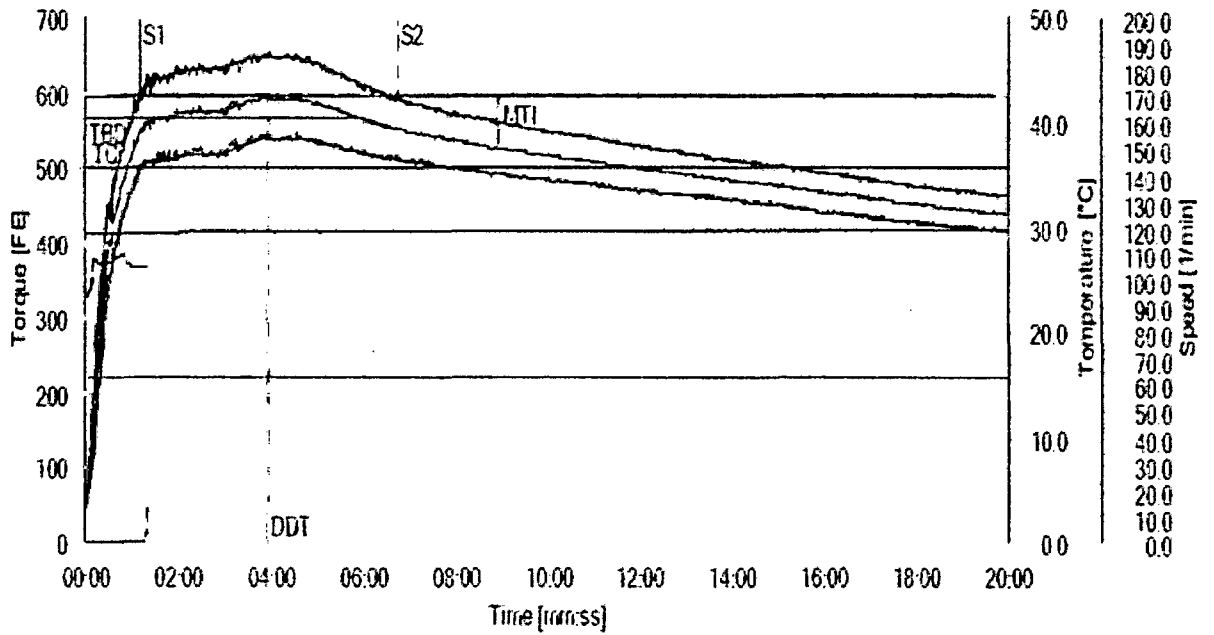


**Figura 20: Farinograma de la harina de trigo.**

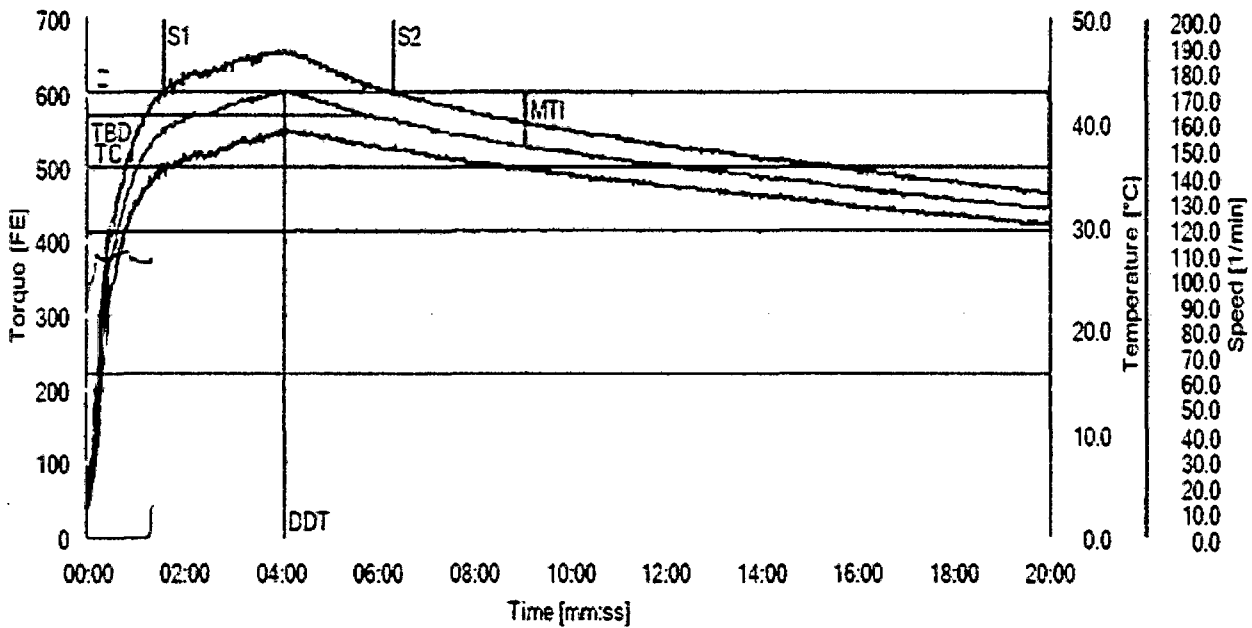
**Cuadro N° 30: Propiedades farinográficas de la harina de Trigo.**

Evaluation			
Description	Point	Value	Unit
Measuring time	T	20:00	mm:ss
Dosing temperature	DT	28.3	°C
Development time	DDT	05:32	mm:ss
Consistency	C	610	FE
Water absorption	WZ	56.0	%
Water absorption corr. for default consistency	WAC	58.8	%
Water absorption corr. for default moisture content	WAM	54.6	%
Stability	S	09:16	mm:ss
Tolerance index (MTI)	MTI	48	FE
Farinograph quality number	FQN	93	mm
Drop-off	D	132	FE
Time to breakdown	TBD	09:18	mm:ss

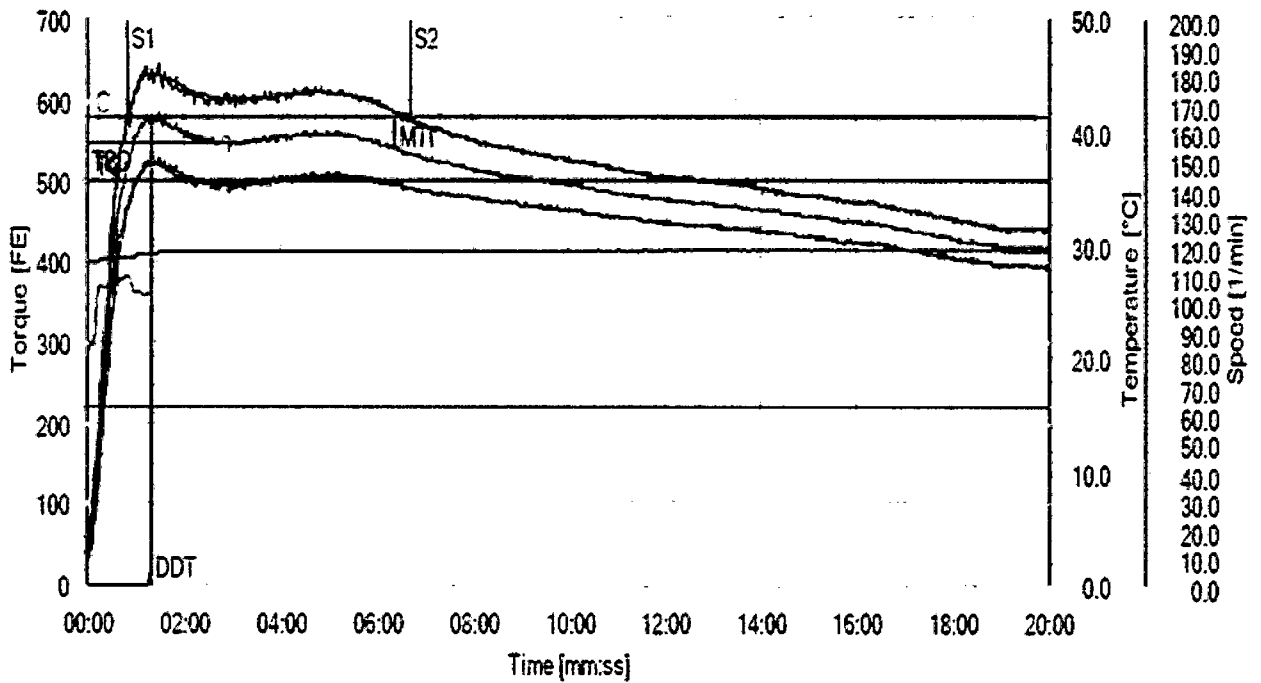
## B. Análisis Farinográficos de las Mezclas



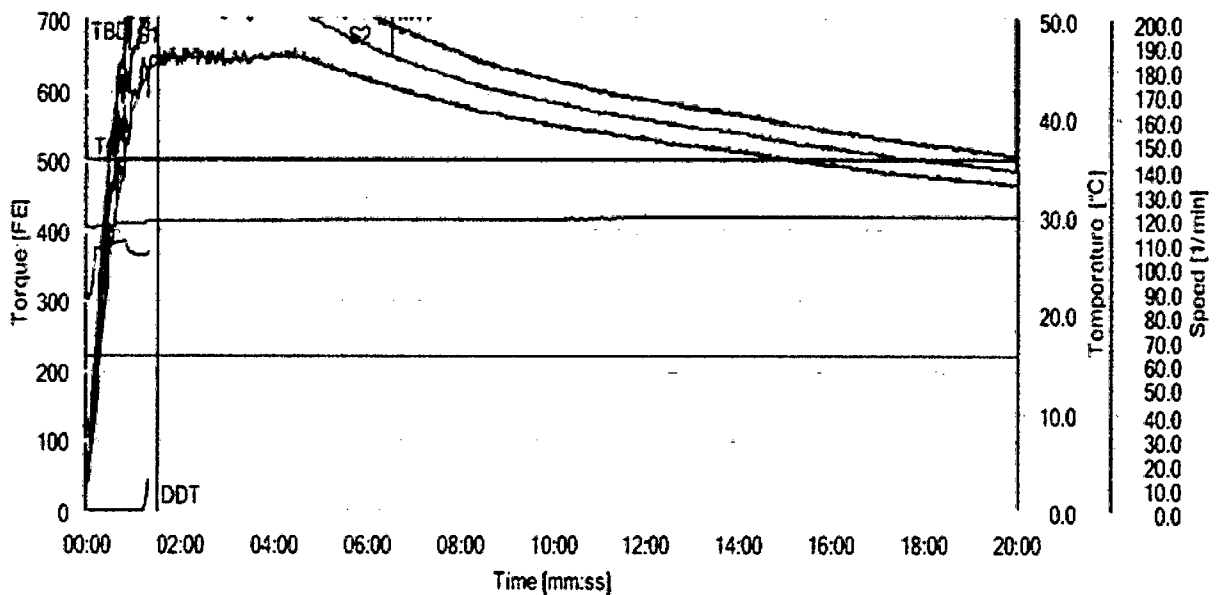
**Figura 21:** Farinograma de la formulación 1 (Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 5% + Harina de Quinoa 15%)



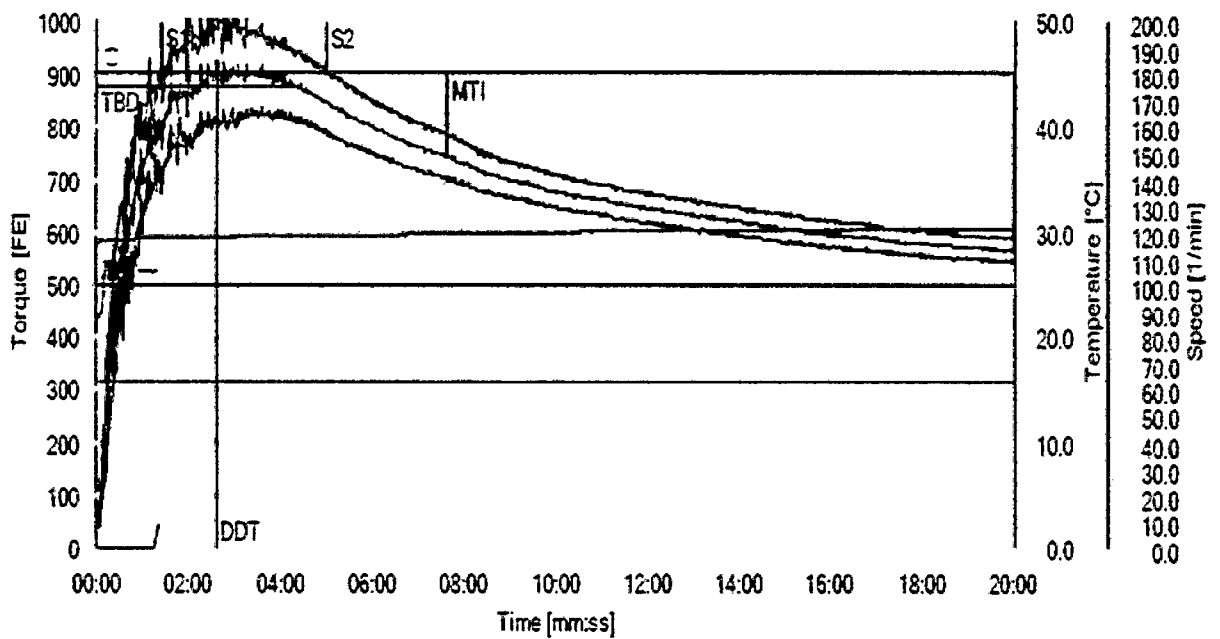
**Figura 22:** Farinograma de la formulación 2 (Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 10% + Harina de Quinoa 10%)



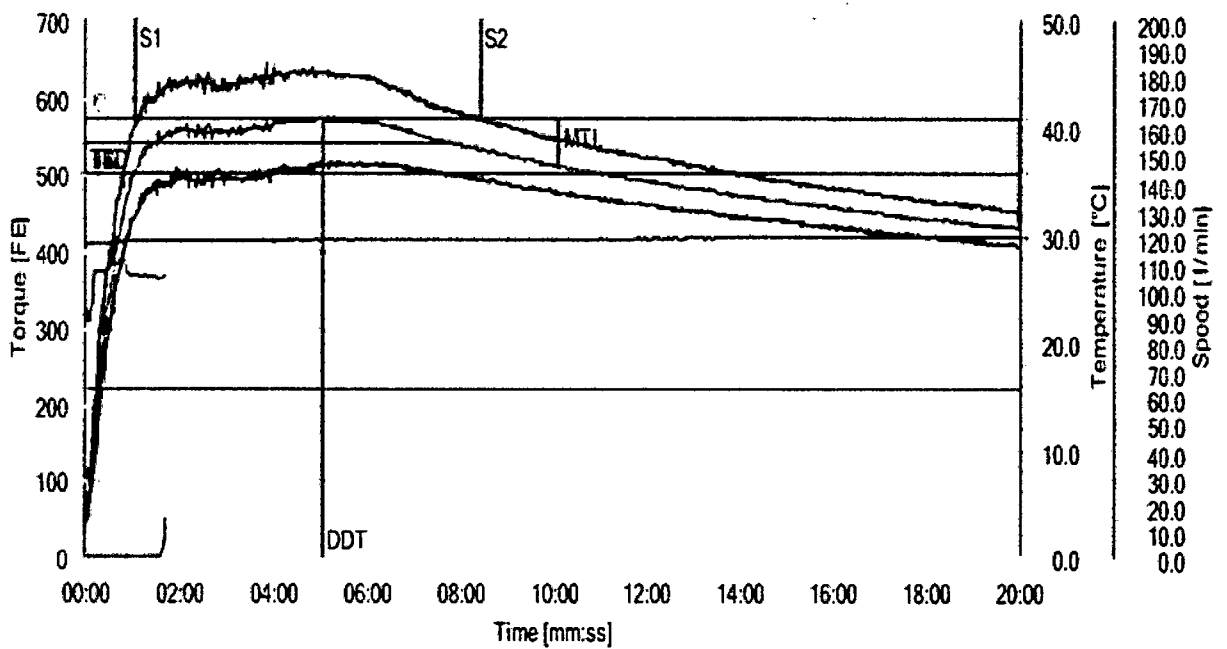
**Figura 23: Farinograma de la formulación 3 (Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de Quinua 15%)**



**Figura 24: Farinograma de la formulación 4 (Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 5% + Harina de Quinua 15%)**



**Figura 25: Farinograma de la formulación 5 (Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 10% + Harina de Quinoa 10%)**



**Figura 26: Farinograma de la formulación 6 (Harina de trigo 90% + Harina de Quinoa 10%)**

De las gráficas se observa que la consistencia (Set Point) 500 FE línea verde horizontal, por lo que la variable respuesta de consistencia, según mezcla en un punto DDT (Development Time) tiende a llegar al set point establecido, así para la formulaciones 3; 4 y 5 tienen los DDT más cortos (01:20 a 02:37 mm:ss en llegar a la consistencia establecida), a diferencia de las formulaciones 1; 2; 6 y la harina de trigo (05:32 mm:ss), estos DDT dependen de la mezcla a evaluar.

El porcentaje de absorción se refiere a la cantidad de agua que la masa permite absorber hasta que adquiere una consistencia óptima, medida a 500 UB de la curva, se dice que a mayor agua absorbida hay mayor cantidad de gluten fuerte en la harina. Para todos nuestros tratamientos el grado de absorción está en un rango desde 57.8% (Formulación 6) y 66.2% (formulación 5), respectivamente.

❖ **Análisis de Absorción de Agua:**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para la absorción de agua del análisis Farinográfico

**Cuadro N° 31: Análisis Descriptivo de la Absorción de Agua en las distintas formulaciones.**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	58,4333	,15275	,08819	58,0539	58,8128	58,30	58,60
F2	3	58,6333	,15275	,08819	58,2539	59,0128	58,50	58,80
F3	3	58,2667	,25166	,14530	57,6415	58,8918	58,00	58,50
F4	3	61,7667	,15275	,08819	61,3872	62,1461	61,60	61,90
F5	3	66,1333	,30551	,17638	65,3744	66,8922	65,80	66,40
F6	3	57,5667	,25166	,14530	56,9415	58,1918	57,30	57,80
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>60,1333</b>	<b>3,08907</b>	<b>,72810</b>	<b>58,5972</b>	<b>61,6695</b>	<b>57,30</b>	<b>66,40</b>



**Cuadro N° 32: Anova de un Factor para la Absorción de Agua**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	161,640	5	32,328	668,855	,000
Intra-grupos	,580	12	,048		
Total	162,220	17			

La tabla de ANOVA, nos ofrece el estadístico F con su nivel de significación. Si el nivel de significación (sig.) intraclass es menor o igual que 0,05, rechazamos la hipótesis de igualdad de medias, si es mayor – aceptamos la igualdad de medias, es decir, no existen diferencias significativas entre los grupos.

En el cuadro N° 32 se reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 668.855 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo

**Cuadro N° 33: Comparaciones Múltiples Absorción de Agua – Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	-,20000	,17951	,867	-,8029	,4029
	F3	,16667	,17951	,931	-,4363	,7696
	F4	-3,33333	,17951	,000	-3,9363	-2,7304
	F5	-7,70000	,17951	,000	-8,3029	-7,0971
	F6	,86667	,17951	,004	,2637	1,4696
	F1	,20000	,17951	,867	-,4029	,8029
F2	F3	,36667	,17951	,375	-,2363	,9696
	F4	-3,13333	,17951	,000	-3,7363	-2,5304
	F5	-7,50000	,17951	,000	-8,1029	-6,8971
	F6	1,06667	,17951	,001	,4637	1,6696
	F1	-,16667	,17951	,931	-,7696	,4363
	F2	-,36667	,17951	,375	-,9696	,2363
F3	F4	-3,50000	,17951	,000	-4,1029	-2,8971
	F5	-7,86667	,17951	,000	-8,4696	-7,2637
	F6	,70000	,17951	,020	,0971	1,3029
	F1	3,33333	,17951	,000	2,7304	3,9363
	F2	3,13333	,17951	,000	2,5304	3,7363
	F3	3,50000	,17951	,000	2,8971	4,1029
F4	F5	-4,36667	,17951	,000	-4,9696	-3,7637
	F6	4,20000	,17951	,000	3,5971	4,8029

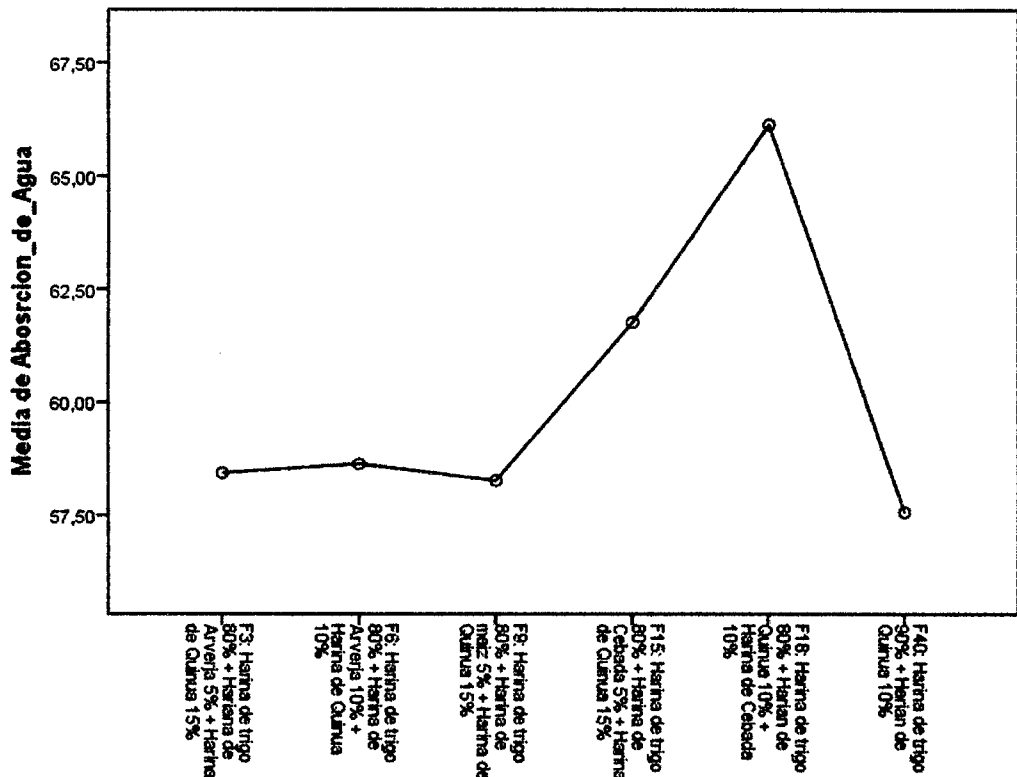
	F1	7,70000	,17951	,000	7,0971	8,3029
	F2	7,50000	,17951	,000	6,8971	8,1029
F5	F3	7,86667	,17951	,000	7,2637	8,4696
	F4	4,36667	,17951	,000	3,7637	4,9696
	F6	8,56667	,17951	,000	7,9637	9,1696
	F1	-,86667	,17951	,004	-1,4696	-,2637
	F2	-1,06667	,17951	,001	-1,6696	-,4637
F6	F3	-,70000	,17951	,020	-1,3029	-,0971
	F4	-4,20000	,17951	,000	-4,8029	-3,5971
	F5	-8,56667	,17951	,000	-9,1696	-7,9637

El cuadro N° 33 nos presenta la interacción de las formulaciones entre si encontrando significancia parciales entre una formulación y las otras como en el caso de la formulación F1, F2, F3 son significativos cuando son comparadas con las formulaciones F4, F5 y F6.

Además encontramos que las Formulaciones F4, F5 y F6 son significativas con respecto a todas las formulaciones cuando son comparadas entre sí.

**Cuadro N° 34: Subconjuntos Múltiples de Absorción de Agua-Tukey**

°	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
F6	3	57,5667			
F3	3		58,2667		
F1	3		58,4333		
F2	3		58,6333		
F4	3			61,7667	
F5	3				66,1333
Sig.		1,000	,375	1,000	1,000



**Figura 27: Media de la Absorción de Agua con respecto a las formulaciones**

Podemos ver que la gráfica N° 27, nos muestra que la formulación 5 posee 66.13% de absorción de agua y la media más baja es la formulación 6, con un 57.5667 % de absorción de agua.

La absorción del agua representa la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia de 500 Unidades Brabender (U.B.) en el amasado. [Pantanelli A., 1996]

En la Tabla 30 se evidencia la variación de absorción de agua entre las muestras de harinas. Las mezclas con harina de trigo nacional presentaron valores muy similares a la harina de trigo (56%), en mezclas con harina de maíz los valores oscilan entre 58 a 58.5%; se observa un incremento de absorción de agua en mezclas con harina de cebada con valores de 61.6% a 66.4%, así también para mezclas con harina de quinoa con valores entre 57.3% - 66.4% (tomando

en cuenta que la quinua se encuentra presente en todas nuestras formulaciones evaluadas).

Estas variaciones se podrían atribuir a los almidones dañados puesto que afecta las propiedades de la harina, ya que absorbe un 100% de su peso en agua, 3 veces más que la que absorbe el almidón que se encuentra en los gránulos sanos [Moiraghi et al., 2005]. Los trigos duros generalmente tienen un endospermo vidrioso que requiere mayor energía en la molienda y el mayor trabajo de molienda daña los gránulos de almidón, aumentando la capacidad de absorción de agua. [Pantanelli A., 1996]

El efecto del almidón dañado se evidenció en la variación de absorción de agua en las muestras de harinas, puesto que en mezclas con harina de quinua y cebada se observa mayor absorción de agua en relación a mezclas con maíz. Según Rubiolo et al. (2004), los niveles de almidón dañado apto para panificación son  $\leq 72\%$  SRC (Capacidad de Retención de Solventes) en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , sin embargo las harinas de cereales y tubérculo analizadas presentaron niveles altos de almidón dañado, sobre todo en quinua y cebada. [Proyecto PHPPF, 2009]

Los gránulos de almidón del trigo oscilan entre 2-55  $\mu\text{m}$ , maíz de 2-30  $\mu\text{m}$  y cebada de 2-35  $\mu\text{m}$  [Fennema O., 2000].

Por otro lado, los pentosanos pese a ser componentes minoritarios en las harinas, tienen la capacidad de afectar la calidad de los productos panificados debido a su naturaleza hidrofílica, ya que pueden retener 10 veces su peso en agua [Moiraghi et al., 2005]. Son uno de los principales componentes de la fibra dietética y su contenido afecta de gran manera las propiedades reológicas de la masa de harina

de trigo y las características de los productos panificables [Panera, 2009b].

Asimismo, Rubiolo et al. (2004) menciona que los niveles de pentosanos aptos para panificación son  $\leq 96\%$  SRC (Capacidad de Retención de Solventes) en sacarosa, por lo que los pentosanos afectan en mayor grado la absorción de agua en mezclas con harinas de cebada, quinua; mezclas con harina de maíz en menor grado y harina de trigo y mezclas con trigo no se ven afectadas por pentosanos, según resultados obtenidos en el Proyecto PHPPF (2009).

Por otra parte, para las mezclas con harina de trigo se puede observar el efecto de la fibra, puesto que al aumentar la cantidad de fibra disminuye la capacidad de absorción de agua de la harina [De La Llave A., 2004]. En la Tabla 24 se puede notar dicho efecto: al 20% de sustitución se reporta una absorción de agua del 58.3% al 66.4%, y para el 10% de sustitución (con harina de quinua, rica en fibra), una cantidad de agua absorbida del 57.3% al 57.8%

❖ **Análisis de Tiempo de Desarrollo:**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para el Tiempo de Desarrollo del análisis Farinográfico.

**Cuadro N° 35: Análisis Descriptivo de Tiempo de Desarrollo del análisis en las Distintas Formulaciones**

°	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	3.5367	.01528	.00882	3.4987	3.5746	3.52	3.55
F2	3	4.0367	.02309	.01333	3.9793	4.0940	4.01	4.05
F3	3	1.2200	.02000	.01155	1.1703	1.2697	1.20	1.24
F4	3	1.3133	.02517	.01453	1.2508	1.3758	1.29	1.34
F5	3	2.3833	.01528	.00882	2.3454	2.4213	2.37	2.40
F6	3	5.0233	.01528	.00882	4.9854	5.0613	5.01	5.04
Total	18	2.9189	1.44378	.34030	2.2009	3.6369	1.20	5.04

**Cuadro N° 36: Anova de un Factor para el Tiempo de Desarrollo**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	35.432	5	7.086	18758.035	.000
Intra-grupos	.005	12	.000		
Total	35.436	17			

En el cuadro N° 35 se reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 18758.035 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo.

**Cuadro N° 37: Comparaciones Múltiples Tiempo de Desarrollo – Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	-.5000*	.01587	.000	-.5533	-.4467
	F3	2.31667*	.01587	.000	2.2634	2.3700
	F4	2.22333*	.01587	.000	2.1700	2.2766
	F5	1.15333*	.01587	.000	1.1000	1.2066
	F6	-1.48667*	.01587	.000	-1.5400	-1.4334
F2	F1	.50000*	.01587	.000	.4467	.5533
	F3	2.81667*	.01587	.000	2.7634	2.8700
	F4	2.72333*	.01587	.000	2.6700	2.7766
	F5	1.65333*	.01587	.000	1.6000	1.7066
	F6	-.98667*	.01587	.000	-1.0400	-.9334
F3	F1	-2.31667*	.01587	.000	-2.3700	-2.2634
	F2	-2.81667*	.01587	.000	-2.8700	-2.7634
	F4	-.09333*	.01587	.001	-.1466	-.0400
	F5	-1.16333*	.01587	.000	-1.2166	-1.1100
	F6	-3.80333*	.01587	.000	-3.8566	-3.7500
F4	F1	-2.22333*	.01587	.000	-2.2766	-2.1700
	F2	-2.72333*	.01587	.000	-2.7766	-2.6700
	F3	.09333*	.01587	.001	.0400	.1466
	F5	-1.07000*	.01587	.000	-1.1233	-1.0167
	F6	-3.71000*	.01587	.000	-3.7633	-3.6567
F5	F1	-1.15333*	.01587	.000	-1.2066	-1.1000
	F2	-1.65333*	.01587	.000	-1.7066	-1.6000
	F3	1.16333*	.01587	.000	1.1100	1.2166
	F4	1.07000*	.01587	.000	1.0167	1.1233
	F6	-2.64000*	.01587	.000	-2.6933	-2.5867
F6	F1	1.48667*	.01587	.000	1.4334	1.5400
	F2	.98667*	.01587	.000	.9334	1.0400
	F3	3.80333*	.01587	.000	3.7500	3.8566
	F4	3.71000*	.01587	.000	3.6567	3.7633
	F5	2.64000*	.01587	.000	2.5867	2.6933

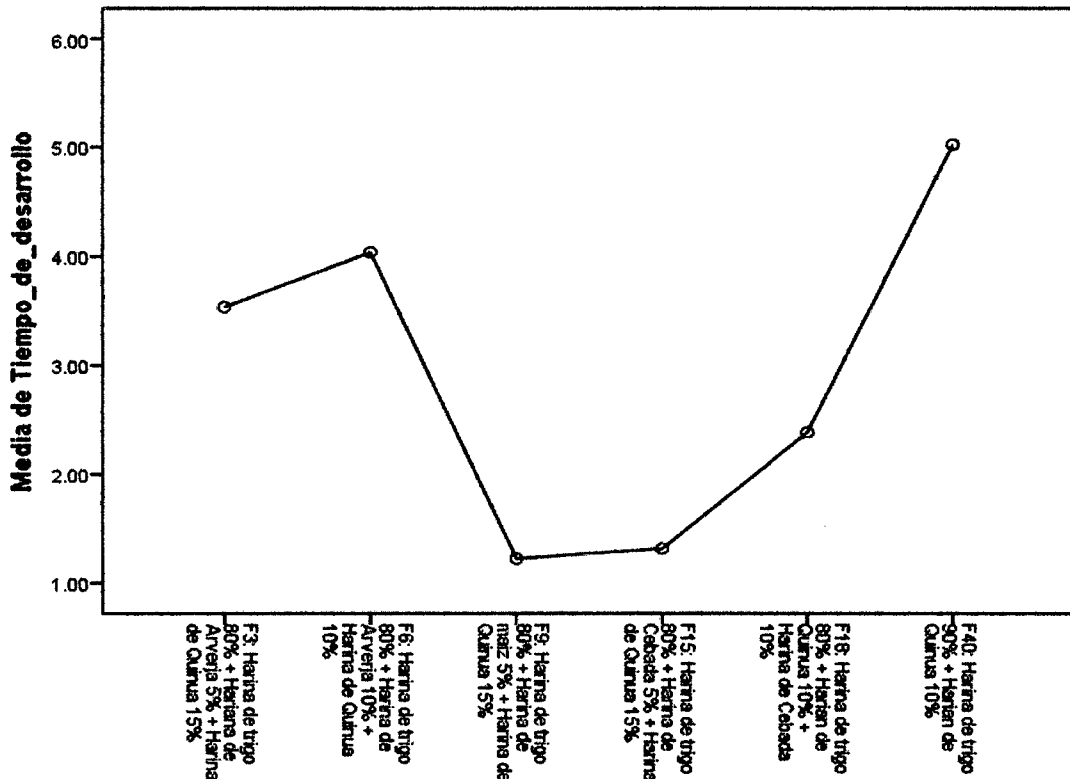
En este cuadro presentamos las comparaciones del tiempo de desarrollo en el análisis farinográfico, donde las comparaciones entre las formulaciones para el caso de tiempo de desarrollo son significativas en todas las interacciones entre mezclas.

**Cuadro N° 38: Subconjuntos Múltiples del Tiempo de Desarrollo - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
F3	3	1.2200					
F4	3		1.3133				
F5	3			2.3833			
F1	3				3.5367		
F2	3					4.0367	
F6	3						5.0233
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.



**Figura 28: Media de Tiempo de Retención con respecto a las Formulaciones**

Podemos ver que la gráfica N° 28, nos muestra que la formulación 6 posee mayor tiempo de retención con una media de 5.0233 y la media más baja es la de la formulación 3, con 1.2200

❖ **Análisis de Estabilidad**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para la Estabilidad del análisis Farinográfico

**Cuadro N° 39: Análisis Descriptivo de Estabilidad del análisis en las Distintas Formulaciones.**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	5,3100	,01000	,00577	5,2852	5,3348	5,30	5,32
F2	3	4,4600	,03000	,01732	4,3855	4,5345	4,43	4,49
F3	3	5,5000	,01000	,00577	5,4752	5,5248	5,49	5,51
F4	3	4,3067	,01528	,00882	4,2687	4,3446	4,29	4,32
F5	3	3,3333	,03055	,01764	3,2574	3,4092	3,30	3,36
F6	3	7,2233	,02517	,01453	7,1608	7,2858	7,20	7,25
Total	18	5,0222	1,24888	,29436	4,4012	5,6433	3,30	7,25

**Cuadro N° 40: Anova de un Factor para Estabilidad**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	26,509	5	5,302	10969,370	,000
Intra-grupos	,006	12	,000		
Total	26,515	17			

En el cuadro N° 40 se reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 10969,370 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo



**Cuadro N° 41: Comparaciones Múltiples para la Estabilidad – Tukey**

(I) formulación	(J) formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	,85000*	,01795	,000	,7897	,9103
	F3	-,19000*	,01795	,000	-,2503	-,1297
	F4	1,00333*	,01795	,000	,9430	1,0636
	F5	1,97667*	,01795	,000	1,9164	2,0370
	F6	-1,91333*	,01795	,000	-1,9736	-1,8530
F2	F1	-,85000*	,01795	,000	-,9103	-,7897
	F3	-1,04000*	,01795	,000	-1,1003	-,9797
	F4	,15333*	,01795	,000	,0930	,2136
	F5	1,12667*	,01795	,000	1,0664	1,1870
F3	F6	-2,76333*	,01795	,000	-2,8236	-2,7030
	F1	,19000*	,01795	,000	,1297	,2503
	F2	1,04000*	,01795	,000	,9797	1,1003
	F4	1,19333*	,01795	,000	1,1330	1,2536
	F5	2,16667*	,01795	,000	2,1064	2,2270
	F6	-1,72333*	,01795	,000	-1,7836	-1,6630
F4	F1	-1,00333*	,01795	,000	-1,0636	-,9430
	F2	-,15333*	,01795	,000	-,2136	-,0930
	F3	-1,19333*	,01795	,000	-1,2536	-1,1330
	F5	,97333*	,01795	,000	,9130	1,0336
F5	F6	-2,91667*	,01795	,000	-2,9770	-2,8564
	F1	-1,97667*	,01795	,000	-2,0370	-1,9164
	F2	-1,12667*	,01795	,000	-1,1870	-1,0664
	F3	-2,16667*	,01795	,000	-2,2270	-2,1064
	F4	-,97333*	,01795	,000	-1,0336	-,9130
F6	F6	-3,89000*	,01795	,000	-3,9503	-3,8297
	F1	1,91333*	,01795	,000	1,8530	1,9736
	F2	2,76333*	,01795	,000	2,7030	2,8236
	F3	1,72333*	,01795	,000	1,6630	1,7836
	F4	2,91667*	,01795	,000	2,8564	2,9770
	F5	3,89000*	,01795	,000	3,8297	3,9503

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

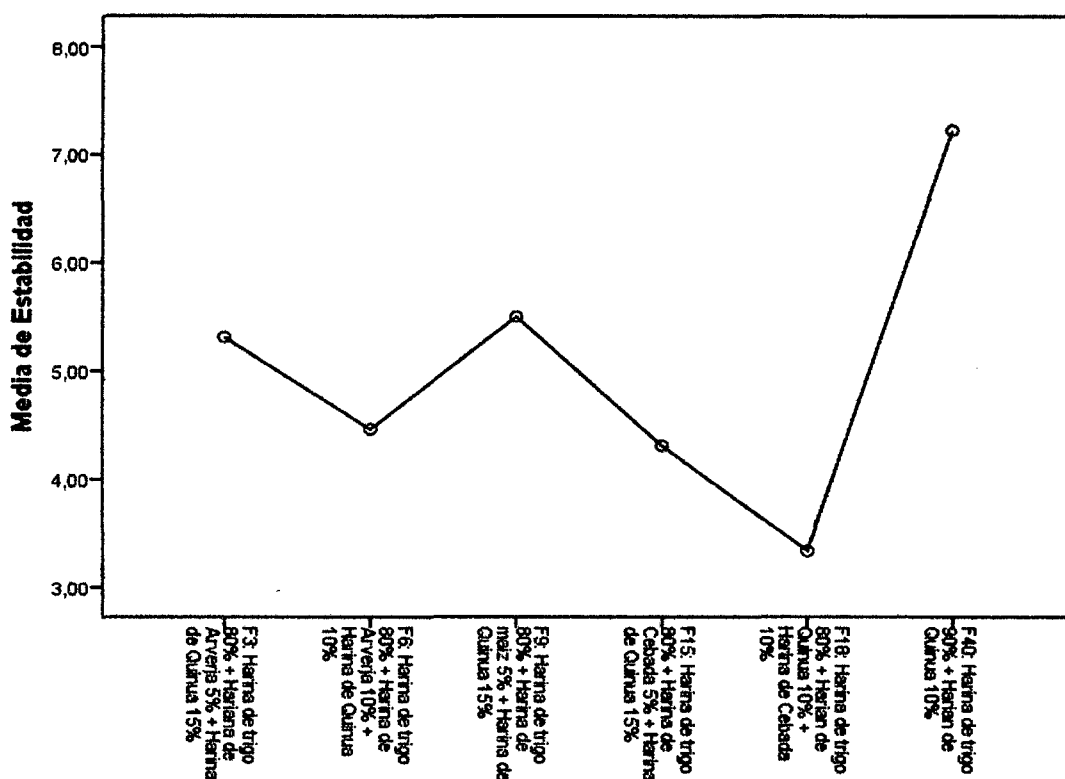
En este cuadro se presentan las comparaciones para la estabilidad en el análisis farinográfico, donde las comparaciones entre las formulaciones para el caso de la estabilidad son significativas en todas las interacciones entre mezclas.

**Cuadro N° 42: Subconjuntos Múltiples de Estabilidad - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
F5	3	3,3333					
F4	3		4,3067				
F2	3			4,4600			
F1	3				5,3100		
F3	3					5,5000	
F6	3						7,2233
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.



**Figura 29: Media de Estabilidad con respecto a las Formulaciones**

En la figura anterior, se aprecia que la formulación 6 es la mezcla más estable, con una media de 7.2233, mientras que la formulación 5 es la que menos índice de estabilidad posee, con una media de 3.333.

❖ **Análisis Índice de Tolerancia**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para el Índice de tolerancia del análisis Farinográfico.

**Cuadro N° 43: Análisis Descriptivo del Índice de Tolerancia del análisis en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	67.9667	.15275	.08819	67.5872	68.3461	67.80	68.10
F2	3	73.0000	.20000	.11547	72.5032	73.4968	72.80	73.20
F3	3	37.2333	.20817	.12019	36.7162	37.7504	37.00	37.40
F4	3	85.1333	.15275	.08819	84.7539	85.5128	85.00	85.30
F5	3	163.7333	.64291	.37118	162.1363	165.3304	163.00	164.20
F6	3	61.1000	.10000	.05774	60.8516	61.3484	61.00	61.20
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>81.3611</b>	<b>40.74355</b>	<b>9.60335</b>	<b>61.0998</b>	<b>101.6224</b>	<b>37.00</b>	<b>164.20</b>

**Cuadro N° 44: Anova de un Factor para el Índice de tolerancia**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	28219.516	5	5643.903	61198.951	.000
Intra-grupos	1.107	12	.092		
<b>Total</b>	<b>28220.623</b>	<b>17</b>			

El cuadro N° 44 se reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 61198.951 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo

**Cuadro N° 45: Comparaciones Múltiples para el Índice de Tolerancia – Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	-5.03333*	.24795	.000	-5.8662	-4.2005
	F3	30.73333*	.24795	.000	29.9005	31.5662
	F4	-17.16667*	.24795	.000	-17.9995	-16.3338
	F5	-95.76667*	.24795	.000	-96.5995	-94.9338
	F6	6.86667*	.24795	.000	6.0338	7.6995
F2	F1	5.03333*	.24795	.000	4.2005	5.8662
	F3	35.76667*	.24795	.000	34.9338	36.5995
	F4	-12.13333*	.24795	.000	-12.9662	-11.3005
	F5	-90.73333*	.24795	.000	-91.5662	-89.9005
	F6	11.90000*	.24795	.000	11.0671	12.7329
F3	F1	-30.73333*	.24795	.000	-31.5662	-29.9005
	F2	-35.76667*	.24795	.000	-36.5995	-34.9338
	F4	-47.90000*	.24795	.000	-48.7329	-47.0671
	F5	-126.50000*	.24795	.000	-127.3329	-125.6671
	F6	-23.86667*	.24795	.000	-24.6995	-23.0338
F4	F1	17.16667*	.24795	.000	16.3338	17.9995
	F2	12.13333*	.24795	.000	11.3005	12.9662
	F3	47.90000*	.24795	.000	47.0671	48.7329
	F5	-78.60000*	.24795	.000	-79.4329	-77.7671
	F6	24.03333*	.24795	.000	23.2005	24.8662
F5	F1	95.76667*	.24795	.000	94.9338	96.5995
	F2	90.73333*	.24795	.000	89.9005	91.5662
	F3	126.50000*	.24795	.000	125.6671	127.3329
	F4	78.60000*	.24795	.000	77.7671	79.4329
	F6	102.63333*	.24795	.000	101.8005	103.4662
F6	F1	-6.86667*	.24795	.000	-7.6995	-6.0338
	F2	-11.90000*	.24795	.000	-12.7329	-11.0671
	F3	23.86667*	.24795	.000	23.0338	24.6995
	F4	-24.03333*	.24795	.000	-24.8662	-23.2005
	F5	-102.63333*	.24795	.000	-103.4662	-101.8005

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

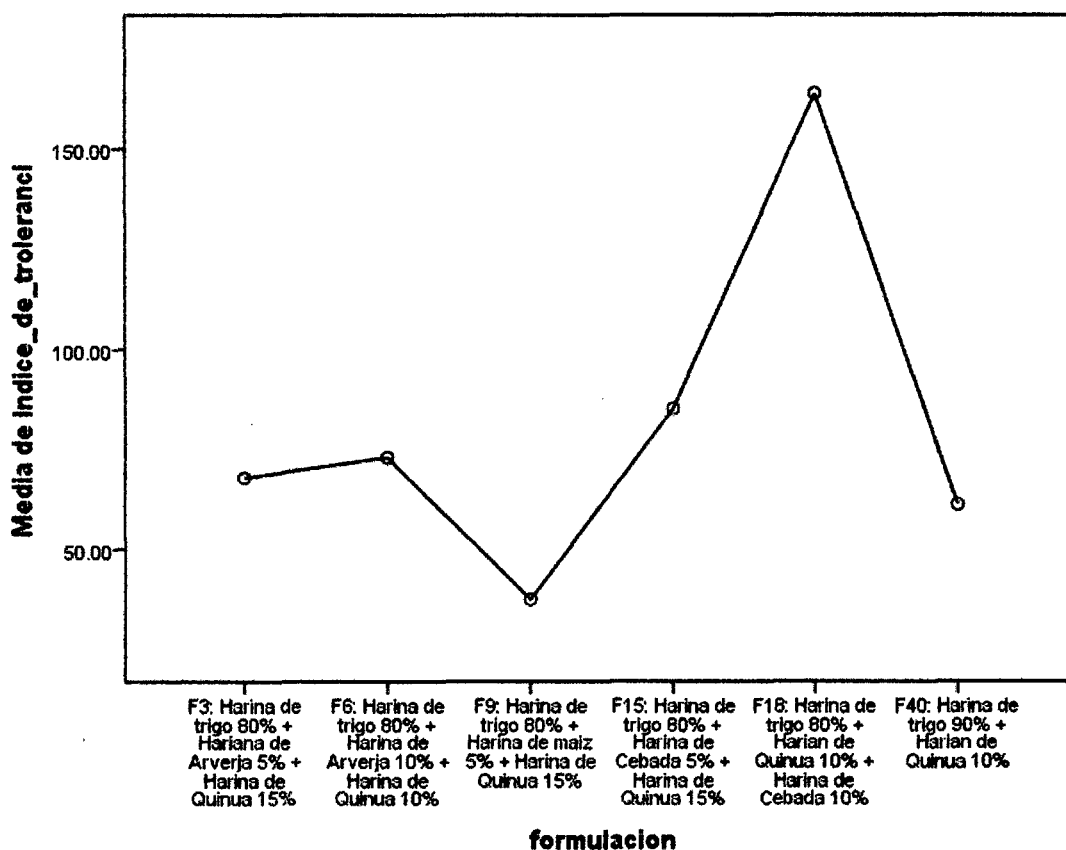
En este cuadro presentamos las comparaciones del Índice del tolerancia en el análisis farinográfico, donde las comparaciones entre las formulaciones son significativas en todas las interacciones entre mezclas lo que nos dice es que la las formulaciones son distintas entre sí.

**Cuadro N° 46: Subconjuntos Múltiples del Índice de Tolerancia - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
F3	3	37.2333					
F6	3		61.1000				
F1	3			67.9667			
F2	3				73.0000		
F4	3					85.1333	
F5	3						163.7333
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.



**Figura 30: Media del Índice de tolerancia con respecto a las Formulaciones**

En la figura N° 30 se puede observar que el mayor índice de tolerancia lo presenta la formulación F5 con una media de 163.7333, y el menos índice de tolerancia es el de la formulación F3, con una media de 37.2333

❖ **Análisis Consistencia**

El análisis estadístico de Anova de un Factor para la Consistencia para los resultados Farinográficos.

**Cuadro N° 47: Análisis Descriptivo de la Consistencia del análisis en las Distintas Formulaciones**

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	594.3333	1.15470	.66667	591.4649	597.2018	593.00	595.00
F2	3	602.3333	1.52753	.88192	598.5388	606.1279	601.00	604.00
F3	3	577.6667	1.52753	.88192	573.8721	581.4612	576.00	579.00
F4	3	734.3333	2.51661	1.45297	728.0817	740.5849	732.00	737.00
F5	3	907.3333	1.52753	.88192	903.5388	911.1279	906.00	909.00
F6	3	572.0000	1.00000	.57735	569.5159	574.4841	571.00	573.00
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>664.6667</b>	<b>125.13945</b>	<b>29.49565</b>	<b>602.4363</b>	<b>726.8971</b>	<b>571.00</b>	<b>909.00</b>

**Cuadro N° 48: Anova de un Factor para la Consistencia**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	266186.667	5	53237.333	20388.766	.000
Intra-grupos	31.333	12	2.611		
<b>Total</b>	<b>266218.000</b>	<b>17</b>			

En el cuadro N° 48 se reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 20388.766 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo.

**Cuadro N° 49: Comparaciones Múltiples para la Consistencia**  
**- Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	-8.00000	1.31937	.001	-12.4317	-3.5683
	F3	16.66667	1.31937	.000	12.2350	21.0983
	F4	-140.00000	1.31937	.000	-144.4317	-135.5683
	F5	-313.00000	1.31937	.000	-317.4317	-308.5683
	F6	22.33333	1.31937	.000	17.9017	26.7650
F2	F1	8.00000	1.31937	.001	3.5683	12.4317
	F3	24.66667	1.31937	.000	20.2350	29.0983
	F4	-132.00000	1.31937	.000	-136.4317	-127.5683
	F5	-305.00000	1.31937	.000	-309.4317	-300.5683
	F6	30.33333	1.31937	.000	25.9017	34.7650
F3	F1	-16.66667	1.31937	.000	-21.0983	-12.2350
	F2	-24.66667	1.31937	.000	-29.0983	-20.2350
	F4	-156.66667	1.31937	.000	-161.0983	-152.2350
	F5	-329.66667	1.31937	.000	-334.0983	-325.2350
	F6	5.66667	1.31937	.010	1.2350	10.0983
F4	F1	140.00000	1.31937	.000	135.5683	144.4317
	F2	132.00000	1.31937	.000	127.5683	136.4317
	F3	156.66667	1.31937	.000	152.2350	161.0983
	F5	-173.00000	1.31937	.000	-177.4317	-168.5683
	F6	162.33333	1.31937	.000	157.9017	166.7650
F5	F1	313.00000	1.31937	.000	308.5683	317.4317
	F2	305.00000	1.31937	.000	300.5683	309.4317
	F3	329.66667	1.31937	.000	325.2350	334.0983
	F4	173.00000	1.31937	.000	168.5683	177.4317
	F6	335.33333	1.31937	.000	330.9017	339.7650
F6	F1	-22.33333	1.31937	.000	-26.7650	-17.9017
	F2	-30.33333	1.31937	.000	-34.7650	-25.9017
	F3	-5.66667	1.31937	.010	-10.0983	-1.2350
	F4	-162.33333	1.31937	.000	-166.7650	-157.9017
	F5	-335.33333	1.31937	.000	-339.7650	-330.9017

La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

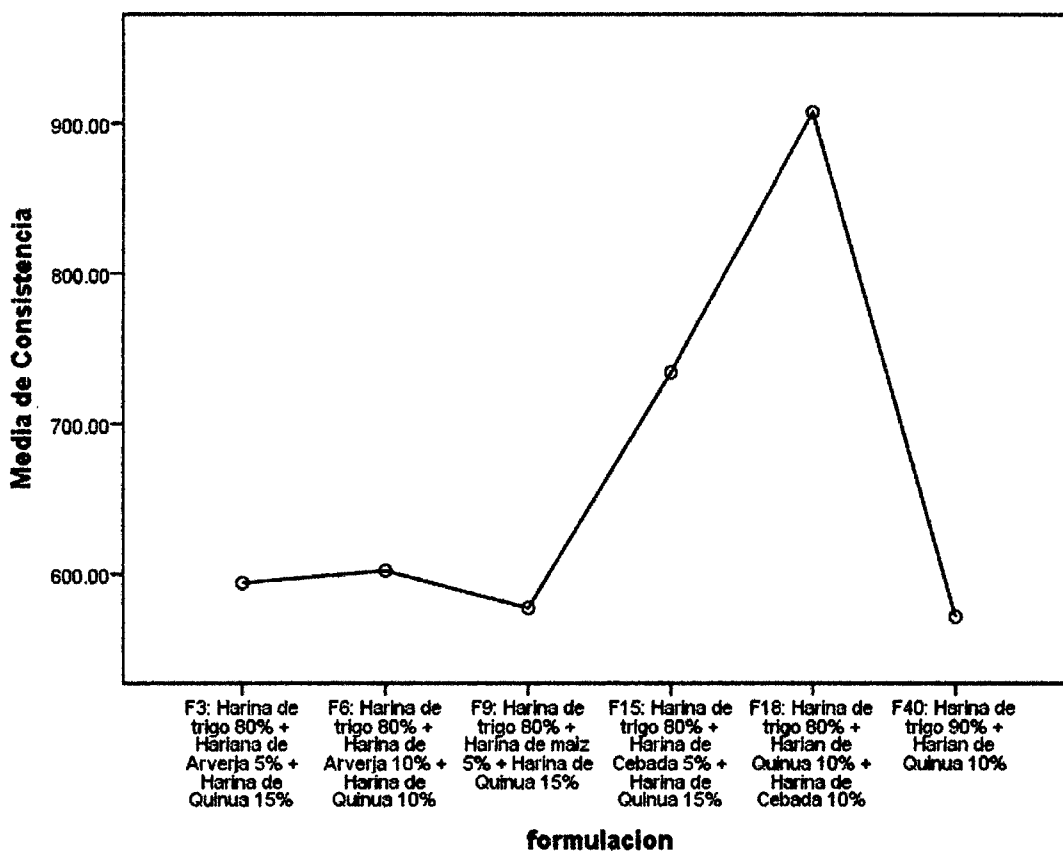
**Cuadro N° 50: Subconjuntos Múltiples de la Consistencia -**  
**Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
F6	3	572.0000					
F3	3		577.6667				
F1	3			594.3333			
F2	3				602.3333		

F4	3	734.3333				
F5	3	907.3333				
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.<sub>a</sub>



**Figura 31:** Media de la consistencia con respecto a las formulaciones.

En la figura anterior, se aprecia que la formulación F5 es la mezcla con mayor medida de consistencia (907.333.), por el contrario, la formulación con menor medida de consistencia (572.0000) es la formulación F6.



#### 4.3.4.2 Caracterización Amilográfica en Mezclas de Harinas

**Cuadro N° 51: Valores del Análisis Amilografico de la harina de trigo y las mezclas de harina de trigo y Harina de Cebada, Arveja, Maíz, Quinoa.**

Tratamiento	AU			AU r2			AU r3		
	Inicio Gelatinización	°T de Gelatinización	Gelatinización máxima	Inicio Gelatinización	°T de Gelatinización	Gelatinización máxima	Inicio Gelatinización	°T de Gelatinización	Gelatinización máxima
Formulación 1	60.6	90.3	1244	60	89.8	1241	60.7	89.3	1245
Formulación 2	61.5	89.6	1289	61.5	88.9	1286	61.1	89.8	1287
Formulación 3	60.9	89	987	60.7	89.4	989	60.3	89.1	988
Formulación 4	62.4	90	1341	62	89.6	1342	61.9	90.3	1344
Formulación 5	61.1	90.1	1397	61.9	90.9	1391	62.8	90.6	1394
Formulación 6	61	90.4	1522	61	91	1520	60.4	90.5	1528

Formulación 1: Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 5% + Harina de Quinoa 15%

Formulación 2: Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 10% + Harina de Quinoa 10%

Formulación 3: Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de Quinoa 15%

Formulación 4: Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 5% + Harina de Quinoa 15%

Formulación 5: Harina de trigo 80% + harina de Quinoa 10% + Harina de Cebada 10%

Formulación 6: Harina de trigo 90% + harina de Quinoa 10%

### A. Análisis Amilográfico de la Harina de Trigo

El gránulo de almidón es completamente insoluble en agua fría. Sin embargo, cuando se calienta progresivamente una suspensión de almidón, los gránulos empiezan a gelatinizar. A los 60 °C los débiles enlaces son disociados, los gránulos empiezan a hincharse y la estructura interna inicia sus cambios.

Si se continúa calentando se produce una penetración del agua en el interior y el gránulo continúa hinchando y gelificando, hasta formar una pasta más o menos espesa y clara. Este fenómeno es primordial para que las enzimas puedan ejercer su acción. En efecto, el gran tamaño de la amilasa lo hace incapaz de penetrar por los finos microporos del gránulo. Por efecto de la gelatinización se abre el gránulo y la amilasa puede atacar las fracciones del almidón.

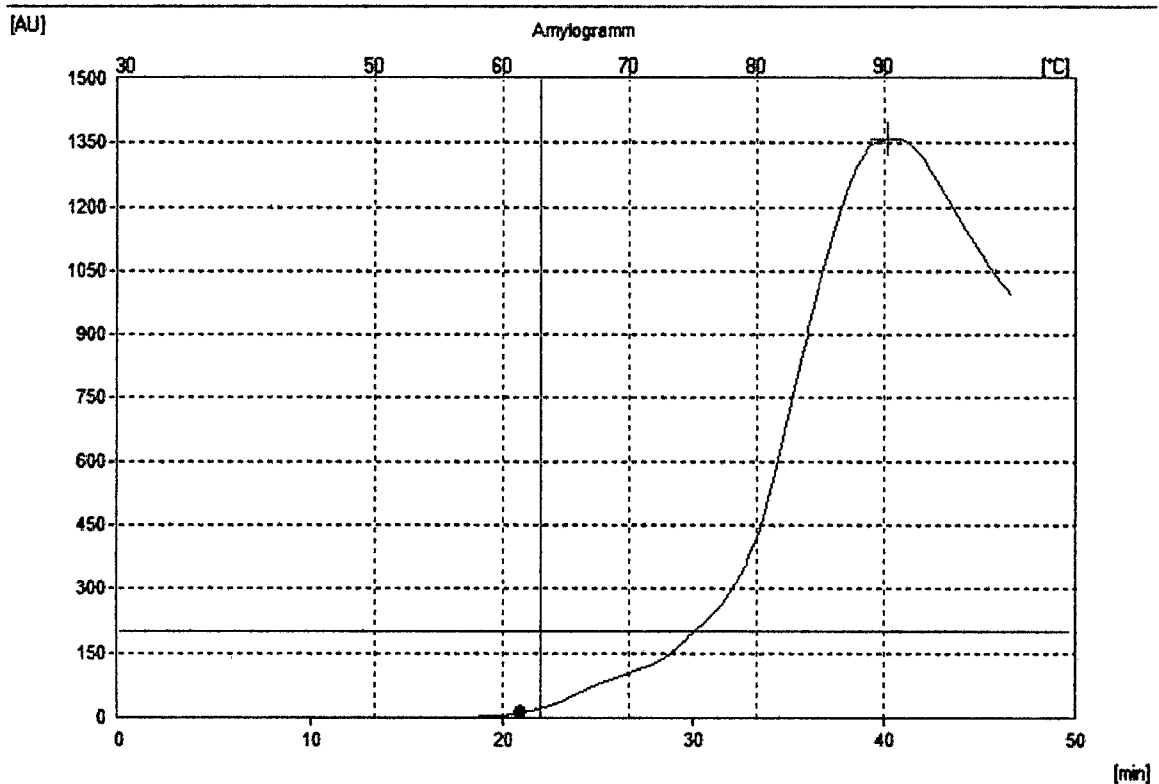
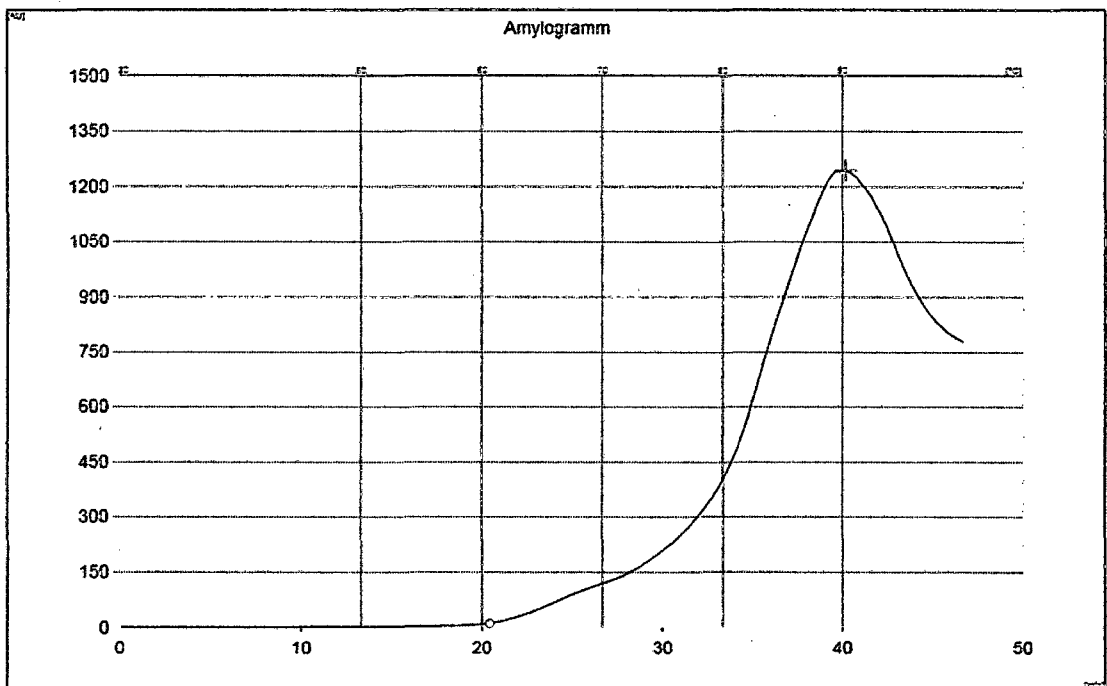


Figura 32: Amilograma de la harina de trigo

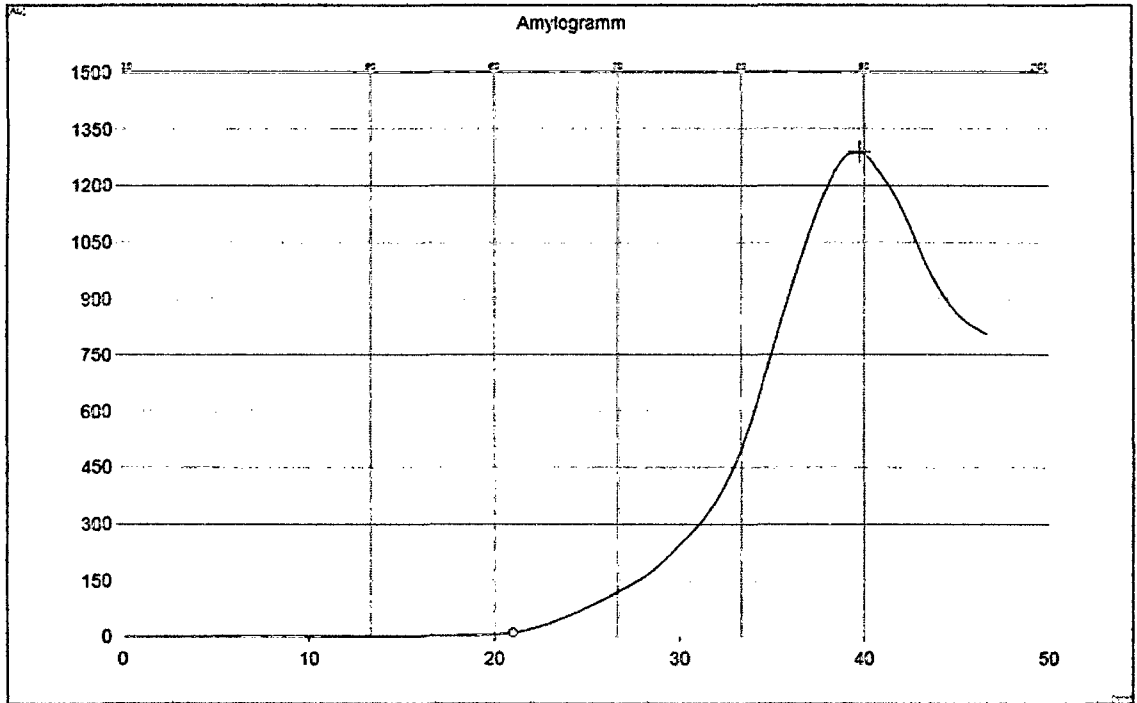
**Cuadro N° 52: Propiedades Amilográficas de la harina de trigo**

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Velocidad de calentamiento	1.5 °C/min
Humedad	10.2%
Peso de la muestra corregida para 14.0 %	76.6 g/453.4 ml
Comienzo de la Gelatinización	61.5 °C
T° de la gelatinización	90.3 °C
Máximo Gelatinización	1360 AU

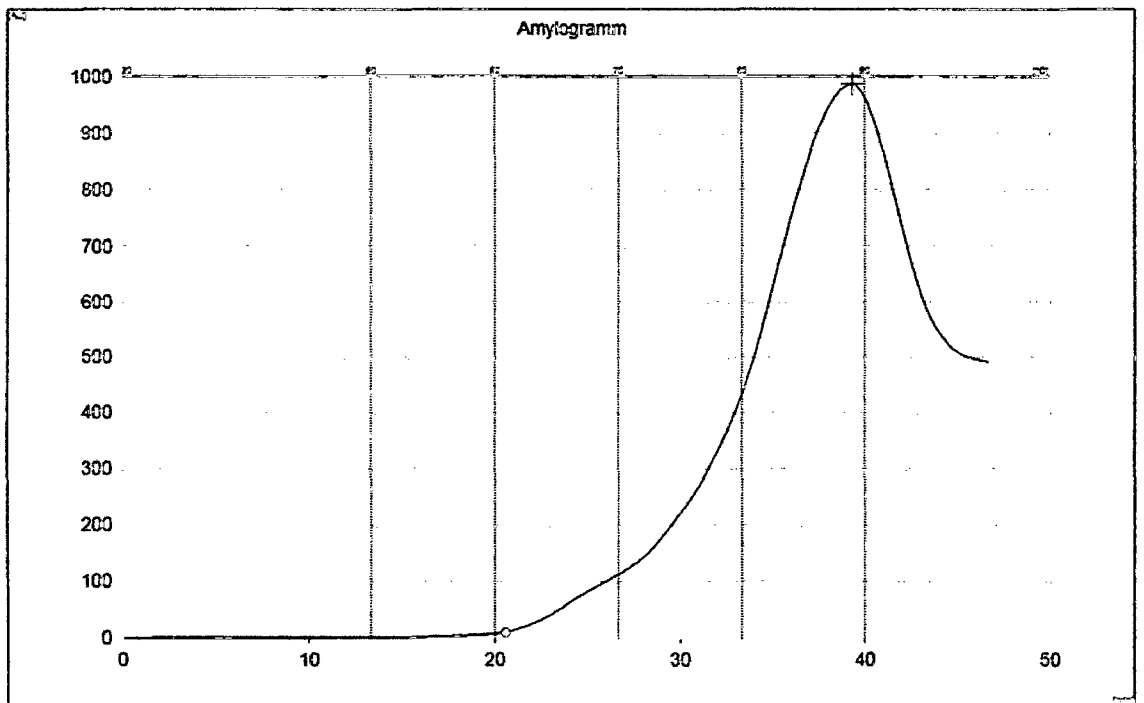
**B. Análisis Amilográficos de las Mezclas.**



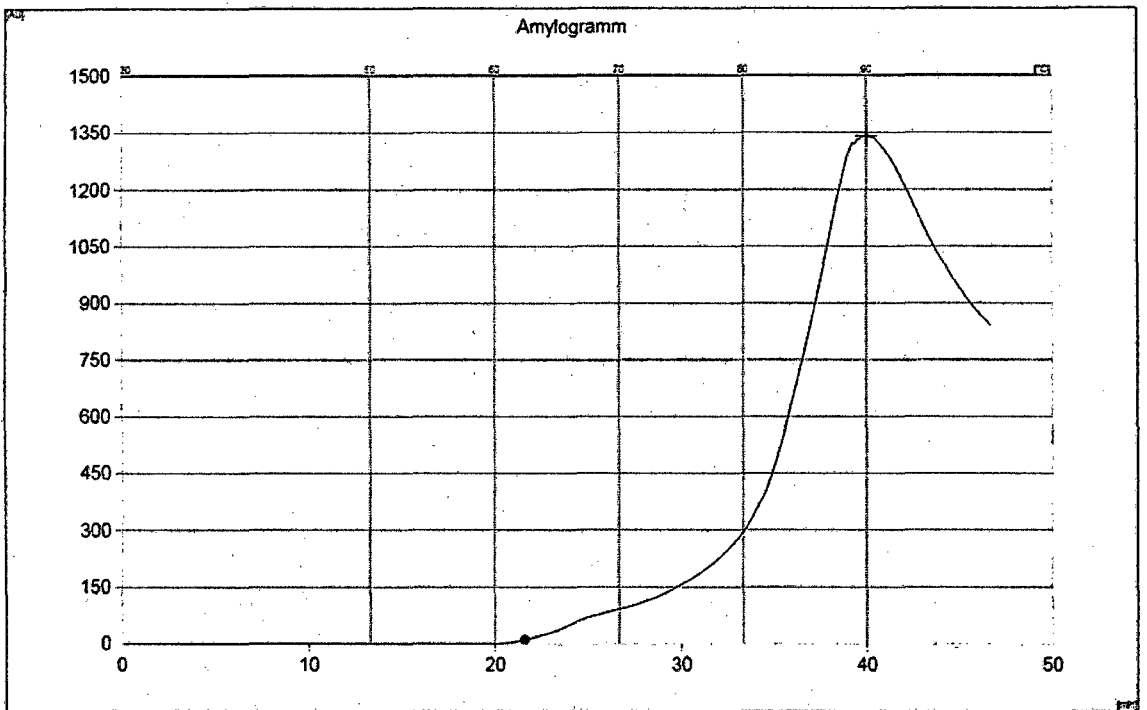
**Figura 33: Amilograma de la formulación 1 (Harina de trigo 80% + harina de arveja 5% + harina de quinua 15%)**



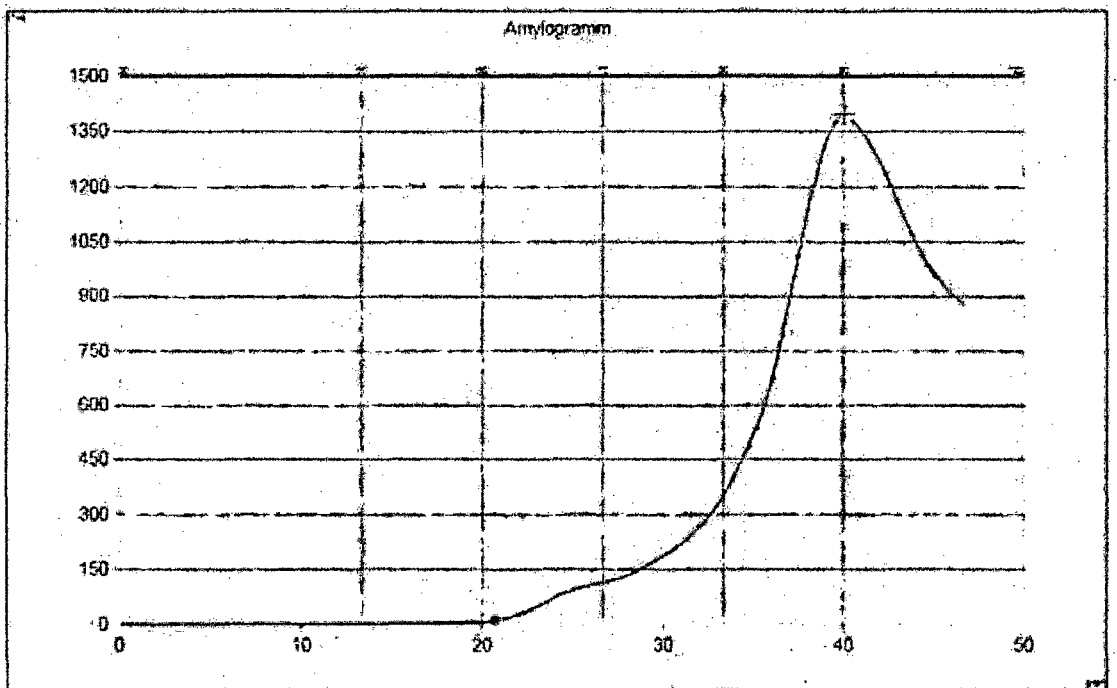
**Figura 34: Amilograma de la formulación 2 (Harina de trigo 80% + harina de arveja 10% + harina de quinua 10%)**



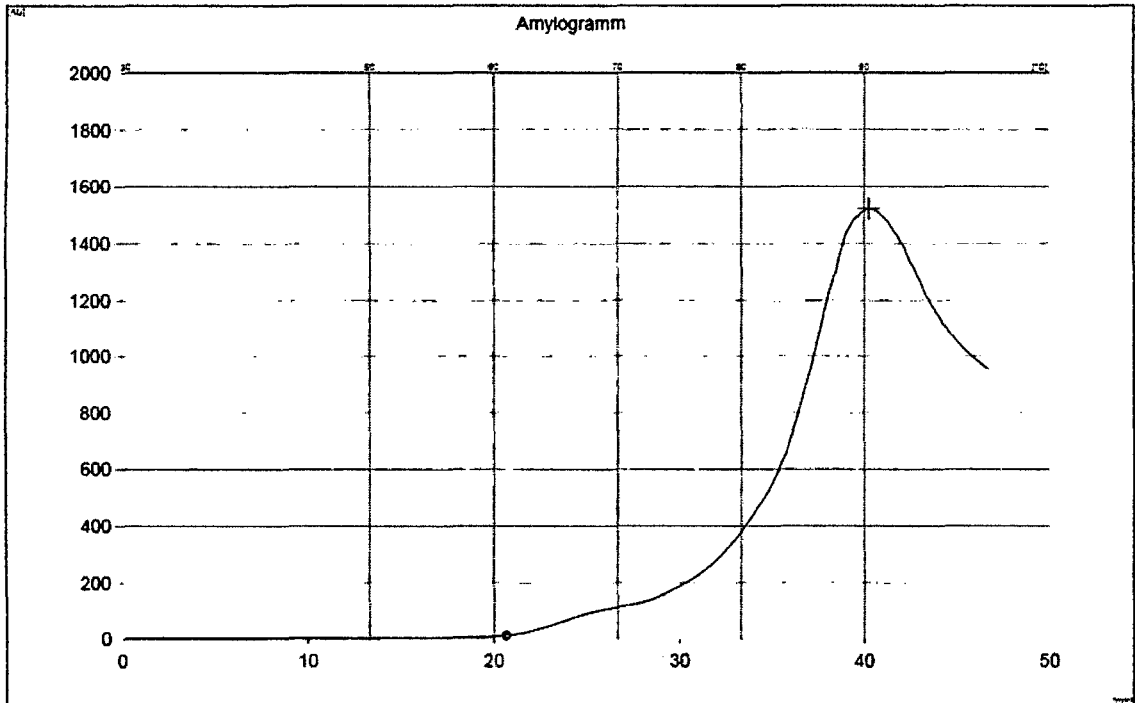
**Figura 35: Amilograma de la formulación 3 (Harina de trigo 80% + harina maíz 5% + harina de quinua 15%)**



**Figura 36: Amilograma de la formulación 4 (Harina de trigo 80% + harina de cebada 5% + harina de quinua 15%)**



**Figura 37: Amilograma de la formulación 5 (Harina de trigo 80% + harina de cebada 10% + harina de quinua 10%)**



**Figura 38: Amilograma de la formulación 6 (Harina de trigo 90% + harina de quinua 10%)**

Las gráficas de la 33 a la 38 muestran los puntos de evaluación: comienzo de la Gelatinización (punto azul), temperatura de gelatinización (+ azul) y gelatinización máxima (eje y), cuantitativamente se puede corroborar en el cuadro 44, en el cual se observa que las temperaturas del comienzo de gelatinización para las formulaciones no difieren entre sí, la mezcla F4 tiene una temperatura mayor de comienzo de gelificación de 62.4°C a comparación de las demás formulaciones.

Asimismo, en el mismo cuadro se muestran las T°s de comienzo de gelificación y de las T°s de gelificación, donde se observa que la mezcla F6 tiene la mayor T° de gelificación (91°C) y una máxima gelificación de 1528.AU a diferencia de la harina de trigo con T° de gelificación de 90,3°C y una máxima gelificación de 1360 AU.

❖ Inicio de Gelatinización.

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para Inicio de Gelatinización del análisis Amilográfico.

**Cuadro N° 53: Análisis Descriptivo del Inicio de Gelatinización en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	60.4333	.37859	.21858	59.4929	61.3738	60.00	60.70
F2	3	61.3667	.23094	.13333	60.7930	61.9404	61.10	61.50
F3	3	60.6333	.30551	.17638	59.8744	61.3922	60.30	60.90
F4	3	62.1000	.26458	.15275	61.4428	62.7572	61.90	62.40
F5	3	61.9333	.85049	.49103	59.8206	64.0461	61.10	62.80
F6	3	60.8000	.34641	.20000	59.9395	61.6605	60.40	61.00
Total	18	61.2111	.75684	.17839	60.8347	61.5875	60.00	62.80

**Cuadro N° 54: Anova de un Factor para el Inicio de Gelatinización**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	7.331	5	1.466	7.311	.002
Intra-grupos	2.407	12	.201		
Total	9.738	17			

El cuadro N° 54 reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 7.311 y una significancia de 0.002 por lo tanto es significativo

**Cuadro N° 55: Comparaciones múltiples del Inicio de Gelatinización**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	-.93333	.36566	.183	-2.1615	.2949
	F3	-.20000	.36566	.993	-1.4282	1.0282
	F4	-1.66667*	.36566	.007	-2.8949	-.4385
	F5	-1.50000*	.36566	.014	-2.7282	-.2718
	F6	-.36667	.36566	.908	-1.5949	.8615
F2	F1	.93333	.36566	.183	-.2949	2.1615
	F3	.73333	.36566	.393	-.4949	1.9615
	F4	-.73333	.36566	.393	-1.9615	.4949
	F5	-.56667	.36566	.642	-1.7949	.6615
	F6	.56667	.36566	.642	-.6615	1.7949
F3	F1	.20000	.36566	.993	-1.0282	1.4282
	F2	-.73333	.36566	.393	-1.9615	.4949
	F4	-1.46667*	.36566	.017	-2.6949	-.2385
	F5	-1.30000*	.36566	.036	-2.5282	-.0718
	F6	-.16667	.36566	.997	-1.3949	1.0615
F4	F1	1.66667*	.36566	.007	.4385	2.8949
	F2	.73333	.36566	.393	-.4949	1.9615
	F3	1.46667*	.36566	.017	.2385	2.6949
	F5	.16667	.36566	.997	-1.0615	1.3949
	F6	1.30000*	.36566	.036	.0718	2.5282
F5	F1	1.50000*	.36566	.014	.2718	2.7282
	F2	.56667	.36566	.642	-.6615	1.7949
	F3	1.30000*	.36566	.036	.0718	2.5282
	F4	-.16667	.36566	.997	-1.3949	1.0615
	F6	1.13333	.36566	.077	-.0949	2.3615
F6	F1	.36667	.36566	.908	-.8615	1.5949
	F2	-.56667	.36566	.642	-1.7949	.6615
	F3	.16667	.36566	.997	-1.0615	1.3949
	F4	-1.30000*	.36566	.036	-2.5282	-.0718
	F5	-1.13333	.36566	.077	-2.3615	.0949

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

En el cuadro N° 55 se presenta una diferencia entre las formulaciones al ser comparadas cada una de ellas entre sí. Como podemos ver la formulación 1 (Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 5% + Harina de Quinoa 15%) solo muestra significancia con la Formulación 4 (Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 5% + Harina de Quinoa 15%) y Formulación 5 (Harina de trigo 80% + harina de Quinoa 10% + Harina de Cebada 10%).



También se observa que la formulación 4 (Harina de trigo 80% + Harina de Cebada 5% + Harina de Quinoa 15%), es la que, al interactuar con las demás formulaciones, muestra significancia con 3 de éstas, como lo son con la formulación 1 (Harina de trigo 80% + Harina de Arveja 5% + Harina de Quinoa 15%), formulación 3 (Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de Quinoa 15%) y formulación 6 (Harina de trigo 90% + harina de Quinoa 10%)

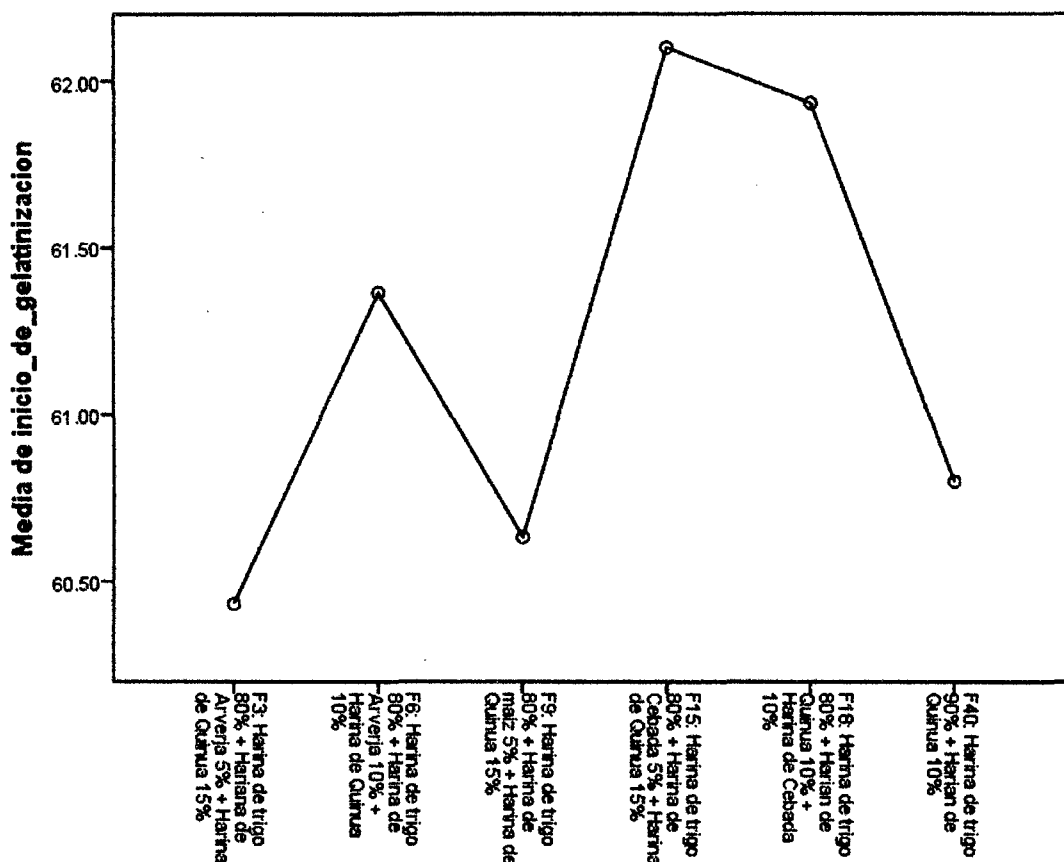
Como también podemos ver que la formulación 6 (Harina de trigo 80% + Harina de arveja 10% + Harina de quinoa 10%) presenta similitud en las comparaciones entre si lo cual nos dice que no son significativos.

**Cuadro N° 56: Subconjuntos Múltiples del Inicio de Gelatinización - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
F1	3	60.4333		
F3	3	60.6333		
F6	3	60.8000	60.8000	
F2	3	61.3667	61.3667	61.3667
F5	3		61.9333	61.9333
F4	3			62.1000
<b>Sig.</b>		<b>.183</b>	<b>.077</b>	<b>.393</b>

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.



**Figura 39:** Media del inicio de gelatinización con respecto a las formulaciones.

En la figura 39 se puede apreciar la mezcla que inicia su proceso de gelatinización a menos temperatura es la formulación F1 (60.4333 °C), mientras que aquella mezcla que más demora, por así decirlo, en iniciar su proceso de gelatinización, es la formulación F4 (62.1000 °C).

❖ **Análisis de Temperatura de Gelatinización**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para la Temperatura de Gelatinización del análisis Amilográfico

**Cuadro N° 57: Análisis Descriptivo de la temperatura de Gelatinización en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	89.8000	.50000	.28868	88.5579	91.0421	89.30	90.30
F2	3	89.4333	.47258	.27285	88.2594	90.6073	88.90	89.80
F3	3	89.1667	.20817	.12019	88.6496	89.6838	89.00	89.40
F4	3	89.9667	.35119	.20276	89.0943	90.8391	89.60	90.30
F5	3	90.5333	.40415	.23333	89.5294	91.5373	90.10	90.90
F6	3	90.6333	.32146	.18559	89.8348	91.4319	90.40	91.00
Total	18	89.9222	.63852	.15050	89.6047	90.2398	88.90	91.00

**Cuadro N° 58: Anova de un Factor para la Temperatura de Gelatinización**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	5.118	5	1.024	6.774	.003
Intra-grupos	1.813	12	.151		
Total	6.931	17			

El cuadro N° 58 se reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 6.774 y una significancia de 0.003 por lo tanto es significativo

**Cuadro N° 59: Comparaciones Múltiples de la Temperatura de Gelatinización**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	.36667	.31740	.849	-.6994	1.4328
	F3	.63333	.31740	.398	-.4328	1.6994
	F4	-.16667	.31740	.994	-1.2328	.8994
	F5	-.73333	.31740	.262	-1.7994	.3328
	F6	-.83333	.31740	.164	-1.8994	.2328
F2	F1	-.36667	.31740	.849	-1.4328	.6994
	F3	.26667	.31740	.954	-.7994	1.3328
	F4	-.53333	.31740	.567	-1.5994	.5328
	F5	-1.10000*	.31740	.042	-2.1661	-.0339
	F6	-1.20000*	.31740	.025	-2.2661	-.1339
F3	F1	-.63333	.31740	.398	-1.6994	.4328
	F2	-.26667	.31740	.954	-1.3328	.7994
	F4	-.80000	.31740	.192	-1.8661	.2661
	F5	-1.36667*	.31740	.010	-2.4328	-.3006
	F6	-1.46667*	.31740	.006	-2.5328	-.4006
F4	F1	.16667	.31740	.994	-.8994	1.2328
	F2	.53333	.31740	.567	-.5328	1.5994
	F3	.80000	.31740	.192	-.2661	1.8661
	F5	-.56667	.31740	.508	-1.6328	.4994
	F6	-.66667	.31740	.348	-1.7328	.3994
F5	F1	.73333	.31740	.262	-.3328	1.7994
	F2	1.10000*	.31740	.042	.0339	2.1661
	F3	1.36667*	.31740	.010	.3006	2.4328
	F4	.56667	.31740	.508	-.4994	1.6328
	F6	-.10000	.31740	.999	-1.1661	.9661
F6	F1	.83333	.31740	.164	-.2328	1.8994
	F2	1.20000*	.31740	.025	.1339	2.2661
	F3	1.46667*	.31740	.006	.4006	2.5328
	F4	.66667	.31740	.348	-.3994	1.7328
	F5	.10000	.31740	.999	-.9661	1.1661

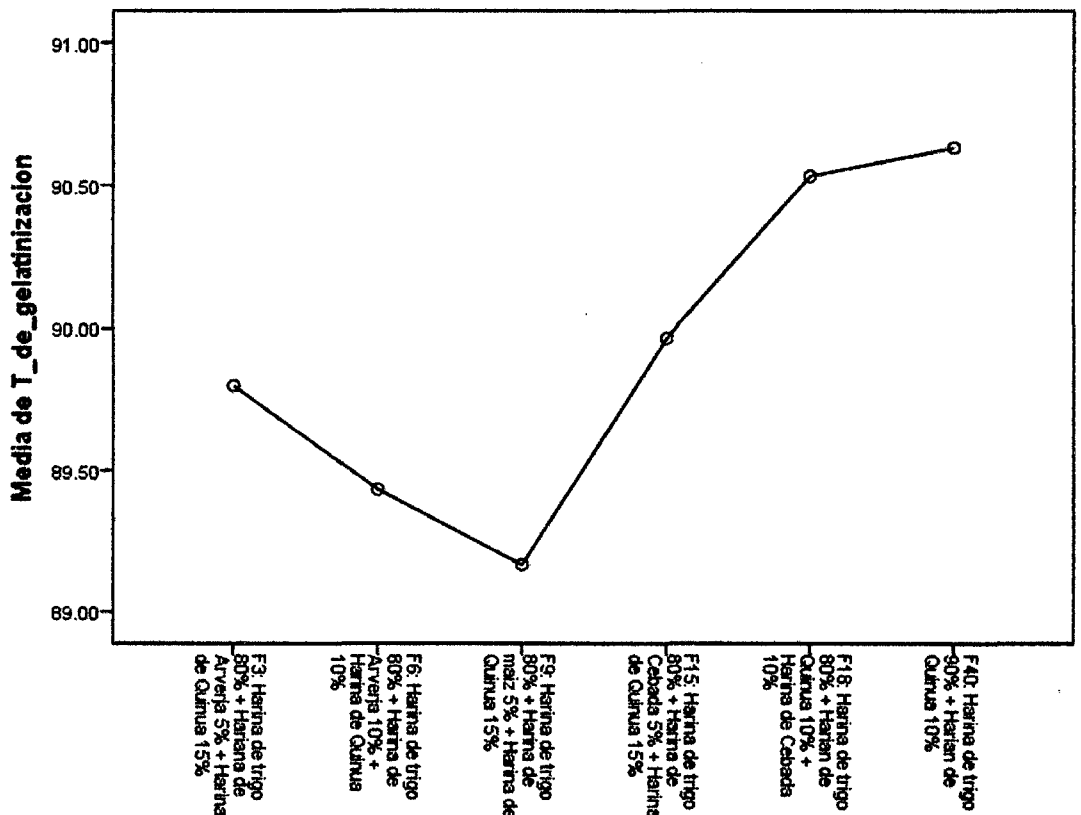
\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

**Cuadro N° 60: Subconjuntos Múltiples de Temperatura de Gelatinización - Tukey**

Fomulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
F3	3	89.1667	
F2	3	89.4333	
F1	3	89.8000	89.8000
F4	3	89.9667	89.9667
F5	3		90.5333
F6	3		90.6333
Sig.		.192	.164

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.



**Figura 40: Media de la temperatura de gelatinización con respecto a las formulaciones.**

En la figura 40 se puede apreciar la mezcla que mayor temperatura de gelatinización presenta es la formulación 6 (90.6333) y la mezcla con menor temperatura de gelatinización es la formulación F3 (89.1667).

❖ **Análisis de la Gelatinización Máxima**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para la Gelatinización Máxima del análisis Amilográfico

**Cuadro N° 61: Análisis Descriptivo de Gelatinización Máxima en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	1243.3333	2.08167	1.20185	1238.1622	1248.5045	1241.00	1245.00
F2	3	1287.3333	1.52753	.88192	1283.5388	1291.1279	1286.00	1289.00
F3	3	988.0000	1.00000	.57735	985.5159	990.4841	987.00	989.00
F4	3	1342.3333	1.52753	.88192	1338.5388	1346.1279	1341.00	1344.00
F5	3	1394.0000	3.00000	1.73205	1386.5476	1401.4524	1391.00	1397.00
F6	3	1523.3333	4.16333	2.40370	1512.9910	1533.6756	1520.00	1528.00
Total	18	1296.3889	168.64552	39.75013	1212.5234	1380.2543	987.00	1528.00

**Cuadro N° 62: Anova de un Factor para la Gelatinización Máxima.**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	483429.611	5	96685.922	15966.483	.000
Intra-grupos	72.667	12	6.056		
Total	483502.278	17			

El cuadro N° 62 reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 15966.483 y una significancia de 0.000 por lo tanto es significativo.

**Cuadro N° 63: Comparaciones múltiples de la Gelatinización  
Máxima**

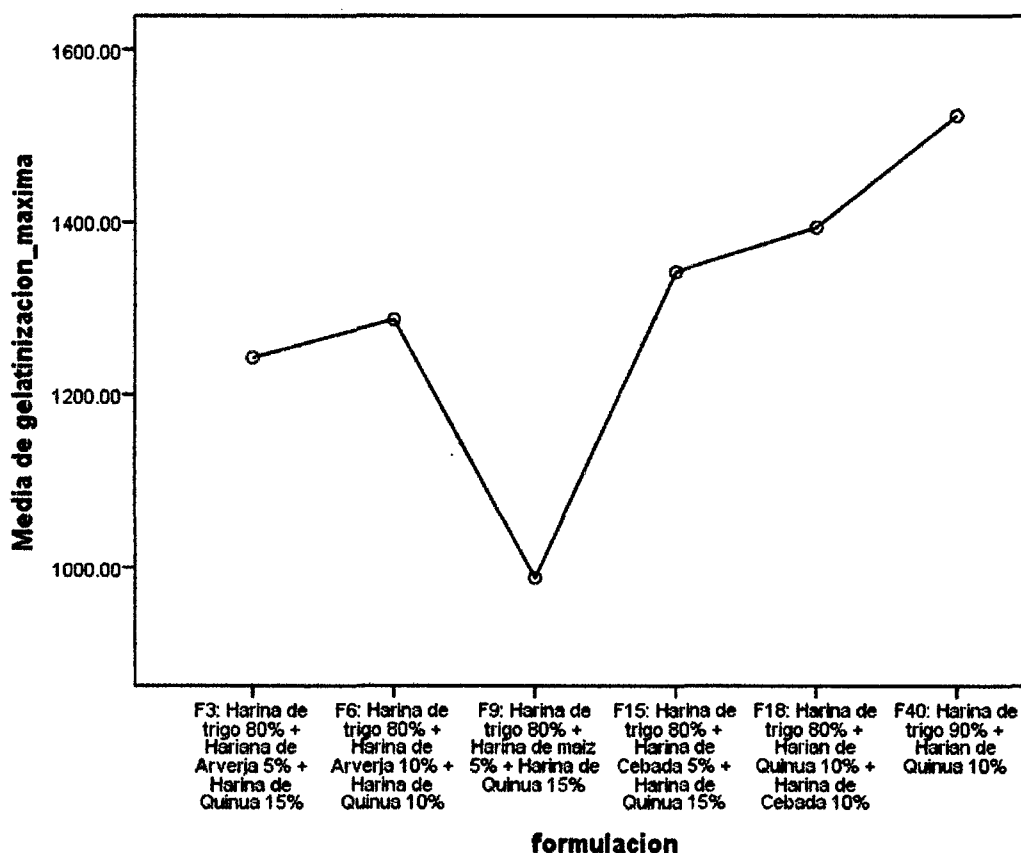
(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	-44.00000	2.00924	.000	-50.7489	-37.2511
	F3	255.33333	2.00924	.000	248.5845	262.0822
	F4	-99.00000	2.00924	.000	-105.7489	-92.2511
	F5	-150.66667	2.00924	.000	-157.4155	-143.9178
	F6	-280.00000	2.00924	.000	-286.7489	-273.2511
F2	F1	44.00000	2.00924	.000	37.2511	50.7489
	F3	299.33333	2.00924	.000	292.5845	306.0822
	F4	-55.00000	2.00924	.000	-61.7489	-48.2511
	F5	-106.66667	2.00924	.000	-113.4155	-99.9178
	F6	-236.00000	2.00924	.000	-242.7489	-229.2511
F3	F1	-255.33333	2.00924	.000	-262.0822	-248.5845
	F2	-299.33333	2.00924	.000	-306.0822	-292.5845
	F4	-354.33333	2.00924	.000	-361.0822	-347.5845
	F5	-406.00000	2.00924	.000	-412.7489	-399.2511
	F6	-535.33333	2.00924	.000	-542.0822	-528.5845
F4	F1	99.00000	2.00924	.000	92.2511	105.7489
	F2	55.00000	2.00924	.000	48.2511	61.7489
	F3	354.33333	2.00924	.000	347.5845	361.0822
	F5	-51.66667	2.00924	.000	-58.4155	-44.9178
	F6	-181.00000	2.00924	.000	-187.7489	-174.2511
F5	F1	150.66667	2.00924	.000	143.9178	157.4155
	F2	106.66667	2.00924	.000	99.9178	113.4155
	F3	406.00000	2.00924	.000	399.2511	412.7489
	F4	51.66667	2.00924	.000	44.9178	58.4155
	F6	-129.33333	2.00924	.000	-136.0822	-122.5845
F6	F1	280.00000	2.00924	.000	273.2511	286.7489
	F2	236.00000	2.00924	.000	229.2511	242.7489
	F3	535.33333	2.00924	.000	528.5845	542.0822
	F4	181.00000	2.00924	.000	174.2511	187.7489
	F5	129.33333	2.00924	.000	122.5845	136.0822

**Cuadro N° 64: Subconjuntos Múltiples de Gelatinización Máxima - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
F3	3	988.0000					
F1	3		1243.3333				
F2	3			1287.3333			
F4	3				1342.3333		
F5	3					1394.0000	
F6	3						1523.3333
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.<sub>a</sub>



**Figura 41: Media de gelatinización máxima con respecto a las formulaciones**

La figura 41 nos permite observar que la mezcla que presenta más alta media en cuanto a Gelatinización máxima, es la formulación F6 (1523.3333 AU) y la formulación F3 es la que menor media de gelatinización máxima posee (988.0000 AU).



#### 4.3.4.3 Caracterización extensográfica en mezclas de harinas

**Cuadro N° 65: Valores del Análisis Extensográfico de la harina de trigo y las mezclas de harina de trigo con Harina de Cebada, Arveja, Maíz y Quinoa.**

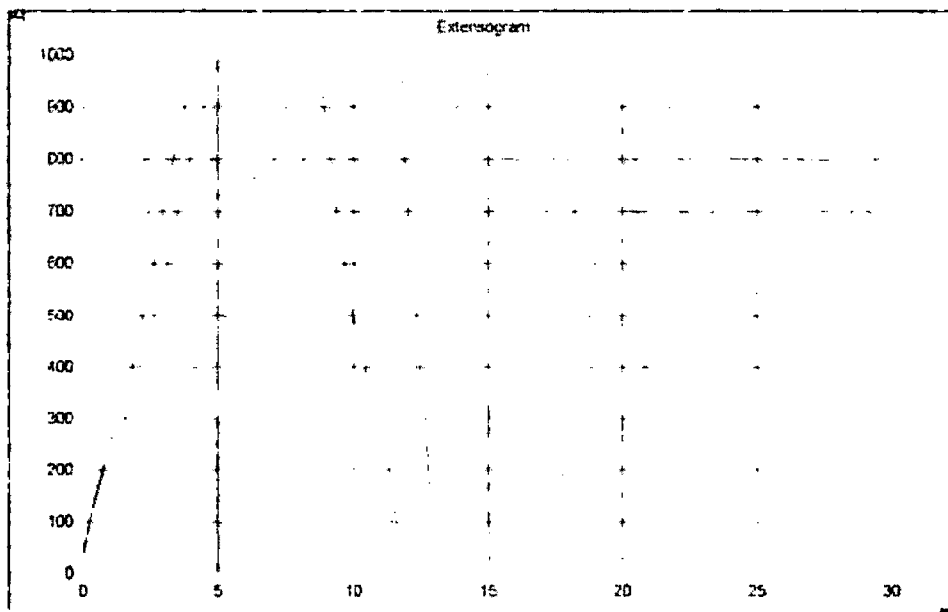
Test	UNID.	Formulación 1			Formulación 2			Formulación 3			Formulación 4			Formulación 5			Formulación 6		
		30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
ENERGÍA	cm2	124	124	139	111	135	131	110	130	112	95	99	77	104	122	100	127	153	139
RESISTENCIA A LA EXTENSIÓN	BU	607	748	955	495	634	779	586	864	859	713	925	786	863	1231	1003	655	942	946
EXTENSIBILIDAD	mm	137	143	112	136	143	118	126	114	108	98	92	84	90	80	86	130	123	109
MÁXIMO	BU	678	842	1027	615	735	882	663	953	959	713	927	806	866	1232	1003	737	1080	1062
r2																			
Test	UNID.	Formulación 1			Formulación 2			Formulación 3			Formulación 4			Formulación 5			Formulación 6		
		30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
ENERGÍA	cm2	123	126	140	113	137	134	109	129	110	97	98	78	105	121	101	126	151	140
RESISTENCIA A LA EXTENSIÓN	BU	605	750	954	497	641	778	585	866	857	712	924	788	862	1233	1002	657	940	948
EXTENSIBILIDAD	mm	136	144	111	134	142	117	123	113	107	99	92	85	91	79	89	129	122	110
MÁXIMO	BU	676	840	1023	612	734	881	661	952	958	714	925	804	864	1234	1004	735	1082	1061
r3																			
Test	UNID.	Formulación 1			Formulación 2			Formulación 3			Formulación 4			Formulación 5			Formulación 6		
		30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90	30	60	90
ENERGÍA	cm2	125	125	138	115	136	132	112	132	111	96	99	76	103	124	100	127	154	137
RESISTENCIA A LA EXTENSIÓN	BU	608	747	953	492	639	776	584	862	858	711	926	784	864	1237	1001	655	941	949
EXTENSIBILIDAD	mm	138	142	115	131	145	116	122	111	109	97	91	84	90	80	87	130	126	106
MÁXIMO	BU	677	841	1026	617	733	880	664	951	956	716	928	807	868	1239	1002	737	1083	1067

### A. Análisis Extensográfico de la Harina de Trigo

Permite medir las capacidades de una masa húmeda de harina, rápida y precisamente: la resistencia a la extensión y extensibilidad. Estos factores proveen conclusiones definidas con respecto al comportamiento panadero. El instrumento es un gran apoyo en la industria de molienda y panificación para la producción de harinas con propiedades reológicas invariables y para definir el óptimo reológico.

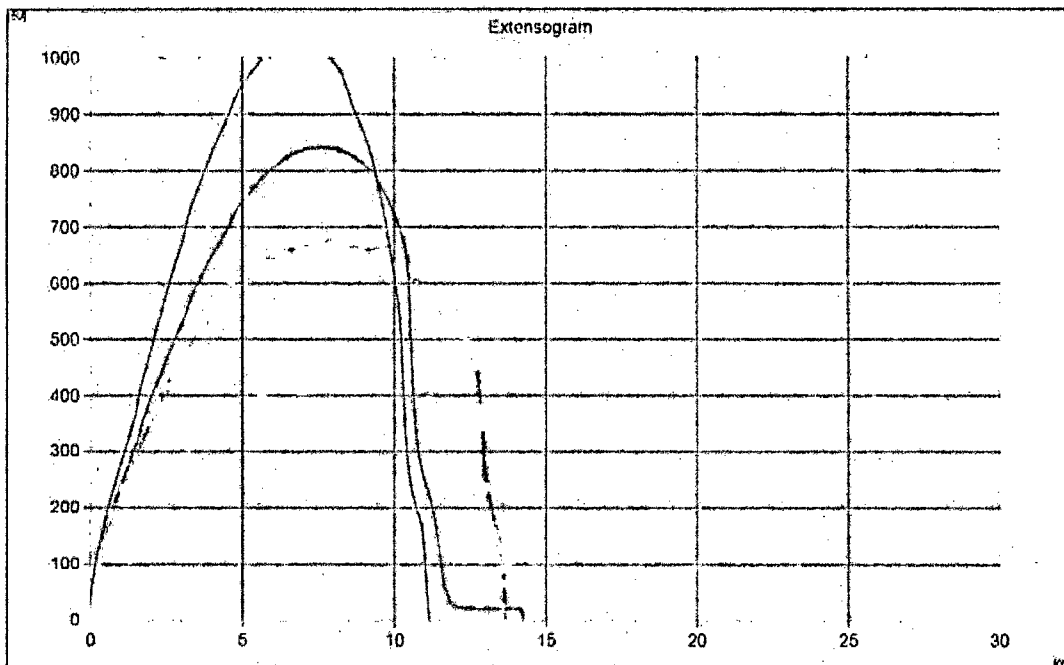
**Cuadro Nº 66: Propiedades Extensográficas de la harina de trigo**

Test	UNID.	harina de trigo		
		30	60	90
ENERGIA	cm <sup>2</sup>	206	216	159
RESISTENCIA A LA EXTENSION	BU	735	1036	1182
EXTENSIBILIDAD	mm	146	135	117
MAXIMO	BU	1155	1484	1307

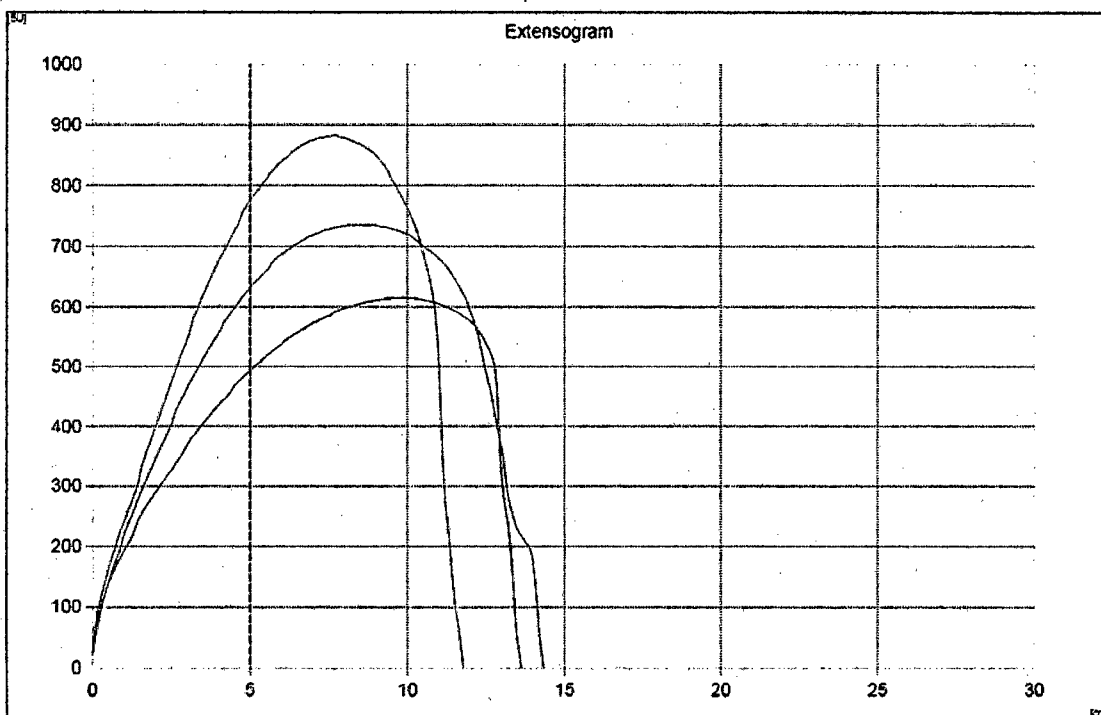


**Figura 42: Extensograma de la harina de trigo**

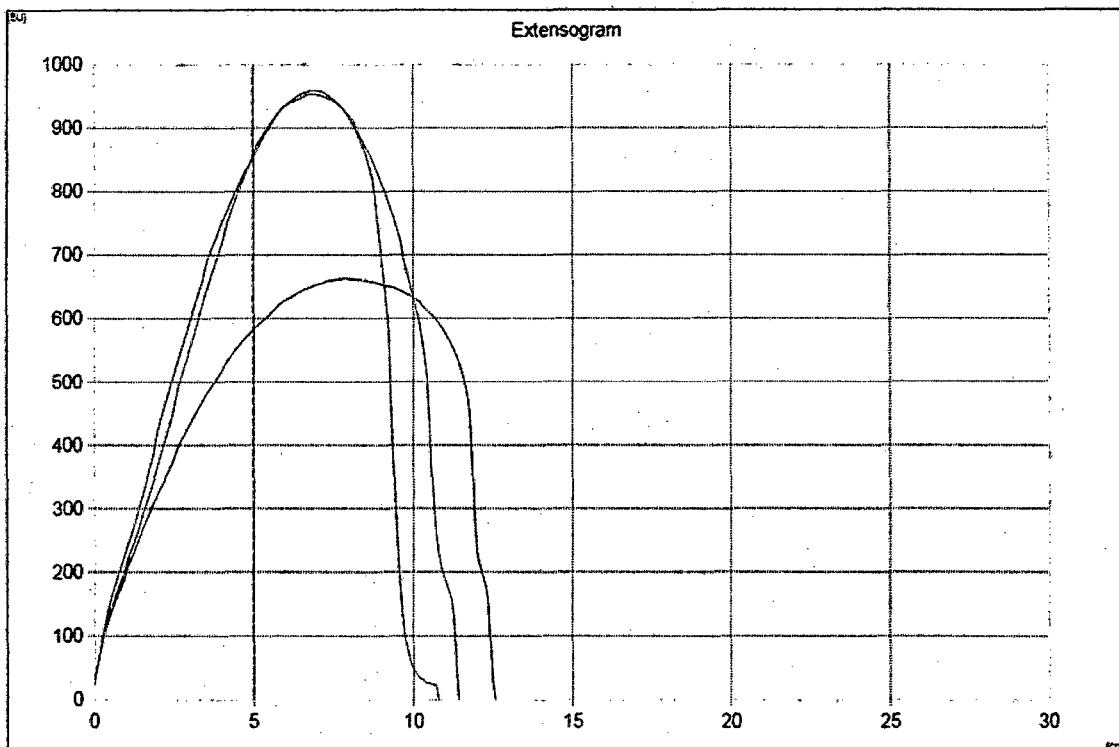
**B. Análisis Extensográfico de las Mezclas**



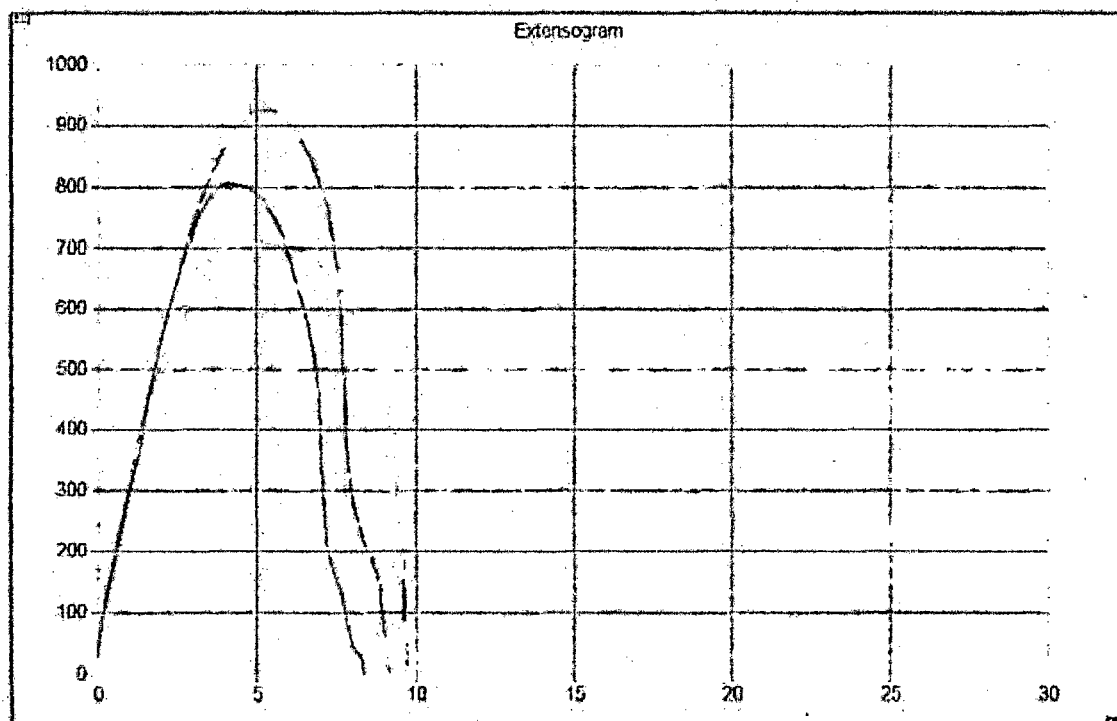
**Figura 43: Extensograma de la Formulación 1 (Harina de trigo 80% + Harina de arveja 5% + Harina de quinua 15%)**



**Figura 44: Extensograma de la Formulación 2 (Harina de trigo 80% + Harina de arveja 10% + Harina de quinua 10%)**

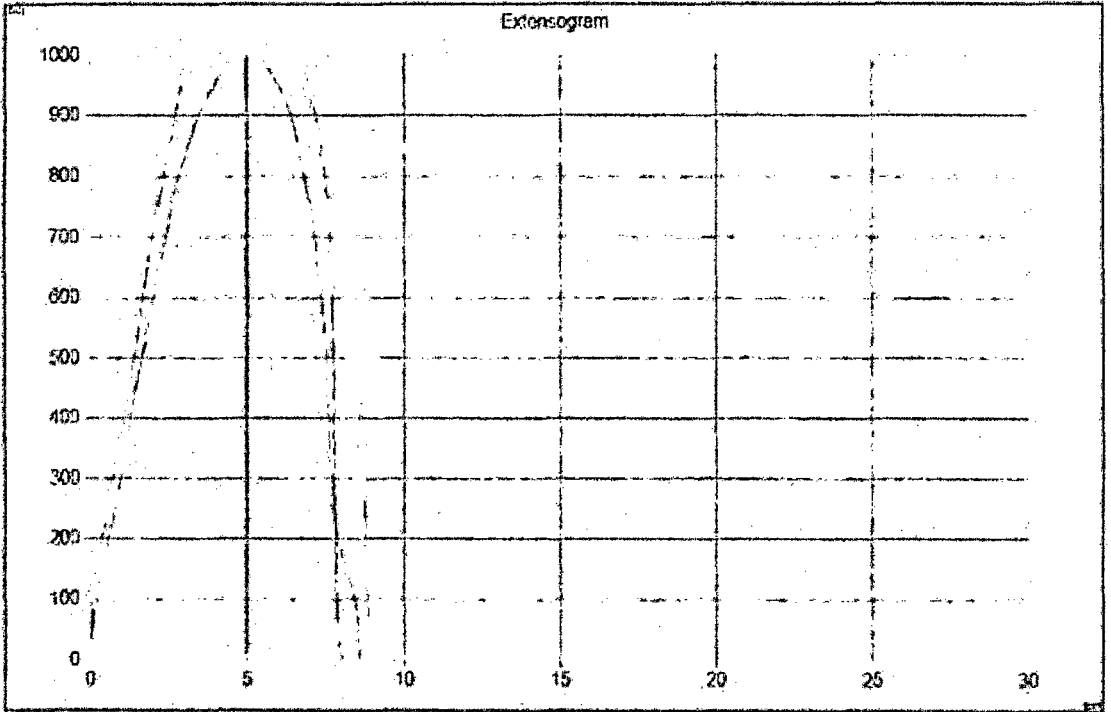


**Figura 45: Extensograma de la Formulación 3 (Harina de trigo 80% + Harina de maíz 5% + Harina de quinua 15%)**

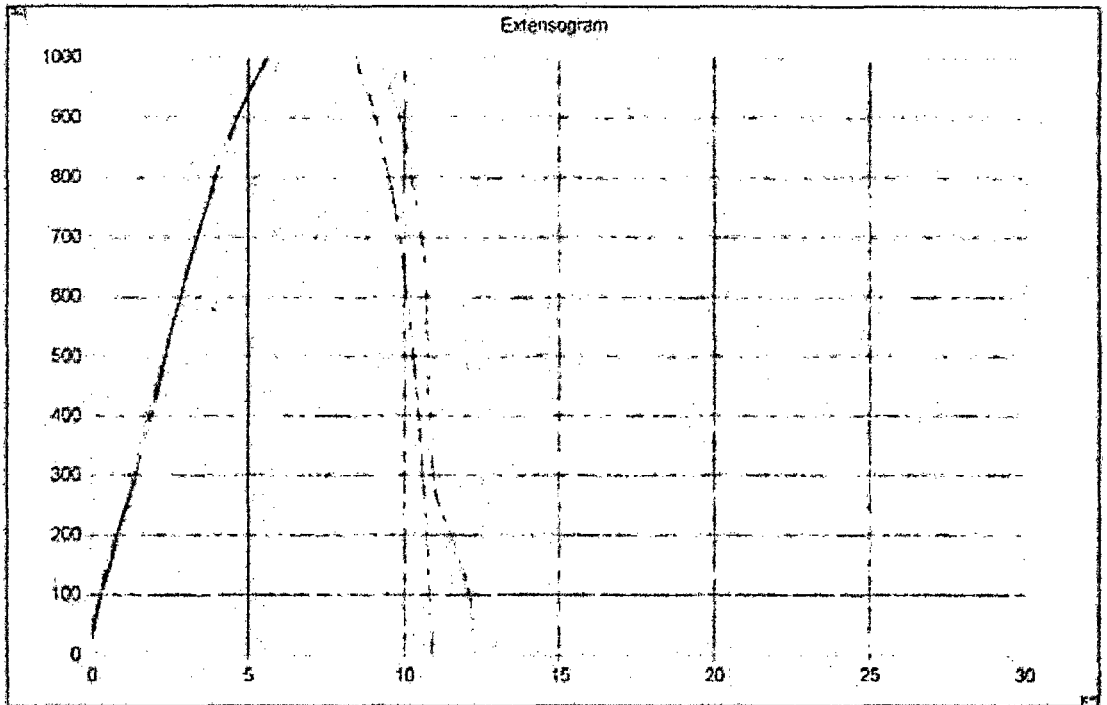


**Figura 46: Extensograma de la Formulación 4 (Harina de trigo 80% + Harina de cebada 5% + Harina de quinua 15%)**

6



**Figura 47: Extensograma de la Formulación 5 (Harina de trigo 80% + Harina de cebada 10% + Harina de quinua 10%)**



**Figura 48: Extensograma de la Formulación 6 (Harina de trigo 90% + Harina de quinua 10%)**

El cuadro 66 muestra los valores de medición para cada mezcla: Energía que es medida como la superficie bajo la curva en  $\text{cm}^2$ , la cual nos demuestra la calidad de la masa; la resistencia al estiramiento está medida como el alto de la curva, 5 cm luego del inicio de la elevación de la curva en BU, lo que demuestra la fuerza que se le opone a la elasticidad de la masa; la elasticidad medida como el largo de la curva en [mm] desde el inicio de la elevación de la curva hasta el máximo (rotura de la muestra) lo que demuestra las propiedades del gluten, Máximo que es el punto más alto en la curva en [BU], este valor puede alcanzar máximo 1000 EU lo que significa la fuerza en el punto de rotura; Relación de tensión que es el cociente a partir de resistencia al estiramiento y extensibilidad, lo que significa que es la medida para la calidad de la masa y, La relación de tensión máxima que es el cociente a partir del máximo y la extensibilidad, lo que también significa la medida para la calidad de la masa.

De acuerdo al cuadro N° 66 se observa que de las formulaciones evaluadas en el extensógrafo, quien obtuvo mayor Energía a los 30 min fue la formulación 6 teniendo 127 ( $\text{cm}^2$ ) y a los 60 min de fermentación la formulación 6 con 139 ( $\text{cm}^2$ ) y a los 90 minutos la formulación 1 y 6 con 140 ( $\text{cm}^2$ )

Con lo que respecta a la Resistencia a los 30 min fue la formulación F5 con 864 (BU) y los mismos resultados fueron para los 60 y 90 min siendo la de 60 la de más alta resistencia con 1237 (BU) y la de 90 min fue 1003 (BU). Es el grado de fermentación que resiste una harina la que decide la calidad de ésta. Es la estabilidad más que la fuerza lo que una harina necesita puesto que debe formarse una masa suficientemente estable para conservar su forma después de ser moldeada. (Bencon, 1990).

En extensibilidad, de las formulaciones evaluadas podemos observar que la formulación que tuvo mayor extensibilidad a

30min de fermentación fue la formulación 1, a los 60 min de fermentación la formulación 2 y a los 90 min la formulación 2, siendo así que la formulación 1 y 2 son harinas fuertes, puesto que a un valor alto de energía unido a gran extensibilidad, indica una harina fuerte (Stanley, 1998).

En las figuras de la 43 a la 48, denominadas extensogramas podemos observar:

- Energía: Superficies bajo la curvas están en  $\text{cm}^2$ .
- Resistencia al estiramiento: Alto de la curva 5 cm luego del inicio de la elevación de la curva hasta el máximo (= rotura de la muestra)
- Elasticidad: Largo de la curva en [mm] desde el inicio de la elevación de la curva hasta el máximo (= rotura de la muestra).
- Máximo: Punto más alto en la curva en [BU], este valor puede alcanzar máximo 1000 EU.
- Relación de tensión: Cociente a partir de la resistencia al estiramiento y extensibilidad.
- Relación de Tensión máxima: Cociente a partir del máximo y la extensibilidad.

Las líneas de color verde (30min), rojo (60min) y azul (90min) muestran los tiempos de prueba (min), estos tiempos de descanso aportan claridad sobre la calidad de la harina en este caso de las mezclas, por regla general:

Después de cada tiempo de descanso el diagrama es más alto, lo que significa buena calidad de harina o tratamiento óptimo; lo que ocurre en la Formulación 6 (figura 48).

Por lo que se observa en las figuras 43; 47 y 48 los puntos más altos en la curva sobrepasan los 1000 BU como ocurre con la formulación 1; 5 y 6.

Evaluando las figuras 43 a 48, se puede deducir que todas tienen un máximo o un punto más alto en BU superiores a 1000 BU, por lo que son extensogramas de harinas con fuerte propiedades de masa óptima, se puede decir que la masa de las mezclas son extensibles y elásticas, y son adecuadas para procesos de fermentación prolongados, teniendo una gran tolerancia a la fermentación. Se obtienen piezas de masas bien aireadas y voluminosas con buena consistencia.

Estos extensogramas de todas las formulaciones que presentan este desarrollo, poseen un alto valor de energía, una relación equilibrada de resistencia al estiramiento y extensibilidad.

#### ❖ Análisis de la Energía

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para la Energía del análisis extensográfico.

**Cuadro N° 67: Análisis Descriptivo de la Energía en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	139.0000	1.00000	.57735	136.5159	141.4841	138.00	140.00
F2	3	132.3333	1.52753	.88192	128.5388	136.1279	131.00	134.00
F3	3	111.0000	1.00000	.57735	108.5159	113.4841	110.00	112.00
F4	3	77.0000	1.00000	.57735	74.5159	79.4841	76.00	78.00
F5	3	100.3333	.57735	.33333	98.8991	101.7676	100.00	101.00
F6	3	138.6667	1.52753	.88192	134.8721	142.4612	137.00	140.00
Total	18	116.3889	23.40975	5.51773	104.7475	128.0303	76.00	140.00



**Cuadro N° 68: Anova de un Factor para la Energía**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	9300.278	5	1860.056	1395.042	.000
Intra-grupos	16.000	12	1.333		
Total	9316.278	17			

La tabla de ANOVA, que nos ofrece el estadístico F con su nivel de significación. Si el nivel de significación (sig.) intraclass es menor o igual que 0,05, rechazamos la hipótesis de igualdad de medias, si es mayor – aceptamos la igualdad de medias, es decir, no existen diferencias significativas entre los grupos.

El cuadro N° 68 se reporta la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 1395.042 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo.

**Cuadro N° 69: Comparaciones Múltiples de la Energía – Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	6.66667*	.94281	.000	3.4998	9.8335
	F3	28.00000*	.94281	.000	24.8332	31.1668
	F4	62.00000*	.94281	.000	58.8332	65.1668
	F5	38.66667*	.94281	.000	35.4998	41.8335
	F6	.33333	.94281	.999	-2.8335	3.5002
	F1	-6.66667*	.94281	.000	-9.8335	-3.4998
F2	F3	21.33333*	.94281	.000	18.1665	24.5002
	F4	55.33333*	.94281	.000	52.1665	58.5002
	F5	32.00000*	.94281	.000	28.8332	35.1668
	F6	-6.33333*	.94281	.000	-9.5002	-3.1665
F3	F1	-28.00000*	.94281	.000	-31.1668	-24.8332
	F2	-21.33333*	.94281	.000	-24.5002	-18.1665
	F4	34.00000*	.94281	.000	30.8332	37.1668
	F5	10.66667*	.94281	.000	7.4998	13.8335
	F6	-27.66667*	.94281	.000	-30.8335	-24.4998
	F1	-62.00000*	.94281	.000	-65.1668	-58.8332
F4	F2	-55.33333*	.94281	.000	-58.5002	-52.1665
	F3	-34.00000*	.94281	.000	-37.1668	-30.8332
	F5	-23.33333*	.94281	.000	-26.5002	-20.1665
	F6	-61.66667*	.94281	.000	-64.8335	-58.4998

F5	F1	-38.66667*	.94281	.000	-41.8335	-35.4998
	F2	-32.00000*	.94281	.000	-35.1668	-28.8332
	F3	-10.66667*	.94281	.000	-13.8335	-7.4998
	F4	23.33333*	.94281	.000	20.1665	26.5002
	F6	-38.33333*	.94281	.000	-41.5002	-35.1665
F6	F1	-.33333	.94281	.999	-3.5002	2.8335
	F2	6.33333*	.94281	.000	3.1665	9.5002
	F3	27.66667*	.94281	.000	24.4998	30.8335
	F4	61.66667*	.94281	.000	58.4998	64.8335
	F5	38.33333*	.94281	.000	35.1665	41.5002

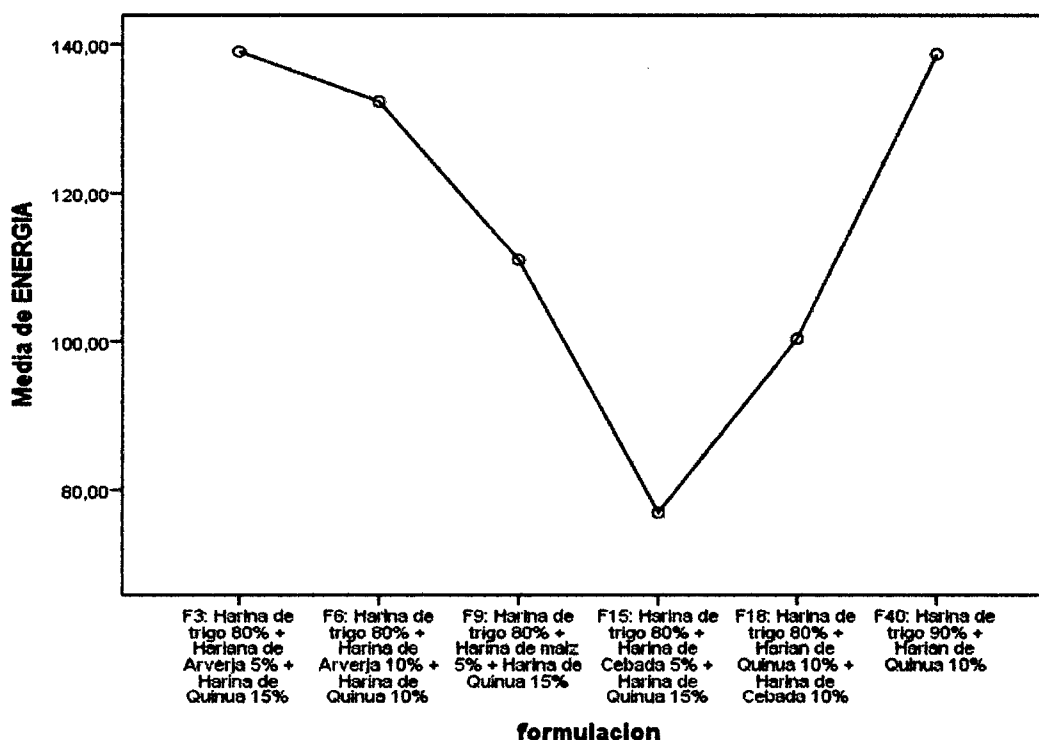
\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

**Cuadro N° 70: Subconjuntos Múltiples de Energía - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
F4	3	77,0000				
F5	3		100,3333			
F3	3			111,0000		
F2	3				132,3333	
F6	3					138,6667
F1	3					139,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	,999

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.



**Figura 49: Media de la energía con respecto a las formulaciones**

En la figura 49 se puede observar que la formulación 1 es la que más energía presenta (139 cm<sup>2</sup>), mientras que la formulación 4 es la que menor media de energía posee (77 cm<sup>2</sup>).

❖ **Análisis a la Resistencia a la Extensión**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para la Resistencia a la Extensión del análisis Extensógrafa

**Cuadro N° 71: Análisis Descriptivo de la Resistencia a la Extensión en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	954.0000	1.00000	.57735	951.5159	956.4841	953.00	955.00
F2	3	777.6667	1.52753	.88192	773.8721	781.4612	776.00	779.00
F3	3	858.0000	1.00000	.57735	855.5159	860.4841	857.00	859.00
F4	3	786.0000	2.00000	1.15470	781.0317	790.9683	784.00	788.00
F5	3	1002.0000	1.00000	.57735	999.5159	1004.4841	1001.00	1003.00
F6	3	947.6667	1.52753	.88192	943.8721	951.4612	946.00	949.00
Total	18	887.5556	88.51336	20.86280	843.5389	931.5722	776.00	1003.00

**Cuadro N° 72: Anova de un Factor para la Resistencia a la Extensión**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	133165.111	5	26633.022	13696.983	.000
Intra-grupos	23.333	12	1.944		
Total	133188.444	17			

Se puede observar la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 13696.983 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo.

**Cuadro N° 73: Comparaciones Múltiples de la Resistencia a la Extensión – Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	176.33333*	1.13855	.000	172.5090	180.1576
	F3	96.00000*	1.13855	.000	92.1757	99.8243
	F4	168.00000*	1.13855	.000	164.1757	171.8243
	F5	-48.00000*	1.13855	.000	-51.8243	-44.1757
	F6	6.33333*	1.13855	.001	2.5090	10.1576
F2	F1	-176.33333*	1.13855	.000	-180.1576	-172.5090
	F3	-80.33333*	1.13855	.000	-84.1576	-76.5090
	F4	-8.33333*	1.13855	.000	-12.1576	-4.5090
	F5	-224.33333*	1.13855	.000	-228.1576	-220.5090
	F6	-170.00000*	1.13855	.000	-173.8243	-166.1757
F3	F1	-96.00000*	1.13855	.000	-99.8243	-92.1757
	F2	80.33333*	1.13855	.000	76.5090	84.1576
	F4	72.00000*	1.13855	.000	68.1757	75.8243
	F5	-144.00000*	1.13855	.000	-147.8243	-140.1757
	F6	-89.66667*	1.13855	.000	-93.4910	-85.8424
F4	F1	-168.00000*	1.13855	.000	-171.8243	-164.1757
	F2	8.33333*	1.13855	.000	4.5090	12.1576
	F3	-72.00000*	1.13855	.000	-75.8243	-68.1757
	F5	-216.00000*	1.13855	.000	-219.8243	-212.1757
	F6	-161.66667*	1.13855	.000	-165.4910	-157.8424
F5	F1	48.00000*	1.13855	.000	44.1757	51.8243
	F2	224.33333*	1.13855	.000	220.5090	228.1576
	F3	144.00000*	1.13855	.000	140.1757	147.8243
	F4	216.00000*	1.13855	.000	212.1757	219.8243
	F6	54.33333*	1.13855	.000	50.5090	58.1576
F6	F1	-6.33333*	1.13855	.001	-10.1576	-2.5090
	F2	170.00000*	1.13855	.000	166.1757	173.8243
	F3	89.66667*	1.13855	.000	85.8424	93.4910
	F4	161.66667*	1.13855	.000	157.8424	165.4910
	F5	-54.33333*	1.13855	.000	-58.1576	-50.5090

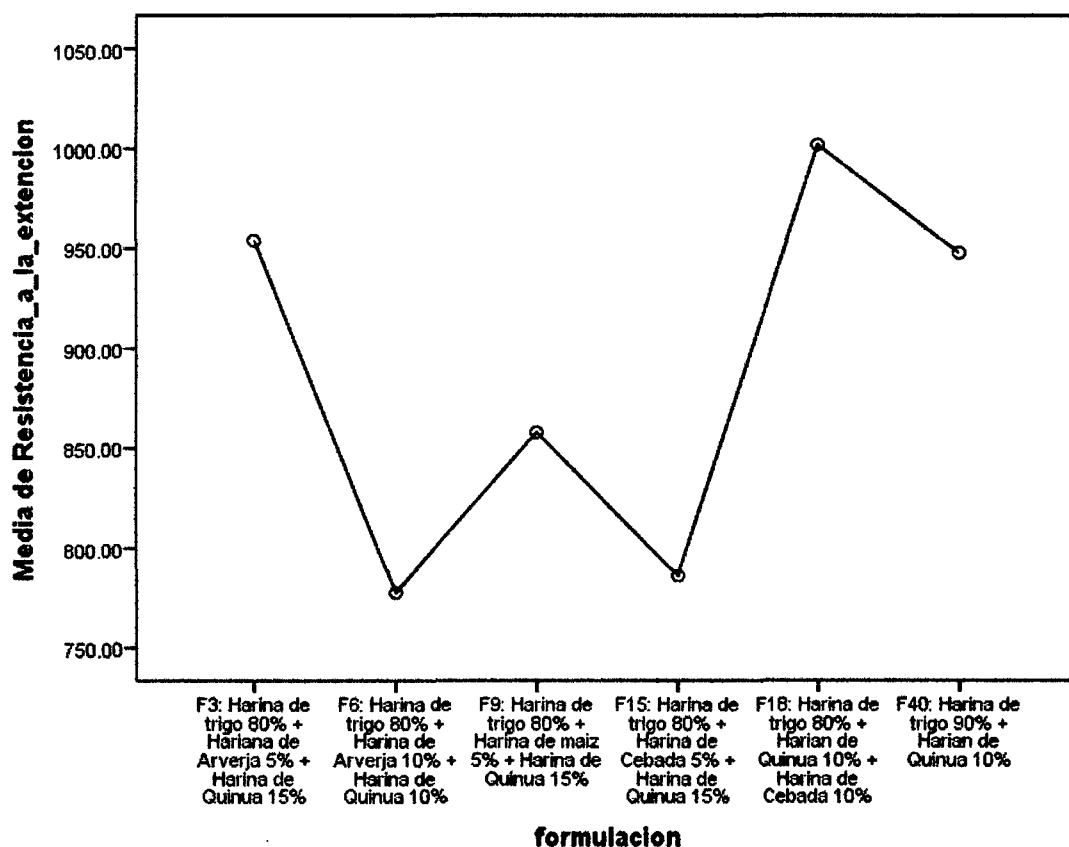
\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

**Cuadro N° 74: Subconjuntos de la Resistencia a la Extensión - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
F2	3	777.6667					
F4	3		786.0000				
F3	3			858.0000			
F6	3				947.6667		
F1	3					954.0000	
F5	3						1002.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.



**Figura 50: Media de la Resistencia a la Extensión con respecto a las formulaciones**

En la figura anterior se observa que la formulación con mayor resistencia a la extensión es la N° 5, con una media de 1002 BU, y la formulación que menos resistencia a la extensión presenta es la N° 2, con una media de 777.6667 BU.

❖ **Análisis a la Extensibilidad**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para la Extensibilidad del análisis Extensográfico.

**Cuadro N° 75: Análisis Descriptivo de la Extensibilidad en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	112.6667	2.08167	1.20185	107.4955	117.8378	111.00	115.00
F2	3	117.0000	1.00000	.57735	114.5159	119.4841	116.00	118.00
F3	3	108.0000	1.00000	.57735	105.5159	110.4841	107.00	109.00
F4	3	84.3333	.57735	.33333	82.8991	85.7676	84.00	85.00
F5	3	87.3333	1.52753	.88192	83.5388	91.1279	86.00	89.00
F6	3	108.3333	2.08167	1.20185	103.1622	113.5045	106.00	110.00
Total	18	102.9444	12.91817	3.04484	96.5204	109.3685	84.00	118.00

**Cuadro N° 76: Anova de un Factor para la Extensibilidad**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2810.278	5	562.056	252.925	.000
Intra-grupos	26.667	12	2.222		
Total	2836.944	17			

Se puede observar la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 252.925 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo.

**Cuadro N° 77: Comparaciones Múltiples de la Extensibilidad -  
Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	-4.33333	1.21716	.036	-8.4217	-.2450
	F3	4.66667	1.21716	.022	.5783	8.7550
	F4	28.33333	1.21716	.000	24.2450	32.4217
	F5	25.33333	1.21716	.000	21.2450	29.4217
	F6	4.33333	1.21716	.036	.2450	8.4217
	F1	4.33333	1.21716	.036	.2450	8.4217
F2	F3	9.00000	1.21716	.000	4.9117	13.0883
	F4	32.66667	1.21716	.000	28.5783	36.7550
	F5	29.66667	1.21716	.000	25.5783	33.7550
	F6	8.66667	1.21716	.000	4.5783	12.7550
F3	F1	-4.66667	1.21716	.022	-8.7550	-.5783
	F2	-9.00000	1.21716	.000	-13.0883	-4.9117
	F4	23.66667	1.21716	.000	19.5783	27.7550
	F5	20.66667	1.21716	.000	16.5783	24.7550
	F6	-.33333	1.21716	1.000	-4.4217	3.7550
	F1	-28.33333	1.21716	.000	-32.4217	-24.2450
F4	F2	-32.66667	1.21716	.000	-36.7550	-28.5783
	F3	-23.66667	1.21716	.000	-27.7550	-19.5783
	F5	-3.00000	1.21716	.209	-7.0883	1.0883
	F6	-24.00000	1.21716	.000	-28.0883	-19.9117
F5	F1	-25.33333	1.21716	.000	-29.4217	-21.2450
	F2	-29.66667	1.21716	.000	-33.7550	-25.5783
	F3	-20.66667	1.21716	.000	-24.7550	-16.5783
	F4	3.00000	1.21716	.209	-1.0883	7.0883
	F6	-21.00000	1.21716	.000	-25.0883	-16.9117
	F1	-4.33333	1.21716	.036	-8.4217	-.2450
F6	F2	-8.66667	1.21716	.000	-12.7550	-4.5783
	F3	.33333	1.21716	1.000	-3.7550	4.4217
	F4	24.00000	1.21716	.000	19.9117	28.0883
	F5	21.00000	1.21716	.000	16.9117	25.0883

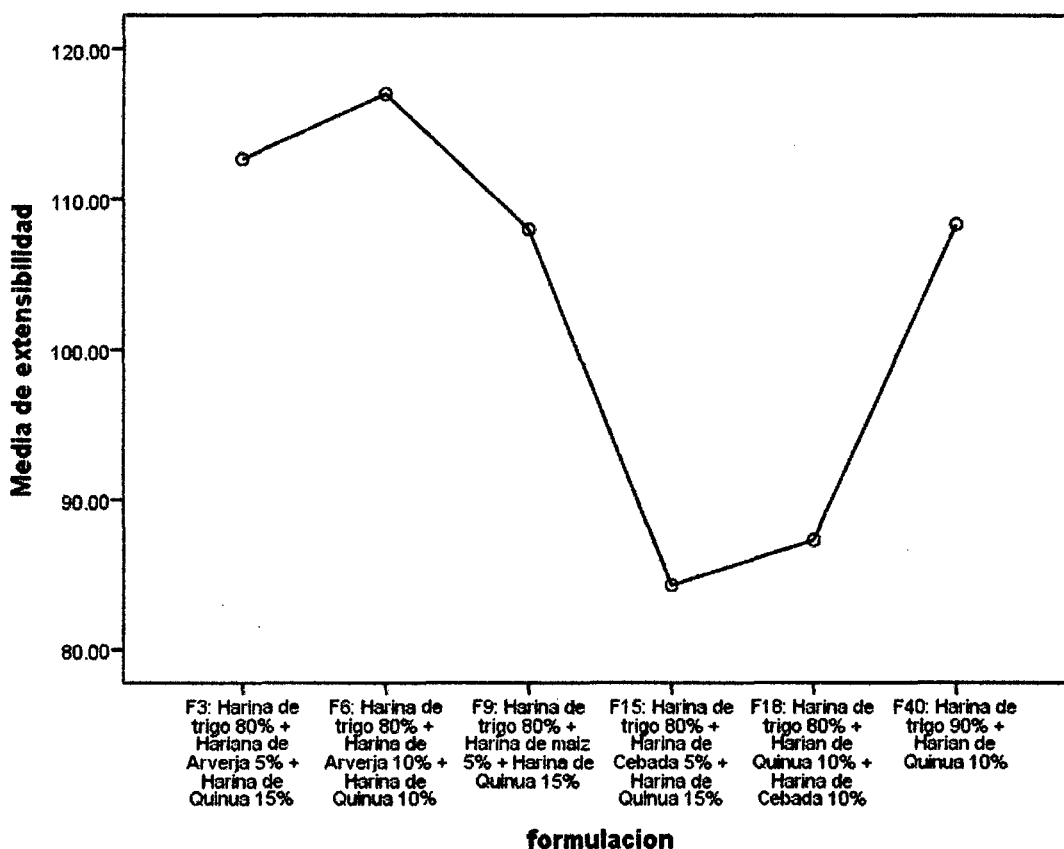
La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

**Cuadro N° 78: Subconjuntos Múltiples de la Extensibilidad - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
F4	3	84.3333			
F5	3	87.3333			
F3	3		108.0000		
F6	3		108.3333		
F1	3			112.6667	
F2	3				117.0000
Sig.		.209	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.ª



**Figura 51: Media de la Extensibilidad con respecto a las formulaciones**

En la figura anterior se observa que la formulación con mayor extensibilidad es la N° 2, con una media de 117 mm, y la formulación que menos resistencia a la extensión presenta es la N° 4, con una media de 84.3333 mm.



❖ **Análisis Máximo de la Extensibilidad**

Se presenta el análisis estadístico del Anova de un Factor para el Máximo de Extensibilidad del análisis Extensógrafo

**Cuadro N° 79: Análisis Descriptivo del Máximo de Extensibilidad en las Distintas Formulaciones**

FORMULACIONES	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
F1	3	1025.3333	2.08167	1.20185	1020.1622	1030.5045	1023.00	1027.00
F2	3	881.0000	1.00000	.57735	878.5159	883.4841	880.00	882.00
F3	3	957.6667	1.52753	.88192	953.8721	961.4612	956.00	959.00
F4	3	805.6667	1.52753	.88192	801.8721	809.4612	804.00	807.00
F5	3	1003.0000	1.00000	.57735	1000.5159	1005.4841	1002.00	1004.00
F6	3	1063.3333	3.21455	1.85592	1055.3479	1071.3187	1061.00	1067.00
Total	18	956.0000	90.85735	21.41528	910.8177	1001.1823	804.00	1067.00

**Cuadro N° 80: Anova de un Factor para el Máximo de Extensibilidad**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	140293.333	5	28058.667	7891.500	.000
Intra-grupos	42.667	12	3.556		
Total	140336.000	17			

Se puede observar la significancia de cada una de las formulaciones con respecto a su media global. Teniendo un F de 7891.500 y una significancia de 0 por lo tanto es significativo.

**Cuadro N° 81: Comparaciones Múltiples del Máximo de Extensibilidad - Tukey**

(I) Formulación	(J) Formulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
F1	F2	144.33333	1.53960	.000	139.1619	149.5047
	F3	67.66667	1.53960	.000	62.4953	72.8381
	F4	219.66667	1.53960	.000	214.4953	224.8381
	F5	22.33333	1.53960	.000	17.1619	27.5047
	F6	-38.00000	1.53960	.000	-43.1714	-32.8286
F2	F1	-144.33333	1.53960	.000	-149.5047	-139.1619
	F3	-76.66667	1.53960	.000	-81.8381	-71.4953
	F4	75.33333	1.53960	.000	70.1619	80.5047
	F5	-122.00000	1.53960	.000	-127.1714	-116.8286
F3	F6	-182.33333	1.53960	.000	-187.5047	-177.1619
	F1	-67.66667	1.53960	.000	-72.8381	-62.4953
	F2	76.66667	1.53960	.000	71.4953	81.8381
	F4	152.00000	1.53960	.000	146.8286	157.1714
	F5	-45.33333	1.53960	.000	-50.5047	-40.1619
F4	F6	-105.66667	1.53960	.000	-110.8381	-100.4953
	F1	-219.66667	1.53960	.000	-224.8381	-214.4953
	F2	-75.33333	1.53960	.000	-80.5047	-70.1619
	F3	-152.00000	1.53960	.000	-157.1714	-146.8286
	F5	-197.33333	1.53960	.000	-202.5047	-192.1619
F5	F6	-257.66667	1.53960	.000	-262.8381	-252.4953
	F1	-22.33333	1.53960	.000	-27.5047	-17.1619
	F2	122.00000	1.53960	.000	116.8286	127.1714
	F3	45.33333	1.53960	.000	40.1619	50.5047
	F4	197.33333	1.53960	.000	192.1619	202.5047
F6	F6	-60.33333	1.53960	.000	-65.5047	-55.1619
	F1	38.00000	1.53960	.000	32.8286	43.1714
	F2	182.33333	1.53960	.000	177.1619	187.5047
	F3	105.66667	1.53960	.000	100.4953	110.8381
	F4	257.66667	1.53960	.000	252.4953	262.8381
	F5	60.33333	1.53960	.000	55.1619	65.5047

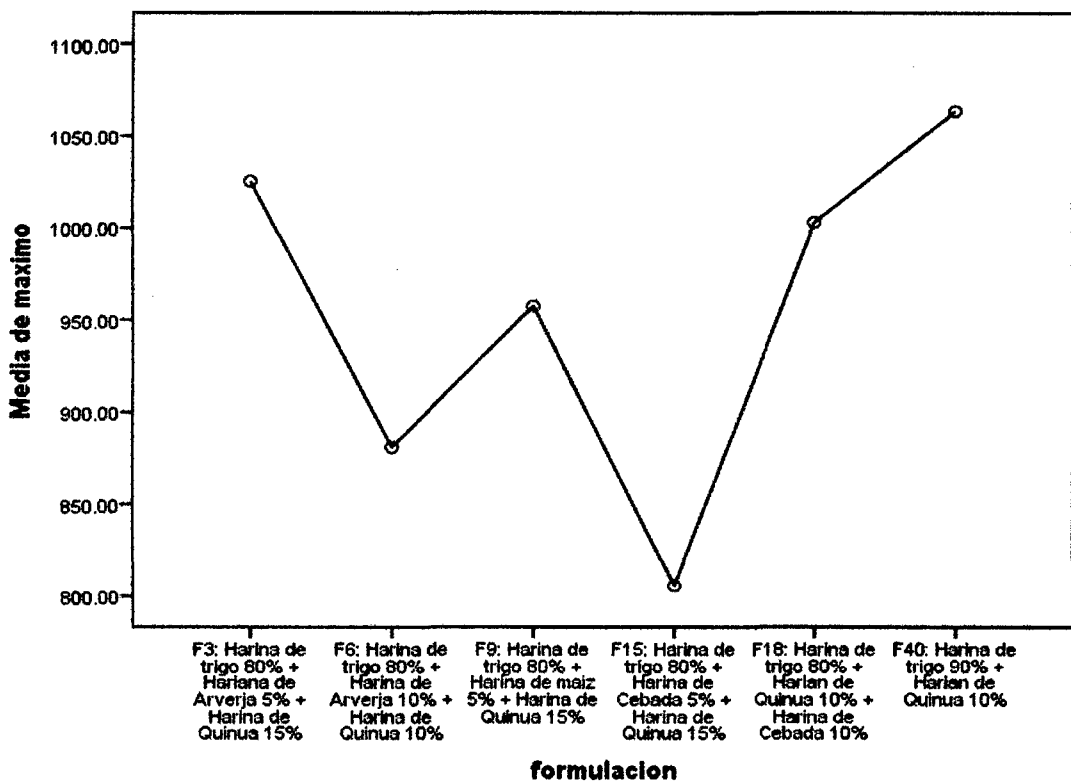
La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

**Cuadro N° 82: Subconjuntos Múltiples del Máximo de Extensibilidad - Tukey**

Formulación	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
F4	3	805.6667					
F2	3		881.0000				
F3	3			957.6667			
F5	3				1003.0000		
F1	3					1025.3333	
F6	3						1063.3333
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3.000.ª



**Figura 52: Media del Máximo de Extensibilidad con respecto a las formulaciones**

En la figura anterior se observa que la formulación con el más alto máximo de extensibilidad es la N° 6, con una media de 1063.3337 BU, por el contrario, la que menor media presenta en cuanto al máximo de extensibilidad es la N° 4, con una media de 805.6667 BU.

## V. CONCLUSIONES

- La evaluación de las características fisicoquímicas, nutricionales y reológicas de harinas de cereales y leguminosas expandidas a granel en los mercados de Chimbote, donde las características de elasticidad, resistencia al amasado, extensibilidad, tenacidad, indicaron la factibilidad para su uso en la industria de la panificación.
- Se realizaron los análisis farinográficos en las mezclas de harinas mediante el farinógrafo Brabender correspondientes a: absorción de agua donde las formulaciones 1; 2 y 3 (58%) mientras que las formulaciones en el tiempo de desarrollo indicó que la mayoría con valores menores a 3.5367 minutos como ocurrió con las formulaciones 1; 3; 4 y 5 y con formulaciones mayores a 3.5367 minutos como la 2 y 6 que necesitaron tiempos más prolongados para la formación de la masa, en estabilidad las formulaciones 1; 3 y 6 difieren unas de otras por lo que encontramos valores entre 5 -7,2 minutos se consideran harinas de calidad discretas a buenas, en cambio las formulaciones menores a 5 minutos se aprecian como harinas moderadamente débiles; como son las formulaciones 2; 4 y 5, finalmente el índice de tolerancia determinó que formulaciones con distintos tipos de índice de tolerancia siendo la más alta la formulación 5 con 163.733 FE y con la más baja tolerancia en la formulación 3 con 37.2333 FE, valores menores a 73 FE correspondientes a las formulaciones 1:2; 3 y 6 presentaron mayor tolerancia al amasado, mientras las demás manifestaron poca tolerancia al tratamiento mecánico.
- Las mejores mezclas de harinas de cereales y leguminosas fueron seleccionadas mediante un análisis estadístico aplicando un diseño experimental de un solo factor a través de ANOVA y Prueba de comparación múltiple de Tukey a un nivel de confianza del 95%, tomando como criterio aquellas mezclas que presentaron características farinográficas similares con la muestra testigo Harina de Trigo como tiempo de desarrollo adecuado (>5.32 minutos), buena estabilidad (>9.16 minutos) y bajo índice de tolerancia (<48 FE), siendo ésta: la

formulaciones 6 (Harina de trigo 90% + harina de Quinua 10%), la que más se asemeja a la harina de trigo la cual es la ideal para la industria de la panificación.

- Según los estudios reológicos realizados a las formulaciones podemos precisar que de todas la que más se asemeja a las características reológicas de la harina de trigo: Farinografía (consistencia 535 FE, tiempo de desarrollo 2.26 min, Estabilidad: 10.51 min, índice de tolerancia: 14 FE.), Amilografía (inicio de gelatinización: 63.4°C, temperatura de gelatinización: 90.6 °C y gelatinización máxima: 1530 AU) y extensográfico (Extensibilidad: 117 mm, Resistencia a la extensión: 1182 BU y Máximo 1307 BU), siendo la formulación 6 Farinografía (consistencia 572 FE, tiempo de desarrollo 5.04 min, Estabilidad: 7.25 min, índice de tolerancia: 61 FE.), Amilografía (inicio de gelatinización: 61°C, temperatura de gelatinización: 91 °C y gelatinización máxima: 1528 AU) y Extensografico (Extensibilidad: 109 mm, Resistencia a la extensión: 946 BU y Máximo 1062 BU) la que tiene mejores resultados, pero también podemos decir que la formulaciones 1 y 5 están cercanas a los valores reológicos de la harina de trigo.
- Los estudios reológicos hechos a las formulaciones nos permite decir que todas son aptas para ser usadas en la industria de la panificación y ser consideradas harinas fuertes de alta calidad nutricional, lo cual podemos proponer para la elaboración de panes, panes de molde, bizcochos, panetones, etc, ya que la calidad de estas harinas cumplen con los estándares para poder desarrollar una masa de alta resistencia leudante.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- **Se recomienda la adición de enzimas y mejoradores en las mezclas de harinas de cebada, maíz, quinua, arveja, y trigo puesto que mejoraría las características reológicas de las masas para la industria de la panificación e incluso se podría aumentar los porcentajes de sustitución de los cereales y leguminosas nacionales.**
- **Para los análisis farinográficos, amilográficos y extensográficos es importante determinar el contenido de humedad de las muestras de harinas antes de cada prueba con la finalidad de obtener los resultados más precisos y confiables.**
- **Se recomienda a la industria molinera utilizar mezclas de harinas puesto que se reduciría la importación de trigo, se reactivaría la agroindustria con el cultivo de cereales y leguminosas proporcionando más fuentes de ingreso a los agricultores, de esta manera se atenuaría los costos de producción en la elaboración de productos de panificación.**
- **Se recomienda realizar un buen pesado de los insumos antes de elaborar el pan de molde de acuerdo a los porcentajes para cada formulación de tal manera que no puedan variar los resultados, con los porcentajes deseados.**

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, e. y Rodríguez, G., (1997), "Industria de cereales Y Panificación", Universidad Nacional del Santa. Departamento Académico de Agroindustria, Única Edición, Chimbote – Perú.
- Alvarez y Tusa. (2009), "Elaboración de pan dulce Precocido Enriquecido con Harina de Quinoa (*chenopodium quinoa* W.)". Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.
- Álvarez Burbano Zulma Fernanda y Enrique Rolando Tusa Manzo, (2009).Elaboración De Pan Dulce Precocido Enriquecido Con Harina De Quinoa (*Chenopodium Quinoa* W.).
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica, Primera Edición, Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- ARQUEROS, V. 2009. "Cómo optimizar el Control de Calidad de Pastas: Materias Primas y Producto Terminado". GRANOTEC Argentina.
- BENION E. 1970. "Fabricación del Pan". Editorial Acribia. Zaragoza-España. Págs: 340-348.
- BILIADERIS, C.G. 1992. "Structures and phase transitions of starch in food systems". Food Technology. Vol 46, No. 6, Págs: 98-109,145.
- BRANDT, K., LÜCK, L., BERGAMO P., WHITLEY, A. AND VELIMIROV A. 2005. "Transformación del Trigo en Pan. Control de la Calidad y Seguridad en las Cadenas de Producción Orgánica". Research Institute of Organic Agriculture FiBL, CH-5070 Frick, Switzarland.
- CALAVERAS, J. 1996. "Tratado de Panificación y Bollería". Madrid Vicente Ediciones. Primera edición. Madrid-España. Págs: 318-389.

- CALVO, A., ITURRIZAGA S., SALAS R., NYSTROM J. 2001. "Fideos Imperial enriquecidos con kiwicha" Universidad del Pacífico. Perú. Págs: 28-32.
- CARCELLER, J.L., AND T. AUSSENAC. 1999. "Accumulation and changes in molecular size distribution of polymeric proteins in developing grains of hexaploid wheats: role of the desiccation phase". Aust. J. Plant Physiol. 26 Págs: 301-310.
- CAUVIN, S. Y YOUNG, L. 1998. "Fabricación del Pan". Editorial Acribia. Zaragoza-España. Págs: 4-10, 333-337.
- MORALES, VILLAGRÁN. 1978. "Optimización de mezclas farinológicas de maíz y trigo en panificación". Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos. Págs: 26-27.
- MULLER H. 1973. "Introducción a la Reología de los Alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza-España. Págs: 119-145.
- NAVAS, G. 2009. "Análisis para la Implementación de una línea de panificación en Industrias Catedral S.A, con la finalidad de asegurar la estabilidad laboral de sus empleados y trabajadores". Informe de Pasantía previa a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos. FCIAL. UTA. Ambato-Ecuador. Págs: 3-4.
- Osuna y Montenegro, (2006). "Elaboracion de pan fortificado con Acidos Grasos Omega 3 y 6". Facultad de Agroindustria. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina
- Peñasco, Francisco Tejero. (1999). "Asesoría técnica en panificación". Madrid –España.
- Quaglia, G.(1991). "Ciencia y Tecnología de la panificación", 2da Edición, Editorial Acribia. España.



- Repo-carrasco, r. (1991). Contenido de aminoácidos en algunos granos andinos. En: Avances en Alimentos y Nutrición Humana. Programa de Alimentos Enriquecidos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Publicacion 01/91.
- Ribotta, p.; Morcillo, M. y León, A.( 1999). "Efecto de distintos oxidantes sobre la calidad de panes elaborados por el método tradicional argentino". Trabajo de Investigación. Química Biológica. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Rojas, w., m. pinto y jl. soto.( 2010). Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos. In: W. Rojas, M. Pinto, JL. Soto, M. Jagger y S. Padulosi (eds). Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. Pp 11- 23.
- Ruales, j. y b.m. nair. (1992). Effect of processing on the digestibility of protein and availability of starch in quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) seeds. Department of Applied Nutrition, University of Lund, Sweeden. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 23 p.
- Sancho, J. (2002). Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Primera Edición, Editorial Alfaomega, México.
- Stanley, d. (1998). Protein reactions during extrusion processing. In: Extrusion Cooking. C. Mercier, P Linko and J. M. Harper, eds. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN, pp 321-324.
- Stojceska, v.; Butlesr, f.; Gallagher, e.; keehan, d. a, (2007). Comparison rheological measurements of wheat dough to predict baking ehavior. Journal of the Food Engineering, v. 83, p. 475-482.
- Tapia mario.et. al.(1979). La Quinua y la kañiwua, Cultivos Andinos. Primera Edición. Bogotá Colombia. Editora IICA.

- Tapia mario.et. al. (1997).La Quinoa y la kañiwua, Cultivos Andinos. Tercera Edición.Bogotá Colombia. Editora IICA.

#### PAGINAS DE INTERNET

- AGROPANORAMA. 2010. "Producción Mundial de Trigo 2009/10". Disponible en <http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Trigo.htm>
- ASITEC. S.A. 2009. "Enzimas: Xilanasas" Disponible en <http://www.asitec.cl/productos.swf>
- ASOCIACIÓN ARGENTINA PRO TRIGO. 1996. "Parámetros de Calidad". Disponible en [http://www.aaprotrigo.org/calidad%20panadera/parametros\\_calidad.htm](http://www.aaprotrigo.org/calidad%20panadera/parametros_calidad.htm)
- BOTANICAL. 1999a. "Los Cereales". Disponible en <http://www.botanical-online.com/cereales.htm>
- BOTANICAL. 1999b. "Clases o Tipos de Pan". Disponible en <http://www.botanical-online.com/clasesdepan.htm>
- BORNEO, R. 2008. "Ciencia y Tecnología de los Cereales. Cereales en el mundo: Cebada". Disponible en <http://cytcereales.blogspot.com/>
- CAZAR P., ALAVA H. 2004. "Producción y Comercialización de Quinoa en el Ecuador". Disponible en <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/712/1/1312.pdf>
- CONSULTORES CEREALISTAS. 2007. "Alveógrafo NG". Disponible en <http://www.concereal.com/es/productos/alveoconsisto.htm>
- CONSUMER EROSKI. 2009. "Harina de maíz". Disponible en <http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/guia-alimentos/cereales-y-derivados/2001/04/10/35013.php>
- DIARIO CORREO. 2006. "Quinoa: Nutritiva opción para balancear la dieta". Disponible en <http://www.diariocorreo.com.ec/archivo/2006/07/07/quinoa-nutritiva-opcin-para-balancear-dieta>
- DIARIO HOY. 2007. "Producción de trigo no cubre la demanda local" Disponible en <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/produccion-de-trigo-no-cubre-la-demanda-local-279914-279914.html>

- DIARIO HOY. 2009. "Cebada: cultivos son aun incipientes". Disponible <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/cebada-cultivos-son-aun-incipientes-371429.html>
- DIARIO LOS ANDES. 2009. "Investigaciones para mejorar cultivo de cebada". Disponible en [http://www.diariolosandes.com.ec/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=14018](http://www.diariolosandes.com.ec/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=14018)
- DOBLES, C., ZÚÑIGA, M. Y GARCÍA, J. 1998. Investigación en educación: procesos, interacciones y construcciones. San José: EUNED. Disponible en <http://www.cidse.itcr.ac.cr/revistamate/ContribucionesV4n22003/meza/pag1.html>
- EL COMERCIO. 2008. "Pan hecho con harina de papa será distribuido a 190.000 niños". Disponible en <http://elcomercio.pe/edicionimpresa/html/2008-03-16/pan-hecho-harina-papa-distribuido-190000-ninos.html>
- FAO. 2003. CARLOS NIETO & ROBERTO VALDIVIA. "Capítulo IX. Postcosecha, Transformación y Agroindustria". Disponible en <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/cap9.htm>
- FEED W. 2009. "Quinoa. Productos con energía vital". Disponible en <http://www.quinoaorganica.com/paginasInternas/biosfera-quinoa.htm>
- FERNÁNDEZ J. 2004. "Propiedades y Reología de Alimentos". Universidad de Almería. España. Disponible en <http://www.ual.es/~jfernand/TA/Tema4/Tema4-PropiedadesFisicasyReologia.pdf>

## VIII. ANEXOS

### **ANEXO 1: Determinación Porcentaje de Humedad: Método Estufa**

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Pese La placa Petri vacía y anote el peso
2. Pese 3 - 4 g de la muestra en la balanza analítica. Registre hasta centésimas.
3. Ponga a secar las muestras en el horno a 110°C hasta que alcance un peso constante.
4. Saque la muestra del horno y póngala a enfriar en un desecador durante 10 minutos.
5. Pese las muestras secas si es posible hasta peso constante, regresándolas 10 minutos al horno y enfriando nuevamente.
6. Calcule el contenido de humedad como el peso perdido de la muestra durante el secado según la siguiente fórmula:

$$\frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 = \% \text{ de Humedad}$$

En donde:

P<sub>i</sub> = Peso inicial

P<sub>f</sub> = Peso final

### **ANEXO 2: Determinación de porcentaje de Cenizas**

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Ponga a peso constante un crisol o cápsula de porcelana por cada muestra que se va a analizar, lo cual significa dejarlo durante 15 minutos en la mufla a una temperatura de 550° a 600°C.
2. Deje enfriar el crisol en un desecador durante 15 a 20 minutos. Procure no cerrar el desecador totalmente, ya que el calor de los crisoles puede provocar que la tapa se proyecte y se rompa.
3. Pese el crisol en balanza analítica e identifíquelo con el número que tiene marcado en la parte inferior. Anote el peso.
4. Pese en el crisol 3 gramos de la muestra. Registre el peso exacto.
5. Pre incinere la muestra exponiéndola a la flama del mechero de Bunsen

6. Incinere la muestra en la mufla precalentada entre 550° y 600°C durante 4 horas.
7. Pese el crisol con cenizas (ya no deben estar negras, si lo están incinere otra media hora) en la misma balanza que utilizó inicialmente. Anote el peso.

$$\frac{\text{Peso de crisol con muestra} - \text{Peso crisol vacío}}{\text{Peso de Muestra}}$$

$$\frac{\text{Peso de crisol con ceniza} - \text{Peso crisol vacío}}{\text{Peso de Ceniza}}$$

$$\frac{\text{Peso de la ceniza}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 = \% \text{ de Ceniza}$$

### **ANEXO 3: Determinación de porcentaje de Grasa**

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Secar la muestra en una estufa, con el propósito de eliminar el contenido de agua presente en esta.
2. Pesar 3 g de muestra finamente dividida en el cartucho o dedal; cubrir con una porción de algodón.
3. Colocar el cartucho dentro del extractor Soxhlet.
4. Pesar los vasos.
5. Añadir 45 ml del solvente a los vasos y colocar en el equipo.
6. Programar el equipo los parámetros de tiempo y temperatura, teniendo en consideración el tipo de solvente a utilizar.
7. Hacer circular el agua por el refrigerante y calentar hasta que se obtenga una frecuencia de unas 2 gotas por segundo.
8. Efectuar la extracción durante 90 min (el equipo detendrá el análisis a lo programado).
9. Colocar los vasos en una estufa por unos 20 min a 100 °C para eliminar el solvente que pueda quedar.
10. Enfriar los vasos en una campana y proceder a pesar y realizar los cálculos.

$$\frac{\text{Peso del vaso con grasa} - \text{peso del vaso vacío}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

*= % de Grasa*

#### **ANEXO 4: Análisis Farinográfico**

**PROCEDIMIENTO:** Para la realización de esta experiencia realizaremos el método normado por la firma BRABENDER o método AACC.

- Calibrar el sistema del equipo a las condiciones del método (a una temperatura de 30°C)
- Calibrar el sistema de pesado interno del equipo BRABENDER (dosificador de agua).
- Medir humedad de la muestra para ser ingresado al momento de hacer la programación en el software.
- Pesar 300 gr. de muestra (harina o mezcla), colocar en el Mixer.
- La mezcla se realizará automáticamente.
- La dosificación del agua se realizará y calculará por medio del software del equipo, lo cual se nos indicara en el ordenador (computadora), el agua a dosificar estará a una temperatura de 30 °C.
- Registro de resultados y construcción de los gráficos en el ordenador.

#### **ANEXO 5: Análisis Extensográfico**

**PROCEDIMIENTO:** Para la realización de esta experiencia se utilizara el método normado por la firma BRABENDER o método AACC.

- Para la realización de esta experiencia se utilizara el método normado por la firma BRABENDER o método AACC.
- Calibrar el sistema del equipo a las condiciones del método (a una temperatura de 30°C)
- Pesar 300 gr. De muestra (harina o mezclas), colocar en el Mixer.
- Calcular el contenido de agua con respecto al 65% del total de la muestra
- Pesar 6 gramos (2%) de la muestra total
- La mezcla se realizará automáticamente.
- Programar el método para tomar 3 lecturas a los 30 min, 60 min y 90 min.
- Registro de resultados

## **ANEXO 6: Análisis Amilográfico**

**PROCEDIMIENTO:** Viscoamilografía corresponde al método oficial de la AACC.

- Medir 450 ml de agua destilada mediante una pera graduada.
- Determinar la humedad de la muestra de harina o mezcla a usar en el ensayo.
- Pesar 80 gr de la muestra de harina o mezcla.
- Colocar la harina dentro de un matraz y verter agua de la pera gradualmente y agitar constantemente hasta solubilizar (evitar la formación de grumos) y obtener una mezcla homogénea. Dejar una porción de agua en la pera.
- Una vez obtenida la solución homogénea, incorporar al cilindro de calentamiento y el sobrante en el matraz realizar un enjuague con la porción de agua sobrante en la pera e incorporar todo al cilindro.
- Introducir el agitador dentro del cilindro e iniciar el proceso de calentamiento.
- Las condiciones iniciales del proceso son:  
Temperatura: 20°C; Velocidad de calentamiento: 1.5°C/min.
- Al finalizar la prueba se registra la curva y la tabla de los resultados del proceso: Unidades Brabender (UA), Temperatura (°C) y Tiempo (min).



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

## **II. CONTENIDO DEL RESUMEN**

### **2.1 PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **2.1.1 Objetivo de la Investigación:**

El estudio determinará las características fisicoquímica, nutricionales y reológicas de las mezclas de harinas de cereales y leguminosa que nos permita identificar su comportamiento y que alternativa de uso podríamos darle en la industria de panificación.

#### **2.1.2 Formulación del Problema:**

¿Cómo inciden las características fisicoquímica, nutricionales y reológicas en las mezclas de harinas de cereales y leguminosa que nos permita identificar su comportamiento y que alternativa de uso podríamos darle en la industria de panificación?

### **2.2 OBJETIVOS**

#### **2.2.1 Objetivo General:**

- Estudiar las características fisicoquímicas, nutricionales y reológicas de las mezclas de harinas de cereales y leguminosa para orientar su uso.

#### **2.2.2 Objetivos Específicos:**

- Realizar análisis farinográficos: absorción de agua, desarrollo máximo de las masas, estabilidad al amasado, índice de tolerancia de las masas a través del uso del farinógrafo Brabender.





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

**I. DATOS GENERALES (PRE GRADO)**

**1.1 UNIVERSIDAD:**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

**1.2 ESCUELA O CARRERA PROFESIONAL:**

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**1.3 TITULO DE TRABAJO:**

"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS,  
NUTRICIONALES Y REOLÓGICAS DE LAS MEZCLAS DE HARINAS DE  
CEREALES Y LEGUMINOSA"

**1.4 AREA DE INVESTIGACIÓN:**

EXPERIMENTAL Y APLICADA

**1.5 AUTORES:**

DNI: 44721017 Bach. LOLI JAEN NIELS PAUL

DNI: 44977596 Bach. VÁSQUEZ LOZANO CYNTHIA KAREN

**1.6 TITULO PROFESIONAL AL QUE CONDUCE:**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

**1.7 AÑO DE APROBACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN:**

2015



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

- Analizar las propiedades de tenacidad, extensibilidad y fuerza de las masas elaboradas a partir de las mejores mezclas de harinas.
- Sugerir la aplicación de harinas de cereales y leguminosas en la elaboración de productos

### **2.3 HIPÓTESIS**

Las mezclas de harinas de cereales y leguminosa presentan características fisicoquímicas, nutricionales y reológicas adecuadas para orientar su uso en la industria.

### **2.4 MARCO TEÓRICO**

#### **CEREALES Y LEGUMINOSA**

Los granos de cereales han sido y siguen siendo importantes fuentes de carbohidratos, proteínas, vitaminas del complejo B y minerales en la dieta mundial. Los cereales más utilizados son: trigo (*Triticum aestivum L.*), arroz (*Oryza sativa L.*), maíz (*Zea mays L.*), mijo (*Panicum miliaceum L.*), sorgo (*Sorghum bicolor L.*), cebada (*Hordeum vulgare L.*), centeno (*Sécale cereale L.*) y avena (*Avena sativa L.*) (Roderuck y Fox, 1987).

En una alimentación adecuada, cuando los cereales representan entre el 50 y 66 % de los alimentos consumidos, se obtienen fuentes de vitamina C, vitamina A (o sus precursores, los carotenoides) y minerales para adultos, y alimentos ricos en proteínas para el crecimiento de los niños (Roderuck y Fox, 1987).

La calidad nutricional de los cereales es un componente integral de los alimentos, ya que representan el mayor componente de los alimentos mundiales. La calidad nutritiva de los granos de cereales está determinada por



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

sus componentes principales, los carbohidratos, proteínas y lípidos, y la digestibilidad total (Bhatia y Rabson, 1987).

Para todas las proteínas de cereales, que son mezclas compuestas de varias clases de proteínas, la lisina es el primer aminoácido limitante seguido por treonina en la mayoría de los cereales y el triptófano en el maíz (Bhatia y Rabson, 1987).

**a. Maíz (*Zea mays L.*)**

El maíz ha sido, desde hace muchos años, uno de los productos más importantes en la dieta latinoamericana (Estévez et al., 2003). En cuanto a la alimentación humana, el maíz es el tercer cereal en importancia, después del trigo y el arroz; sin embargo, posee un contenido proteínico relativamente bajo y una composición de aminoácidos esenciales desfavorable (Gutiérrez et al., 2008).

Es generalmente conocido que el maíz normal tiene un elevado contenido de carbohidratos (73 %), mientras que el contenido de proteínas es significativamente menor (7 al 9 %), con un bajo nivel de aminoácidos indispensables principalmente la lisina con 1.6 % y triptófano con 0.47 % necesarios para el desarrollo humano; mientras que el maíz de alta calidad proteínica (QPM) contiene en promedio 3.1 % de lisina y 1 % de triptófano (Pérez-Navarrete et al., 2006).

**b. Trigo (*Triticum aestivum L.*)**

El trigo es uno de los principales cereales en la dieta de una enorme parte de la población mundial y, por lo tanto, puede suponer una importante contribución a una dieta de alta calidad nutritiva y a la salud humana. Es



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

conocido el efecto benéfico del salvado de trigo para mejorar la regularidad intestinal e impedir el estreñimiento. Además se han realizado abundantes investigaciones sobre su efecto protector contra el cáncer de colon y de mama (Chao et al., 2000).

La fibra insoluble, como la del salvado de trigo, es resistente a la fermentación por las bacterias del colon e incrementa el volumen fecal mediante la retención de agua (Cummings et al., 1976; Stephen y Cummings, 1980).

Hay varias sustancias fitoquímicas presentes en el trigo integral que también pueden tener efectos beneficiosos para la salud (Chao et al., 2000).

Las proteínas del trigo tienen la capacidad de interactuar entre ellas y con otros componentes como los lípidos, para formar complejos de lipoproteínas viscoelásticas (gluten) (Feillet, 1984).

**c. Cebada (*Hordeum vulgare*)**

El cereal que más se germina en el mundo es la cebada (*Hordeum vulgare*) debido a que éste es el que más poder diastásico (actividad enzimática) produce una vez germinado, alcanzando una producción mundial de 142,8 millones de toneladas en el año 2008. El uso principal de la cebada es para la elaboración de cerveza y bebidas alcohólicas, pero también se la utiliza en la obtención de maltas para panificación y otros usos alimentarios. Otra forma de consumir cebada es a través de su harina. (Borneo R., 2008).

Tiene más proteína que el trigo, pero tiene mucho menos gluten. Por esta razón los panes de cebada son más compactos y menos esponjosos. La mezcla que se hace en muchas regiones con harina de trigo, resulta muy benéfica: la cebada aporta su mayor riqueza en lisina (aminoácido limitante



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

en el trigo), con lo cual el pan gana en valor proteico y la textura se hace más liviana. (Palmetti N., 2006)

La cebada es muy buena fuente de inositol, que evita la rigidez de los capilares, regula el colesterol, protege el sistema nervioso; además posee vitaminas del grupo B, ácido fólico, colina y vitamina K. En materia de minerales, la cebada es buena fuente de potasio, magnesio y fósforo, pero su mayor virtud es la riqueza en oligoelementos: hierro, azufre, cobre, cinc, manganeso, cromo, selenio, yodo y molibdeno. Además, la cebada es el cereal mejor dotado de fibra (17%) y sobre todo en materia de fibra soluble (betaglucanos). Esto la convierte en alimento ideal para estados carenciales y para el proceso de crecimiento. (Palmetti N., 2006)

**d. Arveja (*Pisum sativum*)**

La arveja pertenece a la familia de las leguminosas, al igual que el fríjol, el garbanzo y la lenteja. La arveja es muy apreciada y valorada por su calidad nutricional y el aporte a la salud de los consumidores. Se consume fresca o verde y también en estado seco. (Nutrinet, 2009)

Las arvejas contienen minerales como hierro, fósforo, magnesio, zinc y potasio. Unos 150 g de arvejas cubren aproximadamente la cuarta parte de las necesidades diarias de hierro, la quinta de las de fósforo y la sexta de las de magnesio. También son ricas en proteínas y carbohidratos, bajas en grasa y constituyen una buena fuente de fibra, vitaminas A, B y C; cuando se consumen frescas o refrigeradas, suministran tiamina y hierro. La fibra de la arveja es soluble en agua, promueven el buen funcionamiento intestinal y ayudan a eliminar las grasas saturadas. Además, la arveja proporciona energía que hace permanecer más tiempo la glucosa en la sangre. En su



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

estado fresco es tal vez el vegetal más rico en tiamina (vitamina B1), esencial para la producción de energía, la función nerviosa y el metabolismo de los carbohidratos. **(Petryk N., 2009)**

#### **e. Quinua**

La quinua contiene principalmente la maltosa, disacárido encontrado como principal azúcar en la quinua integral, posibilita el proceso de malteado para la elaboración de productos especiales (bebidas y productos que involucran procesos fermentativos).

Con respecto a su valor nutricional, comparado con el arroz blanco, el grano de quinua tiene aproximadamente el doble de proteína, seis veces la cantidad de fibra dietaria y calcio, y cerca de seis veces el valor de sodio y potasio, el alto contenido de fibra dietaria de 9.6% +/- 0.1 tiene importancia relacionada con su indigestibilidad en el intestino delgado. **(Petryk N., 2009)**

### **HARINAS DE CEREALES**

La elaboración de las harinas ha ido cambiando según la tecnología ha evolucionado. En un principio se trituraba el grano del cereal entero con su cubierta. Hoy, sin embargo, se ha convertido en un complejo proceso mecánico que origina un producto en forma de fino polvo homogéneo, blanco, o casi blanco, según la clase de cereal molido.

Desgraciadamente en este proceso de molienda o trituración de los granos de cereales se eliminan las diferentes capas externas y el germen del embrión del grano, que es donde se encuentra localizada la mayor parte de los componentes vitamínicos, minerales y fibra natural. Esto provoca que solo se aproveche la parte interna del grano, desperdiciándose entre un 15% hasta un



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

40% del resto del cereal disminuyendo con esta trituración el valor nutricional y las principales propiedades vitamínicas de los cereales.

### ***Nutrientes principales de las harinas***

Los principales nutrientes de las harinas de los cereales son el almidón (carbohidratos) y el gluten (proteína), con un contenido promedio del 75% y el 9% respectivamente, quedando las vitaminas y los minerales con un valor inferior. Las grasas de los cereales están entre 1,5% y un 5%. Como excepción están el arroz y el maíz pues no contienen gluten, por lo que sus harinas se utilizan para personas con la enfermedad celiaca.

### **MEZCLAS DE CEREALES**

El consumo de cereales y leguminosas en un solo alimento aumenta la calidad de la proteína consumida gracias a la complementación aminoacídica que se produce. Los cereales representan una importante fuente de aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y sus niveles son adecuados para compensar los bajos valores existentes en las leguminosas. Esta complementación no solo ocurre a nivel de proteína, sino también de vitaminas y minerales (**Granito et al., 2003**).

La utilización de ambas especies (cereales y leguminosas) en la dieta podría incrementarse si se desarrollan productos de fácil consumo y que sean sensorialmente atractivos (Almeida-Domínguez et al., 1990; Abd et al., 2000). El valor nutritivo de las proteínas de leguminosas y cereales está limitado por la deficiencia en algunos aminoácidos; por ello, algunas combinaciones de cereales con leguminosas pueden ser muy ventajosas desde un punto de vista nutricional (**Almeida-Domínguez et al., 1990**). Así las mezclas de proteínas de cereales que son deficientes en lisina pero con buen nivel de aminoácidos



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

azufrados pueden ser complementadas por las proteínas de la soya, las cuales son deficientes en aminoácidos azufrados y con buen nivel en lisina, lográndose mezclas proteicas con valores biológicos superiores a cualquiera de las fuentes utilizadas por separado, incluso a otras fuentes de proteínas tradicionales **(Apro et al., 2004)**.

### **REOLOGÍA DE MASAS**

La Reología puede definirse como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales causadas por la aplicación de un esfuerzo. El comportamiento reológico de los alimentos es muy complejo y a la vez desempeña un papel muy importante en muchos sistemas de proceso. **(Ramírez J., 2006)**

Varias son las razones para determinar las propiedades reológicas de alimentos: para el diseño de plantas, en el cálculo de operaciones básicas para transferencia de calor, masa, cantidad de movimiento y dimensiones de tuberías y válvulas. También se aprovechan para control instrumental de calidad del material crudo previo el procesamiento, de productos intermedios durante la manufactura, y de los productos finales después de la producción. Sirven para evaluar la calidad preferida por el consumidor por medio de correlaciones entre las medidas reológicas y pruebas sensoriales. Permiten elucidar la estructura o composición de alimentos y analizar los cambios estructurales que ocurren durante un proceso. **(Alvarado J., 1996)**

Las propiedades reológicas determinan el comportamiento de la masa de harina de harina de trigo durante el manejo mecánico, además de influencia en la calidad del producto final. Tener conocimiento del comportamiento reológico de





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

las masas y sus propiedades empieza a tomar importancia debido a la creciente automatización de la industria de la panificación (Launay, 1990).

***Cualidades elásticas de las Harinas:***

Las cualidades plásticas se caracterizan por el grado de elasticidad, tenacidad y flexibilidad de la masa. A menudo se emplea el término de fuerza para referirse al cuerpo de la masa, esta noción de fuerza panadera se utiliza para clasificar el trigo, ya que un trigo fuerte dará una harina de fuerza. (Rollin E., 1962)

Las propiedades plastoelásticas de la harina repercute sobre:

- ✓ La absorción de agua (rendimiento).
- ✓ La manejabilidad (masas gruesas y pegajosas)
- ✓ La tolerancia de la masa (facultad de soportar procesos de reposo muy prolongados).
- ✓ Las propiedades del gluten (determinan en gran manera las características plásticas).
- ✓ Las propiedades fermentativas (que varían en función de las cantidades que posea de azúcar simple, enzimas y de los gránulos de almidón dañado, ya que las enzimas las ataca fácilmente).

Para medir la calidad de la harina se ha desarrollado numerosos métodos, entre ellos:

**FARINOGRAFÍA**

Según Pantanelli (1996) el farinógrafo mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y la absorción del agua necesaria para alcanzar esta consistencia.

El farinógrafo genera una curva que reproduce en forma visual el conjunto de características de calidad de la harina. La curva aumenta hasta un máximo de



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

consistencia a medida que las proteínas de la harina se desdoblán en gluten y caen, puesto que pierden resistencia por el amasado continuo.

### **AMILOGRAFÍA**

Se realiza con el amilógrafo y mide de manera continua la resistencia a la agitación de una suspensión de harina-agua mientras se va elevando la temperatura a la velocidad constante de  $1,5^{\circ}\text{C} / \text{min}$  a partir de  $25^{\circ}\text{C}$  hasta  $95^{\circ}\text{C}$ . De esta forma se detectan los cambios de viscosidad del producto después de la gelatinización (a los  $60^{\circ}\text{C}$ ) del almidón, detectándose los cambios siguientes:

- Pérdida de birrefringencia
- Hinchamiento irreversible de los gránulos
- Liberación de amilosa
- Aumento rápido de la viscosidad

El valor del amilógrafo establece el efecto de la  $\alpha$ -amilasa durante el proceso de panificación. En definitiva el amilógrafo da información sobre la calidad del almidón y el contenido en enzimas de una harina.

### **EXTENSOGRAFÍA**

El extensógrafo mide la estabilidad de la masa y la resistencia que la misma opone durante el período de reposo.

Stanley y col. (1998) menciona que las únicas propiedades reológicas necesarias para un buen comportamiento durante la panificación parecen ser la extensibilidad y una viscosidad lo suficientemente grande.



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

## **2.5 CONCLUSIONES**

- La evaluación de las características fisicoquímicas, nutricionales y reológicas de harinas de cereales y leguminosas expandidas a granel en los mercados de Chimbote, donde las características de elasticidad, resistencia al amasado, extensibilidad, tenacidad, indicaron la factibilidad para su uso en la industria de la panificación.
- Se realizaron los análisis farinográficos en las mezclas de harinas mediante el farinógrafo Brabender correspondientes a: absorción de agua donde las formulaciones 1; 2 y 3 (58%) mientras que las formulaciones en el tiempo de desarrollo indico que la mayoría con valores menores a 3.5367 minutos como ocurrió con las formulaciones 1; 3; 4 y 5 y con formulaciones mayores a 3.5367 minutos como la 2 y 6 que necesitaron tiempos más prolongados para la formación de la masa, en estabilidad las formulaciones 1; 3 y 6 difieren unas de otras por lo que encontramos valores entre 5 -7,2 minutos se consideran harinas de calidad discretas a buenas, en cambio las formulaciones menores a 5 minutos se aprecian como harinas moderadamente débiles; como son las formulaciones 2; 4 y 5, finalmente el índice de tolerancia determinó que formulaciones con distintos tipos de índice de tolerancia siendo la más alta la formulación 5 con 163.733 FE y con la más baja tolerancia en la formulación 3 con 37.2333 FE, valores menores a 73 FE correspondientes a las formulaciones 1:2; 3 y 6 presentaron mayor tolerancia al amasado, mientras las demás manifestaron poca tolerancia al tratamiento mecánico.
- Las mejores mezclas de harinas de cereales y leguminosas fueron seleccionadas mediante un análisis estadístico aplicando un diseño experimental de un solo factor a través de ANOVA y Prueba de comparación



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

múltiple de Tukey a un nivel de confianza del 95%, tomando como criterio aquellas mezclas que presentaron características farinográficas similares con la muestra testigo Harina de Trigo como tiempo de desarrollo adecuado (>5.32 minutos), buena estabilidad (>9.16 minutos) y bajo índice de tolerancia (<48 FE), siendo ésta: la formulaciones 6 (Harina de trigo 90% + harina de Quinoa 10%), la que más se asemeja a la harina de trigo la cual es la ideal para la industria de la panificación.

- Según los estudios reológicos realizados a las formulaciones podemos precisar que de todas la que más se asemeja a las características reológicas de la harina de trigo: Farinografía (consistencia 535 FE, tiempo de desarrollo 2.26 min, Estabilidad: 10.51 min, índice de tolerancia: 14 FE.), Amilografía (inicio de gelatinización: 63.4°C, temperatura de gelatinización: 90.6 °C y gelatinización máxima: 1530 AU) y extensográfico (Extensibilidad: 117 mm, Resistencia a la extensión: 1182 BU y Máximo 1307 BU), siendo la formulación 6 Farinografía (consistencia 572 FE, tiempo de desarrollo 5.04 min, Estabilidad: 7.25 min, índice de tolerancia: 61 FE.), Amilografía (inicio de gelatinización: 61°C, temperatura de gelatinización: 91 °C y gelatinización máxima: 1528 AU) y Extensografico (Extensibilidad: 109 mm, Resistencia a la extensión: 946 BU y Máximo 1062 BU) la que tiene mejores resultados, pero también podemos decir que la formulaciones 1 y 5 están cercanas a los valores reológicos de la harina de trigo.



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

- Los estudios reológicos hechos a las formulaciones nos permite decir que todas son aptas para ser usadas en la industria de la panificación y ser consideradas harinas fuertes de alta calidad nutricional, lo cual podemos proponer para la elaboración de panes, panes de molde, bizcochos, panetones, etc, ya que la calidad de estas harinas cumplen con el valor

## **2.6 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la adición de enzimas y mejoradores en las mezclas de harinas de cebada, maíz, quinua, arveja, y trigo puesto que mejoraría las características reológicas de las masas para la industria de la panificación e incluso se podría aumentar los porcentajes de sustitución de los cereales y leguminosas nacionales.
- Para los análisis farinográficos, amilográficos y extensográficos es importante determinar el contenido de humedad de las muestras de harinas antes de cada prueba con la finalidad de obtener los resultados más precisos y confiables.
- Se recomienda a la industria molinera utilizar mezclas de harinas puesto que se reduciría la importación de trigo, se reactivaría la agroindustria con el cultivo de cereales y leguminosas proporcionando más fuentes de ingreso a los agricultores, de esta manera se atenuaría los costos de producción en la elaboración de productos de panificación.
- Se recomienda realizar un buen pesado de los insumos antes de elaborar el pan de molde de acuerdo a los porcentajes para cada formulación de tal manera que no puedan variar los resultados, con los porcentajes deseados.



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

## **2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aguirre, e. y Rodríguez, G., (1997), "Industria de cereales Y Panificación", Universidad Nacional del Santa. Departamento Académico de Agroindustria, Única Edición, Chimbote – Perú.
- Alvarez y Tusa. (2009), "Elaboración de pan dulce Precocido Enriquecido con Harina de Quinoa (chenopodium quinoa W.)". Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.
- Álvarez Burbano Zulma Fernanda y Enrique Rolando Tusa Manzo, (2009).Elaboración De Pan Dulce Precocido Enriquecido Con Harina De Quinoa (Chenopodium Quinoa W.).
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica, Primera Edición, Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- MORALES, VILLAGRÁN. 1978. "Optimización de mezclas farinológicas de maíz y trigo en panificación". Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos. Págs: 26-27.
- MULLER H. 1973. "Introducción a la Reología de los Alimentos". Editorial Acribia. Zaragoza-España. Págs: 119-145.

### **Páginas de Internet**

- AGROPANORAMA. 2010. "Producción Mundial de Trigo 2009/10". Disponible en <http://www.agropanorama.com/news/Produccion-Mundial-de-Trigo.htm>
- ASITEC. S.A. 2009. "Enzimas: Xilanasas" Disponible en <http://www.asitec.cl/productos.swf>
- BOTANICAL. 1999a. "Los Cereales". Disponible en <http://www.botanical-online.com/cereales.htm>