



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Estudio de la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum quitoense*) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana.

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Este trabajo es parte del Proyecto 21005270032. Programa de Fortalecimiento Institucional, que se ejecutó en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad.

Por: Wilma Maribel Llerena Silva

Tutor: Ing. Milton Ramos Ph.D.

AMBATO - ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

El presente trabajo: “Estudio de la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum quitoense*) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana”, desarrollado por la egresada Wilma Maribel Llerena Silva, contempla las orientaciones metodológicas de la investigación científica.

Que ha sido dirigida en todas sus partes, cumpliendo con las disposiciones por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Por lo expuesto:

Autorizo su presentación ante los organismos competentes para la sustentación del mismo.

.....
Ing. Milton Ramos Ph.D.

TUTOR PROYECTO

AUTORÍA

La responsabilidad del contenido del Proyecto de Investigación: “Estudio de la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum quitoense*) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana” corresponde exclusivamente a la Srta. Wilma Maribel Llerena Silva y es patrimonio intelectual de la Universidad Técnica de Ambato y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad.

.....
Srta. Wilma Maribel Llerena Silva

AUTORA PROYECTO

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el Proyecto de Investigación sobre el tema: “Estudio de la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum quitoense*) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana”, desarrollado por la egresada Wilma Maribel Llerena Silva, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

Para constancia, firman.

.....
Ing. Gladys Navas

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
Ing. Mirari Arancibia Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....
Ing. Liliana Acurio M. Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A dos seres maravillosos que con su cariño y ejemplo fueron uno de los pilares fundamentales en mi vida, aunque hoy no están junto a mí, viven en mi corazón, los quiero mucho mamita Clementina y papito Olmedo.

A la mujer que más admiro en este mundo Mariana Silva, eres mi madre, mi amiga y el faro que me guía en todo momento y en cada una de las decisiones y etapas de mi vida, gracias por todo lo que haces día a día por mí.

A mis tías Fanny, Teresa, Fabiola y Marina por su paciencia, cariño y sobre todo por ser mi hogar y mi familia, su apoyo incondicional es el impulso que me permite crecer cada día como persona y ser humano.

A mis primos que son los hermanos que la vida me obsequio, Fernando, Alexandra, David, Santiago, Hernán y Damián.

Con cariño

Wilma Maribel

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, por los conocimientos impartidos a través de todos y cada uno de los profesores que contribuyeron en mi formación profesional.

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP, en especial al Departamento de Nutrición y Calidad quienes permitieron la ejecución de este trabajo de investigación, gracias por todas las facilidades brindadas.

A la Ing. Beatriz Brito por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo.

Al Dr. Iván Samaniego por la confianza depositada en mí, por todo el tiempo dedicado al desarrollo de este trabajo y su apoyo incondicional, gracias por permitirme aprender de su experiencia y sobre todo por plasmar sus conocimientos en cada etapa de la investigación, que supo dirigirme.

Al Ing. Milton Ramos Ph.D. por ser parte de este proyecto, por su paciencia, y el soporte cognitivo aportado, por ser un gran profesional y ser humano.

Al Dr. Wilson Vásquez, director del Programa Nacional de Fruticultura del INIAP, por su apoyo económico para la ejecución de este proyecto.

Al Tglo. Bladimir Ortiz y al Dr. Armando Rubio, por su colaboración y sobre todo por brindarme su amistad.

A mis amigos, que son la familia que la vida nos permite escoger, gracias por formar parte de mi vida: Ely Vasconez, Cris Poveda, Johanna Aguiar, Gaby Pilco, Naty Panchi, Gladys Macas, Santy Pinto y Carlos Camino.

ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
Aprobación del tutor.....	ii
Autoría.....	iii
Aprobación del tribunal de grado.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice general.....	vii
Índice de tablas.....	xii
Índice de gráficos.....	xxiv
Índice de figuras.....	xxxii
Índice de anexos.....	xxxiv
Resumen.....	xxxv

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1. Tema.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.2.1. Contextualización.....	1
1.2.1.1. Contextualización macro.....	3
1.2.1.2. Contextualización meso.....	8
1.2.1.3. Contextualización micro.....	9
1.3. Análisis crítico.....	13
1.4. Prognosis.....	15
1.4.1. Formulación del problema.....	15
1.5. Interrogantes.....	15
1.6. Delimitación del objeto de investigación.....	16
1.7. Justificación.....	16
1.8. Objetivos.....	18
1.8.1. Objetivo general.....	18

1.8.2. Objetivos específicos	18
------------------------------------	----

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos	19
2.2. Fundamentación filosófica	23
2.2.1. Observación científica.....	23
2.3. Fundamentación teórica científica	23
2.3.1. Frutas tropicales y andinas	23
2.3.1.1. Arazá	23
2.3.1.2. Mora.....	24
2.3.1.3. Mortiño	26
2.3.1.4. Naranjilla	27
2.3.1.5. Tomate de árbol	28
2.3.1.6. Uvilla.....	29
2.3.2. Compuestos antioxidantes.....	30
2.3.3. Color	31
2.4. Fundamentación legal.....	31
2.5. Categorías fundamentales.....	33
2.5.1. Marco conceptual.....	34
2.5.1.1. Marco conceptual variable independiente	34
2.5.2. Marco conceptual variable dependiente.....	35
2.5.2.1. Compuestos antioxidantes	35
2.6. Hipótesis	39
2.6.1. Hipótesis nula	39
2.6.2. Hipótesis alternativa.....	39
2.7. Señalamiento de variables de la hipótesis.....	39
2.7.1. Variables independientes: color interno de las frutas.....	39
2.7.2. Variable dependiente: contenido de antioxidantes.....	39

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque	40
3.2. Modalidad básica de la investigación	40

3.2.1.	Investigación documental.....	40
3.2.2.	Investigación experimental.....	40
3.3.	Tipo de investigación	41
3.3.1.	Investigación exploratoria	41
3.3.2.	Investigación cuantitativa	41
3.4.	Población y muestra	41
3.4.1.	Población	41
3.4.2.	Muestra	41
3.5.	Procedimiento	42
3.5.1.	Fase 1. Caracterización de la fruta	42
3.5.1.1.	Caracterización física	42
3.5.1.2.	Caracterización química	43
3.5.2.	Fase 2. Preparación de muestra para análisis de antioxidantes.....	45
3.5.2.1.	Despulpado	45
3.5.2.2.	Liofilización.....	46
3.5.3.	Fase 3. Determinación de color interno	46
3.5.3.1.	Método de determinación del color interno.....	46
3.5.4.	Fase 4. Cuantificación de compuestos antioxidantes	48
3.5.4.1.	Método de determinación de antocianinas	48
3.5.4.2.	Método de determinación de carotenoides.....	50
3.5.4.3.	Método de determinación de polifenoles	52
3.5.4.4.	Método de determinación de vitamina C	54
3.5.5.	Fase 5. Análisis estadístico y construcción de modelos matemáticos ..	55
3.5.5.1.	Análisis estadístico	55
3.5.5.2.	Análisis de correlación.....	56
3.5.5.3.	Desarrollo de modelos matemáticos	56
3.6.	Operacionalización de variables	61

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Análisis de los resultados	63
4.1.1.	Resultados	63
4.1.1.1.	Arazá	63

4.1.1.2. Mora	92
4.1.1.3. Mortiño	119
4.1.1.4. Naranjilla	146
4.1.1.4.6. Tomate de árbol	173
4.1.1.6. Uvilla.....	203
4.2. Interpretación de resultados	231
4.3. Verificación de hipótesis	231

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	233
5.2. Recomendaciones	236

CAPÍTULO VI. LA PROPUESTA

6.1. Datos informativos	237
6.1.1. Título	237
6.1.2. Institución ejecutora	237
6.1.3. Beneficiarios	237
6.1.4. Ubicación	237
6.1.5. Tiempo estimado para la ejecución	237
6.1.5.1. Fecha de inicio	237
6.1.5.2. Fecha de culminación.....	238
6.1.6. Costo.....	238
6.2. Antecedentes de la propuesta	238
6.3. Justificación	239
6.4. Objetivos.....	240
6.4.1. Objetivo general.....	240
6.4.2. Objetivos específicos	241
6.5. Análisis de factibilidad.....	241
6.6. Fundamentación	241
6.7. Metodología. Modelo operativo.....	243
6.8. Administración	244
6.9. Previsión de la evaluación	245

CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. Bibliografía.....	246
----------------------	-----

ANEXOS

Anexos.....	258
-------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficios que aporta el consumo de arándano azul, frambuesas y tomate de árbol en la salud.....	3
Tabla 2. Frutas exóticas demandadas en el mercado europeo	7
Tabla 3. Compuestos antioxidantes: acción antioxidante y efectos secundarios.....	31
Tabla 4. Frutas tropicales y andinas seleccionadas para el estudio.....	42
Tabla 5. Matriz de resultados del análisis de correlación del contenido de antioxidantes en función del color en frutas tropicales y andinas	56
Tabla 6. Matriz de componentes multivariable	58
Tabla 7. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales	60
Tabla 8. Variable independiente: color interno de la fruta.....	61
Tabla 9. Variable dependiente: contenido de antioxidantes	62
Tabla 10. Caracterización física de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	63
Tabla 11. Caracterización química de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	64
Tabla 12. Rendimiento de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	65
Tabla 13. Coordenadas de color interno en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>): luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*	66
Tabla 14. Contenido de carotenoides totales en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	70
Tabla 15. Contenido polifenoles totales en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	73
Tabla 16. Contenido de vitamina C en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	75
Tabla 17. Contenido promedio de antioxidantes en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)...76	
Tabla 18. Matriz de componentes multivariable de carotenoides totales vs. Coordenadas de color de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	77
Tabla 19. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión para carotenoides totales estimado de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	79

Tabla 20. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para carotenoides totales vs. componentes de color de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	79
Tabla 21. Resultados del contenido de carotenoides totales (μg β -caroteno/g) predecidos utilizando el modelo matemático en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	80
Tabla 22. Comparación estadística de los resultados del análisis de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) y predecidos por el modelo en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	80
Tabla 23. Matriz de componentes multivariable de polifenoles totales vs. componentes de color en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	82
Tabla 24. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de polifenoles totales en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	84
Tabla 25. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para polifenoles totales vs. componentes de color en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	84
Tabla 26. Resultados del contenido de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos con el modelo matemático en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	85
Tabla 27. Comparación estadística de los resultados del análisis de polifenoles totales experimental (mg de ácido gálico/100g) y predecidos por el modelo en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	86
Tabla 28. Matriz de resultados de vitamina C vs. componentes de color en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	87
Tabla 29. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de vitamina C (mg/100g) en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	89
Tabla 30. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para vitamina C vs. componentes de color en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	89
Tabla 31. Resultados del contenido de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos con el modelo matemático en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	90
Tabla 32. Comparación estadística de los resultados del análisis de vitamina C experimental (mg de ácido ascórbico/100g) y predecidos por el modelo en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	90

Tabla 33. Caracterización física de mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	92
Tabla 34. Caracterización química de mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	93
Tabla 35. Rendimiento de mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	93
Tabla 36. Coordenadas de color interno en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013: luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*	94
Tabla 37. Contenido de antocianinas totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	97
Tabla 38. Contenido de polifenoles totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	101
Tabla 39. Contenido de vitamina C en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	102
Tabla 40. Contenido de promedio de antioxidantes en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	103
Tabla 41. Matriz de resultados de antocianinas totales vs. componentes de color en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	104
Tabla 42. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de antocianinas totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	105
Tabla 43. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para antocianinas totales vs. componentes de color de mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	106
Tabla 44. Resultados del contenido de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) predecidos con el modelo matemático en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	107
Tabla 45. Comparación estadística de los resultados del análisis de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) y predecidos por el modelo en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	107

Tabla 46. Matriz de resultados de polifenoles totales vs. componentes de color en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	109
Tabla 47. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de polifenoles totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	111
Tabla 48. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para polifenoles totales vs. componentes de color en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	111
Tabla 49. Resultados del contenido de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos con el modelo matemático en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	112
Tabla 50. Comparación estadística de los resultados del análisis de polifenoles totales experimental (mg de ácido gálico/100g) y predecidos por el modelo en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	113
Tabla 51. Matriz de resultados de vitamina C vs. componentes de color en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	114
Tabla 52. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	116
Tabla 53. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para vitamina C vs. componentes de color en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	116
Tabla 54. Resultados del contenido de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos con el modelo matemático en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	117
Tabla 55. Comparación estadística de los resultados del análisis de vitamina C experimental (mg/100g) y predecidos por el modelo en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	119
Tabla 56. Caracterización física de mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)...	119
Tabla 57. Caracterización química de mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	120
Tabla 58. Rendimiento de mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	121

Tabla 59. Coordenadas de color interno en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth): luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*.....	121
Tabla 60. Contenido de antocianinas totales en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	124
Tabla 61. Contenido de polifenoles totales mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	128
Tabla 62. Contenido de vitamina C en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	129
Tabla 63. Contenido promedio de antioxidantes en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	130
Tabla 64. Matriz de resultados de antocianinas totales vs. componentes de color en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	131
Tabla 65. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de antocianinas totales en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	132
Tabla 66. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para antocianinas totales vs. componentes de color de mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	133
Tabla 67. Resultados del contenido de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) predecidos con el modelo matemático en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	134
Tabla 68. Comparación estadística de los resultados del análisis de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) y predecidos por el modelo en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).	134
Tabla 69. Matriz de resultados de polifenoles totales vs. componentes de color en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	136
Tabla 70. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de polifenoles totales en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)....	138
Tabla 71. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para polifenoles totales vs. componentes de color en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	138

Tabla 72. Resultados del contenido de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos con el modelo matemático en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	139
Tabla 73. Comparación estadística de los resultados del análisis de polifenoles totales experimental (mg de ácido gálico/100g) y predecidos por el modelo en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	139
Tabla 74. Matriz de resultados de vitamina C vs. componentes de color en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	141
Tabla 75. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	143
Tabla 76. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para vitamina C vs. componentes de color mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	143
Tabla 77. Resultados del contenido de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos con el modelo matemático en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	144
Tabla 78. Comparación estadística de los resultados del análisis de vitamina C experimental (mg/100g) y predecidos por el modelo en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	144
Tabla 79. Caracterización física de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	146
Tabla 80. Caracterización química de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	147
Tabla 81. Rendimiento de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	147
Tabla 82. Coordenadas de color interno en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009: luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*.....	148
Tabla 83. Contenido de carotenoides totales en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	152
Tabla 84. Contenido de polifenoles totales en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	155

Tabla 85. Contenido de vitamina C en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	157
Tabla 86. Contenido promedio de antioxidantes en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	157
Tabla 87. Matriz de componentes multivariable de carotenoides totales vs. coordenadas de color de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	158
Tabla 88. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión para carotenoides totales estimado de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	160
Tabla 89. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para carotenoides totales vs. componentes de color de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	160
Tabla 90. Resultados del contenido de carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$) predecidos utilizando el modelo matemático en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	162
Tabla 91. Comparación estadística de los resultados del análisis de carotenoides totales (μg de β -caroteno/ g) y predecidos por el modelo en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	162
Tabla 92. Matriz de componentes multivariable de polifenoles totales vs. componentes de color de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	163
Tabla 93. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de polifenoles totales en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	165
Tabla 94. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para polifenoles totales vs. componentes de color en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	165
Tabla 95. Resultados del contenido de polifenoles totales (mg de ácido gálico/ 100g) predecidos con el modelo matemático en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	167

Tabla 96. Comparación estadística de los resultados del análisis de polifenoles totales experimental (mg de ácido gálico/100g) y predecidos por el modelo en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.), variedad Iniap Quitoense 2009	167
Tabla 97. Matriz de resultados de vitamina C vs. componentes de color en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	168
Tabla 98. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de vitamina C (mg/100g) en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	170
Tabla 99. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para vitamina C vs. componentes de color en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	170
Tabla 100. Resultados del contenido de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos con el modelo matemático en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	171
Tabla 101. Comparación estadística de los resultados del análisis de vitamina C experimental (mg de ácido ascórbico/100g) y predecidos por el modelo en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	173
Tabla 102. Caracterización física de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante	173
Tabla 103. Caracterización química de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante	174
Tabla 104. Rendimiento de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	175
Tabla 105. Coordenadas de color interno de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante: luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*	176
Tabla 106. Contenido de carotenoides totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante.	180
Tabla 107. Contenido de polifenoles totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante	183
Tabla 108. Contenido de vitamina C en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante en base seca	185

Tabla 109. Contenido de promedio de antioxidantes en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante	186
Tabla 110. Matriz de resultados de carotenoides totales vs. componentes de color en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	186
Tabla 111. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de carotenoides totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	188
Tabla 112. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para carotenoides totales vs. componentes de color de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	189
Tabla 113. Resultados del contenido de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos con el modelo matemático en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	190
Tabla 114. Comparación estadística de los resultados del análisis de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) y predecidos por el modelo en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	190
Tabla 115. Matriz de resultados de polifenoles totales vs. componentes de color en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante..	192
Tabla 116. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de polifenoles totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	194
Tabla 117. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para polifenoles totales vs. componentes de color en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	195
Tabla 118. Resultados del contenido de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos con el modelo matemático en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	195
Tabla 119. Comparación estadística de los resultados del análisis de polifenoles totales experimental (mg de ácido gálico/100g) y predecidos por el modelo en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	197

Tabla 120. Matriz de resultados de vitamina C vs. componentes de color en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	198
Tabla 121. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de vitamina C en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	199
Tabla 122. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para vitamina C vs. componentes de color en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	200
Tabla 123. Resultados del contenido de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos con el modelo matemático en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	201
Tabla 124. Comparación estadística de los resultados del análisis de vitamina C experimental (mg ácido ascórbico/100g) y predecidos por el modelo en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	201
Tabla 125. Caracterización física de uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	203
Tabla 126. Caracterización química de uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	204
Tabla 127. Rendimiento de uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	204
Tabla 128. Coordenadas de color interno en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana: luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*	206
Tabla 129. Contenido de carotenoides totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	209
Tabla 130. Contenido de polifenoles totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	212
Tabla 131. Contenido de vitamina C en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	214
Tabla 132. Contenido de promedio de antioxidantes en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	214

Tabla 133. Matriz de resultados de carotenoides totales vs. componentes de color en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	215
Tabla 134. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de carotenoides totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	217
Tabla 135. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para carotenoides totales vs. componentes de color de uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	218
Tabla 136. Resultados del contenido de carotenoides totales (μg β -caroteno/g) predecidos con el modelo matemático en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	218
Tabla 137. Comparación estadística de los resultados del análisis de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) y predecidos por el modelo en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	220
Tabla 138. Matriz de resultados de polifenoles totales vs. componentes de color en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	221
Tabla 139. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de polifenoles totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	222
Tabla 140. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para polifenoles totales vs. componentes de color uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	223
Tabla 141. Resultados del contenido de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos con el modelo matemático en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	224
Tabla 142. Comparación estadística de los resultados del análisis de polifenoles totales experimental (mg de ácido gálico/100g) y predecidos por el modelo en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	224
Tabla 143. Matriz de resultados de vitamina C vs. componentes de color en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	226

Tabla 144. Prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	227
Tabla 145. Matriz de resultados ajustados en función del análisis de residuos para vitamina C vs. componentes de color en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	228
Tabla 146. Resultados del contenido de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos con el modelo matemático en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	229
Tabla 147. Comparación estadística de los resultados del análisis de vitamina C experimental (mg/100g) y predecidos por el modelo en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	229
Tabla 148. Resultados del análisis de correlación del contenido de antioxidantes en función del color en frutas tropicales y andinas.....	231
Tabla 149. Modelo operativo (plan de acción)	243
Tabla 150. Administración de la propuesta.....	244
Tabla 151. Previsión de la evaluación	245
Tabla 152. Peso equivalente, peso miliequivalente y peso molecular de los ácidos orgánicos predominantes en frutas	260
Tabla 153. Coeficientes de extinción molar al 1% de licopeno, betacaroteno, luteoxantina y capsantina.....	268

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Principales países exportadores de frutas exóticas hacia la Unión Europea	6
Gráfico 2. Principales países importadores de frutas exóticas a nivel mundial ...	7
Gráfico 3. Árbol de problemas	13
Gráfico 4. Red lógica de inclusión.....	33
Gráfico 5. Descripción del proceso de determinación de color interno en frutas.....	47
Gráfico 6. Descripción del proceso de cuantificación de antocianinas totales en frutas.....	48
Gráfico 7. Descripción del proceso de cuantificación de carotenoides totales en frutas.....	50
Gráfico 8. Descripción del proceso de cuantificación de polifenoles totales en frutas.....	502
Gráfico 9. Descripción del proceso de cuantificación de vitamina C en frutas.....	54
Gráfico 10. Concentración de antioxidantes predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia.....	59
Gráfico 11. Coordenadas de color interno de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>): luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*	66
Gráfico 12. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>), en buffer pH 1,0.....	67
Gráfico 13. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>), en buffer pH 4,5.....	68
Gráfico 14. Porcentaje de extracción de carotenoides totales en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	69
Gráfico 15. Repetibilidad del método de cuantificación de carotenoides totales de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	69

Gráfico 16. Curva de calibración de polifenoles totales para arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	71
Gráfico 17. Porcentaje de extracción de polifenoles totales en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	72
Gráfico 18. Repetibilidad del método de cuantificación de polifenoles totales en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	72
Gráfico 19. Repetibilidad del método de cuantificación de vitamina C en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	74
Gráfico 20. Concentración de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	78
Gráfico 21. Concentración de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	81
Gráfico 22. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	83
Gráfico 23. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	86
Gráfico 24. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	88
Gráfico 25. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en clones de arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	91
Gráfico 26. Coordenadas de color interno de mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013: luminosidad (L^*), parámetro a^* y parámetro b^*	95
Gráfico 27. Porcentaje de extracción de antocianinas totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	96
Gráfico 28. Repetibilidad del método de cuantificación de antocianinas totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	96

Gráfico 29. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	98
Gráfico 30. Curva de calibración de polifenoles totales para mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	99
Gráfico 31. Porcentaje de extracción de polifenoles totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	99
Gráfico 32. Repetibilidad del método de cuantificación de polifenoles totales en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	100
Gráfico 33. Repetibilidad del método de cuantificación de vitamina C en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	102
Gráfico 34. Concentración de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	105
Gráfico 35. Concentración de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013.....	108
Gráfico 36. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	110
Gráfico 37. Concentración de polifenoles totales (mg/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	113
Gráfico 38. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	115
Gráfico 39. Concentración de vitamina C (mg/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en mora (<i>Rubus glaucus</i>) variedad Iniap Andimora 2013	118
Gráfico 41. Porcentaje de extracción de antocianinas totales en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	123

Gráfico 42. Repetibilidad del método de cuantificación de antocianinas totales en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	123
Gráfico 43. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	125
Gráfico 44. Curva de calibración de polifenoles totales para mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	126
Gráfico 45. Porcentaje de extracción de polifenoles totales en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	126
Gráfico 46. Repetibilidad del método de cuantificación de polifenoles totales en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	127
Gráfico 47. Repetibilidad del método de análisis para cuantificación de vitamina C en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth).....	129
Gráfico 48. Concentración de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	132
Gráfico 49. Concentración de antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	135
Gráfico 50. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	137
Gráfico 51. Concentración de polifenoles totales (mg/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	140
Gráfico 52. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	142
Gráfico 53. Concentración de vitamina C (mg/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	145

Gráfico 54. Coordenadas de color interno de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009: luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*.....	148
Gráfico 55. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.), variedad Iniap Quitoense 2009 en buffer pH 1,0.....	149
Gráfico 56. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009 en buffer pH 4,5... 150	150
Gráfico 57. Porcentaje de extracción de carotenoides totales en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	151
Gráfico 58. Repetibilidad del método de cuantificación de carotenoides totales de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	151
Gráfico 59. Curva de calibración de polifenoles totales para naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	153
Gráfico 60. Porcentaje de extracción de polifenoles totales en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	154
Gráfico 61. Repetibilidad del método de cuantificación de polifenoles totales en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	154
Gráfico 62. Repetibilidad del método de cuantificación de vitamina C en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009	156
Gráfico 63. Concentración de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	159
Gráfico 64. Concentración de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	161
Gráfico 65. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	164

Gráfico 66. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	166
Gráfico 67. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia de naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	169
Gráfico 68. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009.....	172
Gráfico 69. Coordenadas de color interno de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante: luminosidad (L*), parámetro a* y parámetro b*.....	176
Gráfico 70. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante en buffer pH 1,0.....	177
Gráfico 71. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante en buffer pH 4,5.....	178
Gráfico 72. Porcentaje de extracción de carotenoides totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante.....	179
Gráfico 73. Repetibilidad del método de cuantificación de carotenoides totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante.....	179
Gráfico 74. Curva de calibración de polifenoles totales para tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante.....	181
Gráfico 75. Porcentaje de extracción de polifenoles totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante.....	182
Gráfico 76. Repetibilidad del método de cuantificación de polifenoles totales en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.) variedad Anaranjado Gigante.....	182

Gráfico 77. Repetibilidad del método de cuantificación de vitamina C en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante	184
Gráfico 78. Concentración de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante... ..	187
Gráfico 79. Concentración de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	191
Gráfico 80. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	193
Gráfico 81. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico /100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	196
Gráfico 82. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	199
Gráfico 83. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	202
Gráfico 84. Coordenadas de color interno en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana: luminosidad (L^*), parámetro a^* y parámetro b^*	205
Gráfico 85. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto de uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana en buffer pH 1,0.....	207
Gráfico 86. Espectro UV en la región de 400 a 700 nm en extracto uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana en buffer pH 4,5	207

Gráfico 87. Porcentaje de extracción de carotenoides totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	208
Gráfico 88. Repetibilidad del método de cuantificación de carotenoides totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	209
Gráfico 89. Curva de calibración de polifenoles totales para uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	210
Gráfico 90. Porcentaje de extracción de polifenoles totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	211
Gráfico 91. Repetibilidad del método de cuantificación de polifenoles totales en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	211
Gráfico 92. Repetibilidad del método de cuantificación de vitamina C en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	213
Gráfico 93. Concentración de carotenoides totales (μg de β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	216
Gráfico 94. Concentración de carotenoides totales (μg β -caroteno/g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	219
Gráfico 95. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	222
Gráfico 96. Concentración de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	225
Gráfico 97. Concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g) predecidos por el modelo matemático en función de las concentraciones de referencia en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	227
Gráfico 98. Concentración de vitamina C (mg/100g) predecidos por el modelo matemático ajustado en función de las concentraciones de referencia en uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana	230

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Piramide nutricional o alimentaria	2
Figura 2. Efecto de los radicales libres sobre las células	4
Figura 3. Mecanismo de acción de un antioxidante	19
Figura 4. Arazá (<i>Eugenia stipitata</i>).....	24
Figura 5. Mora (<i>Rubus glaucus</i>) Iniap Andimora 2013.....	25
Figura 6. Mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)	26
Figura 7. Naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.), variedad Iniap Quitoense 2009.....	27
Figura 8. Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.), variedad Anaranjado Gigante.	28
Figura 9. Uvilla (<i>Physalis peruviana</i> L.) variedad Golden Keniana.....	30
Figura 10. Estructura básica de las antocianinas	35
Figura 11. Estructura química del β -caroteno	36
Figura 12. Estructura química del ácido gálico.....	38
Figura 13. Estructura del ácido ascórbico.	38
Figura 14. Caracterización física de la fruta seleccionada	43
Figura 15. Caracterización físico-química	44
Figura 16. Preparación de las muestras (despulpado).....	45
Figura 17. Liofilización de las muestras	46
Figura 18. Proceso de determinación de color interno	47
Figura 19. Proceso de cuantificación de antocianinas totales.....	49
Figura 20. Proceso de cuantificación de carotenoides totales	51
Figura 21. Proceso de cuantificación de polifenoles totales.....	53

Figura 22. Proceso de cuantificación de vitamina C.....	55
Figura 23. Representación gráfica de los componentes principales de un espectrómetro de infrarrojo	242

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Método de determinación de características físicas y químicas en frutas y hortalizas.....	259
Anexo 2. Determinación de humedad	262
Anexo 3. Determinación de antocianinas	264
Anexo 4. Determinación de carotenoides totales	267
Anexo 5. Determinación de polifenoles totales	269
Anexo 6. Determinación de vitamina C	273
Anexo 7. Determinación del color interno.....	274
Anexo 8. Política del buen vivir	275
Anexo 9. Trompeta de Horwitz	277

RESUMEN

Las frutas son consideradas entre los alimentos más sanos por su composición nutricional, siendo consideradas como una base importante de la dieta humana, sobre todo en estado fresco. Ecuador es un país que por su ubicación geográfica cuenta con un gran número de microclimas con características favorables de suelo que le permite cultivar un sinnúmero de frutas tanto en clima cálido, templado y frío. Dentro de los frutales seleccionados para este estudio se escogió dos de clima tropical (arazá y naranjilla), tres de clima templado (uvilla, tomate de árbol y mora) y un fruto procedente de los páramos andinos (mortiño).

Trabajos realizados en frutas han demostrado que su pulpa presenta propiedades antioxidantes que permiten prevenir enfermedades neurodegenerativas y la arterosclerosis, de igual manera existe estudios que han confirmado que los antioxidantes se relacionan con el color de la frutas; así, los carotenoides son los responsables del color amarillo, anaranjado y rojo, los polifenoles y antocianinas de los colores que van desde violeta a rojo.

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar modelos matemáticos que relacionen los parámetros del color interno (L^* , a^* , b^*) en: arazá, mora variedad Iniap Andimora 2013, mortiño nativo, naranjilla variedad Iniap Quitoense 2009, tomate de árbol variedad Anaranjado Gigante y uvilla de la variedad Golden Keniana, con el contenido de antioxidantes (antocianinas, carotenoides, polifenoles y vitamina C), con la finalidad de obtener una herramienta que permita predecir los contenidos de estos antioxidantes en función de los datos de color, puesto que los métodos de análisis utilizados normalmente en laboratorio involucran varios pasos y personal calificado para obtener resultados reproducibles.

Para la construcción de los modelos matemáticos se realizaron análisis de laboratorio y la determinación de color en 15 muestras de las frutas mencionadas, a partir de estos datos se elaboró una matriz de resultados considerando como variable dependiente (Y) el contenido de antioxidantes medido experimentalmente y como variables independientes (X) a los datos de las coordenadas cromáticas (L^* ,

a*, b*) medidos con un equipo ColorTec- PCM™. Posteriormente se determinó las ecuaciones de predicción mediante un análisis multilíneal utilizando el software Statistica 10.0. La robustez del modelo fue evaluada en función del coeficiente de correlación (r^2), el error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV).

Los promedios de los contenidos de carotenoides totales, polifenoles totales y vitamina C medidos experimentalmente en muestras liofilizadas de arazá fueron de $62,85 \pm 3,36$ μg de β -caroteno/g; $3507,79 \pm 1430,36$ mg de ácido gálico/100g y $427,74 \pm 78,83$ mg de ácido ascórbico/100g respectivamente. En mora se obtuvo valores de $1416,68 \pm 158,71$ mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g; $6352,28 \pm 633,61$ mg de ácido gálico/100g y $100,49 \pm 11,19$ mg de ácido ascórbico/100g para antocianinas totales, polifenoles totales y vitamina C, en ese orden. Para mortiño nativo se determinó un contenido de antocianinas totales de $2682,30 \pm 602,92$ mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g; un contenido de polifenoles totales de $7254,62 \pm 1209,17$ mg de ácido gálico/100g y un contenido de vitamina C de $75,10 \pm 16,68$ mg de ácido ascórbico/100g. En naranjilla se obtuvo un promedio de $57,93 \pm 4,28$ μg de β -caroteno/g, $897,58 \pm 227,77$ mg de ácido gálico/100g y $200,62 \pm 20,50$ mg de ácido ascórbico/100g, para el contenido de carotenoides totales, polifenoles totales y vitamina C respectivamente. En tomate de árbol se encontró un contenido de carotenoides totales de $123,18 \pm 16,61$ μg de β -caroteno/g, en el caso de polifenoles totales se estableció un valor de $1062,77 \pm 57,87$ mg de ácido gálico/100g y un contenido de vitamina C de $193,84 \pm 24,75$ mg de ácido ascórbico/100g. Finalmente en uvilla se establece un perfil de carotenoides totales, polifenoles totales y vitamina C, con valores de $65,21 \pm 8,31$ μg de β -caroteno/g; $259,93 \pm 42,74$ mg de ácido gálico/100g y $159,22 \pm 23,89$ mg de ácido ascórbico/100g, respectivamente.

El análisis estadístico demostró que los modelos de predicción propuestos presentan coeficientes de determinación (r^2) superiores a 0,70; estableciendo que en todos los casos estos explican más del 70% del comportamiento de los datos presentando una alta correlación entre la variable dependiente y las variables independientes (X). De igual manera los errores de predicción de los modelos

obtenidos para el contenido de antocianinas totales, carotenoides totales, polifenoles totales y vitamina C presentaron un error estándar de predicción (EP) inferiores a los rangos establecidos según la ecuación de Horwitz (Cv de Horwitz) para cada una de las concentraciones analizadas, lo que permitió determinar que los modelos matemáticos de predicción desarrollados para los componentes bioactivos de arazá, mora, mortiño, naranjilla, tomate de árbol y uvilla son robustos y presentan errores de predicción inferiores a los obtenidos experimentalmente, presentando una herramienta que permite realizar un análisis no destructivo de la muestra, rápido (5 minutos por muestra) y económico pues no utiliza solventes ni pasos previos de preparación de muestra.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. TEMA

Estudio de la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum quitoense*) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana”.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN

El estilo de vida actual puede promover inadecuados hábitos alimenticios, consumiendo alimentos de baja calidad nutricional y escasa capacidad antioxidante. Lamentablemente en nuestra dieta se incluye comida rápida con alto contenido en grasas, alimentos chatarra, enlatados que contienen conservadores y bebidas excesivamente azucaradas como los refrescos, reduciendo el consumo de alimentos naturales. Esto ha causado graves problemas de salud en nuestra sociedad como: desnutrición, obesidad y aumento de diversas enfermedades crónico degenerativas, también conocidas como enfermedades crónicas no transmisibles¹ (ECNT), como una consecuencia del estrés oxidativo. Actualmente diversas ECNT como el cáncer, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares, entre otras, son la principal causa de muerte entre la población (Delgado *et al.*, 2010).

¹ Enfermedades crónicas no transmisibles: Este indicador se define como la tasa estandarizada de muertes por ciertas enfermedades crónicas en personas de menos de 65 años. Las enfermedades crónicas consideradas son: tumores malignos, diabetes mellitus, enfermedades isquémicas del corazón, cerebrovasculares, enfermedades crónicas respiratorias y hepáticas.

Desde el punto de vista nutricional, el consumo de alimentos ricos en antioxidantes es actualmente considerado una de las formas más efectivas para reducir el riesgo relativo de desarrollo y/o muerte por ECNT. En la actualidad, evidencias científicas más recientes revelan que mientras mayor es el consumo de alimentos ricos en antioxidantes menor es la probabilidad de sufrir las patologías anteriormente referidas (Speisky, 2011).

En la Pirámide Alimenticia (Figura 1), las frutas se ubican en el segundo escalón, después de los cereales, con recomendaciones del orden de 4 a 9 porciones por día. A través de la historia, el consumo de frutas se ha percibido como benéfico para la salud, mismo que puede estar asociado al fortalecimiento del sistema inmunológico, la reducción del daño celular y su efecto inhibitorio del desarrollo del cáncer (González *et al.*, 2005).

FIGURA 1. PIRAMIDE NUTRICIONAL O ALIMENTARIA



Fuente: Licata, 2013.

De otro lado, las frutas se encuentran entre los alimentos más sanos, tanto por su contenido de nutrimentos, agua y fibra. Estos constituyen una base importante de

la dieta, sobre todo en estado fresco. Entre estos tipos de nutrimentos están los antioxidantes definidos como sustancias capaces de inhibir los radicales libres promovidos por oxígeno. En los alimentos su rango de protección de procesos de oxidación es amplio (González *et al.*, 2005). En la Tabla 1, se reporta los beneficios en la salud por el consumo de algunas frutas como arándano azul, frambuesa y tomate de árbol.

TABLA 1. BENEFICIOS QUE APORTA EL CONSUMO DE ARÁNDANO AZUL, FRAMBUESAS Y TOMATE DE ÁRBOL EN LA SALUD

Fruta	Beneficios en la salud
Arándano azul	<ul style="list-style-type: none"> • Restaura los niveles de antioxidantes. • Reduce el deterioro del cerebro por la edad. • Previene infecciones del tracto urinario.
Frambuesas	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibe el desarrollo del cáncer de boca, de mama, de colon y de próstata. • Ácido desoxirribonucleico (ADN) defensa antioxidante. • Reduce los niveles de colesterol “malo”.
Tomate de árbol	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la inflamación. • Disminuye el riesgo de desarrollo de cáncer de esófago, estómago, colon, pulmón y páncreas.

Fuente: Murdock, 2011.

1.2.1.1. CONTEXTUALIZACIÓN MACRO

A lo largo de estas últimas dos décadas, los antioxidantes han pasado a ser considerados desde “simples atrapadores de radicales libres” (década de los 90’s) a “moléculas cuyo consumo sería sinónimo de salud” (última década) (Speisky, 2011).

Según Wilson *et al.* (2003), los radicales libres son parte del metabolismo normal y se incrementan en estados de exposición a contaminantes ambientales, radiación (UV, gamma), pesticidas, humo de tabaco, etc., producen oxidación de lípidos y proteínas, lo cual altera la transducción celular, aumentando el riesgo de cáncer y

el daño oxidativo, también asociado a enfermedades cardiovasculares, envejecimiento celular y varias otras enfermedades degenerativas (Speisky, 2011).

En la Figura 2, se muestra el daño a diferentes niveles en la célula, producido por los radicales libres, donde se observa cómo estos atacan a los lípidos y proteínas de la membrana celular evitando el desarrollo normal de sus funciones vitales (transporte de nutrientes, eliminación de desechos, división celular), provocando una reacción en cadena de la lipoperoxidación² de los ácidos grasos y fosfolípidos de la membrana celular. Finalmente atacan al ADN impidiendo que tenga lugar la replicación celular y contribuyendo al envejecimiento celular.

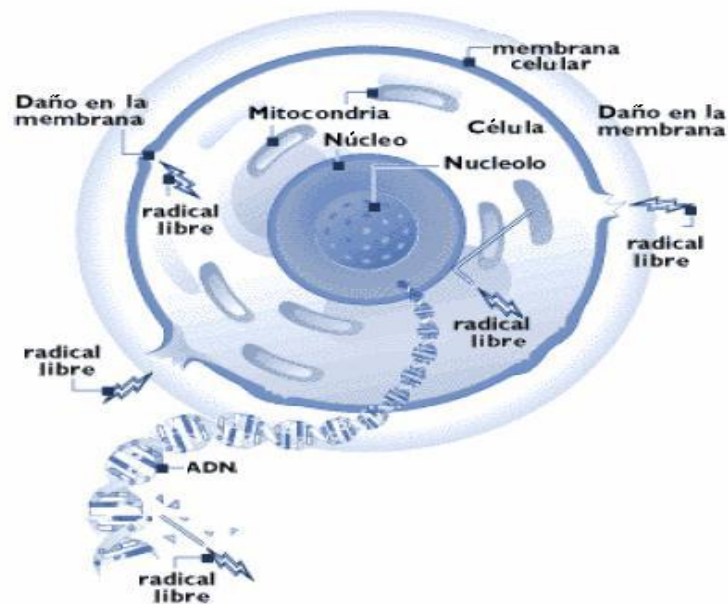


FIGURA 2. EFECTO DE LOS RADICALES LIBRES SOBRE LAS CÉLULAS

Fuente: Cozzano, S. (2009).

En el marco de tal escenario, diversos estudios han explorado la utilidad que podría tener un mayor consumo de antioxidantes sobre el desarrollo de la diabetes (Speisky, 2011).

² **Lipoperoxidación:** La peroxidación lipídica o lipoperoxidación es una reacción autocatalítica donde las especies reactivas de oxígeno o radicales libres sustraen átomos de hidrógeno a las moléculas de ácidos grasos poliinsaturados.

Según la FAO-OMS (2012) la ingesta insuficiente de frutas produce 2,7 millones de muertes cada año, y figura entre los 10 principales factores de riesgo contribuyentes a la carga de mortalidad por enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cáncer.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), FAO y otras organizaciones recomiendan el consumo de al menos cinco porciones de frutas y/o vegetales al día (Cozzano, 2009).

La presencia de fitoquímicos y nutrientes en las frutas les confieren propiedades como alimentos funcionales, por su efecto protector sobre la oxidación celular, relacionado con la mayoría de las ECNT, aquellos actúan como antioxidantes que inhiben la acción destructiva de los radicales libres³ (Kikugava *et al.*, 1990). El cuerpo humano produce antioxidantes como enzimas (naturaleza endógena) o puede obtenerlos de los alimentos (naturaleza exógena), estos compuestos acaban con aquellas reacciones, inhibiendo algún producto intermedio y oxidándolos, con el fin de evitar daños al organismo humano (Kaur y Kapoor, 2001).

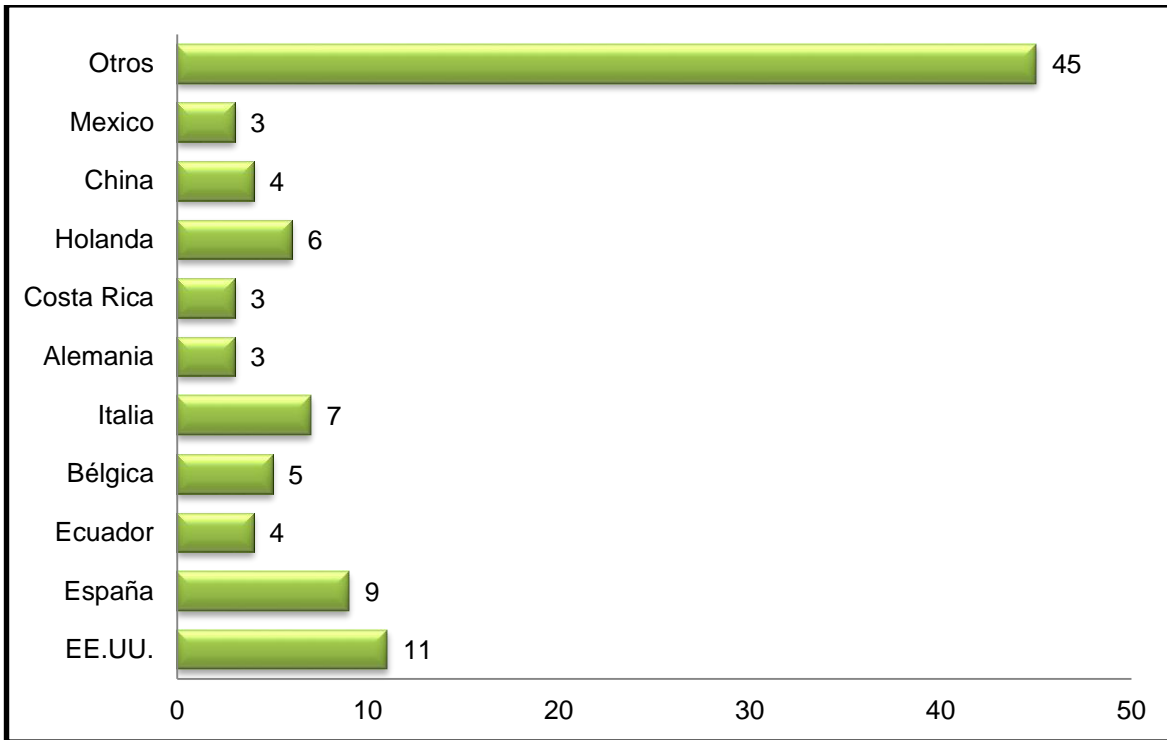
La demanda actual es de consumidores que en la mayoría de casos están dispuestos a pagar por valor agregado en calidad y presentación de productos no perecederos, naturales, exóticos, con alto valor nutricional, listos para el consumo y que exhiban un beneficio para la salud (Araya *et al.*, 2006).

El mercado global de frutas y vegetales congelados continúa creciendo y se estima que alcance los 22,6 millones de toneladas anuales el 2015, pese al deterioro de las economías desarrolladas. EEUU y Europa siguen siendo los mercados principales para estos alimentos congelados; sin embargo, Asia Pacífico y Latinoamérica presentan un rápido crecimiento de mercado, logrando tasas anuales de 4 a 5.5% para el período proyectado 2015 - 2017 (González *et al.*, 2012). En el

³ El radical libre es un átomo de O₂ con 7 electrones, el átomo estable tiene 8 electrones y se torna inestable cuando pierde 1 electrón, al faltarle ese electrón, lo toma prestado de la membrana celular y produce así otro radical libre más, dando lugar a una reacción en cadena (Garcés, 2010).

Gráfico 1, se observa los principales países exportadores de frutas exóticas hacia la Unión Europea y su porcentaje de participación en este mercado.

GRÁFICO 1. PRINCIPALES PAISES EXPORTADORES DE FRUTAS EXÓTICAS HACIA LA UNION EUROPEA



Fuente: González *et al.*, 2012.

La Unión Europea es un importador neto de frutas exóticas, como banano y mango, junto con el creciente interés en la exploración de nuevos productos naturales, influenciado por la preocupación de mantener una dieta saludable, promoviendo la investigación de oportunidades para otras frutas como la uvilla, la papaya, el orito y el aguacate. Esta demanda se ha incrementado de manera creciente, prueba de ello es el auge en la venta de aguas saborizadas y enriquecidas, bebidas energéticas, mezclas de jugos y suplementos vitamínicos elaborados con productos naturales y menos tradicionales (González *et al.*, 2012). En la Tabla 2, se indica las frutas exóticas de mayor demanda en el mercado europeo.

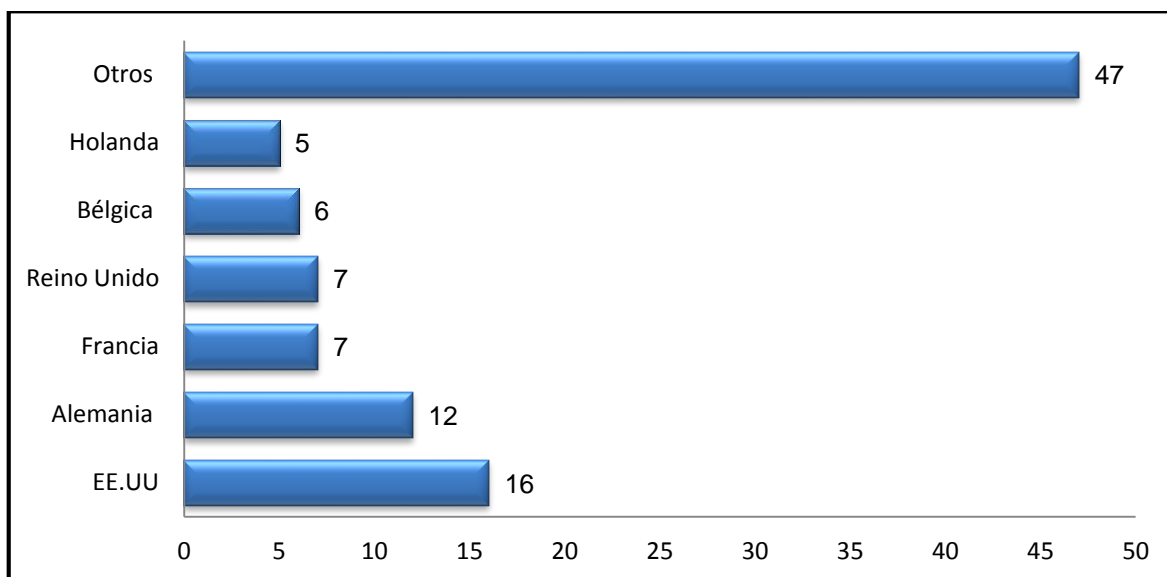
TABLA 2. FRUTAS EXÓTICAS DEMANDADAS EN EL MERCADO EUROPEO

Fruta	Nombre científico	Fruta	Nombre científico
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Coco	<i>Cocos nucifera</i>
Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	Guanábana	<i>Annona muricata</i>
Babaco	<i>Carica pntagona</i>	Granadilla	<i>Pasiflora ligularis</i>
Banano verde	<i>Musa sp.</i>	Granadina	<i>Punica granatum</i>
Banano orito	<i>Musa sp.</i>	Guayaba	<i>Psidium spp.</i>
Borojó	<i>Borojoa patinoi</i>	Higo	<i>Ficus Carica</i>
Chirimoya	<i>Annona cherimoya</i>	Lima	<i>Citrus x aurantifolia</i>
Mamey	<i>Mammea americana</i>	Pepino	<i>Solanum muricatum</i>
Mango	<i>Manguifera indica</i>	Pitajaya	<i>Selenicerus megalantbus</i>
Maracuyá	<i>Pasiflora edulis</i>	Taxo	<i>Passiflora mollissima</i>
Melón	<i>Cucumis melo</i>	Tomate de árbol	<i>Solanum betaceum Cav.</i>
Naranjilla	<i>Solanum quitoense</i>	Tuna	<i>Opuntia ficus-indica</i>
Níspero	<i>Eriobotrya</i>	uvilla	<i>Physalis peruviana</i>
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Zapote	<i>Matisia cordata</i>

Fuente: González *et al.*, 2012.

En el Gráfico 2 se observa los principales países importadores de frutas exóticas a nivel mundial.

GRÁFICO 2. PRINCIPALES PAISES IMPORTADORES DE FRUTAS EXÓTICAS A NIVEL MUNDIAL



Fuente: González *et al.*, 2012.

Los criterios de compra del consumidor de frutas exóticas en Alemania y otros países de la Unión Europea, están relacionados con la salud, la calidad, entre otros. La reducción del colesterol, prevención de riesgos de enfermedades y disminución

del proceso de envejecimiento, son uno de los principales factores de decisión, atribuidos a los resultados de investigaciones sobre las propiedades antioxidantes de ciertas frutas exóticas, incorporando a su dieta diaria una proporción cada vez mayor de éstos productos.

1.2.1.2. CONTEXTUALIZACIÓN MESO

Según el Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE, 2004), en los países desarrollados, la velocidad de las transformaciones fue mucho más lenta que en América Latina y el Caribe; el proceso de envejecimiento tuvo lugar después de haber logrado mejores niveles de vida y haber erradicado las diferencias de acceso a los servicios de salud (CEPAL, 2004).

Según Ames *et al.* (1995), aproximadamente una tercera parte del riesgo de desarrollar cáncer en seres humanos podría atribuirse a la dieta. Estudios adicionales sugieren que las personas con bajo consumo de frutas tienen doble riesgo de padecer cáncer que aquellas que tienen consumos más altos citado por González, G. *et al.*, 2005.

Actualmente, la imagen pública de las frutas y las hortalizas ha mejorado considerablemente debido a los avances de la nutrición y la salud; especialmente en los países desarrollados, recomiendan aumentar el consumo de frutas por ser pobres en grasas y ricas en fibra dietética y disminuir el consumo de los alimentos de origen animal.

La oferta latinoamericana de frutas exóticas se ha posicionado con buena calidad en el mercado, aunque con mayores costos. Los países que han incursionado en el comercio internacional son aquellos que poseen la capacidad de producir con costos relativamente bajos y han invertido en campañas promocionales como Brasil y Colombia; otros países con una menor participación son: Ecuador, Costa Rica, Honduras, República Dominicana y México. Destacándose en el suministro de coco, guayaba, uchuva (uvilla), plátano y maracuyá.

Brasil es el tercer exportador de frutas del mundo; a partir del 2004 sus exportaciones aumentaron en un 40%. Las principales frutas exportadas por Brasil son mango, papaya, melón, uva, manzana y limón.

Por su parte Colombia se ha especializado en la producción y exportación de frutas exóticas al mundo entero y especialmente a Bélgica, Holanda, Canadá, Alemania y Estados Unidos. Desde 1999 este país ha invertido recursos en la búsqueda de oportunidades de mercado para frutas exóticas en Europa. Una de sus principales estrategias de negocio fue la introducción del arazá y la incorporación en su oferta de frutas como limas, mangos, papayas, melones, sandías, maracuyá, púrpura y pitahaya (CIMS, 2006).

Existe escasa información sobre las áreas y volúmenes de producción de las frutas exóticas amazónicas, no obstante existe cadenas productivas muy desarrolladas en Brasil, Bolivia, Colombia y Ecuador enfocadas a fortalecer el procesamiento de productos como mermeladas, pulpa congelada, fruta deshidratada, conservas, néctar, bebidas tipo vino, jugos, entre otros (Álvarez y Espín, 2007).

1.2.1.3. CONTEXTUALIZACIÓN MICRO

En el 2011 se realizó el Taller Nacional para la Elaboración del Plan Estratégico Nacional para la Atención Integral de las ECNT y sus Factores de Riesgo en Ecuador, en el cual se elaboró un plan que incluye cuatro líneas de acción, una de éstas el manejo integrado de ECNT y Factores de Riesgo (FR), considerando que el país estuvo como miembro del Consejo Directivo de la OMS y un contexto político muy favorable para resaltar estrategias para el abordaje de las ECNT-FR en el marco de la política nacional del buen vivir (OMS y OPS, 2011).

Dicha política en la sección agua y alimentación destaca la importancia del consumo de alimentos saludables, recomendando consumir una variedad de frutas y vegetales que reflejen el color del arco iris. Las frutas proporcionan compuestos fitoquímicos, tales como los carotenoides y flavonoides, varios de estos fitoquímicos

están relacionados con los pigmentos que otorgan a las plantas sus colores brillantes (amarillo, naranja, rojo, verde y violeta) (Andari, 2009).

Ecuador es ideal para los amantes de las frutas, aquí existe infinidad de variedades de las que jamás se ha oído hablar, cada una con un sabor indescriptible. Por ser un país ubicado al noroeste de América del Sur, situado en la línea ecuatorial, así como la presencia de la cordillera de los Andes, la influencia del mar y la Amazonia, existe la generación de un gran número de microclimas con características favorables de suelo y ubicación geográfica que permite producir una gran variedad de productos todo el año.

Está dividido en cuatro regiones agrícolas (Costa, Sierra, Amazonía e Insular), con 12,3 millones de hectáreas dedicadas a la producción agropecuaria (Altamirano, 2010). Dichas características geográficas, presentan una gran variedad de condiciones idóneas para la explotación de cultivos frutícolas. La temperatura de 12°C considerada como límite mínimo admitido para los frutales de clima templado, intensa solo en los valles interandinos de la Cordillera Central de los Andes, mientras que la temperatura promedio de la costa de 25°C, es óptima para especies tropicales de clima cálido seco y húmedo. Por último, la región oriental que se caracteriza por su clima cálido húmedo, es favorable con un promedio anual de precipitación pluvial que oscila entre los 300 a 1000 mm en la sierra y 300 a 2000 mm en la costa, en el caso de la región oriental el nivel de pluviosidad es mayor y permite la producción de ciertas frutas específicas (Proaño, 2003).

La agricultura en la sierra es más tradicional, dominada por pequeños agricultores, cuya producción se destina al consumo interno, pero durante los últimos años se viene desarrollando la siembra de cultivos no tradicionales para la exportación como flores, hortalizas y frutos andinos. En la costa los agricultores poseen cultivos, los cuales son usados por industrias procesadoras y exportadoras (Altamirano, 2010).

Ecuador goza de un amplio reconocimiento por ser un productor de frutas tropicales, entre las que se destacan principalmente: banano, piña, mango, papaya y maracuyá, caracterizándose por ser completamente naturales, de sabores

concentrados, colores y aromas particulares, siendo consideradas como frutas exóticas en su gran mayoría, altamente apetecidas en otros mercados, tanto como fruta fresca, pulpa de frutas, jugos o frutas deshidratadas (Álvarez y Espín, 2007).

Con respecto a arazá (*Eugenia stipitata*), se conoce muy poco sobre el cultivo, atribuyendo la conservación de esta especie nativa a colonos que poblaron la región Amazónica. Según investigaciones realizadas por el INIAP, se encontró que este frutal está subutilizado. Los factores que afectan en el aprovechamiento del arazá son: el desconocimiento de sus bondades nutricionales, manejo agronómico deficiente, frutos altamente perecibles que se pierden en el campo y falta de técnicas de manejo post cosecha, en consecuencia el mercado local desconoce parcialmente el potencial nutritivo de dichos frutales (El Agro, 2012).

La producción de arazá se encuentra ubicada mayoritariamente en la región amazónica, en las zonas de Sucumbíos, Napo, Orellana y Pastaza; en la sierra en el Noroccidente de Pichincha y la provincia de Sto. Domingo de los Tsáchilas en la costa (Álvarez y Espín, 2007).

Otro cultivo de la amazonia, es la naranjilla (*Solanum quitoense*), que fue la base de la economía de muchos pueblos del Oriente, viéndose afectada por ataque de plagas, problemas fitosanitarios, entre otros, limitando la superficie total cultivada de naranjilla común al 5%. Actualmente la naranjilla cubre 9459 Ha con rendimientos de 2,9 Ton/Ha, siendo sus principales problemas de cultivo la baja productividad, calidad, uso excesivo de pesticidas (Vásquez *et al.*, 2009).

De otro lado, dado que el país tiene altitudes distintas y diferentes variaciones climáticas, se cultiva un sinnúmero de frutas tanto en clima templado como frío. Dentro de los frutales de clima templado se encuentra la uvilla, tomate de árbol y mora. Mientras que el mortiño se caracteriza por ser un fruto de los páramos andinos.

Con respecto a la uvilla (*Physalis peruviana*), es muy apetecida en los mercados europeos y es un producto de buenos réditos económicos para los pocos

exportadores existentes en el país. Ecuador exporta esta fruta a la Unión Europea, siendo el mejor cliente Alemania, donde esta fruta ha perdido la condición de extraña por sus ventajas nutricionales y disponibilidad durante todo el año. Otros países de destino son Holanda, España, Reino Unido, Suecia, Bélgica, Suiza y Canadá (Briceño, 2007).

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es un frutal de clima templado cuya producción en el país es enteramente absorbida por el mercado nacional (94,30%) y una pequeña parte se exporta (0,5%). Esta fruta tiene gran aceptación por su sabor agradable y aroma exquisito. A nivel mundial tiene gran aceptación por considerarla una fruta exótica (Revelo *et al.*, 2006).

En Ecuador, el tomate de árbol se cultiva en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay y Loja. Dependiendo de la zona y de la distribución de lluvias, en algunas zonas es necesario disponer de agua para riego (Revelo *et al.*, 2006).

Otro frutal de importancia económica y nutricional es la Mora de Castilla (*Rubus glaucus*), estimándose una superficie aproximada de 5247 Ha, cultivada por 15000 pequeños productores, representando el mayor ingreso económico de estas familias. Esta planta está presente en forma silvestre o cultivada a lo largo de los valles del callejón interandino y las estribaciones de la sierra, entre altitudes que fluctúan de 2000 a 3100 msnm, siendo las provincias productoras de mayor importancia Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Pichincha, Imbabura y Carchi (Jaramillo, 2013).

Finalmente, el mortiño (*Vaccinium floribundum*, Kunth) es un cultivo de las zonas andinas que crece en las partes altas de la cordillera del Ángel en el Carchi hasta el Tambo en Cañar, no se conoce que exista cultivos comerciales. Es una fruta de fácil uso pero su consumo es muy poco en fresco, normalmente es adquirido para preparar la tradicional colada morada; la cosecha se realiza de forma manual por la gente de las comunidades indígenas que habitan en esos lugares (Tupuna, 2012).

1.3. ANÁLISIS CRÍTICO

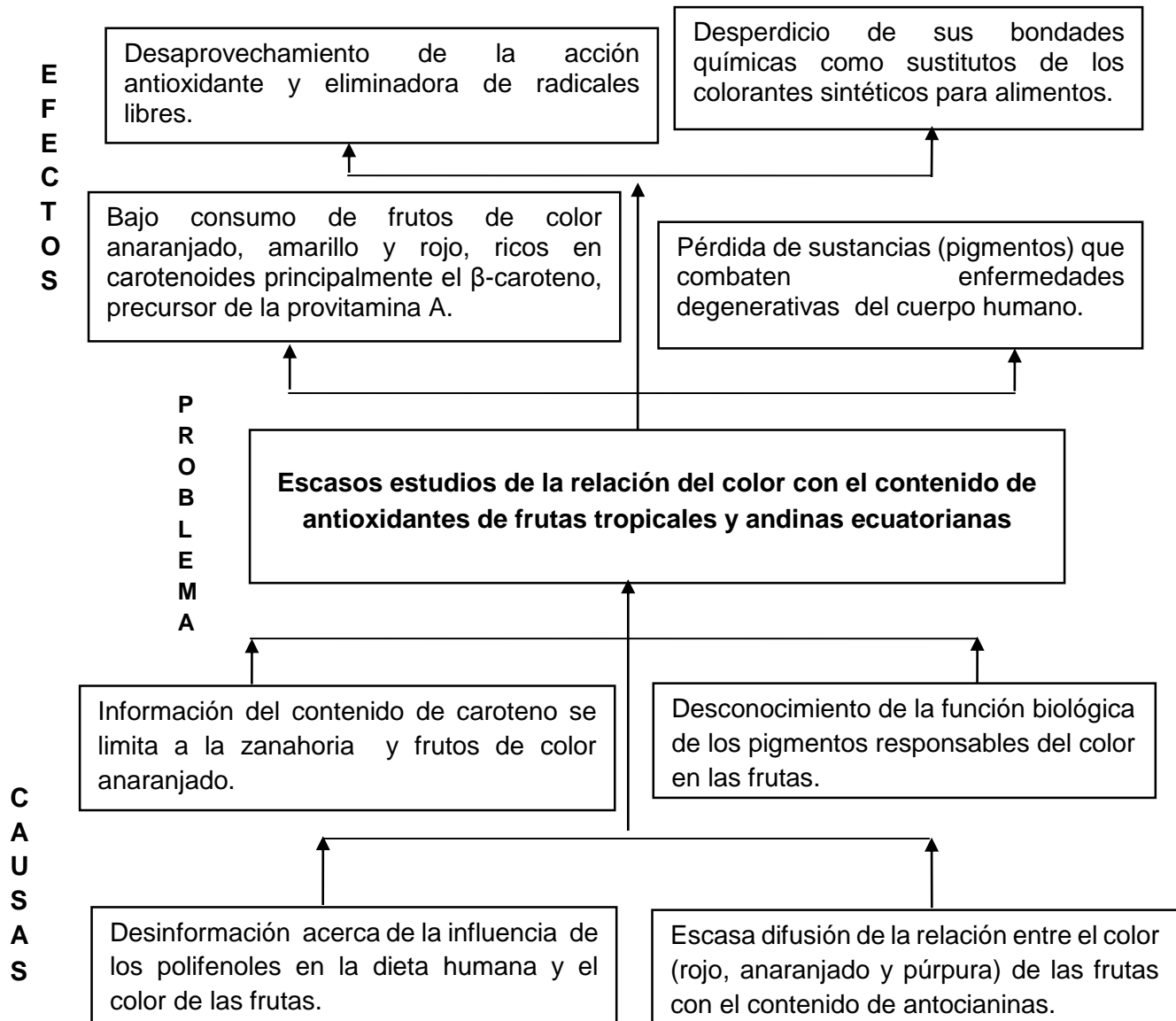


GRÁFICO 3. ÁRBOL DE PROBLEMAS

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Relación causa – efecto

Las frutas frescas contienen componentes bioactivos que más allá de la nutrición, promueven la salud humana por sus beneficios; estudios recientes demuestran que su consumo regular es asociado con la disminución del padecimiento de ECNT. Entre los compuestos bioactivos se menciona a los antioxidantes: polifenoles, carotenoides, vitamina C y antocianinas.

Los polifenoles presentan variados efectos beneficiosos para la salud: como la inhibición de enzimas productoras de especies reactivas de oxígeno (EROs) y regulación de los sistemas antioxidantes endógenos, lo que ha sido comprobado por diversos estudios clínicos acerca de su uso terapéutico y la incidencia en la reducción de enfermedades cardiovasculares, insuficiencia cardíaca y alivio de síntomas en pacientes con insuficiencia venosa. Estos efectos beneficiosos han sido desaprovechados debido al escaso consumo de productos frescos o mínimamente procesados que mantengan las propiedades antioxidantes de los mismos.

Los carotenoides confieren coloraciones amarilla y naranja a los tejidos vegetales. El caroteno más comúnmente encontrado es el β -caroteno, y normalmente constituye entre el 25-30% del contenido total de carotenoides en las plantas. En los animales superiores, el β -caroteno es un requerimiento dietario esencial pues es precursor de la vitamina A. Estos colorantes naturales han sido reemplazados por colorantes alimentarios sintéticos, conocidos también como colorantes artificiales, fabricados químicamente y utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética; entre los colorantes artificiales que se utilizan en los alimentos son: Amarillo 5, Rojo 40, Azul 1, Azul 2, Verde 3, Naranja B, Rojo 3 y Amarillo 6, considerados perjudiciales para los niños. Estudios realizados en 2007 por la Universidad de Southampton de Inglaterra demuestran que la hiperactividad, falta de atención, impulsividad y alergias de los niños se da por el consumo de colorantes y conservadores, por lo que sería importante considerar el color llamativo de las frutas relacionado con el contenido de antocianinas, especialmente en frutos rojos

y morados como sustitutos potenciales en productos procesados tanto por sus bondades como por su origen orgánico (Taringa, 2012).

1.4. PROGNOSIS

Al no realizar el estudio de la relación entre el color y las propiedades antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum Quitoense* Lam) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana, no se aportaría con la información necesaria de una gran variedad de componentes bioactivos (carotenoides, antocianinas, polifenoles y vitamina C) asociados a la salud; de igual manera, no se podría establecer si la correlación entre el color de las frutas y el contenido de compuestos antioxidantes permite desarrollar modelos matemáticos de predicción de estos compuestos que constituyan una herramienta de control de calidad rápida y precisa.

1.4.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema: Escasos estudios de la relación del color con el contenido de antioxidantes de frutas tropicales y andinas ecuatorianas. Una propuesta al problema planteado es la presente investigación “Estudio de la relación entre el color y las propiedades antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum Quitoense* Lam) variedad Iniap Quitoense, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), variedad Anaranjado Gigante y uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana”.

1.5. INTERROGANTES

¿La presencia de fitoquímicos y nutrientes en las frutas ofrecen un efecto protector sobre la oxidación celular?

¿Los colores que tienen las frutas se deben a la presencia de compuestos fitoquímicos?

¿Los consumidores se han familiarizado paulatinamente con los conceptos de radicales libres y antioxidantes?

¿El consumo frecuente de frutas y sus productos es asociado con beneficios para la salud?

¿Qué sustancias químicas son parte del sistema antioxidante en el organismo humano?

1.6. DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

- **Campo:** Alimentos.
- **Area:** Bioquímica de los alimentos e Ingeniería de procesos de alimentos.
- **Aspecto:** Antioxidantes en frutas tropicales y andinas.
- **Temporal:** Tiempo de Investigación: Octubre 2012 a Mayo 2014.
- **Espacial:** El presente proyecto de investigación se ejecutó en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad.

1.7. JUSTIFICACIÓN

Ruiz (2003), manifestó que la diversidad de frutas existentes en el país brinda ventajas competitivas desde cualquier punto de vista, tanto por sus virtudes como el color, sabor, textura y tamaño, así como también en el campo comercial, el que actualmente no se encuentra totalmente explotado e industrializado. Además, establecieron que el sector frutícola del Ecuador es pionero en el aprovechamiento exitoso de la biodiversidad, aunque se ha concentrado mayoritariamente a las frutas tropicales de la costa. Con un mercado internacional dinamizado por los recientes descubrimientos sobre el efecto saludable de su consumo, el interés por las frutas

biodiversas es grande y en este campo las frutas amazónicas y andinas tienen un alto potencial citado por Toledo, 2010.

Los consumidores se han familiarizado paulatinamente con los conceptos de radicales libres y antioxidantes, asociando de forma cada vez más frecuente el consumo de frutas y sus productos con beneficios para la salud. Sin embargo, conocer el potencial antioxidante de los alimentos y sus componentes es un tema de interés no solo para el público en general, sino también para expertos en el campo de la medicina y la nutrición, e investigadores ligados a la ciencia de alimentos y la salud (Pérez, 2009).

El INIAP ha realizado investigaciones sobre las características físicas, químicas y funcionales en algunos materiales identificados de arazá, borjón, camu camu, chirimoya, cocona, copoazú, granadilla, guayaba, mango, tampoi, uvilla, mora, naranjilla y tomate de árbol, determinándose que estas frutas poseen características organolépticas, funcionales y nutricionales importantes, donde el color muestra el estado de madurez e indica que en su interior están presentes sustancias antioxidantes importantes relacionadas con el color de la fruta. Esta investigación se planteó con la finalidad de estudiar la relación existente entre el color y el contenido de antocianinas, carotenoides, polifenoles y vitamina C, en base a parámetros obtenidos por mediciones directas con el equipo medidor de color (Luminosidad L^* 0 negro/100 blanco, rojo a^* +/verde a^* -, amarillo b^* +/ azul b^*).

De igual manera, en base a análisis de regresión multivariable y la correlación de Pearson, se pretende encontrar la relación entre las variables dependientes (compuestos antioxidantes) e independientes (parámetros del color); cuya información sería relevante e innovadora en el ámbito investigativo y que podrá ser utilizada como una herramienta de control de calidad a escala comercial e industrial.

1.8. OBJETIVOS

1.8.1. Objetivo general

- Analizar la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam) variedad Iniap Quitoense, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana.

1.8.2. Objetivos específicos

- Determinar el contenido de antioxidantes: antocianinas, carotenoides, polifenoles y vitamina C, en arazá, mora, mortiño, naranjilla, tomate de árbol y uvilla.
- Medir los parámetros del color interno: L^* , a^* , b^* , en la pulpa de las 6 frutas mencionadas.
- Desarrollar modelos matemáticos que relacionen los parámetros del color interno (L^* , a^* , b^*) con el contenido de antocianinas, carotenoides, polifenoles y vitamina C.
- Evaluar el contenido de antioxidantes en alimentos aplicando técnicas espectrales de análisis NIRS (Espectroscopia de infrarrojo cercano) y métodos convencionales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Al revisar investigaciones previas que sirven de soporte al presente trabajo, se pueden citar los siguientes estudios:

Cozzano (2009), estableció que las frutas son una fuente importante de antioxidantes, capaces de inhibir la acción de los radicales libres. Los antioxidantes no detienen la formación de los radicales libres, sino que al reaccionar con éstos, los estabiliza produciendo radicales menos reactivos, como se muestra en la Figura 3, en el cual el antioxidante sede un electrón al radical libre completando su configuración electrónica, dando como producto radicales libres del antioxidante.

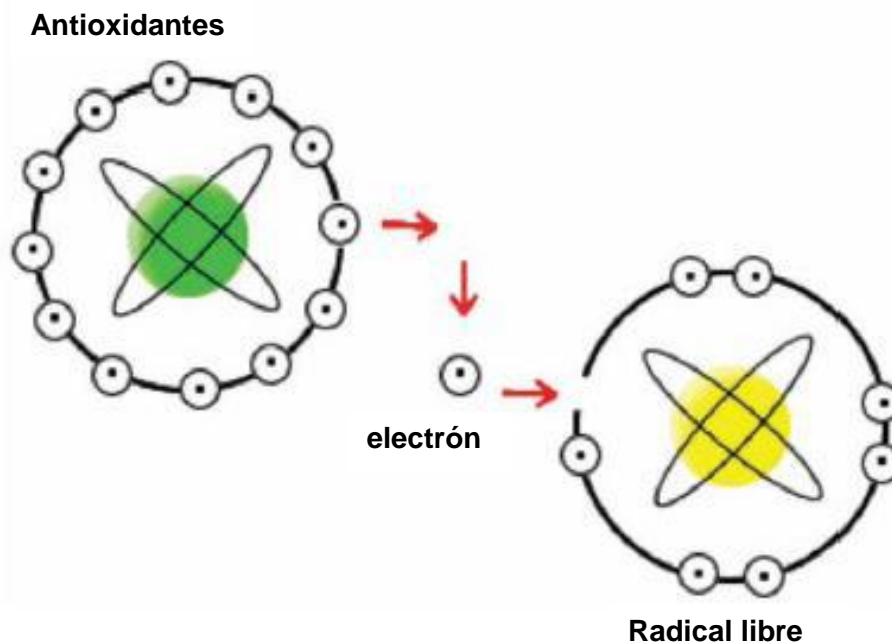


FIGURA 3. MECANISMO DE ACCIÓN DE UN ANTIOXIDANTE

Fuente: Cozzano, 2009.

Speisky (2011), indica que diversos estudios epidemiológicos de poblaciones que tienen bajo consumo de frutas exhiben un riesgo notablemente mayor de desarrollar algunas de las patologías crónicas.

Badui (1999), señala que el color es una propiedad de la materia directamente relacionado con el espectro de la luz, que por lo tanto, se puede medir físicamente en términos de su energía radiante o intensidad o por su longitud de onda. La mayoría de los alimentos vegetales le deben su color a sus correspondientes pigmentos, que son sustancias que tienen una función muy importante en el tejido. En términos generales, los pigmentos relacionados con los alimentos se puede dividir en: carotenoides, clorofilas, antocianinas, flavonoides, betalaninas, taninos, mioglobina y hemoglobina.

Entre las frutas que poseen actividad antioxidante por la presencia de compuestos que le aportan beneficios para la salud y que son motivo de la presente investigación, se destacan el arazá, mora, mortiño, naranjilla, tomate de árbol y uvilla.

López *et al.* (2010), determinaron que el arazá (*Eugenia stipitata*) se destaca por su alto contenido de vitamina C y β -caroteno. Tiene efectos anticancerígenos, capacidad antioxidante y anti-inflamatoria, mejora el sistema inmunológico, aumenta las defensas en el organismo y su alto contenido de fibra mejora la digestión.

Soto *et al.* (2011), establecieron que los compuestos formados a partir de la hidrólisis de taninos han recibido gran atención, debido a sus importantes actividades biológicas, tales como actividad antimutagénica, antiviral, anticancerígena, antitumoral, quimioprotectora y antioxidante. Las antocianinas presentes en la mora (*Rubus glaucus*) son pigmentos importantes tanto para la industria como para la nutrición humana, por su actividad antioxidante y el papel que desempeñan en la prevención de ECNT. Las moras son consideradas en la

actualidad como una fuente rica de polifenoles, presentes mayoritariamente los taninos elágicos y antocianinas.

Según Vasco *et al.* (2009), el mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) es rico en glucósidos de quercetina, ácidos hidroxicinámicos y antocianinas, mismos que presentan una alta actividad antioxidante.

Gaviria *et al.* (2009), señalan que el género *Vaccinium* tiene cerca de 400 especies y los frutos han atraído el interés de muchos investigadores alrededor del mundo, debido al alto contenido de compuestos polifenólicos, tales como ácido cinámico, flavonoles, antocianinas y antocianidinas. Además, describen al mortiño como un alimento nutracéutico rico en compuestos polifenólicos que tienen la propiedad de ser colorantes y antioxidantes potencialmente protectoras de la salud.

Guzmán *et al.* (1977) y Acosta *et al.* (2009), mencionan que la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) es una fruta rica en minerales y vitamina C. Además se caracteriza por su olor y sabor agridulce citado por Cerón *et al.*, 2010.

Cerón *et al.* (2010), establecieron que los carotenoides mayoritariamente encontrados en naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) son el β -caroteno, la luteína y zeaxantina. Además es una importante fuente de vitaminas y minerales que contribuyen a la salud: en el tratamiento y prevención de enfermedades cardiovasculares, oftalmológicas y diversas formas de cáncer. También, determinaron que la pulpa del tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) es de color naranja oscuro. Algunos autores han reportado que la pulpa del tomate de árbol cultivado en Ecuador, presenta propiedades para prevenir enfermedades neurodegenerativas y arterosclerosis, así como una importante actividad antioxidante y principales compuestos fenólicos. Además, realizaron estudios en compuestos antioxidantes de la uvilla (*Physalis peruviana*) señalando que es fuente de provitamina A y vitamina C, algunas del complejo B, proteína y fósforo.

Medina (2006), determinó el valor nutritivo de la uvilla tanto en macronutrientes y micronutrientes, además establece que este fruto tiene la capacidad de prevenir enfermedades por malnutrición como anemia.

Rababah *et al.* (2005), realizaron estudios con fresas, manzanas y duraznos para establecer el efecto de la deshidratación y el ácido ascórbico sobre la concentración de fenoles, actividad antioxidante, antocianinas y el color, encontrando que el contenido de ácido ascórbico es directamente proporcional con la luminosidad (L^*) e inversamente con los parámetros del color a^* y b^* , y que la deshidratación con el ácido ascórbico es un buen método para mantener e incrementar estos compuestos antioxidantes.

En investigaciones desarrolladas por el Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP, se ha determinado la calidad física en algunas frutas, que incluye la medición de los parámetros del color y la caracterización química de algunos de los componentes antioxidantes, llegando a determinar el potencial nutritivo y funcional en dos ecotipos de uvilla y granadilla (Medina, 2006), cuatro cultivares de tomate de árbol (Torres, 2006), tres clones seleccionados de arazá, seis de borjón y cinco formas de copoazú (Brito, 2011), catorce accesiones de mora (Montalvo, 2011), trece clones élite de naranjilla y la variedad INIAP Quitoense 2009 (López, 2011) y en once genotipos de tomate de árbol (Revelo, 2011).

Estudios similares realizados acerca de las propiedades colorantes y antioxidantes en tres cultivares comerciales de pitahaya roja, encontraron que en el jugo de esta fruta se combina las propiedades funcionales de un alimento coloreado naturalmente con el alto potencial antioxidante (Vaillant *et al.*, 2005).

De acuerdo a reportes sobre el contenido de polifenoles en jugo natural de naranja, noni y banano, una mayor fuente de antioxidante se encuentra en banano; por lo tanto, estos estudios se debería potenciar en base al poder nutracéutico y la biodisponibilidad de los polifenoles en las frutas y sus derivados (Cozzano, 2009).

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El presente trabajo de investigación se basa en el paradigma interpretativo que según García *et al.* (2010), en la tradición interpretativa se sustituyen los ideales por:

- Teoría de explicación
- Predicción
- Control por la comprensión
- Significado y acción

2.2.1. OBSERVACIÓN CIENTÍFICA

Es un instrumento válido y confiable para la medición de las variables, por esto su uso es muy frecuente tanto en investigación de campo como en ciencias y pueden ser observados de manera sistemática (Pazmiño, 2002).

2.3. FUNDAMENTACION TEÓRICO CIENTÍFICA

2.3.1. FRUTAS TROPICALES Y ANDINAS

2.3.1.1. ARAZÁ

El arazá (*Eugenia stipitata*, Figura 4) es un frutal nativo de la Amazonía perteneciente a la familia de las Mirtáceas, también es conocido como membrillo o guayaba amazónica, presenta gran capacidad de adaptación a condiciones de trópico húmedo con temperaturas promedio de 25°C (18°C-33°C), la precipitación pluvial de 42 a 472 mm y humedad relativa del 84% (López *et al.*, 2010).

Es un árbol de porte arbustivo, precoz, inicia la producción entre los 14 a 18 meses de edad y se va incrementando hasta los cinco años. Su fruto es una baya de forma esférica de 8 a 12 cm de diámetro, con superficie amarillo dorada en la madurez, cubierto de fina pubescencia, su pulpa es amarilla y ácida (Hernández *et al.*, 2008).



FIGURA 4. ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

La pulpa del fruto presenta excelentes propiedades organolépticas, que le confieren sabor y aroma exquisitos.

2.3.1.2. MORA

La mora (*Rubus glaucus*, Figura 5), también conocida como zarzamora en otros países, pertenece al género *Rubus* de la extensa familia de las *Rosáceas*, es una planta de vegetación perenne, de porte arbustivo semierecto, conformada por varios tallos espinosos que pueden crecer hasta tres metros. Las hojas tienen tres folíolos, ovoides de 4 a 5 centímetros de largo con espinas ganchudas. Los tallos son espinosos con un diámetro entre 1 a 2 centímetros y de 3 a 4 metros de longitud. En la base de la planta se encuentra la corona de donde se forman los tallos, la que está conformada por una gran cantidad de raíces superficiales (Chancusig, 2012).

El INIAP, a través del Programa Nacional de Fruticultura y el apoyo de los Departamentos de Nutrición y Calidad, Biotecnología y Recursos Filogenéticos de la Estación Experimental Santa Catalina, a partir del 2008 inició una serie de investigaciones relacionadas con la caracterización agronómica, molecular, físico-química y de calidad de una colección de mora. Luego de 5 años de investigación fue seleccionada la nueva variedad que se caracteriza por no poseer espinas, mayor productividad, frutos de calidad y resistencia a las principales enfermedades

que afectan a este cultivo; seleccionando la accesión MA-0100 colectada en el sector de San Luis-Tisaleo-Tungurahua con la finalidad de facilitar su manejo en el campo.

La variedad de mora sin espinas Iniap Andimora 2013 (accesión MA-0100) proviene de una mutación somática natural de plantas de mora de castilla con espinas, empleadas para la multiplicación vegetativa por acodo terminal; estas plantas fueron multiplicadas y distribuidas a tres localidades de la provincia de Tungurahua, entre 2810 y 2950 msnm y temperaturas de 12°C a 14°C encontrando las primeras producciones con buenas perspectivas (Jaramillo, 2013).



FIGURA 5. MORA (*Rubus glaucus*) INIAP ANDIMORA 2013

La fruta de la Mora de Castilla es esférica o elipsoidal y de tamaño variable, alcanzando entre 1,5 y 2,5 cm en su diámetro mayor. Es una baya formada por pequeñas drupas adheridas a un receptáculo. Al madurar la fruta, el receptáculo es blanco y carnosos y hace parte de la misma. Los frutos se forman en racimos grandes al final de cada tallo y rama secundaria (Farinango, 2010).

2.3.1.3. MORTIÑO

El mortiño (*Vaccinium floribundum*, Figura 6) es un arbusto perenne, delgado y pequeño que crece desde 0,5 m hasta 1 m de altura con hojas pequeñas, lanceoladas y márgenes finamente aserrados. Crece en los páramos de forma silvestre a una altitud de 1400 a 4350 msnm en clima frío-templado, con temperaturas de 7 a 14°C y pluviosidad de 800 a 2000 mm.



FIGURA 6. MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

El fruto es una baya esférica de 5-8 mm de diámetro, de color entre azul y azul oscuro, la pulpa es verde y las antocianinas se encuentran localizadas en la cáscara, se encuentra cubierta de un bello blanquecino similar al de las uvas, presenta características diferentes, algunos son agradables, jugosos y otros son apenas comestibles. Contienen semillas muy pequeñas que no se pueden diferenciar a simple vista (Tupuna, 2012).

En la zona Andina en América del Sur, se reportan 3 especies de *Vaccinium*: *V. corymbodendrum*, *V. floribundum* y *V. meridionale*; distribuidas desde Venezuela hasta Bolivia y Ecuador (Gaviria *et al.*, 2009).

2.3.1.4. NARANJILLA

La naranjilla (*Solanum quitoense*, figura 7) es una especie de la familia de las Solanáceas, originaria de las estribaciones de los Andes de Ecuador y Colombia, presentando cierta variabilidad en forma, tamaño, sabor, color de la pulpa y piel. (Orozco, 2003).



FIGURA 7. NARANJILLA (*Solanum Quitoense* Lam)
VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

El fruto de naranjilla es muy apetecido a nivel nacional y tiene potencial para el consumo internacional por la exquisitez de su jugo, sabor agridulce, aromático y refrescante. Este frutal nativo se cultiva principalmente en el oriente ecuatoriano entre los 800 y 1700 m.s.n.m. con temperaturas entre 14 y 22°C y precipitaciones pluviales por año superiores a 1500 mm.

El INIAP a través del programa de “Fruticultura” ha generado tecnologías que permitan generar materiales resistentes y prácticas de manejo agronómico integrado en base a varios cruzamientos interespecíficos entre la variedad de jugo y especies silvestres, obteniendo frutos de calidad comercial en cuanto a tamaño, pulpa color verde y aroma característico (Vásquez *et al.*, 2009).

La naranjilla de jugo Iniap Quitoense 2009, proviene de una selección de la variedad Baeza (2005-2007), que se ha venido mejorando mediante la selección de plantas considerando vigor, capacidad de cuajado, productividad y calidad físico química de los frutos, durante los años 2008 y 2009. Material escogido por sus características que demanda el mercado para el consumo fresco e industrial (Viteri *et al.*, 2009).

2.3.1.5. TOMATE DE ÁRBOL

El tomate de árbol o tamarillo (*Solanum betaceum* Cav., Figura 8) pertenece a la familia de las Solanáceas, es una planta originaria de los Andes Peruanos, dispersa en otros países de la región andina como Chile, Ecuador, Bolivia, Brasil y Colombia, también se cultiva en las zonas montañosas de África, India y Australia. Es una planta arbustiva con tallos semileñosos, de follaje grande, alcanzando una altura de 2 a 3 m y las hojas son cordiformes (forma de corazón), carnosas, levemente (Calvo, 2009).



FIGURA 8. TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.)
VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Crece en climas de bosque húmedo premontano, seco montano y bosque húmedo montano bajo, su mejor desarrollo y producción se obtiene en los valles interandinos subtropicales y templados de la sierra ecuatoriana. Estas zonas presentan clima templado a templado frío con temperaturas de 13 a 24°C, dependiendo la altitud.

La planta de tomate de árbol requiere precipitaciones de alrededor de 1200 mm distribuidos regularmente todo el año. El fruto es una baya ovalada pequeña, carnosa, puntiaguda o redonda en el extremo. La cáscara es delgada y tersa. El color del fruto depende de la variedad: amarillo, anaranjado, rojo amarillento o rojo opaco, la pulpa es jugosa, agrídulce y de color anaranjado claro. El material más cultivado es el Común, seguido por el Amarillo Gigante y el híbrido Mora Ecuatoriano que es apreciado en la Costa, se desconoce el origen del tomate Amarillo Gigante que es muy cultivado en Tungurahua e Imbabura (Revelo *et al.*, 2006).

2.3.1.6. UVILLA

La uvilla (*Physalis peruviana*, Figura 9) es una planta arbustiva perteneciente a la familia de las Solanáceas, con una raíz fibrosa que se ha encontrado a más de 60 cm de profundidad en el suelo. Posee un tallo algo quebradizo de color verde, las hojas son enteras, similares a un corazón pubescente y de disposición alterna. Las flores son hermafroditas de cinco sépalos, con una corola amarilla y de forma tubular. El centro de origen de esta fruta fueron los Andes peruanos, considerada exótica y de importancia económica por sus magníficas propiedades (Calvo, 2009).

La uvilla crece en sitios entre 1300 y 3500 msnm, aunque los mejores resultados se obtienen entre 2000 y 3000 msnm con una temperatura entre los 11 y 17°C, siendo susceptible a heladas. Las precipitaciones deben oscilar entre 600 a 1500 mm bien distribuidos a lo largo del año (Altamirano, 2010).

Brito (2002), señala que las zonas aptas para el desarrollo de este cultivo se encuentran en los valles del callejón interandino y en las estribaciones de la cordillera de todas las provincias de la sierra ecuatoriana, por su ubicación estratégica y las condiciones agroclimáticas que presentan. Cotopaxi es una de las primeras provincias en cultivar comercialmente uvilla, luego se extendieron a Tungurahua, Pichincha e Imbabura; citado por Altamirano, 2010.



FIGURA 9. UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

El fruto es una baya carnosa en forma de globo, con un diámetro que oscila entre 1,25 y 2,5 cm y con un peso entre 4 y 10 g; está cubierto por un cáliz formado por cinco sépalos que le protege contra insectos, pájaros, patógenos y condiciones climáticas extremas. Su pulpa presenta un sabor semiácido y contiene de 100 a 300 semillas pequeñas de forma lenticular (Calvo, 2009).

2.3.2. COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

Los antioxidantes son una forma de defensa del cuerpo humano contra los radicales libres. Son agentes que inhiben o neutralizan el daño potencial que los radicales libres pueden ocasionar.

Los antioxidantes más conocidos son: vitamina C, Beta-caroteno (una forma de vitamina A) y compuestos fenólicos (Antocianinas y Polifenoles); algunos ejemplos son reportados en la Tabla 3.

TABLA 3. COMPUESTOS ANTIOXIDANTES: ACCIÓN ANTIOXIDANTE Y EFECTOS SECUNDARIOS

ANTIOXIDANTES	FUENTE	ACCIÓN ANTIOXIDANTE	EFECTOS SECUNDARIOS
β – caroteno	Frutas y vegetales	<ul style="list-style-type: none"> • Protege el ADN • Detiene el deterioro de tejidos 	Su consumo excesivo produce descamación de la piel, caída del cabello, debilidad, ahogo y vomito.
Compuestos fenólicos (Antocianinas y Polifenoles)	Vegetales y frutas	<ul style="list-style-type: none"> • Quela metales 	No se reporta efectos nocivos.
Vitamina C	Vegetales y frutas	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibidor de la oxidación de lípidos • Regenera a la vitamina E • Protección contra el cáncer 	Su ingesta excesiva puede ocasionar cálculos en el riñón o vías urinarias.

Fuente: Delgado *et al.*, 2010.

2.3.3. COLOR

El color de los alimentos es quizás el primer atributo que el consumidor valora cuando determina la apariencia y calidad de un producto, y por tanto va a condicionar su aceptabilidad. Una apariencia natural siempre será evaluada positivamente, mientras que se tomarán precauciones ante un color extraño o inesperado que suele ser interpretado en términos de deterioro o manipulación inadecuada de las frutas y vegetales. En las frutas y vegetales, el color se debe principalmente al concurso de tres familias de pigmentos: clorofilas, carotenoides y antocianinas, que son responsables de la coloración verde, roja-amarilla, y azul-violeta, respectivamente (Mínguez *et al.*, 2010).

2.4. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Para la ejecución de este proyecto de investigación se consideraron los siguientes métodos físicos, químicos y normativas legales:

- **Caracterización física y química:**
 - a) Determinación de características físicas y químicas de frutas y hortalizas. Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniería de Poscosecha II.
 - b) Laboratorio de Servicios Analíticos e Investigación en Alimentos (LSAIA). Determinación de Humedad. 2013. Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina – INIAP.
- **Antocianinas totales**

Reability of Analytical Methods for Determining Anthocyanins in Blood Orange Juices. Adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad.
- **Carotenoides totales**

Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. Adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad.
- **Polifenoles totales**

Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. Adaptado al Departamento de Nutrición y Calidad para la determinación de polifenoles totales. Adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad.
- **Vitamina C**

Test de ácido ascórbico. Adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad.
- **Política Nacional del Buen Vivir**

Se consideró el Título II. Derecho. Capítulo segundo. Derecho del Buen Vivir. Sección primera: agua y alimentación. Constitución de la República del Ecuador (2008), presentado en el anexo 8.

2.5. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

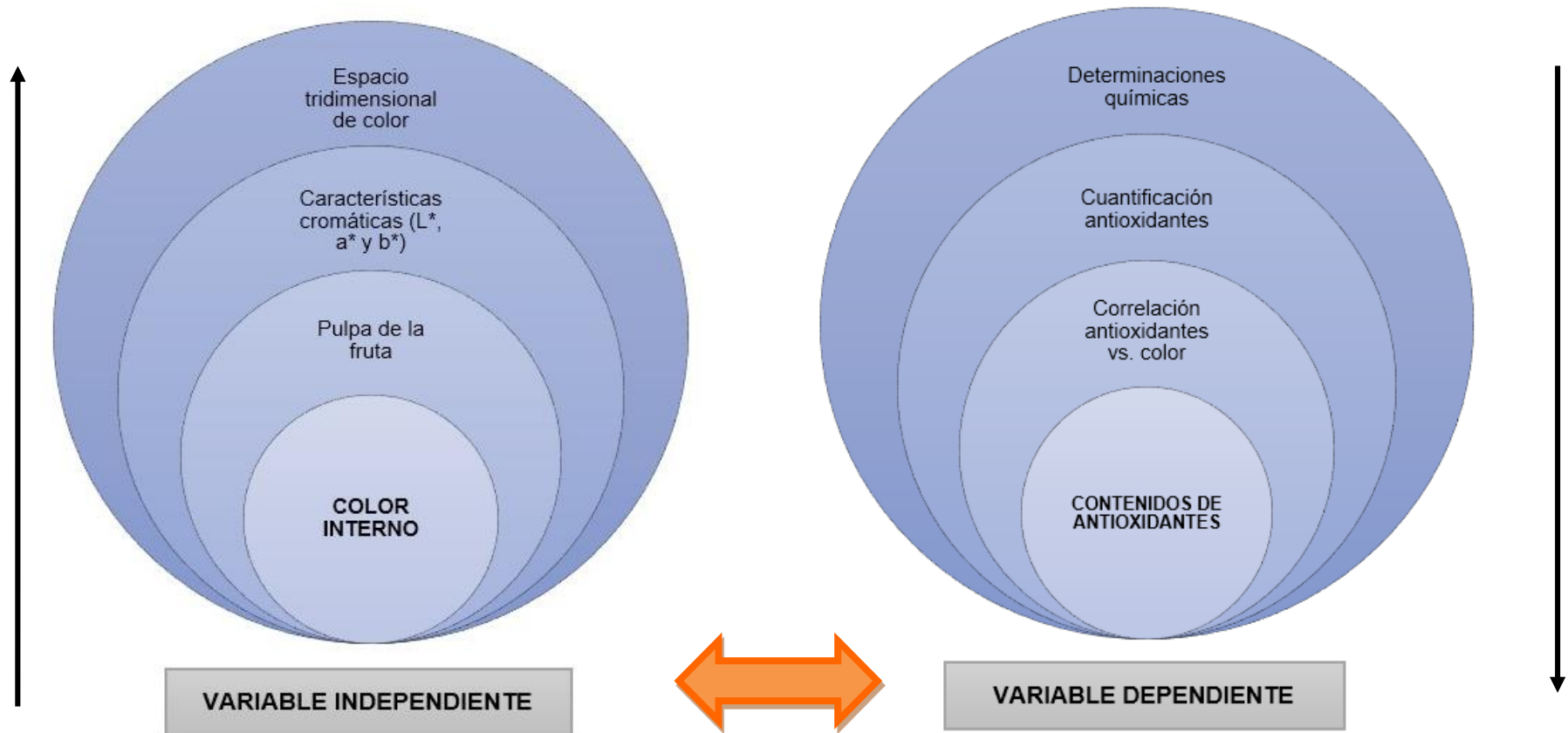


GRÁFICO 4. RED LÓGICA DE INCLUSIÓN

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

2.5.1. MARCO CONCEPTUAL

2.5.1.1. MARCO CONCEPTUAL VARIABLE INDEPENDIENTE

a) Color

Según Francis y Clydesdale (1975), físicamente el color se puede definir como la distribución de energía de una luz reflejada o transmitida en un alimento en particular. Desde el punto de vista químico, el color representa el espectro de absorción de energía desde el ultravioleta hasta el infrarrojo. Sin embargo, solo la energía que corresponde al espectro visible es la que contribuye a la percepción del color. En un alimento estará influenciado por la absorción de luz de las partículas de ese alimento y la dispersión de la luz de las mismas. Esto hace que la medición de color sea un tanto empírica. De igual manera el color tiene mayor brillantez cuando está aplicado en un área, que cuando se aplica a pequeñas áreas; citado por Alvarado y Aguilera, (2001).

El color es uno de los elementos visuales más importantes, relacionado con la sensación que se percibe visualmente a partir de la refracción de la luz en la superficie de los objetos. El color puede ser descrito mediante 3 atributos o cualidades de la sensación visual: tonalidad, luminosidad y cromatismo.

- **Tonalidad:** Es el color en sí mismo (rojo, amarillo, verde o azul).
- **Luminosidad:** Atributo de la sensación visual (más luminoso o menos luminoso).
- **Cromatismo:** Se le conoce también como el nivel de coloración (mayor intensidad o menor intensidad de color).

La combinación de los 3 atributos permite definir los múltiples matices de color. Estas características cromáticas vienen definidas por las coordenadas colorimétricas o de cromaticidad: Luminosidad (L^*), componentes de color rojo/verde (a^*) y amarillo/azul (b^*) (Castellucci, 2006).

Coultate (1998) y Wang *et al.* (1996), explican en sus respectivos estudios que los colores que tienen las frutas, hortalizas y flores se debe a la presencia de compuestos fitoquímicos, tales como los carotenos, que son los responsables del color amarillo y anaranjado, las antocianinas son encargadas de dar la coloración rosa, rojo, azul y malva; éstos compuestos además de contener el pigmento del vegetal, poseen sustancias para combatir las enfermedades degenerativas del cuerpo humano, y brindan efectos benéficos para la salud (Cozzano, 2009).

2.5.2. MARCO CONCEPTUAL VARIABLE DEPENDIENTE

2.5.2.1. COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

a) ANTOCIANINAS

Las antocianinas (Figura 10) son pigmentos hidrosolubles con características de glucósidos; están constituidos por una molécula de antocinidina, que es la aglucona, a la que se une por medio de un enlace β -glucosídico. Los hidratos de carbono que comúnmente se encuentran son: glucosa, ramnosa, galactosa, xilosa y arabinosa. Actualmente se conoce aproximadamente 20, que combinadas con los diferentes azúcares dan aproximadamente 150. Son las responsables de los colores rojo, anaranjado, azul y púrpura de diversas frutas, generalmente se encuentran en la cáscara o piel y en la parte carnosa (Badui, 1999).

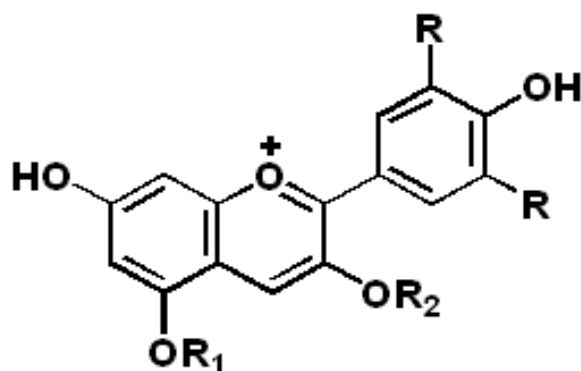


FIGURA 10. ESTRUCTURA BÁSICA DE LAS ANTOCIANINAS

Fuente: Badui, 1999.

Las antocianinas (glucósidos y acylglycosides de antocianidinas) son importantes en la industria alimentaria, que se consideran como posibles sustitutos de los colorantes alimentarios sintéticos, y en la nutrición humana, como agente protector contra algunas enfermedades (Acosta *et al.*, 2009).

b) CAROTENOIDES

El nombre genérico de los carotenos deriva de la zanahoria, *Dacus carota*, ya que fue de esta hortaliza de donde se aislaron por primera vez; en la naturaleza se han identificado mas de 420 tipos, su color varia de amarillo a anaranjado y rojo; son los responsables del color de muchas frutas y vegetales, encontrándose básicamente en aquellos tejdos que llevan a cabo la fotosíntesis. Su color se debe a la conjugación de los dobles enlaces, así como la presencia de anillos extremos en ciertos casos; en estado natural sus insaturaciones tienen una configuración *trans* y otros con isomeraciones *cis*. Las modificaciones de estas estructuras presentan cambios importantes de color (Badui, 1999). En la Figura 11, se muestra la estructura química del β caroteno, precursor de la provitamina A.

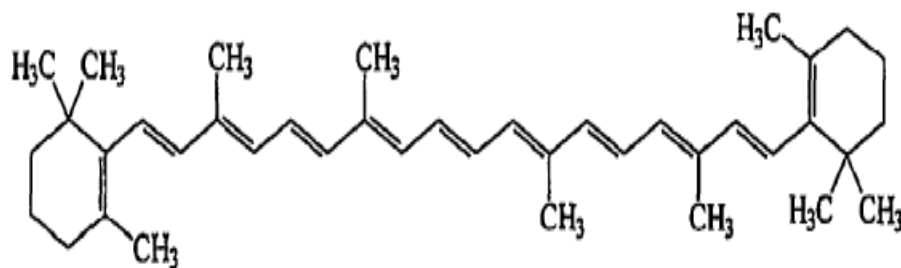


FIGURA 11. ESTRUCTURA QUÍMICA DEL β -CAROTENO

Fuente: Badui, 1999.

Los carotenoides se clasifican en dos grupos: carotenos y xantofilas. Los carotenos solo contienen carbono e hidrógeno (por ejemplo el β -caroteno, el licopeno, etc.), mientras que las xantofilas contienen además oxígeno (por ejemplo, la luteína). Se conocen más de 600 carotenoides, y se les encuentra en forma libre, como ésteres

de ácidos grasos o como glicósidos. Sin embargo, los glicósidos carotenoides son muy raros.

Los carotenoides debido a la alta conjugación de enlaces dobles presentes en sus moléculas se descomponen por efecto de la luz, la temperatura y el aire. La luz favorece reacciones fotoquímicas que cambian la estructura original del carotenoide (por ejemplo isomerismo *cis* y *trans*), el calor también favorece reacciones térmicas de degradación y el aire debido al oxígeno que favorece la oxigenación de los dobles enlaces a funciones epóxido, hidroxilos y peróxidos, entre otros (Martínez, 2003).

c) POLIFENOLES

Los compuestos orgánicos que estructuralmente presentan un grupo -OH unido a un anillo aromático, se conocen como compuestos fenólicos y aquellos en que se repite este radical son conocidos como polifenoles (Cuevas *et al.*, 2008).

Los flavonoides son los polifenoles que poseen al menos 2 subunidades fenólicas; los compuestos que tienen 3 o más subunidades fenólicas se denominan taninos. Los flavonoides son derivados fenólicos sintetizados en cantidades substanciales por las plantas. Comprenden alrededor de 4000 compuestos identificados, son derivados hidroxilados, metoxilados y glicosilados de la 2 fenil benzo y pirano, que consiste en dos anillos benceno combinados por mediación del oxígeno contenido en el anillo 12 pirano (Paladino, 2007).

Se han demostrado múltiples efectos positivos sobre la salud debido a su acción antioxidante y eliminadora de radicales libres. Efectos anti-inflamatorios, antivirales, antialérgicos, y papel protector frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y diversas patologías (Muñoz *et al.*, 2007).

En la Figura 12, se muestra la estructura química del ácido gálico, considerado uno de los polifenoles mas importantes para la nutrición humana.

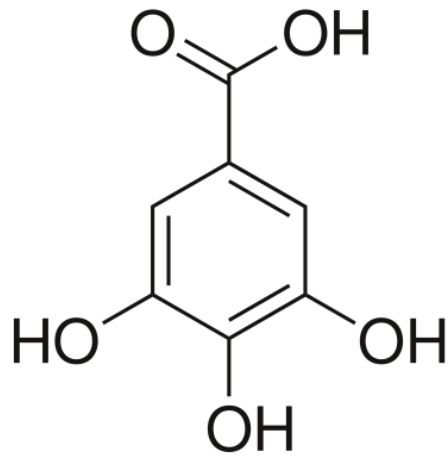


FIGURA 12. ESTRUCTURA QUIMICA DEL ÁCIDO GÁLICO

Fuente: Cozzano, 2009.

d) VITAMINA C

La vitamina C (Figura 13) es una cetona cíclica que corresponde a la forma enólica de la 3-ceto-l-gulofaranolactona, contiene un enol entre los carbonos 2 y 3 que la hace un agente ácido y muy reductor; por lo que se oxida fácilmente.

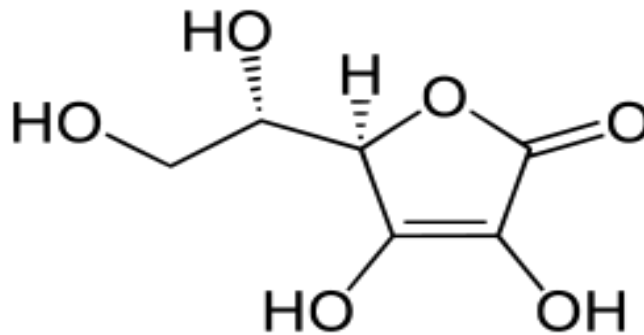


FIGURA 13. ESTRUCTURA DEL ÁCIDO ASCÓRBICO.

Fuente: Badui, 1999.

Varias isómeros del ácido ascórbico presentan una actividad biológica de vitamina C; sin embargo, solo el ácido L-ascórbico y el ácido deshidroascórbico (producto de la oxidación del anterior), tienen una importancia nutricional significativa; puesto que solo los isómeros L de estos ácidos tienen una acción vitamínica (Badui, 1999).

2.6. HIPÓTESIS

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

2.6.1. Hipótesis nula

H₀: El contenido de antioxidantes no correlaciona con el color interno de las frutas.

2.6.2. Hipótesis alternativa

H₁: El contenido de antioxidantes correlaciona con el color interno de las frutas.

2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.7.1. Variables Independientes: Color interno de las frutas.

- Luminosidad (L*)
- Parámetro a (a*)
- Parámetro b (b*)

2.7.2. Variable Dependiente: Contenido de antioxidantes.

- Antocianinas totales
- Carotenoides totales
- Polifenoles totales
- Vitamina C

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE

El enfoque del presente trabajo de investigación es cuantitativo, con la finalidad de explicar fenómenos a través de relaciones causales. La recolección de datos permitió fundamentar sólidamente la hipótesis.

Este estudio se realizó en cinco fases, que comprendió la caracterización físico-química de las muestras seleccionadas, preparación de muestras, cuantificación de compuestos antioxidantes, análisis estadístico y construcción de modelos matemáticos. Para esto se estableció que cada tipo de fruta es una unidad experimental diferente, por sus características morfológicas, físicas y químicas.

3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación se trabajó bajo dos modalidades:

3.2.1. Investigación Documental

Se basó en la revisión de diferentes fuentes bibliográficas y documentales como referencia de análisis e interpretación de resultados.

3.2.2. Investigación Experimental

Con el fin de describir el fenómeno de estudio se manejó las variables experimentales en el laboratorio en condiciones de repetibilidad y reproducibilidad con la finalidad de desarrollar modelos matemáticos que permitan predecir el contenido de antioxidantes en las frutas seleccionadas en base a los resultados del análisis de un parámetro físico como el color.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de explicar el problema de investigación se aplicó dos tipos de investigación:

3.3.1. Investigación Exploratoria

El tema elegido ha sido poco explorado, lo que dificultó formular hipótesis precisas acerca de la relación de los componentes de color y el contenido de antioxidantes en las frutas seleccionadas. Cuando el problema de investigación no admite una descripción sistemática se recurre a este tipo de investigación.

3.3.2. Investigación Cuantitativa

En base a este tipo de investigación se examinó los datos de manera científica aplicando herramientas estadísticas como medidas de tendencia central (media, desviación estándar y coeficiente de variación).

Se estableció la relación entre las variables dependientes e independientes, mediante análisis multivariado y se estableció la correlación utilizando una regresión multilínea.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Se trabajó con 6 genotipos de frutas tropicales y andinas en su estado de madurez comestible. Considerando 15 muestras por genotipo, se analizó un total de 90 muestras en triplicado (N=270) en el caso de antocianinas y polifenoles, por duplicado para el contenido de carotenoides (N=180) y en simple en el caso de vitamina C (N=90).

3.4.2. MUESTRA

Cada muestra estuvo constituida de 5 kg de fruta, la misma que fue obtenida directamente del campo de productores de las frutas en estudio (naranja, tomate de

árbol y uvilla). En el caso de arazá y mora se trabajó con variedades desarrolladas por el INIAP, para mortiño se utilizó muestras silvestres de los páramos de las provincias de Cotopaxi, Bolivar y Pichincha. En la Tabla 4 se describe la identificación y procedencia de las variedades utilizadas dentro de este estudio.

TABLA 4. FRUTAS TROPICALES Y ANDINAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO

Frutas	Nombre Científico	Identificación	Procedencia
Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	Material INIAP	Granja San Carlos del INIAP. Orellana Joya de los Sachas.
Mora	<i>Rubus glaucus</i>	Variedad INIAP ANDIMORA 2013	Tungurahua, Ambato.
Mortiño	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	Material nativo	Cotopaxi, Sigchos. Bolivar, Salinas. Pichincha, Machachi.
Naranjilla	<i>Solanum Quitoense</i> Lam.	Variedad INIAP Quitoense 2009	Pichincha, Noroccidente.
Tomate de árbol	<i>Solanum betaceum</i> Cav	Variedad Anaranjado Gigante	Tungurahua, Pelileo y Patate.
Uvilla	<i>Physalis peruviana</i> L.	Variedad Golden Keniana	Tungurahua, Ambato.

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5. PROCEDIMIENTO

3.5.1. FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA

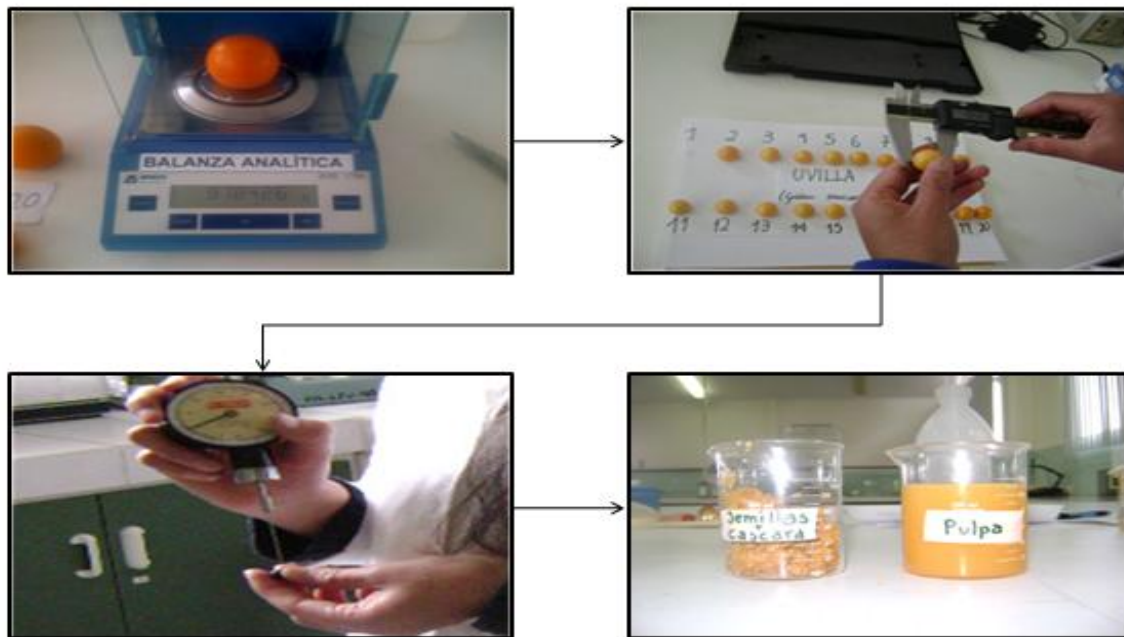
3.5.1.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La caracterización física de la fruta fue realizada en el estado de madurez comestible, realizando determinaciones de peso, largo, diámetro, firmeza y rendimiento. Cada parámetro fue evaluado en base al método reportado en el Anexo 1, de la siguiente manera:

- a) **Peso:** Se registró el peso de cada muestra en gramos con ayuda de una balanza analítica (Figura 14).

- b) **Diámetro y largo:** Utilizando un calibrador de Vernier se tomó como referencia dos medidas, una horizontal y una vertical como se muestra en la Figura 14.
- c) **Textura:** La resistencia a la penetración se determinó en $\text{Kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ (émbolo de diferente diámetro) para conocer la firmeza de las muestras como se observa en la Figura 14.
- d) **Rendimiento:** Para el rendimiento (Figura 14) se tomó una muestra de peso conocido, se separó y pesó individualmente la corteza, semilla y pulpa. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de rendimiento.

FIGURA 14. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA FRUTA SELECCIONADA

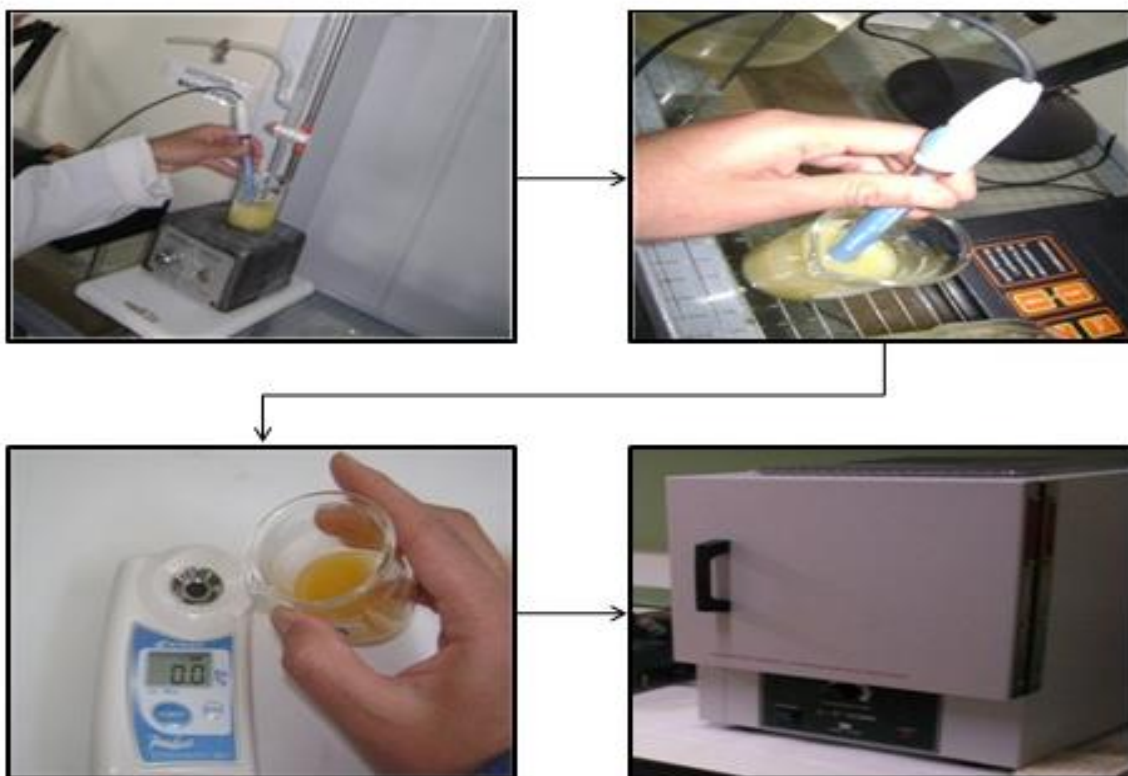


Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5.1.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Dentro de la caracterización química (Anexo 1 y 2) se evaluó los parámetros de Acidez titulable, pH, °Brix y humedad. Estos parámetros fueron evaluados de la siguiente manera:

FIGURA 15. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

- a) Acidez:** Para el análisis se toma 30 g de muestra (pulpa), adicionar 2 ó 3 gotas de fenolftaleína y titular con solución de NaOH 0,1N (Figura 15) a un punto final de pH 8,2 (momento en que ocurre el cambio de color del indicador). El resultado se expresa como porcentaje del ácido orgánico predominante en la fruta como se observa en el Anexo 1.
- b) pH:** Se extrae la pulpa de la fruta y con un potenciómetro HANNA, modelo HI83141 se determina el potencial hidrogeno (pH) de cada muestra como se muestra en la Figura 15.
- c) Sólidos solubles (°Brix):** Los sólidos solubles se mide directamente en la pulpa de la muestra con un refractómetro de (0-30) °Brix, como se muestra en la Figura 15.

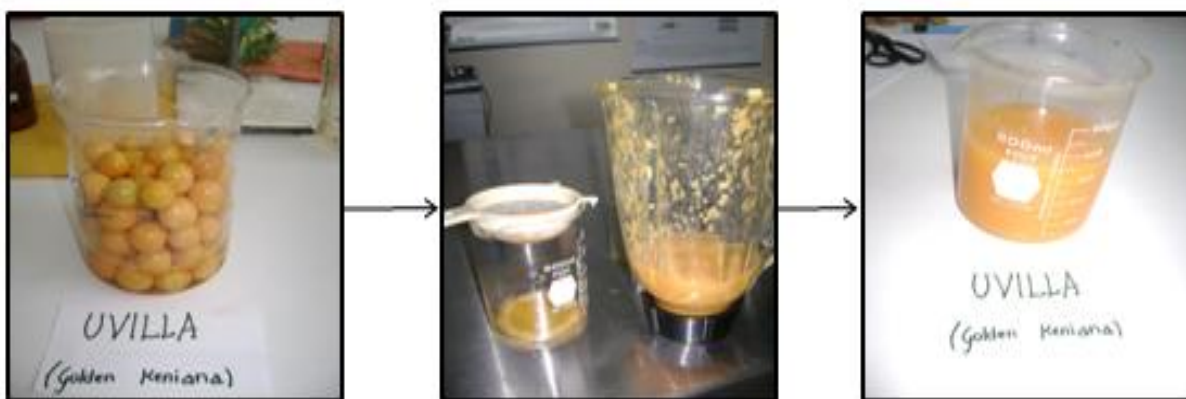
d) Humedad: El contenido de agua en la muestra (Figura 15) se determinó en base a la pérdida de peso por volatilización a causa del calor en una estufa a 105°C. Los resultados son expresados en porcentaje, como se muestra en el Anexo 2.

3.5.2. FASE 2. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES

3.5.2.1. DESPULPADO

- a) Recepción de la fruta:** En las muestras provenientes de diferentes localidades se determinó la firmeza y se seleccionó las frutas con grado de madurez comestible.
- b) Lavado:** Las muestras seleccionadas son lavadas para eliminar los microorganismos, suciedades y materia orgánica adheridos provenientes del campo.
- c) Despulpado:** A la fruta previamente lavada, se elimina la corteza, posteriormente la pulpa se licúa, tamiza y se almacena en fundas ziploc a - 18 °C protegidas de oxígeno y luz como, se muestra en la Figura 16.

FIGURA 16. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS (DESPULPADO)



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5.2.2. LIOFILIZACIÓN

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación, se aplicó con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor, color y el aroma en los alimentos por oxidación, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado. El proceso de liofilización consta principalmente de dos pasos:

- a) Congelar el producto a -18°C , como se muestra en la Figura 17.
- b) Secado por sublimación directa (Figura 17) del hielo bajo presión reducida.

Este proceso se realizó con ayuda de un liofilizador Laboconco modelo 1400 (Figura 17), -40°C y $0,13\text{ Mbar}$.

FIGURA 17. LIOFILIZACIÓN DE LAS MUESTRAS



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5.3. FASE 3. DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO

3.5.3.1. Método de determinación del color interno

El color interno (Anexo 7) se determinó tomando datos de la pulpa, mediante el medidor de color marca ColorTec-PCM™, como se describe en el Gráfico 5.

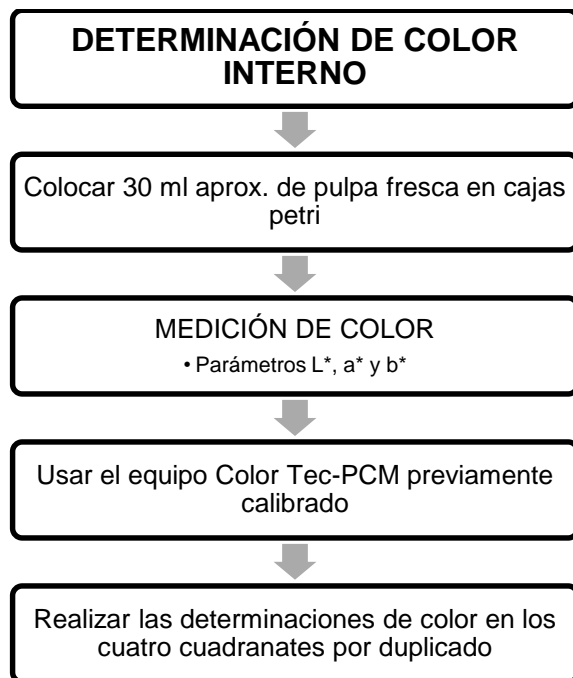
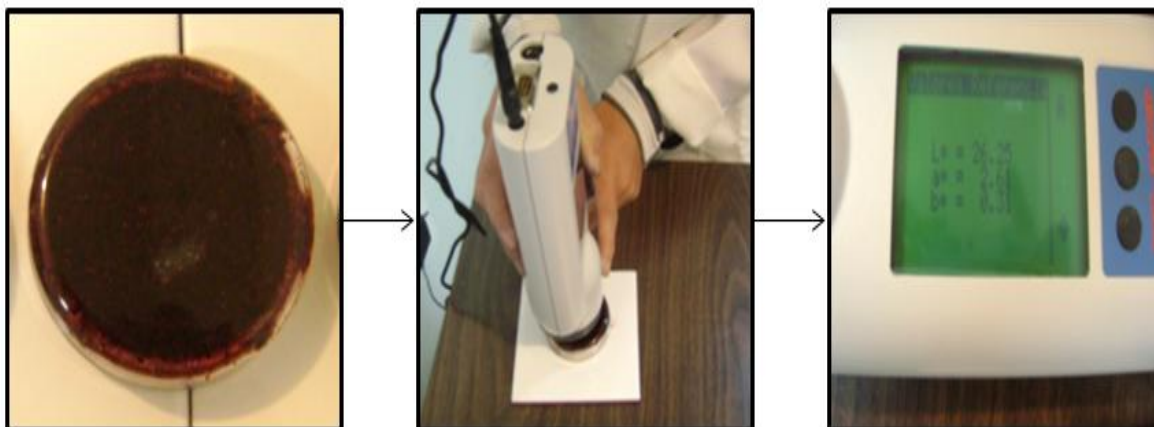


GRÁFICO 5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO EN FRUTAS

En la Figura 18 se describe gráficamente el proceso de medición de color en pulpa de las frutas seleccionadas.

FIGURA 18. PROCESO DE DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014

3.5.4. FASE 4. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

3.5.4.1. Método de determinación de Antocianinas

La cuantificación de antocianinas totales (Anexo 3) se realizó en base al método planteado por Rapisarda *et al.*, 2000. Este proceso se detalla en el Gráfico 6.

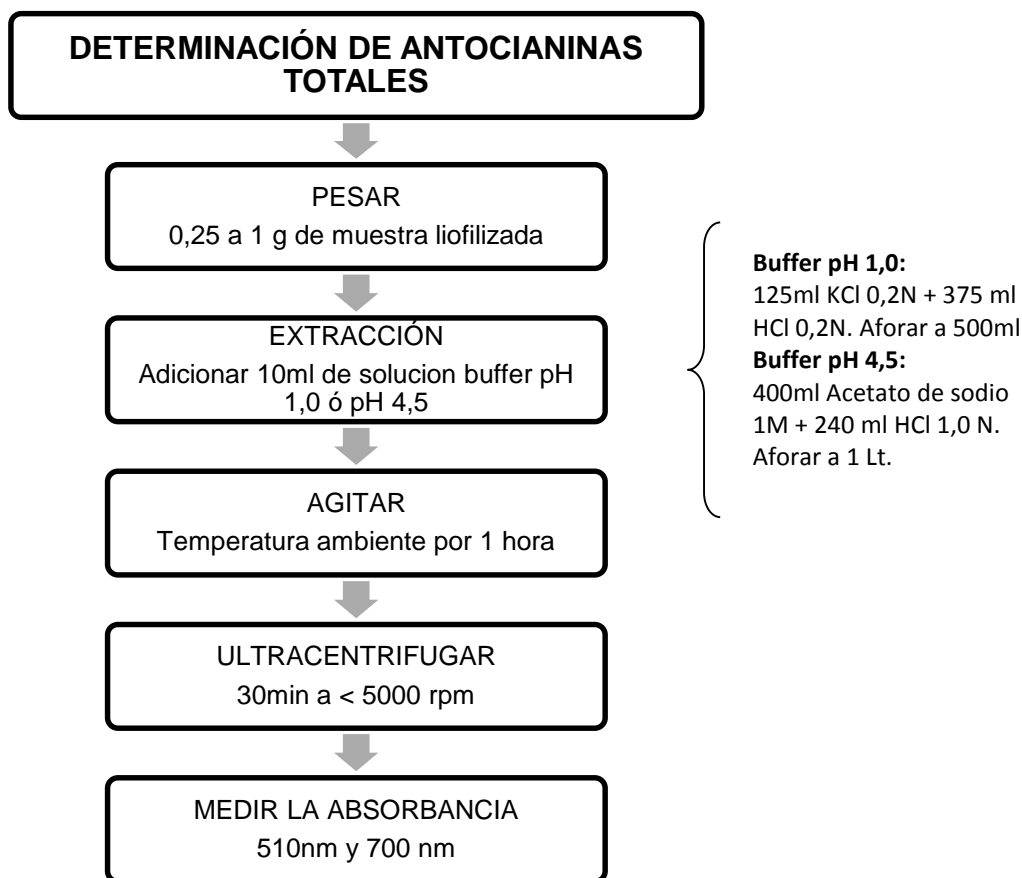
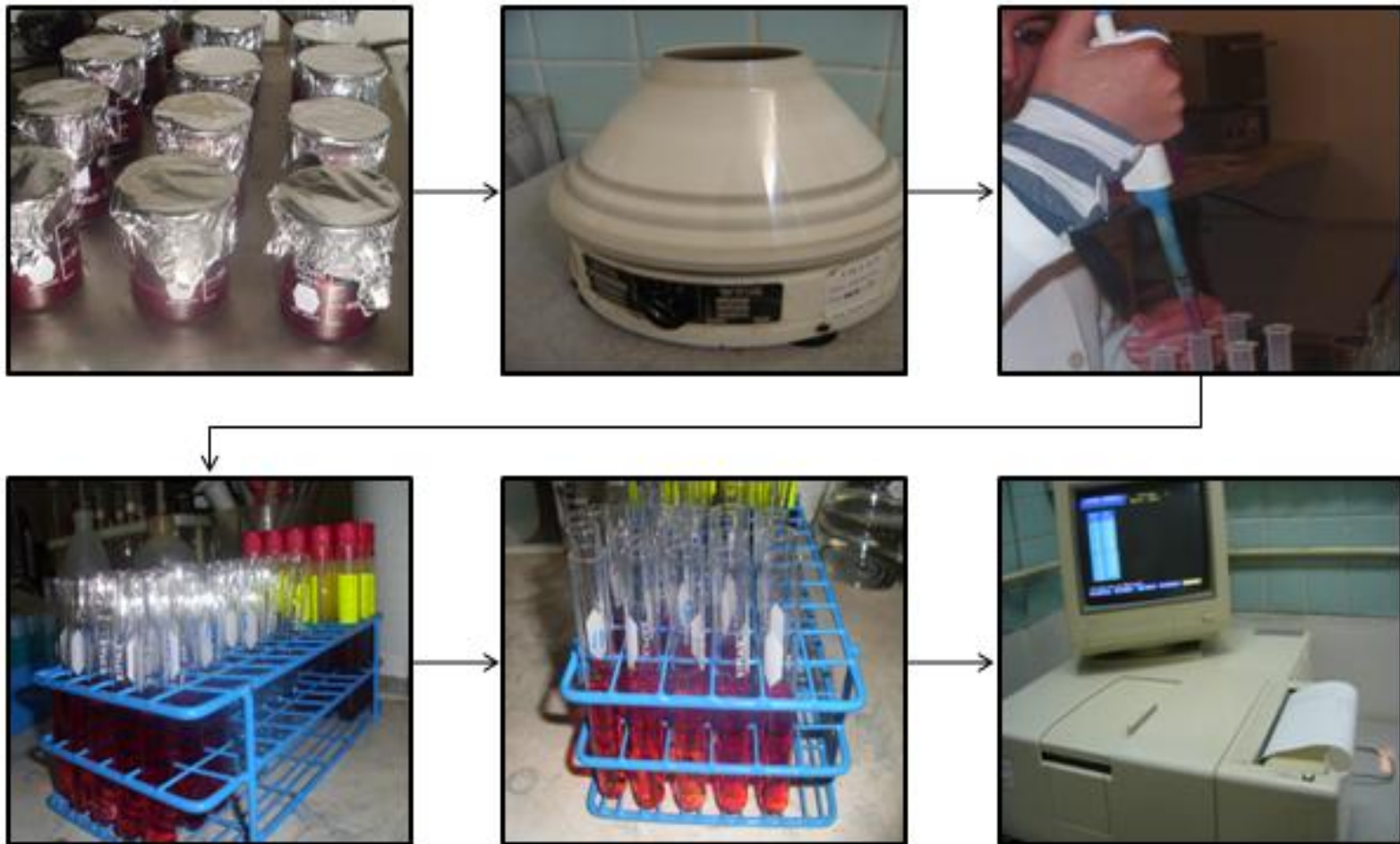


GRÁFICO 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES EN FRUTAS

El proceso gráfico de extracción y cuantificación de compuestos fenólicos (antocianinas totales) con solución buffer pH 1,0 y pH 4,5 se detalla en la Figura 19.

FIGURA 19. PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5.4.2. Método de determinación de Carotenoides

La determinación de carotenoides (Anexo 4) se realizó en base al método presentado por Sze e Indrawati, (2012). El proceso se especifica en el Gráfico 7.

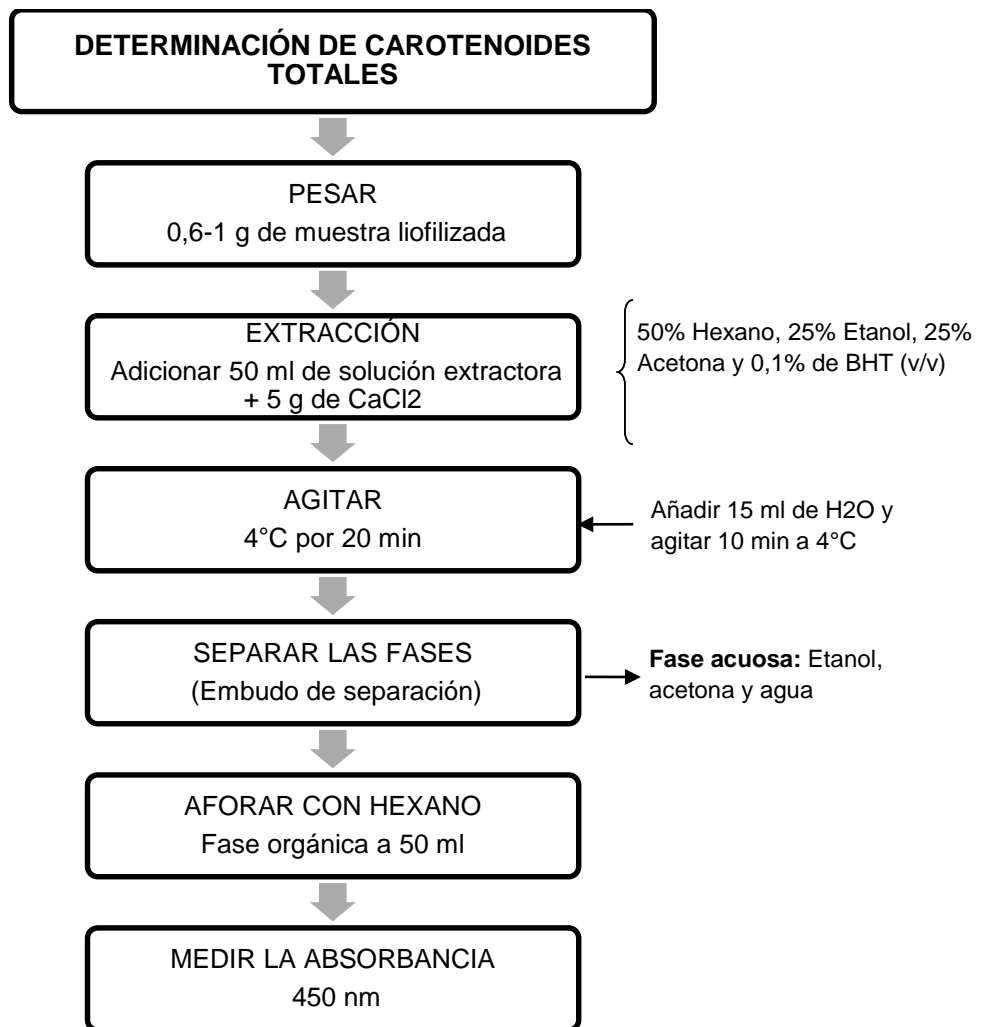
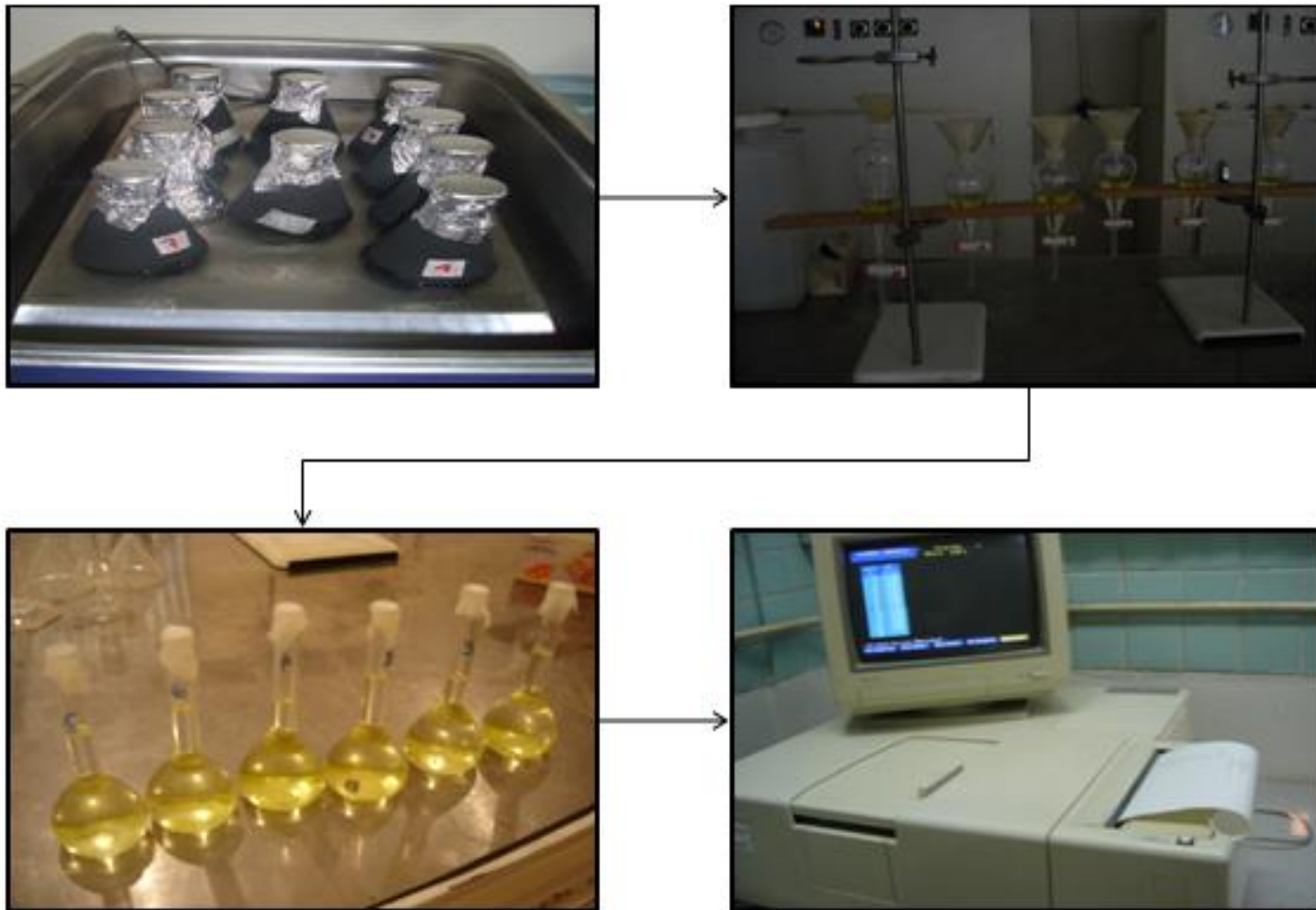


GRÁFICO 7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN FRUTAS

El proceso gráfico de extracción con solución de acetona, etanol y hexano se describe en la Figura 20.

FIGURA 20. PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5.4.3. Método de determinación de Polifenoles

La cuantificación de polifenoles totales (Anexo 5) se realizó aplicando el método publicado por Slinkard y Singleton, 1967. El cual fue adaptado por el Departamento de Nutrición y Calidad, descrito en el Gráfico 8.

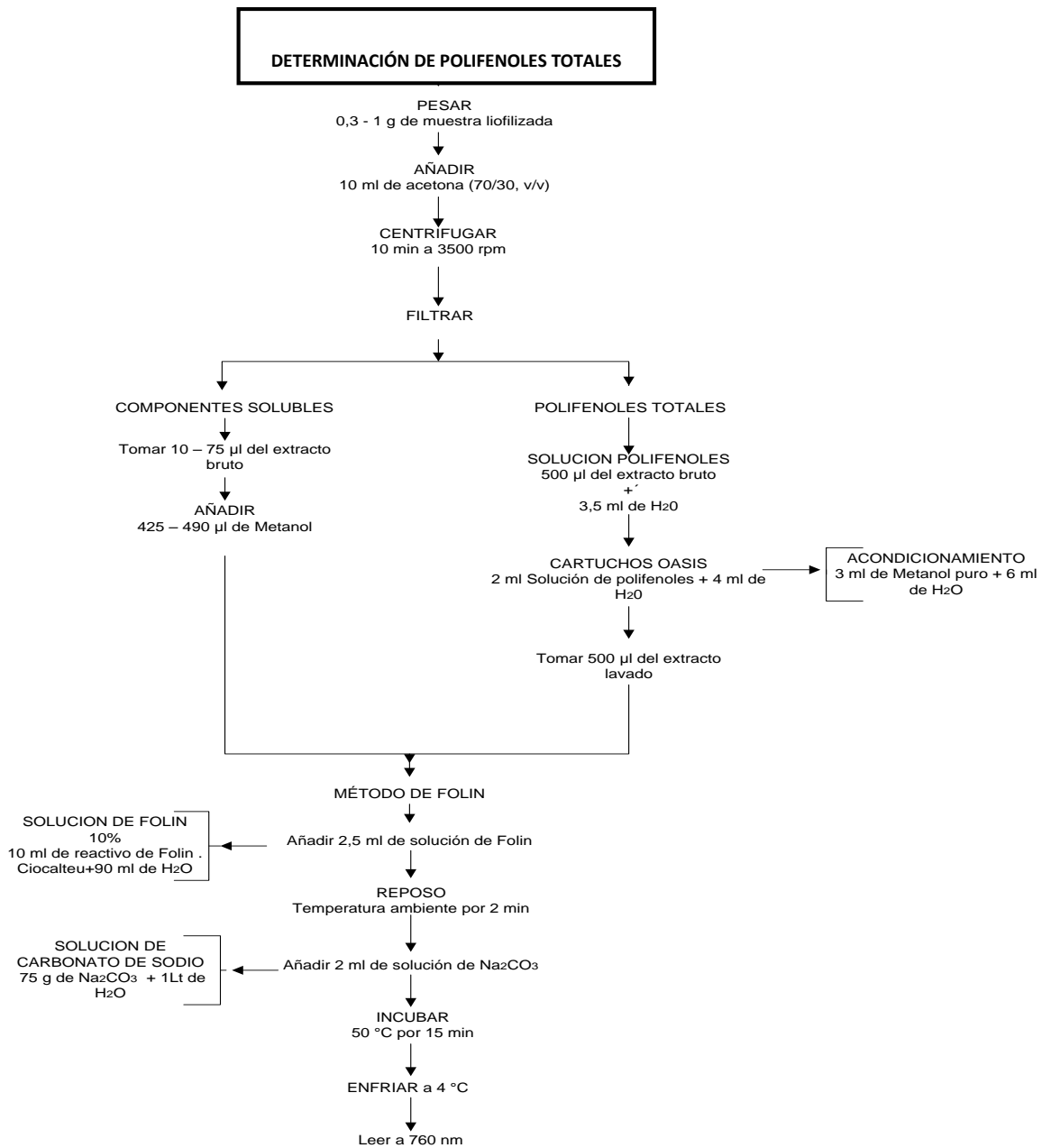
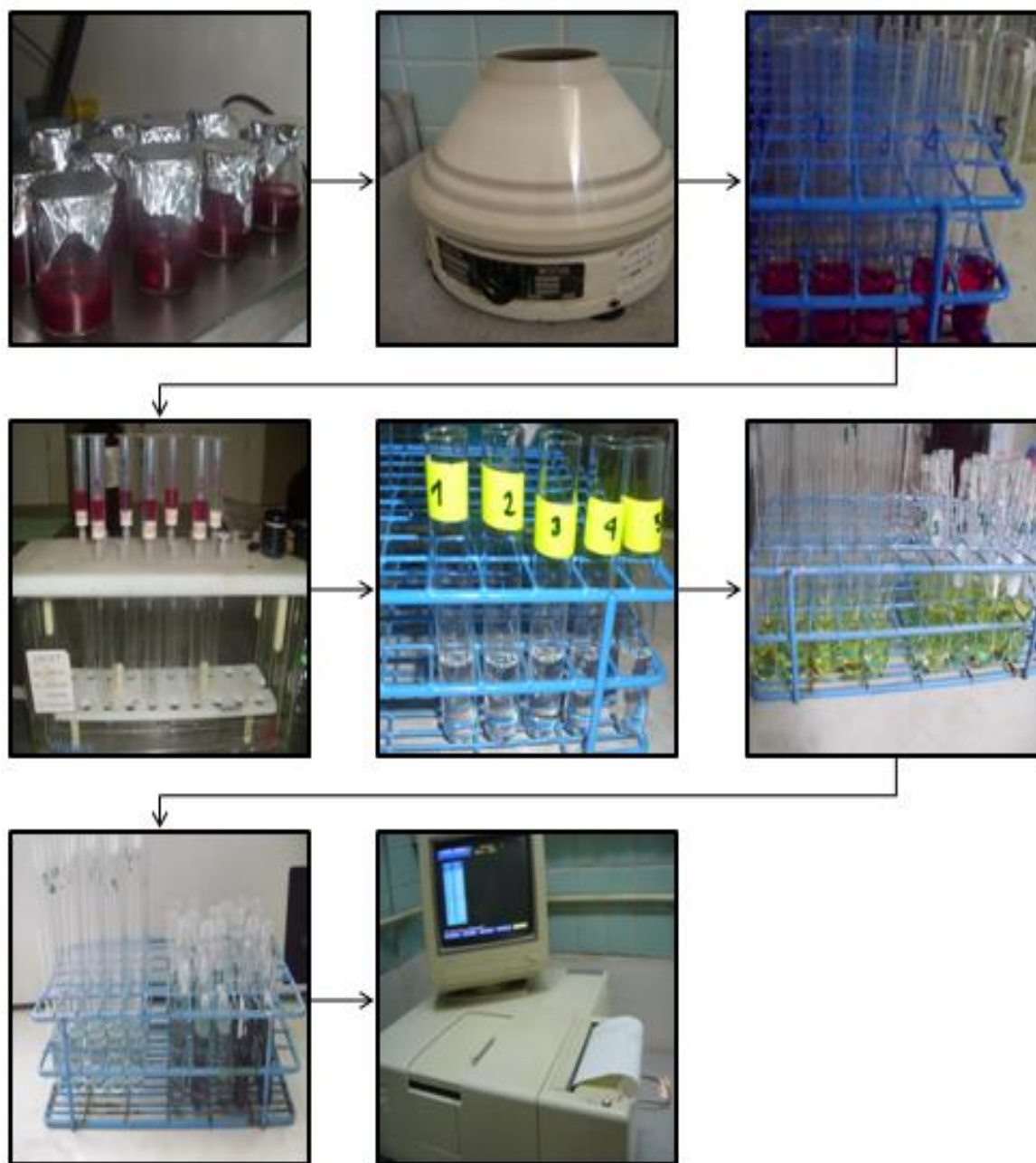


GRÁFICO 8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN FRUTAS

El método de extracción de polifenoles empleando una solución de acetona al 70% y la cuantificación de los compuestos siguiendo el método de Folin&Ciocalteu se describe gráficamente en la Figura 21.

FIGURA 21. PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5.4.4. Método de determinación de Vitamina C

El contenido de vitamina C (Anexo 6) en muestras de fruta liofilizada se realizó aplicando el test del ácido ascórbico, este proceso se detalla en el Gráfico 9.

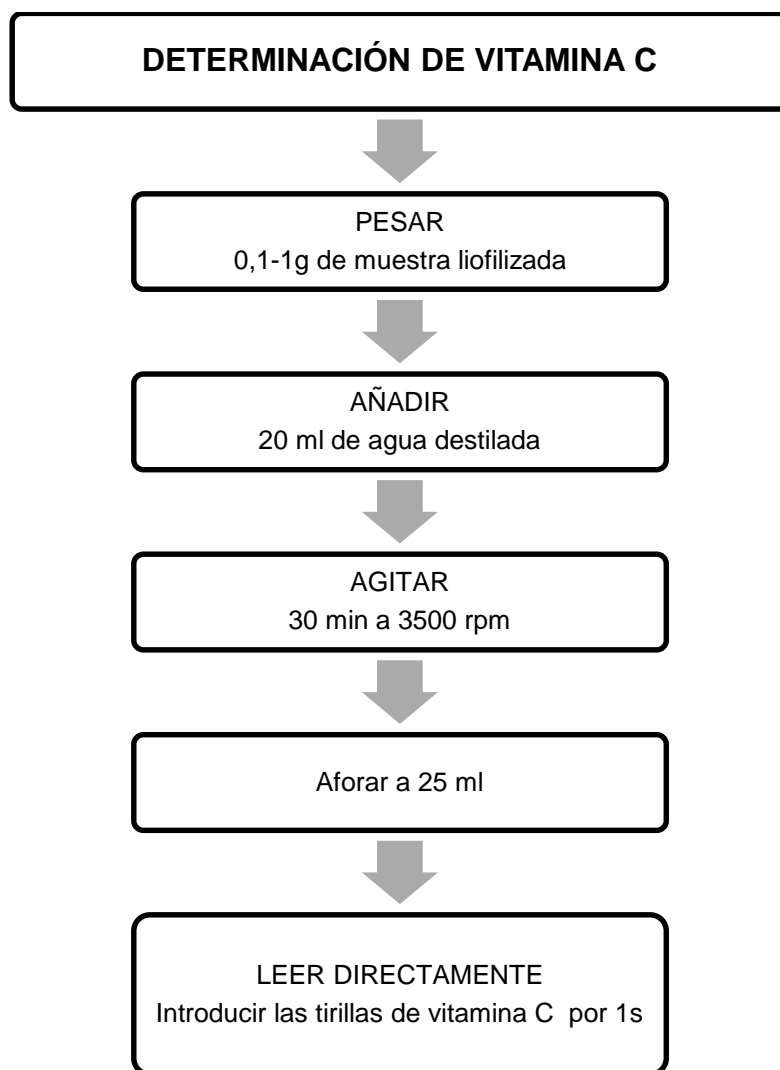
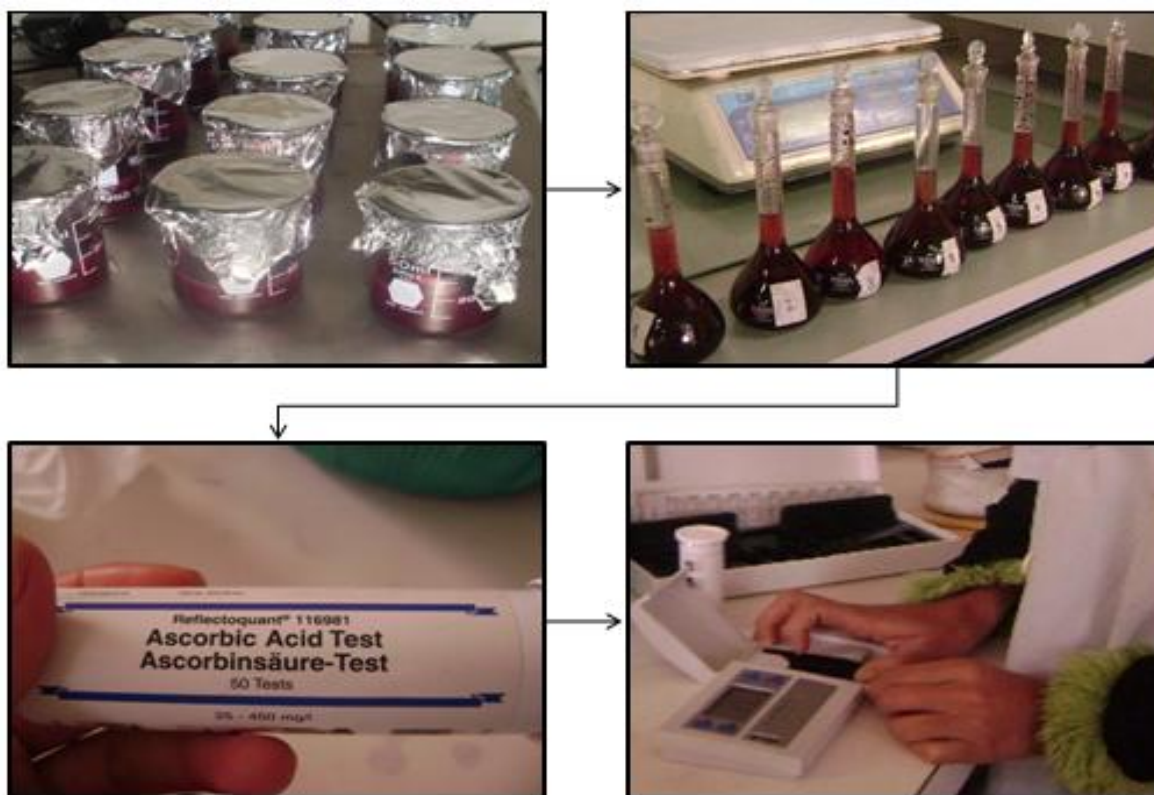


GRÁFICO 9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN FRUTAS

El proceso gráfico de determinación de vitamina C por reflectometría se explica en la Figura 22.

FIGURA 22. PROCESO DE CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C



Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

3.5.5. FASE 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y CONSTRUCCIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

3.5.5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el analisis estadístico de los resultados obtenidos en el laboratorio sobre la cuantificación de antioxidantes (polifenoles, antocianinas, carotenoides y vitamina C) se utilizó las medidas de tendencia central, como la media, desviación estándar y coeficiente de variación, con ayuda del programa Microsoft Excel 2010.

3.5.5.2. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

El análisis de correlación permitió describir el grado o fuerza con que se produce la relación entre las variables en base al coeficiente de correlación de Pearson. Además se realizó una matriz de resultados, como se plantea en la Tabla 5.

TABLA 5. MATRIZ DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES EN FUNCIÓN DEL COLOR EN FRUTAS TROPICALES Y ANDINAS

Frutas	Antioxidantes			
	Antocianinas	Carotenoides	Polifenoles	Vitamina C
Arazá				
Mora				
Mortiño				
Naranjilla				
Tomate de árbol				
Uvilla				

Elaborado por: Wilma Maribel Llerena S., 2014.

3.5.5.3. DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS

En el desarrollo de los modelos matemáticos se estableció la correlación entre las variables dependiente e independiente aplicando un análisis de regresión multivariable, utilizando el método de mínimos cuadrados, la misma que fue evaluada en función del coeficiente de determinación r^2 . Este proceso se realizó en cinco fases como se detalla a continuación:

La solución partió del sistema de ecuaciones normales de Gauss para una parábola con N puntos $\{(X_k, Y_k)\}_{k=1}^N$.

$$y = f(x) = Ax^2 + Bx + C \quad (\text{Ecuación 1})$$

En un segundo paso se minimiza la función en base a los coeficientes

$$E(A, B, C) = \sum_{K=1}^N (Ax^2k + Bxk + C - Yk)^2 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Posteriormente se obtienen las derivadas parciales para A, B y C (coeficientes de la ecuación):

$$\frac{\partial E}{\partial A} = 2 \sum_{K=1}^N (Ax^2k + Bxk + C - Yk)(X^2k)^2 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\frac{\partial E}{\partial A} = 2 \sum_{K=1}^N (Ax^4k + Bx^3k + Cx^2k - YkX^2k) \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

$$\frac{\partial E}{\partial B} = 2 \sum_{K=1}^N (Ax^2k + Bxk + C - Yk)(Xk) \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\frac{\partial E}{\partial B} = 2 \sum_{K=1}^N (Ax^2k + Bxk + C - Yk)(Xk) \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

$$\frac{\partial E}{\partial C} = 2 \sum_{K=1}^N (Ax^3k + Bx^2k + CXk - Yk) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Las derivadas parciales se igualan a cero.

$$2 \sum_{K=1}^N (Ax^4k + Bx^3k + Cx^2k - YkX^2k) = 0 \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

$$2 \sum_{K=1}^N (Ax^3k + Bx^2k + CXk - Yk) = 0 \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

$$2 \sum_{K=1}^N (Ax^2k + Bxk + C - Yk)(Xk) = 0 \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

Se aplica la propiedad distributiva de la suma

$$A \sum_{K=1}^N x^4k + B \sum_{K=1}^N x^3k + C \sum_{K=1}^N x^2k - \sum_{K=1}^N X^2kYk = 0 \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

$$A \sum_{K=1}^N x^4k + B \sum_{K=1}^N x^3k + C \sum_{K=1}^N x^2k = \sum_{K=1}^N x^2kYk \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$A \sum_{K=1}^N x^3k + B \sum_{K=1}^N x^2k + C \sum_{K=1}^N xk - \sum_{K=1}^N xkYk = 0 \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

$$A \sum_{k=1}^N x^3 k + B \sum_{k=1}^N x^2 k + C \sum_{k=1}^N x k = \sum_{k=1}^N x k Y_k \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

$$A \sum_{k=1}^N x^2 k + B \sum_{k=1}^N x k + C N - \sum_{k=1}^N Y_k = 0 \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

$$A \sum_{k=1}^N x^2 k + B \sum_{k=1}^N x k + C N = \sum_{k=1}^N Y_k \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

Se ordena como un sistema de ecuaciones:

$$A \sum_{k=1}^N x^4 k + B \sum_{k=1}^N x^3 k + C \sum_{k=1}^N x^2 k = \sum_{k=1}^N x^2 k Y_k \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$A \sum_{k=1}^N x^3 k + B \sum_{k=1}^N x^2 k + C \sum_{k=1}^N x k = \sum_{k=1}^N x k Y_k \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

$$A \sum_{k=1}^N x^2 k + B \sum_{k=1}^N x k + C N = \sum_{k=1}^N Y_k \quad (\text{Ecuación 5.4})$$

Utilizando las ecuaciones (3.5, 4.5 y 5.4) se elabora la matriz para aplicar el análisis multivariable, como se presenta en la Tabla 6.

TABLA 6. MATRIZ DE COMPONENTES MULTIVARIABLE

Contenido de antioxidantes	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Y ₁	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃
Y ₂	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃
Y _n	X _{n1}	X _{n1}	X _{n3}
Medias	X ₁	X ₂	X ₃

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014

En la matriz se definió como variables independientes con p componentes (coordenadas de color) medidas en cada muestra y como variables dependientes los resultados del análisis de laboratorio (contenido de antioxidantes) para n muestra, las observaciones se escriben como X₁, X₂,... .X_n.

Posteriormente se realizó un análisis de los datos en función del valor esperado (y), calculando las diferencias entre el valor esperado (y) y el valor y experimental en base a la ecuación obtenida por regresión múltiple como se muestra en el Gráfico 10.

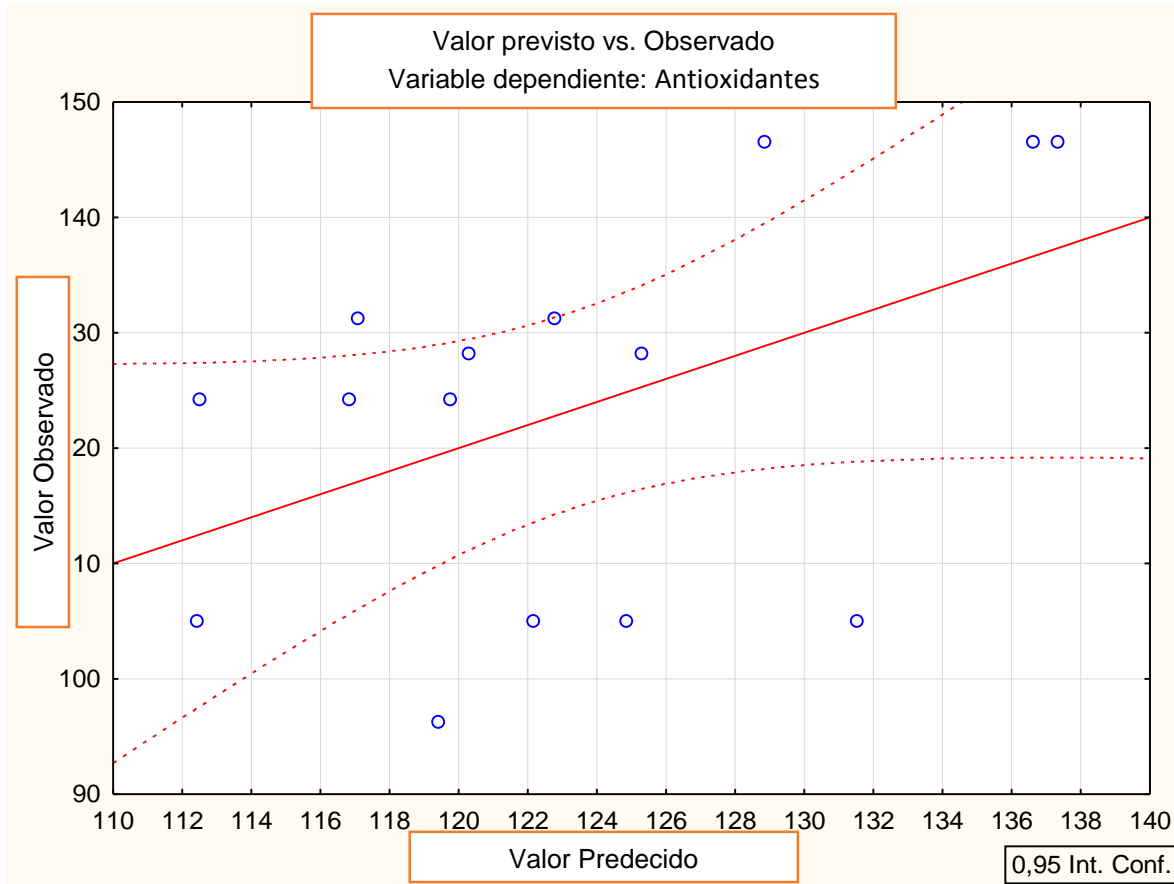


GRÁFICO 10. CONCENTRACIÓN DE ANTIOXIDANTES PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

A continuación se realizó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales del modelo de regresión para evaluar la ponderación de las variables independientes en estudio, aplicando una prueba t de student para los parámetros de color (L^* , a^* , b^*).

$$t = \frac{b_i}{\sqrt{P_{ii} * S^2}}$$

Para la prueba de hipótesis se planteó la Tabla 7:

TABLA 7. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES

Hipótesis	t calculado	Valor crítico (t tablas)
B1=0		
B2=0		
B3=0		

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Finalmente, utilizando las variables que más influye en el modelo y los datos que presentaron un mejor ajuste, se realizó nuevamente el análisis de regresión múltiple para establecer el modelo matemático final (Ecuación 6). Dentro de la interpretación fue necesario conocer la magnitud de las correlaciones entre las variables; tomando como criterio valores que superen el 70% entre los datos analizados.

$$Y_c = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$$

Donde:

- Y_c : Antioxidante (antocianinas, AT; carotenoides, CT; polifenoles, PT y vitamina C, VC)
- b_1, b_2, b_3 : Componentes principales
- X_1, X_2, X_3 : Parámetros de color (L^*, a^*, b^*)

La robustez del modelo fue evaluada en base parámetros estadísticos como coeficiente de correlación (R^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) entre el valor calculado y el valor experimental.

La precisión de los resultados obtenidos se evaluó en función de la magnitud de la medida utilizando la ecuación de Horwitz, que relaciona el coeficiente de variación con la concentración medida.

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA 8. VARIABLE INDEPENDIENTE: COLOR INTERNO DE LA FRUTA

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORIA	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
<p>Color:</p> <p>Parámetros que definen el espacio de color y representan las diferentes características cromáticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • a* (rojo / verde) • b* (amarillo / azul) • L* (luminosidad) <p>Parámetros correlacionados con la percepción del color al ojo humano.</p>	<p>Determinación de parámetros de color:</p> <p>L* (luminosidad), a* y b*.</p> <p>Representación del color de las pulpas de las 6 frutas, mediante un diagrama tridimensional del espacio CIELab</p>	<p>Color interno de la pulpa.</p>	<p>¿La luminosidad permite correlacionar el color con el contenido de antioxidantes?</p> <p>¿Los componentes de color (a* y b*) permite establecer una relación de color con el contenido de antioxidantes?</p> <p>¿El gráfico tridimensional permite correlacionar el color con las características cromáticas de las frutas?</p>	<p>Color interno (pulpa) con el equipo marca ColorTec-PCM™ (Anexo 7).</p>

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

TABLA 9. VARIABLE DEPENDIENTE: CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORIA	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
<p>Antioxidante:</p> <p>Molécula capaz de prevenir o retardar la oxidación (pérdida de uno o más electrones) de otras moléculas, generalmente sustratos biológicos como lípidos, proteínas o ácidos nucleicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinaciones químicas. • Cuantificación de antioxidantes. • Correlación del color con el contenido de antioxidantes. 	<p>Cuantificación de antioxidantes a la madurez comestible:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antocianinas Totales • Carotenoides Totales • Polifenoles Totales • Vitamina C <p>Ecuaciones de correlación.</p>	<p>¿Es posible aplicar el estudio de antocianinas y carotenoides en todas las unidades experimentales?</p> <p>¿La correlación del color de las frutas permitirá obtener una predicción del contenido de antioxidantes a la madurez comestible?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de Antocianinas Totales (Anexo 3). • Determinación de Carotenoides Totales (Anexo 4). • Determinación de Polifenoles Totales (Anexo 6). • Determinación de Vitamina C (Anexo 5).

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1. RESULTADOS

4.1.1.1. ARAZÁ

4.1.1.1.1. FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA

a) CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Para la caracterización física de arazá (*Eugenia stipitata*) se determinó el peso, largo, diámetro y firmeza. En la Tabla 10 se presenta el resultado promedio de 20 frutas analizadas.

TABLA 10. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Caracterización Física	Peso * (g)	Largo * (cm)	Diámetro * (cm)	Firmeza * (kg-f)
Promedio	138,36 ± 15,28	6,84 ± 0,89	7,01 ± 0,73	1,47 ± 0,51
Coef. Variación (%)	11,04	13,02	10,45	34,69

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca

En base a la caracterización física se identificó que las muestras utilizadas en este estudio correspondían a dos clones diferentes de arazá (clon 001 y 003), en función de parámetros como: peso, largo y diámetro. Los resultados de la Tabla 10, muestran el valor promedio de cada uno de los parámetros físicos evaluados, obteniéndose un peso promedio para los dos clones de 138,36 g, este valor es inferior a los reportados por Toledo (2010), quien presentó un valor de 192,53 g de peso en fruta. De igual manera, los valores obtenidos en este estudio coinciden con los resultados promedio reportados por Toledo (2010), para el largo (7,51 cm) y diámetro (8,14 cm) de clones de arazá (clon 001 y clon 003).

Con la finalidad de escoger un grupo de muestras con estado de madurez homogéneo se evaluó dentro de la caracterización física la firmeza de la fruta, obteniéndose un valor promedio de $1,47 \pm 0,51$ Kg-f, este resultado de igual manera fue inferior a los obtenidos por Toledo (2010) quien reportó valores de firmeza de 2,00 Kg-f, lo que demostró que los grados de madurez de las frutas utilizadas en cada estudio fueron diferentes.

b) CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Dentro de la caracterización química de arazá se determinó el pH, acidez titulable, humedad y sólidos solubles. Los resultados obtenidos dentro de esta caracterización se presentan como el promedio de 10 repeticiones para los análisis de pH y acidez titulable, tres repeticiones para el ensayo de humedad y en el caso del análisis de sólidos solubles se consideró el promedio de 20 repeticiones (Tabla 11).

TABLA 11. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Caracterización Química	pH	Acidez Titulable (%)	Humedad (%)	Sólidos Solubles (°Brix)
Promedio	$2,86 \pm 0,10$	$2,39 \pm 0,02$	$95,36 \pm 0,30$	$3,83 \pm 1,20$
Coef. Variación (%)	3,59	0,92	0,003	31,13

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los parámetros químicos reportados en la Tabla 11, son similares a los estudios presentados por Laverde (2011), quien indica que el arazá (clon 003) presenta un pH y acidez titulable de 2,79; un contenido de humedad de 95,12% y 4,40 °Brix de sólidos solubles.

En base a los resultados obtenidos se estableció que la variación de las características químicas de las muestras seleccionadas para la presente investigación y los datos reportados por este autor se deben a la influencia de la zona de producción, el estado de madurez y a la existencia de diferentes clones (001 y 003).

4.1.1.1.2. FASE 2. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES

Dentro del proceso de preparación de muestras para el análisis de compuestos antioxidantes en arazá (*Eugenia stipitata*) se determinó el porcentaje de rendimiento y el contenido de humedad de la fruta, estableciéndose que ésta contiene 95,12% de agua y un rendimiento en pulpa de 64,37%, estos contenidos permitieron calcular la cantidad de muestra necesaria para el proceso de liofilización (Tabla 12).

TABLA 12. RENDIMIENTO DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Peso fruta (g)	Semilla (g)	Cascara (g)	Pulpa (g)	Rendimiento* (%)
Promedio	114,78 ± 14,13	20,48 ± 5,83	20,48 ± 5,83	73,81 ± 13,21	64,37 ± 8,72
C. variación (%)	12,31	28,44	28,44	17,90	13,55

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca ± 5 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los datos presentados por Toledo (2010), quien reporta un 60,26% de rendimiento en pulpa y un 95,12% de humedad. El 35,63% de la fruta se pierde durante el proceso de preparación de muestras, éstas pérdidas constituyen el contenido de cáscara y semillas.

4.1.1.1.3. FASE 3. DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO

Las características cromáticas son representadas en el espacio de color CIELab, mediante 3 parámetros: Luminosidad (L^*), parámetro a (a^*) y parámetro b (b^*). La luminosidad es la representación de la sensación visual del color medida en una escala positiva de 0 a 100 considerándose, más luminoso cuando los valores se acercan a 100. La tendencia del color hacia el rojo (+) y verde (-) está definida por el parámetro a (a^*) y el parámetro b (b^*) se relaciona con el color amarillo (+) y azul (-).

Los resultados del análisis de los parámetros de color interno L^* , a^* y b^* para muestras de arazá (*Eugenia stipitata*) se observan en la Tabla 13.

TABLA 13. COORDENADAS DE COLOR INTERNO EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*): LUMINOSIDAD (L*), PARÁMETRO a* Y PARÁMETRO b*

Color	Luminosidad * (L*)	Parámetro a* (a*)	Parámetro b* (b*)
Promedio	49,63 ± 2,94	-0,89±0,40	22,73 ±2,84
Coef. Variación	5,91	45,32	12,48

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

* Los resultados son reportados en base fresca ± 15 desviaciones estándar.

Los resultados de color interno para muestras de arazá, demostraron que las frutas tienen tendencia hacia el color verde (a*) y amarillo (b*), encontrándose ligeras variaciones a lo reportado por Toledo (2010), que presenta valores de 51,45, -5,30 y 27,20 para la luminosidad, a* y b*, respectivamente, esto se debe a la sensibilidad del equipo de medición y al estado de madurez de las muestras estudiadas.

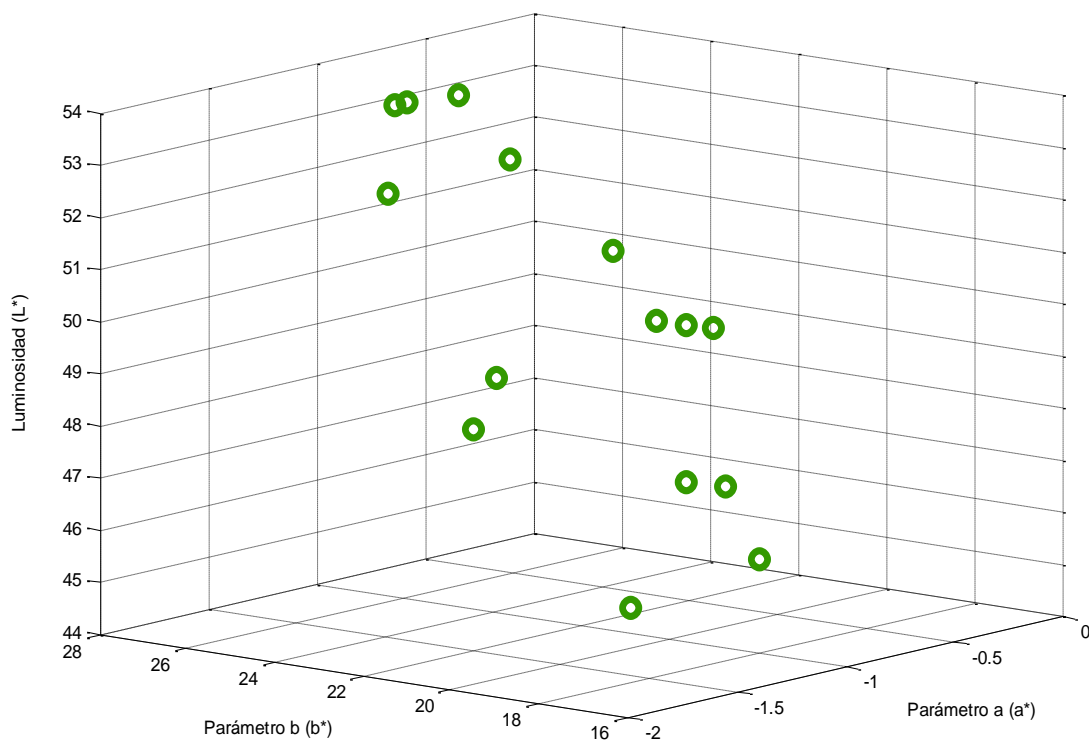


GRÁFICO 11. COORDENADAS DE COLOR INTERNO DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*): LUMINOSIDAD (L*), PARÁMETRO a* Y PARÁMETRO b*

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La representación tridimensional de las coordenadas de color de arazá (*Eugenia stipitata*) para los valores promedio de luminosidad (L*), parámetro a* y b* se observa en el Gráfico 11.

4.1.1.1.4. FASE 4. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

a) ANTOCIANINAS TOTALES

Las antocianinas son parte de los pigmentos presentes en las frutas que conceden el color rojo, morado y azul, estos compuestos bioactivos son susceptibles a los cambios de pH; en medios ácidos (pH 1,0) presentan un color rojo intenso típico en verduras y frutas. Para la cuantificación de antocianinas totales en arazá (*Eugenia stipitata*) se aplicó el método diferencial de pH y el proceso de extracción de estos compuestos se realizó en soluciones buffer pH 1,0 y 4,5.

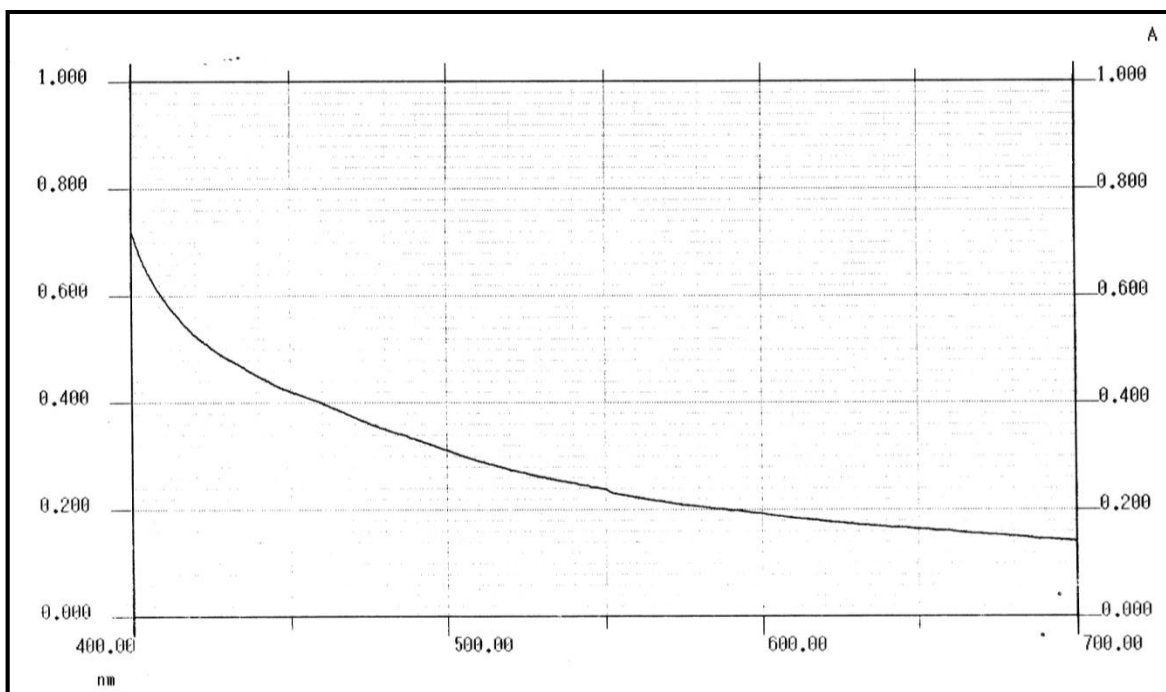


GRÁFICO 12. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*), EN BUFFER pH 1,0

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que este tipo de compuestos bioactivos no son detectables en función de la sensibilidad del método de análisis

utilizado (método propuesto por Rapisarda *et al.*, 2000) confirmando que las antocianinas no son las responsables del color amarillo – verde en los alimentos puesto que la pulpa de arazá presenta estos colores. Estos datos fueron confirmados realizando un espectro de absorción UV en la región de 400 a 700 nm de extracto de arazá como se muestra en los Gráficos 12 y 13, determinando que no existe absorción de luz a estas longitudes de onda, lo que indica que no existe presencia de estos componentes fenólicos en los cultivares de arazá.

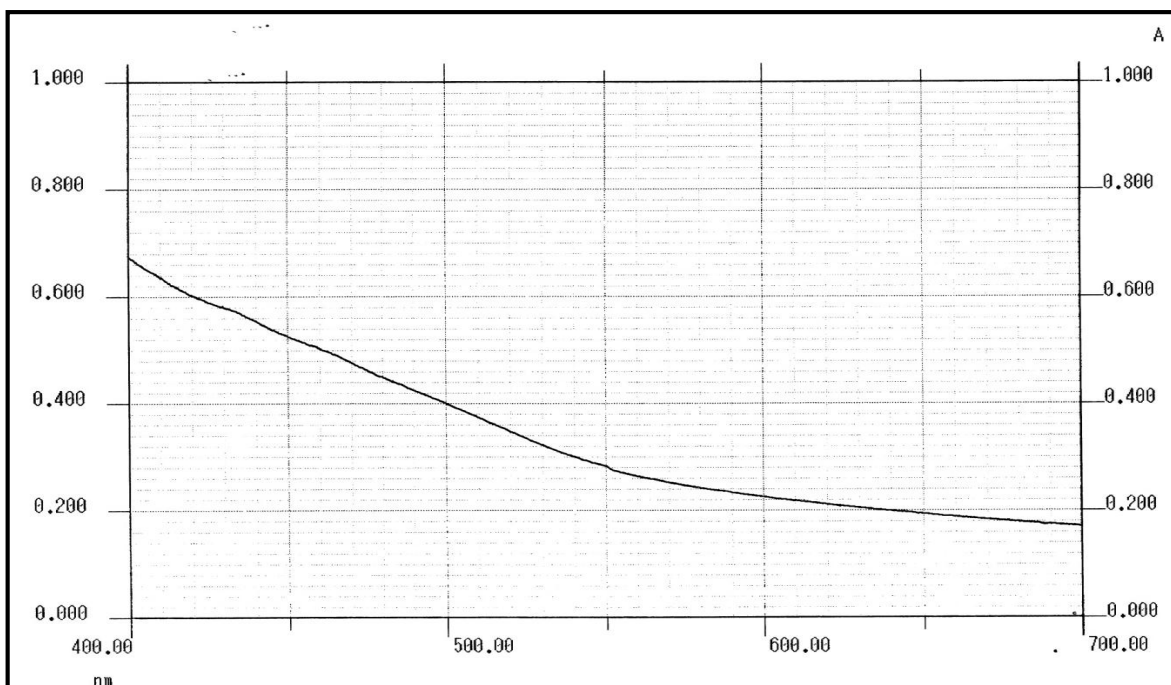


GRÁFICO 13. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*), EN BUFFER pH 4,5
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

b) CAROTENOIDES TOTALES

Para la cuantificación de carotenoides totales se aplicó el método presentado por Sze e Indrawati en el 2012, el cual fue adaptado en el laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad. Dentro de la adaptación del método se estableció el porcentaje de recuperación de estos compuestos en función del número de ciclos de extracción, determinándose que para alcanzar el 100% de recuperación de carotenoides totales en la muestra de arazá analizada se necesita 5 ciclos de

extracción de 30 minutos con una solución de hexano/acetona/etanol (50:25:25, v/v/v), mediante agitación magnética, como se muestra en el Gráfico 14.

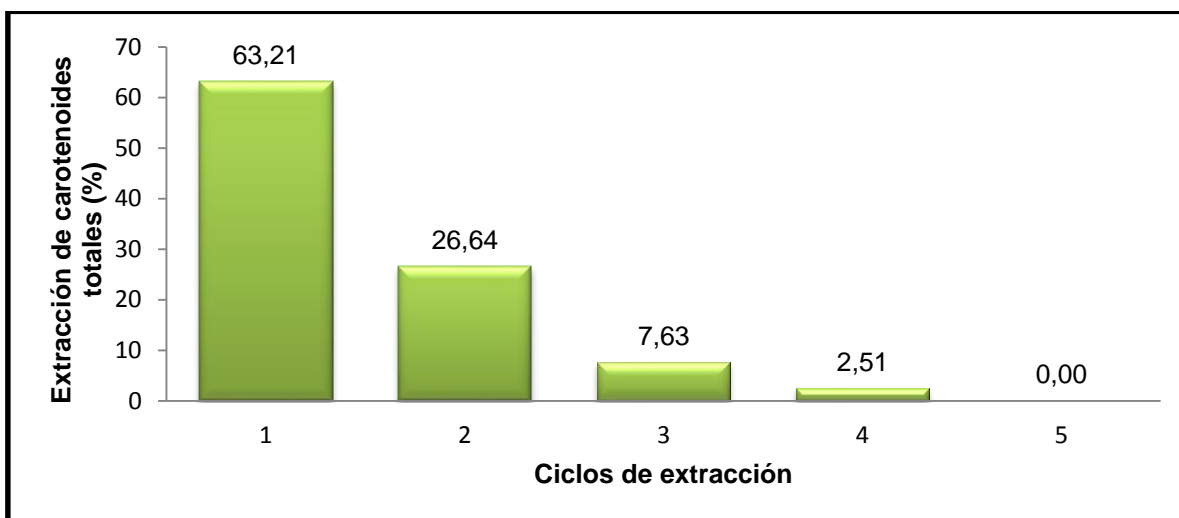


GRÁFICO 14. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Continuando con la optimización del método de análisis de carotenoides totales se estableció la repetibilidad del ensayo, para lo cual se realizó el análisis en una muestra de arazá liofilizado con 6 réplicas, los resultados se presentan en el Gráfico 15.

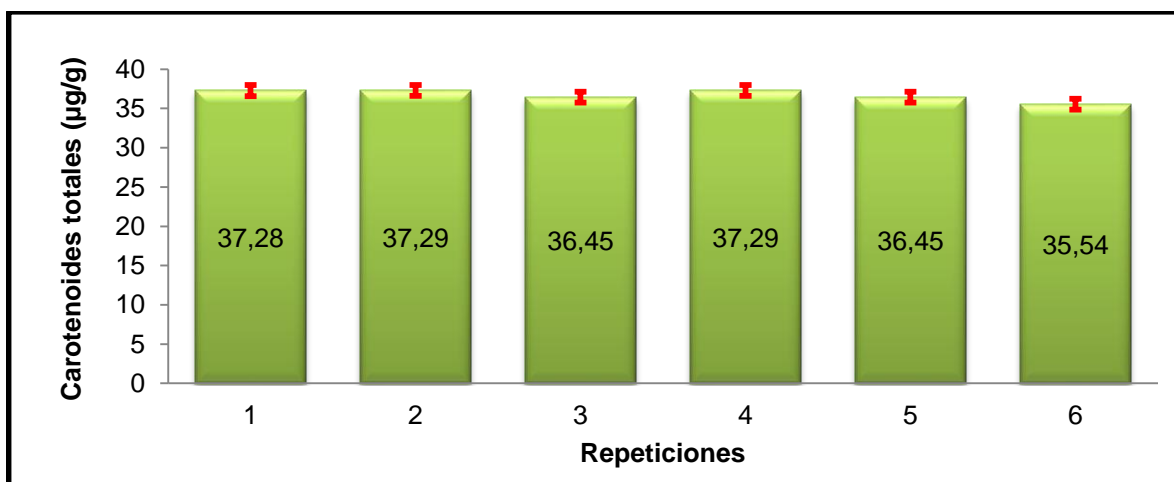


GRÁFICO 15. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Mediante el ensayo de repetibilidad del método, se determinó un contenido promedio de carotenoides de 36,72 μg de β -Caroteno/g y una desviación estándar de 0,70 μg de β -Caroteno/g, estableciéndose que el método presenta un coeficiente de variación de $\pm 1,92\%$.

Una vez adaptado el método, para la cuantificación de carotenoides se realizó el análisis en las 15 muestras de arazá por duplicado, los resultados promedio se presentan en la Tabla 14.

TABLA 14. CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Carotenoides totales (μg de β -Caroteno/g)
1	57,13 \pm 9,36
2	59,45 \pm 5,66
3	67,73 \pm 0,09
4	59,45 \pm 5,66
5	67,73 \pm 0,09
6	60,78 \pm 17,14
7	67,73 \pm 0,09
8	60,78 \pm 17,14
9	64,98 \pm 1,55
10	60,78 \pm 17,14
11	64,98 \pm 1,55
12	61,40 \pm 4,41
13	64,98 \pm 1,55
14	61,40 \pm 4,41
15	63,48 \pm 5,99

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca \pm desviación estándar de 2 repeticiones.

El valor promedio para el contenido de carotenoides totales en las 15 muestras de arazá analizadas fue de $62,85 \pm 3,36$ μg de β -caroteno/g de muestra seca, estos resultados confirman los estudios realizados por Laverde (2011), quien presenta un contenido de carotenoides totales de 2,7 μg de β -caroteno/g de muestra fresca en arazá clon 003, que corresponde a 55,32 μg de β -caroteno/g de muestra seca.

c) POLIFENOLES TOTALES

Para la determinación del contenido de polifenoles totales en las muestras de arazá (*Eugenia stipitata*) se aplicó el método publicado por Slinkard *et al.*, (1967), el proceso de extracción fue realizado en una solución de acetona al 70% y la cuantificación se realizó por colorimetría utilizando el reactivo de Folin&Ciocalteu.

El análisis cuantitativo del contenido de polifenoles se realizó utilizando una curva de calibración con ácido gálico como estándar (Gráfico 16), los resultados mostraron que existe una alta correlación entre la concentración del estándar y la absorbancia ($r^2 = 0,999$), permitiendo cuantificar con exactitud y precisión el contenido de polifenoles en las muestras de arazá.

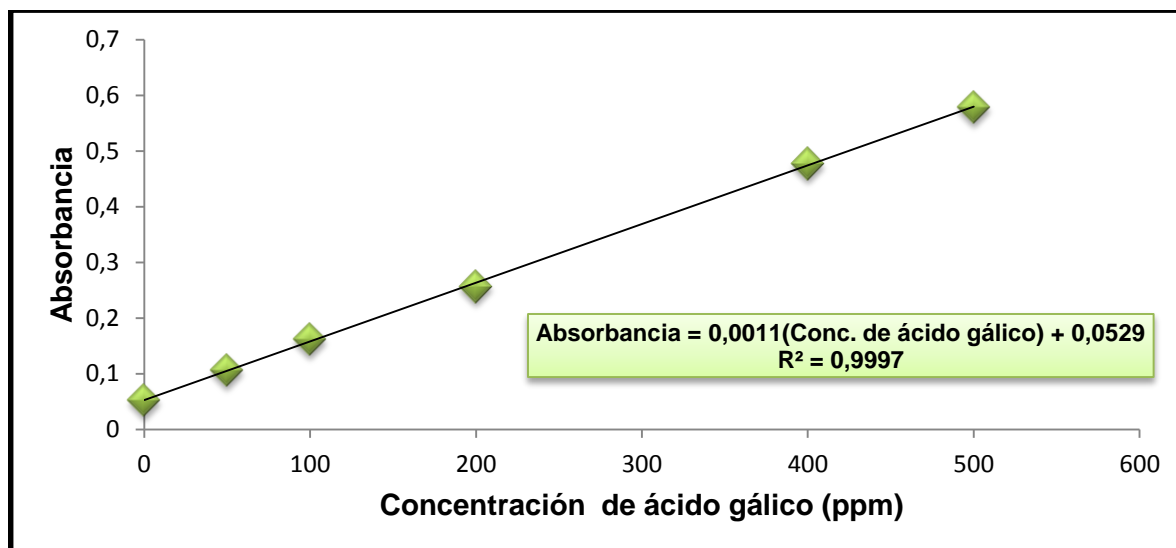


GRÁFICO 16. CURVA DE CALIBRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES PARA ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera dentro de la optimización del método de análisis se determinó el porcentaje de recuperación del analito, para lo cual se estableció el número de ciclos de extracción para obtener el 100% de rendimiento.

Los ensayos realizados determinaron que se requiere 5 ciclos de extracción de 45 minutos con agitación magnética, en una solución de acetona-agua (70/30, v/v) para

obtener el 100% de recuperación de estos compuestos fenólicos (polifenoles) en las muestras de arazá (Gráfico 17).

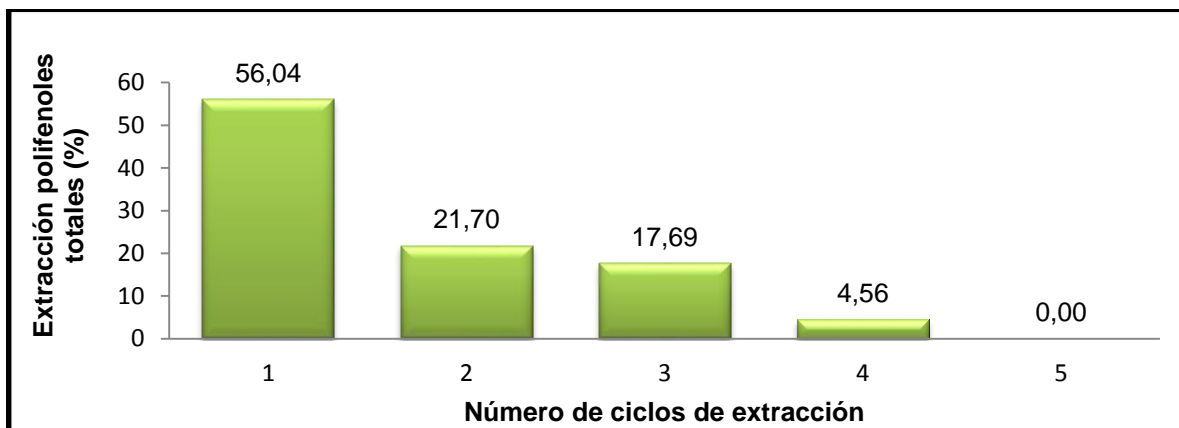


GRÁFICO 17. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad evaluar el error experimental durante la cuantificación de estos compuestos, se realizó la determinación de la repetibilidad del método, la misma que se estableció midiendo el contenido de polifenoles en una muestra de arazá con 5 repeticiones.

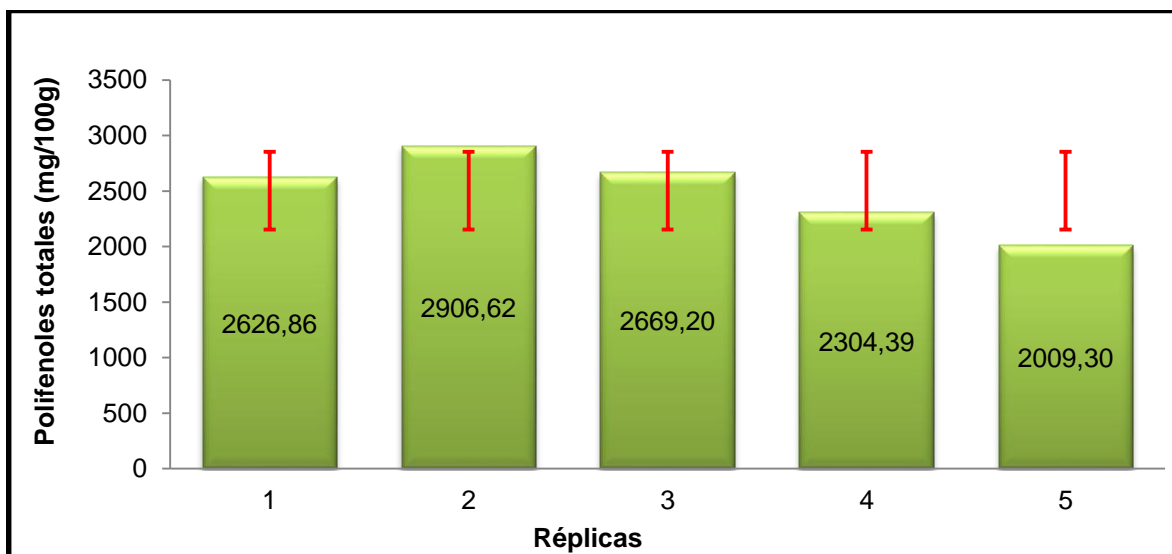


GRÁFICO 18. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados presentados en el Gráfico 18, demostraron que el método presenta una desviación de 13,97%, superior al valor esperado para el rango de concentración medido (0,01 a 0,1%), según la ecuación de Horwitz; misma que relaciona el coeficiente de variación con la concentración del analito, estableciéndose que a este nivel de concentración la variación debe estar en el rango del 5 al 8%.

La variabilidad obtenida se atribuyó al procedimiento utilizado para la determinación del contenido de polifenoles, el mismo que incluye varios pasos como el pesado, extracción y purificación de los extractos mediante cromatografía de fase sólida con cartuchos C18, lo que implica el incremento de error en el análisis.

El contenido promedio de polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g) en muestras de arazá (*Eugenia stipitata*) se presenta en la Tabla 15.

TABLA 15. CONTENIDO POLIFENOLES TOTALES EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g)
1	6717,53 ± 563,81
2	4424,46 ± 188,08
3	4152,66 ± 228,67
4	4424,46 ± 403,50
5	4152,66 ± 203,35
6	3004,23 ± 230,41
7	4152,66 ± 429,96
8	3004,23 ± 282,55
9	2154,09 ± 326,49
10	3004,23 ± 493,87
11	2154,09 ± 479,08
12	1849,24 ± 549,48
13	2154,09 ± 262,38
14	1849,24 ± 457,74
15	5418,94 ± 281,26

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de polifenoles totales en las quince muestras de arazá fue de 3507,79±1430,36 mg de ácido gálico/100g de muestra en base seca, estos resultados son superiores a los reportado por Laverde (2011), quien presenta un

valor de polifenoles de 2477,72 mg de ácido gálico/100g en muestra seca, pero no se indica en este estudio el porcentaje de recuperación del método. El coeficiente de variación observado fue del 40,78%, esto se atribuyó a que las muestras incluyeron dos clones diferentes de arazá (clon 001 y 003), observándose que las muestras que corresponden al clon 001 presentaron un contenido de polifenoles superiores a las muestras del clon 003.

c) VITAMINA C

Para la cuantificación del contenido de vitamina C se aplicó un método reflectométrico, el mismo que determina el contenido de ácido ascórbico. Este método de análisis se basa en el principio de la oxidación del ácido molibdofosfórico en presencia del ácido ascórbico.

El análisis del contenido de vitamina C se realizó en muestras de arazá secas, tomando en consideración que este analito es un compuesto polar, la extracción del ácido ascórbico se realizó con agua destilada mediante agitación magnética durante 30 minutos a temperatura ambiente.

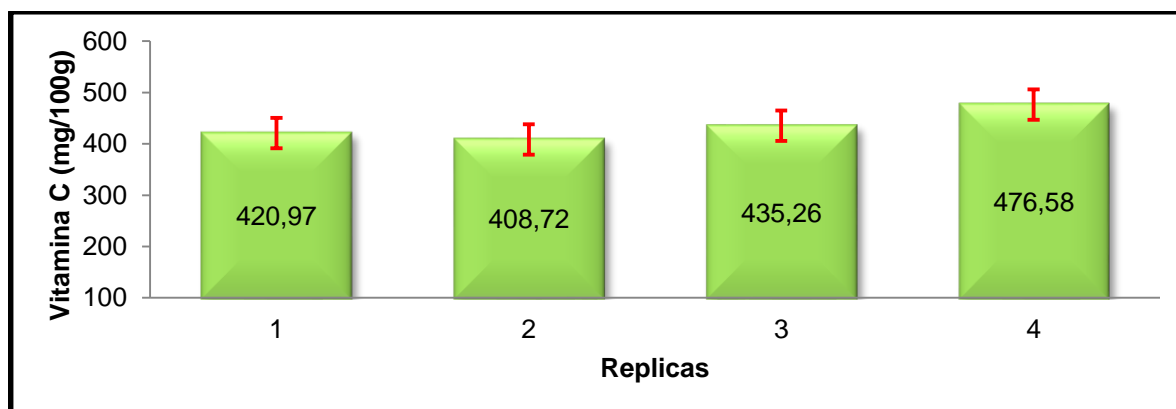


GRÁFICO 19. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera, con la finalidad de evaluar el error experimental del método de análisis se evaluó la repetibilidad del ensayo, para lo que se analizó una muestra de arazá con cuatro repeticiones, obteniéndose un contenido de vitamina C promedio

de $435,38 \pm 29,53$ mg ácido ascórbico/100g de muestra seca y un coeficiente de variación de 6,78% (Gráfico 19).

Posteriormente se procedió a la cuantificación del contenido de vitamina C en las quince muestras de arazá (*Eugenia stipitata*), los resultados se presentan en la Tabla 16.

TABLA 16. CONTENIDO DE VITAMINA C EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)
1	519,13
2	423,03
3	367,65
4	367,65
5	382,10
6	557,37
7	505,46
8	381,26
9	381,26
10	339,86
11	396,17
12	435,97
13	381,89
14	379,40
15	597,83

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

* Los resultados son reportados en base seca

El contenido promedio de vitamina C obtenido en las muestras de arazá procedentes de la provincia de Orellana fue de $427,74 \pm 78,83$ mg ácido ascórbico/100g de muestra seca, estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por diferentes autores (Mejía *et al.*, 2006; Contreras-Calderón *et al.*, 2010) para el contenido de vitamina C en muestras de arazá de diferentes orígenes (182,77 a 614,7 mg ácido ascórbico/100g), demostrándose que existe un efecto del ambiente sobre el contenido de vitamina C.

TABLA 17. CONTENIDO PROMEDIO DE ANTIOXIDANTES EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Caracterización Química	Antocianinas totales (mg/100g)*	Carotenoides totales (µg/g)*	Polifenoles totales (mg/100g)*	Vitamina C (mg/100g)*
Promedio	No	62,85 ± 3,36	3507,79±1430,36	427,74± 78,83
Coef. Variación	Detectable	5,53	40,79	18,43

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados del contenido de antioxidantes se presentan en base seca

En la Tabla 17, se presenta un resumen del contenido promedio de los compuestos antioxidantes (carotenoides, polifenoles y vitamina C) evaluados en clones de arazá (clon 001 y clon 003) procedentes de la provincia de Orellana, estableciéndose que este fruto es rico en antioxidantes, puesto que dichos compuestos bioactivos se encuentran en concentraciones superiores a otros frutos seleccionados.

4.1.1.1.5. FASE 5. DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS

a) CAROTENOIDES TOTALES

Para el desarrollo de modelos matemáticos de predicción se elaboró una matriz con los resultados obtenidos en la medición de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el contenido de carotenoides totales como se muestra en la Tabla 18.

Utilizando los resultados del análisis químico (contenido de carotenoides) y de color (coordenadas L^* , a^* y b^*) de la matriz (Tabla 18), se realizó un análisis de regresión multivariable, fijando como variables independientes (X) a los componentes de color y como variable dependiente (Y) al contenido de carotenoides totales, obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 7) que permite relacionar las variables en estudio de las 15 muestras de arazá.

TABLA 18. MATRIZ DE COMPONENTES MULTIVARIABLE DE CAROTENOIDES TOTALES VS. COORDENADAS DE COLOR DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
1	49,70	-0,17	22,47	57,13
2	49,89	-0,66	20,46	59,45
3	47,75	-1,55	16,68	67,73
4	48,52	-1,79	21,03	59,45
5	44,54	-1,21	21,52	67,73
6	51,04	-0,38	24,64	60,78
7	53,00	-1,09	23,25	67,73
8	52,97	-0,72	26,44	60,78
9	51,96	-1,25	25,61	64,98
10	53,49	-0,79	24,72	60,78
11	52,87	-0,67	27,26	64,98
12	49,23	-1,34	21,18	61,40
13	45,47	-0,61	20,39	64,98
14	49,11	-0,77	22,55	61,40
15	46,59	-0,57	21,19	63,48

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

$$CT = 72,94 - 0,39L * -3,15a * +0,28b * \quad (\text{Ecuación 7})$$

La robustez del modelo matemático de predicción se evaluó en función del coeficiente de correlación (r^2), obteniéndose un valor de r^2 de 0,20, el mismo que indica que el modelo explica el 20% del comportamiento de los datos, este resultado demostró que existe una baja correlación entre las variables estudiadas, por lo cual se realizó un análisis de residuos (Gráfico 20) que permitió identificar los datos que se encuentran dispersos en el modelo.

Con la finalidad que el modelo matemático de predicción presente un valor de coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$), se realizó un análisis del efecto del error experimental y de la heterogeneidad de las muestras en la correlación de las variables, mediante el que se escogió los datos que presenten residuos importantes y se eliminó de la matriz de resultados, seleccionando las muestras 1, 2, 5, 6, 8, 9, 10, 14 y 15 (valores de desviación inferiores a 2σ). Con la población

escogida se elaboró una segunda matriz de correlación entre los componentes de color y el contenido de carotenoides.

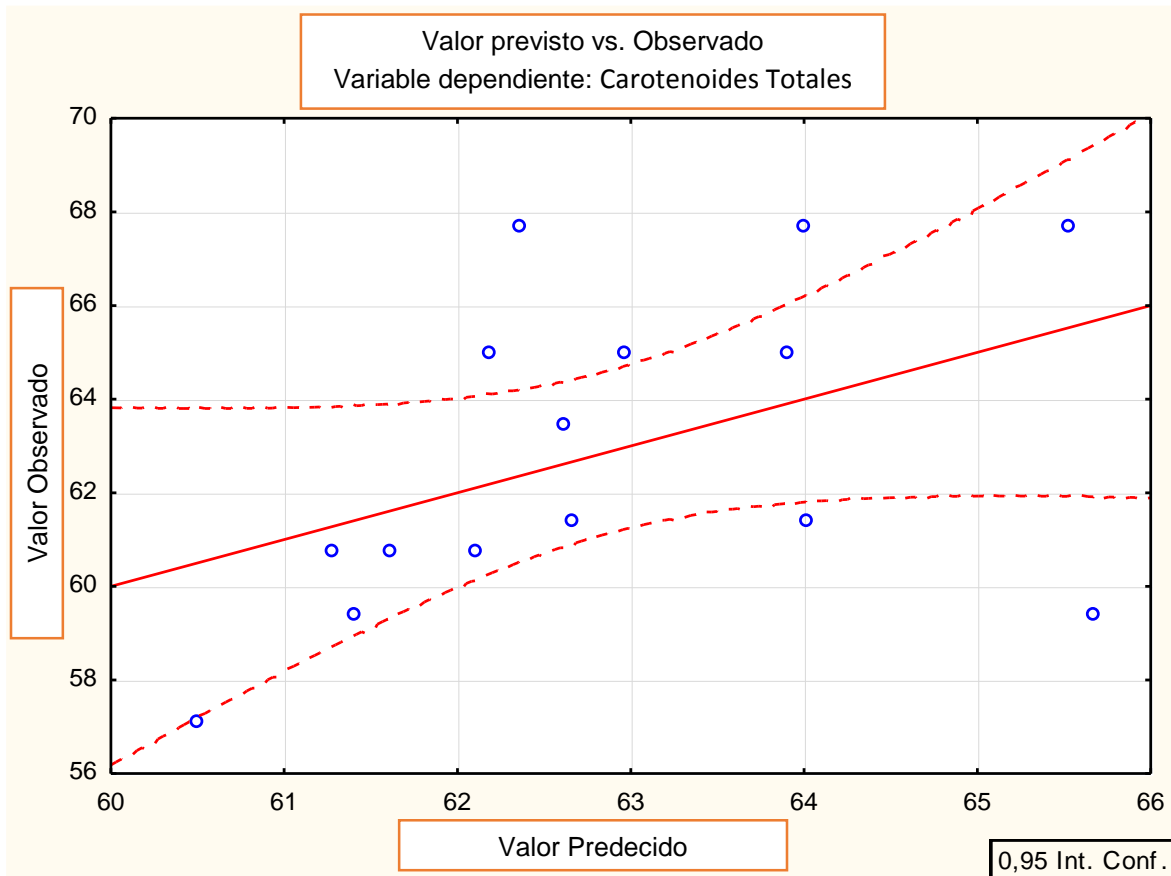


GRÁFICO 20. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Continuando con el proceso de ajuste del modelo matemático, se evaluó el efecto de las variables independientes (X) sobre el contenido de carotenoides (Y) de las muestras en estudio, en base a una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student como se observa en la Tabla 19.

TABLA 19. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN PARA CAROTENOIDES TOTALES ESTIMADO DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	-0,82	2,20
B2=0	-1,44	
B3=0	0,54	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La prueba de hipótesis para los coeficientes parciales permitió determinar que los parámetros L^* , a^* y b^* no presentan un aporte individual durante el desarrollo de la ecuación matemática de predicción para el contenido de carotenoides totales; ya que el valor t de student calculado para los parámetros L^* , a^* y b^* es inferior al valor bibliográfico (2,20), por lo que el modelo matemático de predicción debe desarrollarse empleando las tres coordenadas de color y las muestras seleccionadas en función del análisis de residuos (Tabla 20).

TABLA 20. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA CAROTENOIDES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
1	49,70	-0,17	22,47	57,13
2	49,89	-0,66	20,46	59,45
5	44,54	-1,21	21,52	67,73
6	51,04	-0,38	24,64	60,78
8	52,97	-0,72	26,44	60,78
9	51,96	-1,25	25,61	64,98
10	53,49	-0,79	24,72	60,78
14	49,11	-0,77	22,55	61,40
15	46,59	-0,57	21,19	63,48

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados ajustados se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple, observándose que la ecuación matemática presenta un mejor ajuste de los datos como se observa en el Gráfico 21. El coeficiente de

determinación (r^2) fue de 0,93; lo que demuestra que el 93% de los datos utilizados en la elaboración del modelo son explicados por la ecuación obtenida (Ecuación 8).

$$CT = 83,52 - 0,84L^* - 5,88a^* + 0,70b^* \quad (\text{Ecuación 8})$$

En base a la Ecuación 8, se realizó la predicción del contenido de carotenoides totales utilizando el modelo matemático desarrollado para clones de arazá ecuatoriano (*Eugenia stipitata*), como se observa en la Tabla 21.

TABLA 21. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES (μg β -caroteno/g) PREDECIDOS UTILIZANDO EL MODELO MATEMÁTICO EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Carotenoides totales (μg β -caroteno/g)		Desviación Estándar	Promedio ($\mu\text{g/g}$)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimental I				
1	58,30	57,13	0,82	57,71	1,43	2,02
2	59,61	59,45	0,12	59,53	0,20	0,28
5	68,15	67,73	0,30	67,94	0,44	0,62
6	59,95	60,78	0,59	60,37	0,97	1,37
8	61,58	60,78	0,57	61,18	0,93	1,31
9	64,95	64,98	0,02	64,96	0,03	0,05
10	60,31	60,78	0,33	60,55	0,55	0,77
14	62,42	61,40	0,72	61,91	1,16	1,64
15	62,40	63,48	0,76	62,94	1,21	1,71

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo fue evaluada en base a parámetros estadísticos como: coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) entre el valor estimado y el valor experimental (Tabla 22, Gráfico 21).

TABLA 22. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Estadístico	CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,93
Error experimental(EE)/predicción (EP)	1,92	1,09

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El coeficiente de determinación para el modelo matemático de predicción del contenido de carotenoides totales en función de los parámetros L^* , a^* y b^* presentó un valor de 0,93; lo que demostró que el modelo matemático explica el 93% de los datos como se muestra en el Gráfico 21. El error de predicción obtenido fue de 1,09%, estableciendo que cada vez que se realice la predicción matemática los valores presentarán una desviación de $\pm 1,09$ (μg de β -caroteno/g) el mismo que es inferior a la desviación obtenida al realizar experimentalmente el ensayo en el laboratorio (1,92%), demostrando que el método es robusto.

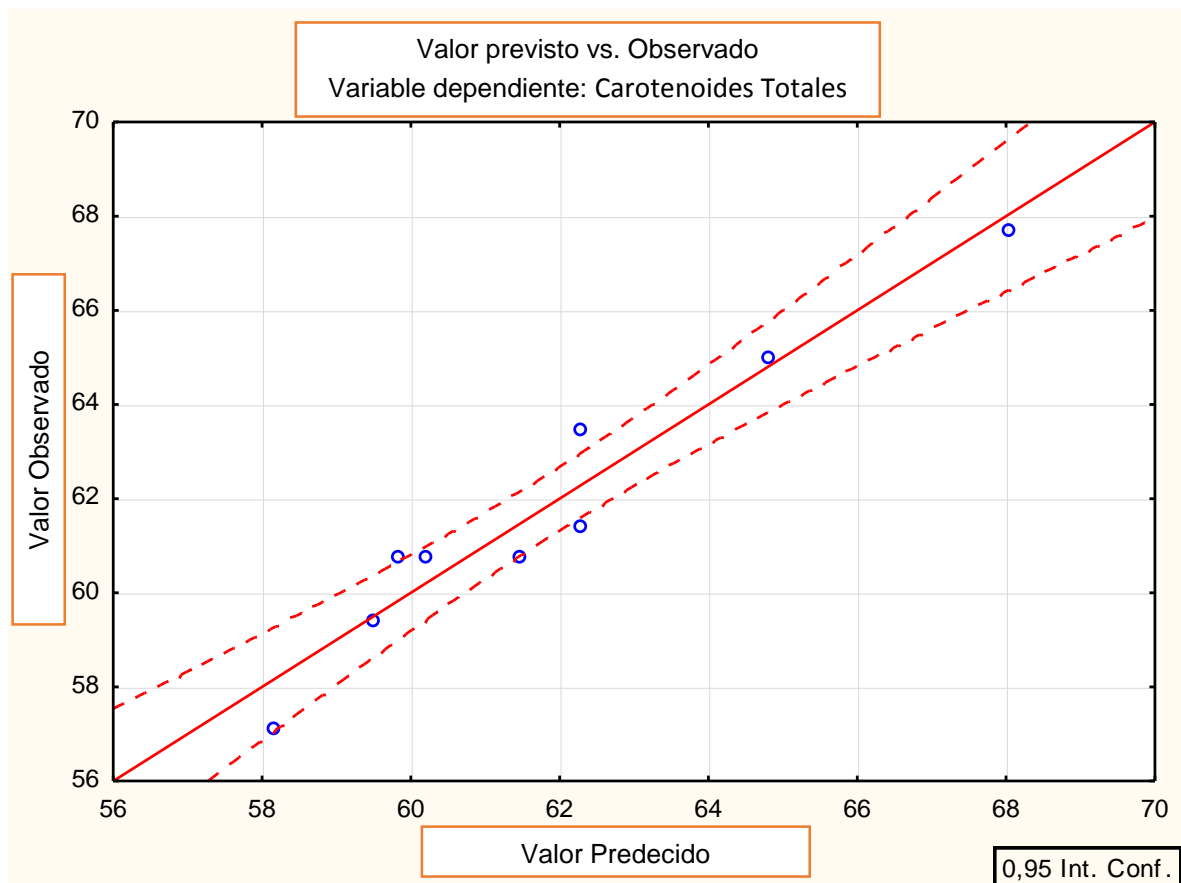


GRÁFICO 21. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El coeficiente de variación de Horwitz presentado en el Anexo 9 es un valor de referencia para el control de calidad y evaluación del desempeño en el laboratorio,

empleado para normalizar el cálculo de los resultados de medición a través de la incertidumbre. En concentraciones de $\mu\text{g/g}$ (ppm) se acepta un error del 16%, estableciendo que tanto experimental como matemáticamente se obtiene un error dentro de los límites aceptables para las concentraciones medidas, como se muestra en la Tabla 22.

b) POLIFENOLES TOTALES

De igual manera, como en el caso anterior utilizando los datos de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el contenido de polifenoles totales de referencia (medidos en el laboratorio), se estructuró una matriz para el desarrollo de un modelo matemático de predicción del contenido de estos antioxidantes en arazá (Tabla 23).

TABLA 23. MATRIZ DE COMPONENTES MULTIVARIABLE DE POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	49,70	-0,17	22,47	6717,53
2	49,89	-0,66	20,46	4424,46
3	47,75	-1,55	16,68	4152,66
4	48,52	-1,79	21,03	4424,46
5	44,54	-1,21	21,52	4152,66
6	51,04	-0,38	24,64	3004,23
7	53,00	-1,09	23,25	4152,66
8	52,97	-0,72	26,44	3004,23
9	51,96	-1,25	25,61	2154,09
10	53,49	-0,79	24,72	3004,23
11	52,87	-0,67	27,26	2154,09
12	49,23	-1,34	21,18	1849,24
13	45,47	-0,61	20,39	2154,09
14	49,11	-0,77	22,55	1849,24
15	46,59	-0,57	21,19	5418,94

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados presentada en la Tabla 23, se realizó un análisis de regresión múltiple en función de las variables independientes (X) componentes de color y la variable dependiente (Y) contenido de polifenoles totales, obteniéndose la ecuación matemática (Ecuación 9) que relaciona las variables en estudio.

$$PT = 8102,47 + 65,43L^* + 1144,03a^* - 301,12b^* \quad (\text{Ecuación 9})$$

Observando los resultados del análisis de regresión múltiple se estableció que el modelo presenta un coeficiente de correlación (r^2) de 0,24, demostrándose una baja correlación entre las variables estudiadas y la existencia de datos dispersos.

Con el objetivo de ajustar el coeficiente de correlación hasta un valor superior al 70% ($r^2 > 0,70$), se evaluó el efecto del error experimental y la heterogeneidad de las muestras en la correlación de las variables en estudio, mediante un análisis de residuos entre el valor de referencia de polifenoles totales y el valor estimado matemáticamente a partir de la Ecuación 9 (Gráfico 22).

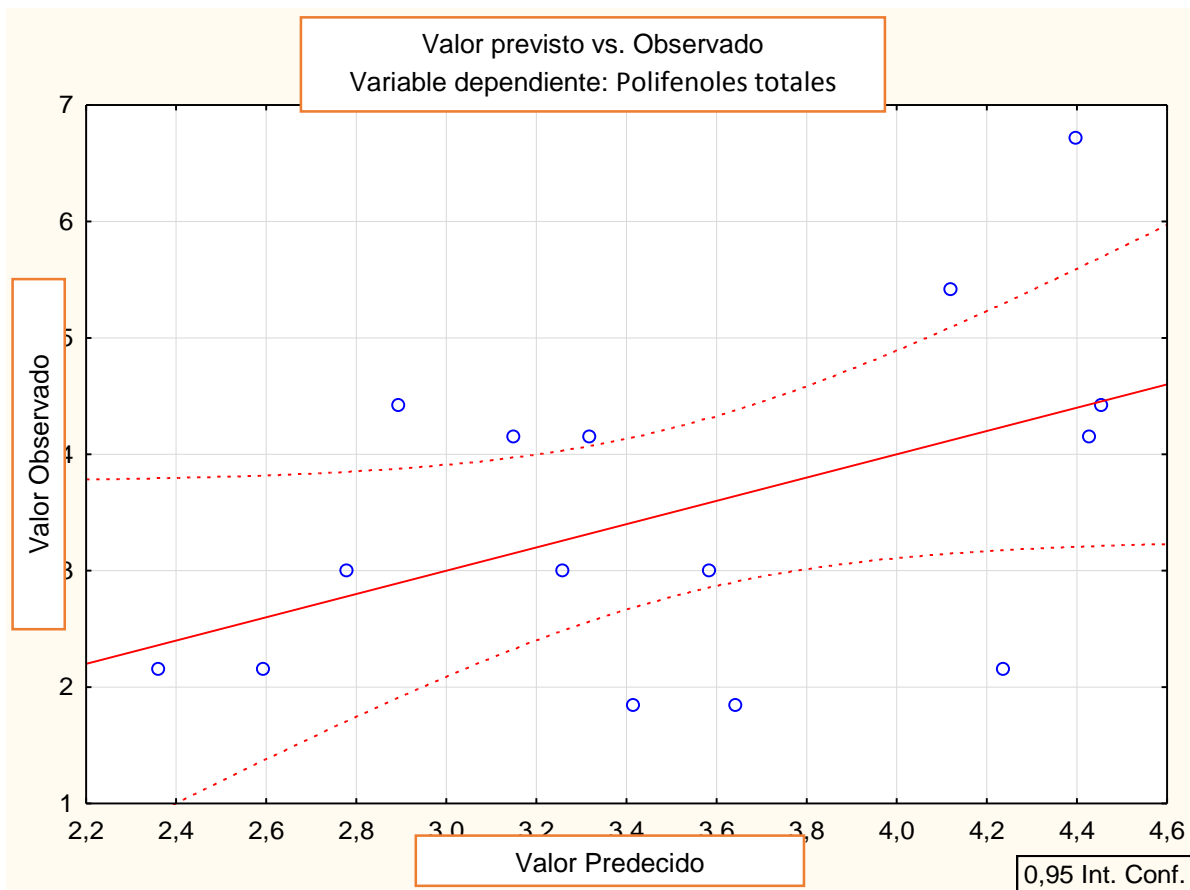


GRÁFICO 22. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a los resultados del análisis de residuos se eliminó los datos que presentan desviaciones importantes y se seleccionaron las muestras 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 de la matriz de resultados, puesto que presentan valores de desviación inferiores a 2σ . Posteriormente con estos datos se estructuró una segunda matriz de correlación entre los componentes de color y el contenido de polifenoles. Con la finalidad de optimizar el modelo matemático para alcanzar una correlación superior al 70% entre las variables en estudio, se aplicó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student, los resultados se observan en la Tabla 24.

TABLA 24. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Hipótesis	t _{student}	Valor crítico
B1=0	0,33	2,20
B2=0	1,25	
B3=0	-1,40	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base al análisis estadístico se estableció que los parámetros L^* , a^* y b^* no aportan individualmente a la ecuación matemática de predicción de estos compuestos antioxidantes. Las muestras seleccionadas en función del análisis de residuos se muestran en la Tabla 25.

TABLA 25. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
2	49,89	-0,66	20,46	4424,46
3	47,75	-1,55	16,68	4152,66
6	51,04	-0,38	24,64	3004,23
7	53,00	-1,09	23,25	4152,66
8	52,97	-0,72	26,44	3004,23
9	51,96	-1,25	25,61	2154,09
10	53,49	-0,79	24,72	3004,23
11	52,87	-0,67	27,26	2154,09

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando esta matriz (Tabla 25) se realizó un nuevo análisis de regresión multivariado que permitió obtener la ecuación matemática final (Ecuación 10), cuyo coeficiente de determinación ($r^2=0,88$) presentó un mejor ajuste de los resultados como se observa en el Gráfico 23.

$$PT = -4974,64 + 381,95L^* + 932,80a^* - 450,89b^* \quad (\text{Ecuación 10})$$

Finalmente, utilizando el modelo matemático final (Ecuación 10), se realizó la predicción del contenido de polifenoles totales para los clones de arazá (*Eugenia stipitata*) en función de los datos de color, los resultados se observan en la Tabla 26.

TABLA 26. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g)		Desviación Estándar	Promedio (g/100g)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimental				
2	4241,81	4424,46	129,15	4333,13	2,98	4,22
3	4294,62	4152,66	100,38	4223,64	2,38	3,36
6	3051,59	3004,23	33,49	3027,91	1,11	1,56
7	3764,02	4152,66	274,81	3958,34	6,94	9,82
8	2658,74	3004,23	244,30	2831,48	8,63	12,20
9	2157,81	2154,09	2,63	2155,95	0,12	0,17
10	3575,34	3004,23	403,83	3289,78	12,28	17,36
11	2306,72	2154,09	107,93	2230,41	4,84	6,84

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo de predicción obtenido se evaluó en función de parámetros estadísticos como: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) (Tabla 27, Gráfico 23).

Estos resultados demostraron que existe una correlación aceptable ($r^2= 0,88$) entre los valores predecidos por el modelo matemático y los valores experimentales medidos en el laboratorio para el contenido de polifenoles totales. El error de predicción de los datos utilizando el modelo fue de 6,94%, este valor fue inferior al error obtenido experimentalmente en el laboratorio de 13,97%.

TABLA 27. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POLIFENOLES TOTALES EXPERIMENTAL (mg de ácido gálico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Estadístico	POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coefficiente de correlación (r^2)		0,88
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	13,97	6,94

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

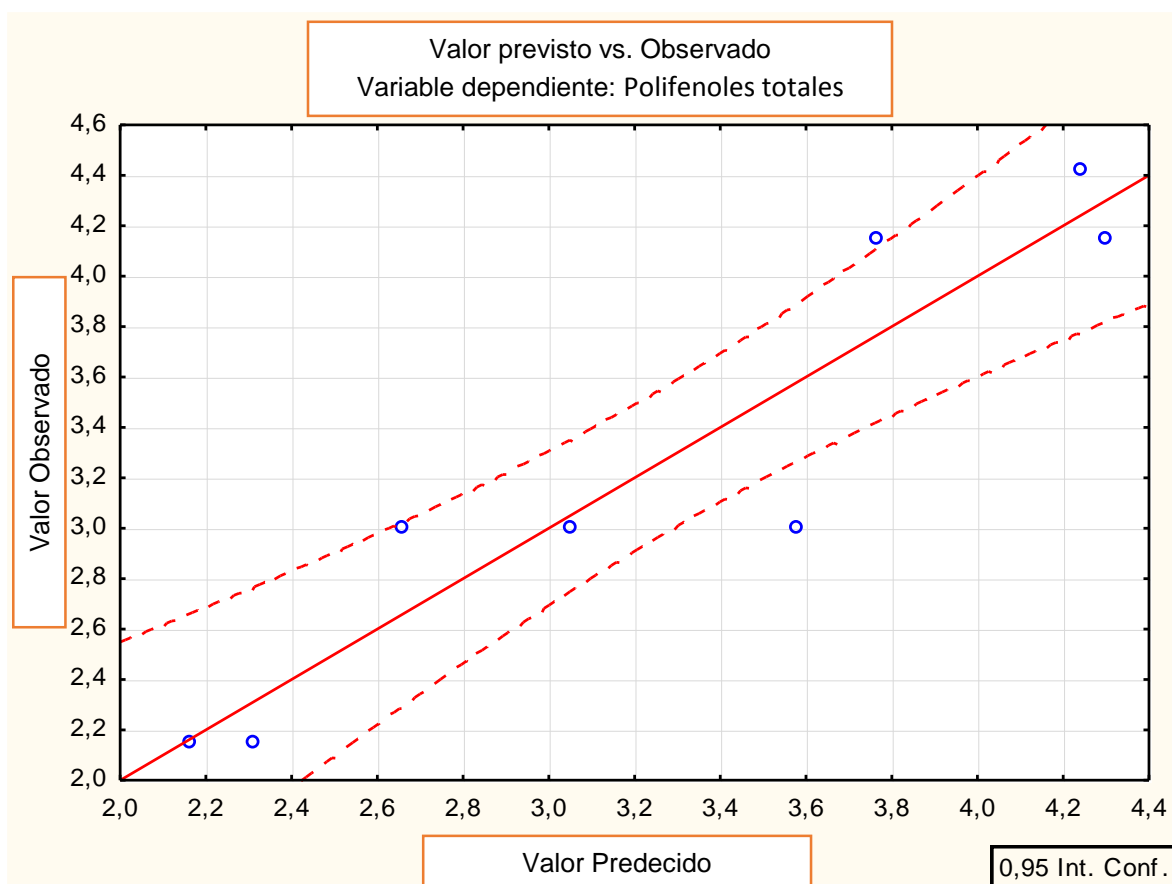


GRÁFICO 23. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La precisión de los resultados obtenidos por el modelo matemático se valoró en función del coeficiente de variación mediante la ecuación de Horwitz (Anexo 9), la

misma que indica que para el nivel de concentración medido mg/100g se acepta un coeficiente de variación $\leq 8\%$, demostrándose que el modelo de predicción presenta una precisión adecuada (6,94%), la misma que es inferior a la variación obtenida experimentalmente en el laboratorio (13,97%).

c) VITAMINA C

De igual manera, con los resultados obtenidos para el contenido de vitamina C en el laboratorio y los datos de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) se elaboró una matriz de resultados (Tabla 28).

TABLA 28. MATRIZ DE RESULTADOS DE VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	49,07	-0,36	22,76	519,13
2	49,63	-0,71	20,44	423,03
3	47,62	-1,32	17,15	367,65
4	48,68	-1,76	20,72	367,65
5	52,96	-0,71	21,21	382,10
6	52,96	-0,35	24,50	557,37
7	49,63	-1,14	22,94	505,46
8	51,96	-0,77	27,08	381,26
9	53,60	-1,16	25,63	381,26
10	52,99	-0,88	25,41	339,86
11	49,19	-0,71	27,58	396,17
12	44,94	-1,42	21,85	435,97
13	49,63	-0,47	20,59	381,89
14	46,59	-0,71	22,04	379,40
15	50,24	-0,71	21,06	597,83

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente con los datos de la matriz de resultados se realizó un análisis de regresión múltiple considerándose a los componentes de color como variables independientes (X) y al contenido de vitamina C como variable dependiente (Y), con la finalidad de obtener una ecuación matemática (Ecuación 11) que relacione las variables en estudio.

$$VC = 445,78 + 2,91L^* + 74,06a^* - 4,29b^* \quad (\text{Ecuación 11})$$

El modelo matemático obtenido (Ecuación 11) presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,16; estableciéndose que la ecuación matemática explica el 16% del comportamiento de la población de datos (Gráfico 24), demostrándose que existe una baja correlación entre las variables en estudio.

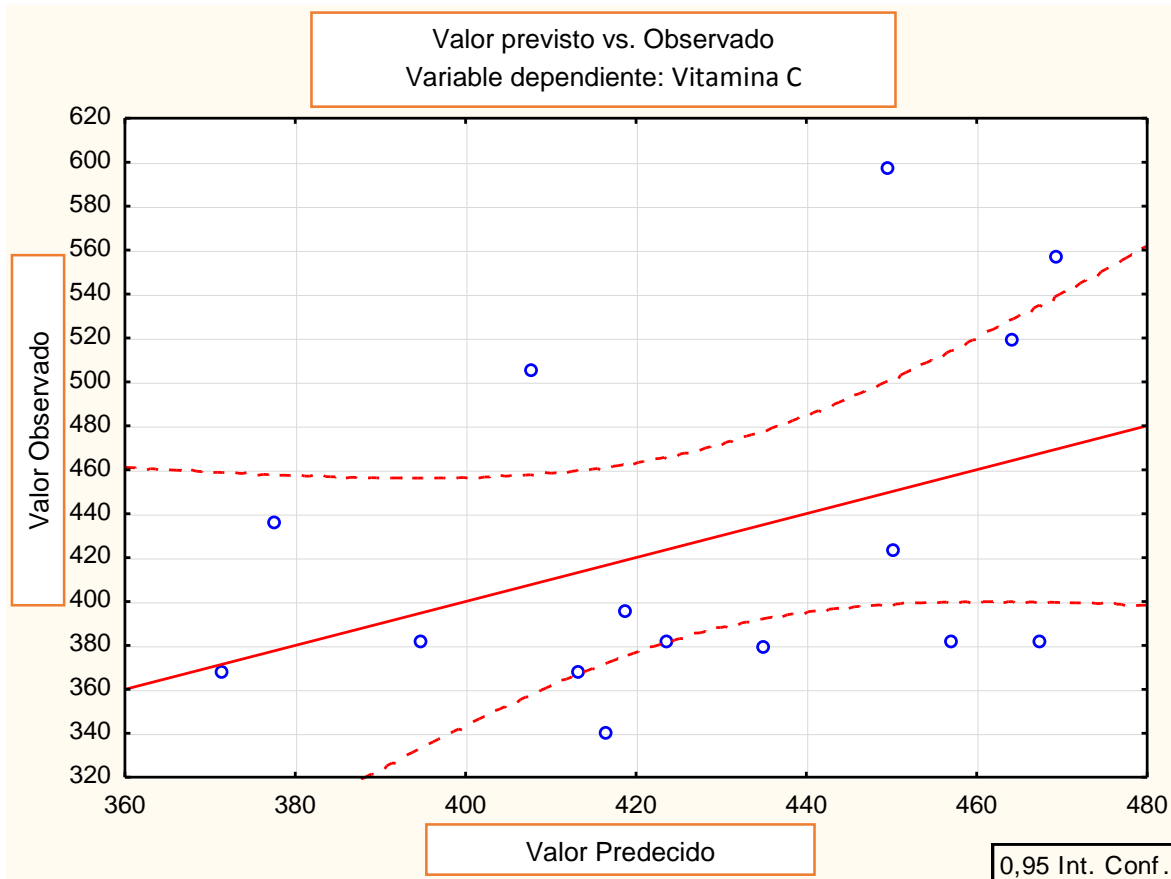


GRÁFICO 24. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad de ajustar los datos para obtener una correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$), se realizó un análisis de residuos entre el valor predicho de vitamina C y el valor experimental, seleccionando una población de datos con características homogéneas cuyo error experimental sea $\leq 2 \sigma$ (muestras 1, 2, 4, 8, 9, 11 y 12), como se observa en el Gráfico 25.

De igual manera, con el objetivo de incrementar la correlación entre las variables estudiadas se realizó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), aplicando el estadístico t de student como se observa en la Tabla 29.

TABLA 29. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE VITAMINA C (mg/100g) EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	-0,26	2,20
B2=0	1,45	
B3=0	-0,33	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados obtenidos en la prueba t de student para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) evidencian el aporte de las tres coordenadas de color en el modelo matemático desarrollado.

Una vez seleccionada la población con características homogéneas se elaboró una segunda matriz de correlación como se muestra en la Tabla 30.

TABLA 30. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	49,07	-0,36	22,76	519,13
2	49,63	-0,71	20,44	423,03
4	48,68	-1,76	20,72	367,65
8	51,96	-0,77	27,08	381,26
9	53,6	-1,16	25,63	381,26
11	49,19	-0,71	27,58	396,17
12	44,94	-1,42	21,85	435,97

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Esta matriz permitió realizar un nuevo análisis de regresión múltiple y obtener la ecuación matemática final (Ecuación 12) con un coeficiente de determinación (r^2) fue 0,81 (Gráfico 25).

$$VC = 1269,69 - 12,02L^* + 96,00a^* - 7,14b^* \quad (\text{Ecuación 12})$$

Finalmente, utilizando el modelo matemático optimizado (Ecuación 12) se realizó la predicción del contenido de vitamina C en las muestras de arazá (*Eugenia stipitata*), los resultados se presentan en la Tabla 31.

TABLA 31. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Muestra	Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)		Desviación Estándar	Promedio	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
1	482,80	519,13	25,69	500,97	5,13	7,25
2	459,04	423,03	25,46	441,03	5,77	8,16
4	367,66	367,65	0,00	367,65	0,00	0,00
8	377,86	381,26	2,40	379,56	0,63	0,90
9	331,06	381,26	35,50	356,16	9,97	14,09
11	413,35	396,17	12,14	404,76	3,00	4,24
12	437,18	435,97	0,86	436,58	0,20	0,28

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción de vitamina C fue evaluada en base a parámetros estadísticos como: el coeficiente de correlación (r^2), el error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV). En la Tabla 32 se presenta la comparación entre los valores de vitamina C predecidos y los valores experimentales de referencia.

TABLA 32. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VITAMINA C EXPERIMENTAL (mg de ácido ascórbico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Estadístico	VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,89
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	6,79	1,85

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

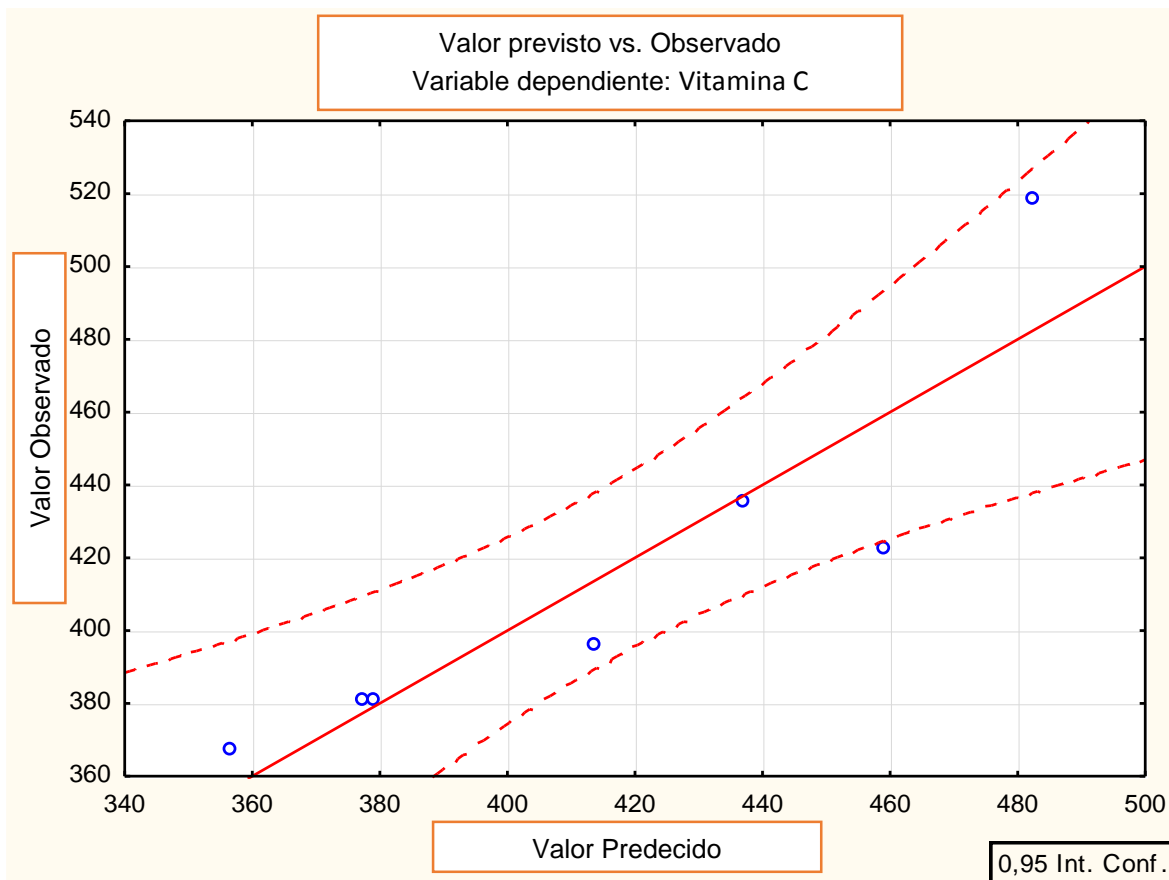


GRÁFICO 25. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN CLONES DE ARAZÁ (*Eugenia stipitata*)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera, la precisión del modelo matemático desarrollado para vitamina C fue evaluado en función de la ecuación de Horwitz (CV de Horwitz), estableciéndose que indica que para los niveles de concentración medidos (mg/100g) se acepta valores de coeficiente de variación $\leq 8\%$, demostrándose que el modelo desarrollado es robusto (Ecuación 12), puesto que los valores predcidos matemáticamente para este antioxidante presentaron un error de predicción de 1,85%.

El error experimental obtenido en los ensayos de laboratorio para la determinación de vitamina C fue de 6,79%, por lo que se estableció que el método reflectométrico utilizado para la determinación de este antioxidante presenta un error experimental mayor a los resultados predcidos por el modelo.

Utilizando el modelo matemático se puede predecir el contenido de vitamina C en función de los parámetros de color (L^* , a^* y b) para muestras de arazá, a pesar de que este compuesto antioxidante no es considerado como responsable del color en los alimentos.

4.1.1.2. MORA

4.1.1.2.1. FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA

a) CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Dentro de la caracterización física de mora (*Rubus glaucus*) se determinó el peso, largo, diámetro y la firmeza. En la Tabla 33, se presenta los resultados promedio de la determinación de estos parámetros en 20 frutas.

TABLA 33. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Caracterización Física	Peso (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Firmeza (Kg-f)
Promedio	5,25±2,65	2,20±0,22	2,02±0,17	0,328±0,05
Coef. Variación (%)	20,17	9,82	8,26	16,00

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados obtenidos en los parámetros físicos evaluados (Tabla 33), concuerdan con los reportados por Montalvo (2009), quien obtuvo un peso promedio de 5,32 g; largo de 2,17 cm y diámetro de 2,05 cm para mora de castilla variedad Iniap Andimora.

Con la finalidad de que las muestras seleccionadas para este estudio presenten un índice de madurez homogéneo, se evaluó la firmeza de la fruta con ayuda de un penetrómetro de aguja, obteniéndose un valor promedio de 0,328 Kg-f, con una variación del 16% entre muestras, este resultado es similar al reportado por Montalvo (2011), quien presentó una firmeza de 0,33 Kg-f para muestras de mora procedente de las provincias de Tungurahua y Bolívar.

b) CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La caracterización química de la mora variedad Iniap Andimora 2013 se realizó en base a parámetros como: pH, acidez titulable, humedad y sólidos solubles, los resultados promedio obtenidos para estos parámetros se presentan en la Tabla 34.

TABLA 34. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Caracterización Química	pH*	Ácido Titulable* (%)	Humedad* (%)	Sólidos Solubles * (°Brix)
Promedio	2,89 ± 0,07	2,81± 0,07	84,09± 1,26	12,69±0,43
Coef. Variación (%)	2,52	2,38	0,01	3,39

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca.

Los resultados obtenidos dentro de la caracterización química realizada en esta investigación, confirman los estudios realizados por Montalvo (2011); quien reportó valores de 2,93 para el pH, 2,62% para la acidez titulable, 84,85% para la humedad y un contenido de sólidos solubles de 12,60 °Brix.

4.1.1.2.2. FASE 2. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES

Dentro del proceso de preparación de las muestras de mora de castilla para los análisis de compuestos antioxidantes se separó de cada fruta la pulpa y las semillas, posteriormente se evaluó el porcentaje de rendimiento en pulpa (Tabla 35) y el contenido de humedad (Tabla 34).

TABLA 35. RENDIMIENTO DE MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Peso fruta (g)	Semilla (g)	Pulpa (g)	Rendimiento* (%)
Promedio	104,10 ± 4,08	9,36 ± 2,82	94,74 ± 3,07	91,04 ± 2,52
C. variación (%)	3,92	30,13	3,24	2,77

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados reportados en base fresca.

La fruta presentó un rendimiento en pulpa de 91,04%, similar a los resultados obtenidos por Montalvo (2011); quien obtuvo un rendimiento de 88,19%± 2,85. Utilizando estos resultados se estableció la cantidad de fruta fresca necesaria para el proceso de liofilización, puesto que los análisis de antioxidantes se realizaron en muestras liofilizadas.

4.1.1.2.3. FASE 3. DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO

La determinación del color en mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora, se realizó en base a las coordenadas cromáticas L*, a* y b*, los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 36.

TABLA 36. COORDENADAS DE COLOR INTERNO EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013: LUMINOSIDAD (L*), PARÁMETRO a* Y PARÁMETRO b*

Color	Luminosidad* (x)	Parámetro a*(x)	Parámetro b*(x)
Promedio	10,68 ± 2,23	13,80 ± 3,90	4,95 ± 1,70
Coef. Variación	20,92	28,29	34,34

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

(x) Los resultados son reportados en base fresca ± 15 desviaciones estándar.

Las coordenadas de color reportadas en la Tabla 36, muestran la tendencia de la fruta hacia el color negro (L*), rojo (a*) y amarillo (b*), determinándose que la muestra presenta una baja luminosidad; estos resultados presentan diferencias con lo reportado por Montalvo (2011), quien presentó valores de 13,44, 11,79 y 10,72 para L*, a* y b*, respectivamente; las variaciones encontradas se atribuyen a la sensibilidad del equipo de medición, al estado de madurez de la fruta y a la zona de procedencia de las muestras.

En el Gráfico 26, se puede observar la representación tridimensional de los valores promedio de las coordenadas de color (L*, a* y b*), para muestras de mora de castilla variedad Iniap Andimora 2013.

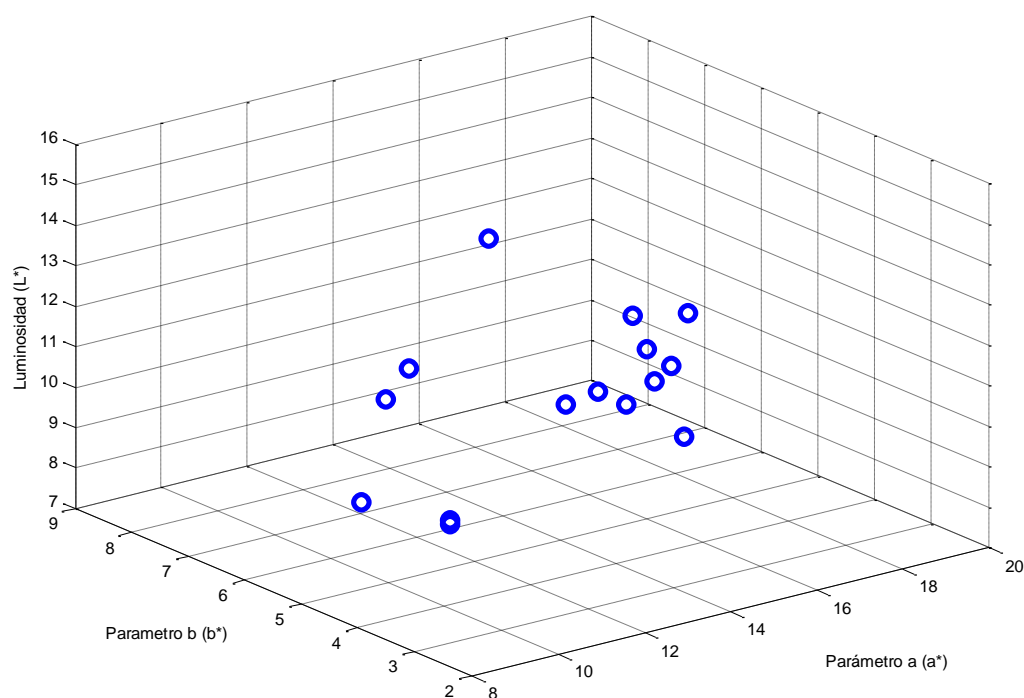


GRÁFICO 26. COORDENADAS DE COLOR INTERNO DE MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013: LUMINOSIDAD (L*), PARÁMETRO a* Y PARÁMETRO b*

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

4.1.1.2.4. FASE 4. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

a) ANTOCIANINAS TOTALES

El contenido de antocianinas totales se determinó utilizando el método establecido por Rapisarda (2000), el cual fue previamente adaptado en los laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad (INIAP) para muestras de mora de castilla. Dentro de la adaptación del ensayo se realizó la determinación de la exactitud del método en función del porcentaje de recuperación del analito, estableciéndose que se requieren tres ciclos de extracción de 60 minutos en soluciones buffer pH 1,0 y pH 4,5 para alcanzar el 100% de recuperación de las antocianinas (Gráfico 27).

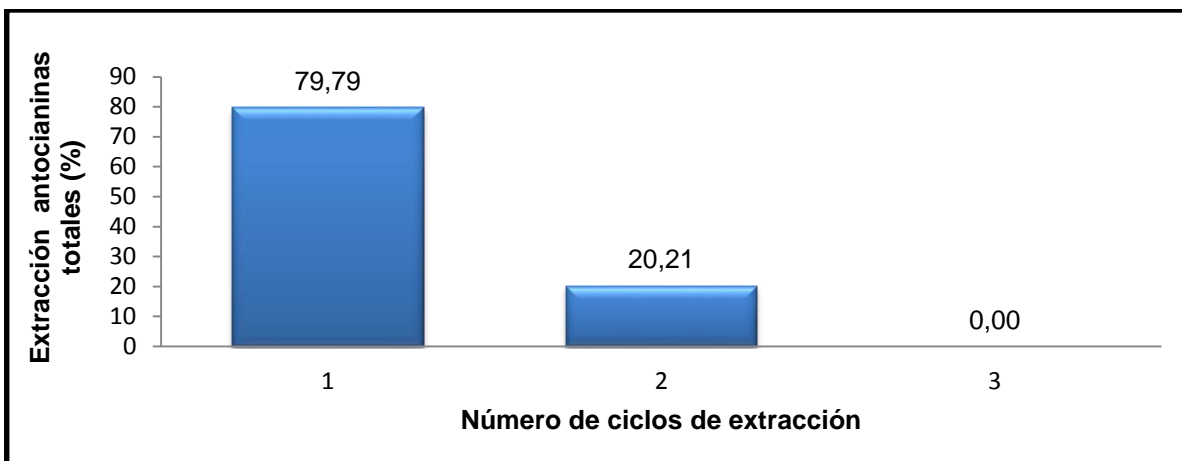


GRÁFICO 27. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera, dentro de la optimización del método de análisis, se determinó la precisión del ensayo en función de la repetibilidad, para lo cual se realizó el análisis de una muestra de mora liofilizada con 6 repeticiones, estableciéndose que la muestra analizada presentó un contenido promedio de antocianinas de 1465,25 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g y un coeficiente de variación (error experimental) de 3,33%, como se observa en el Gráfico 28.

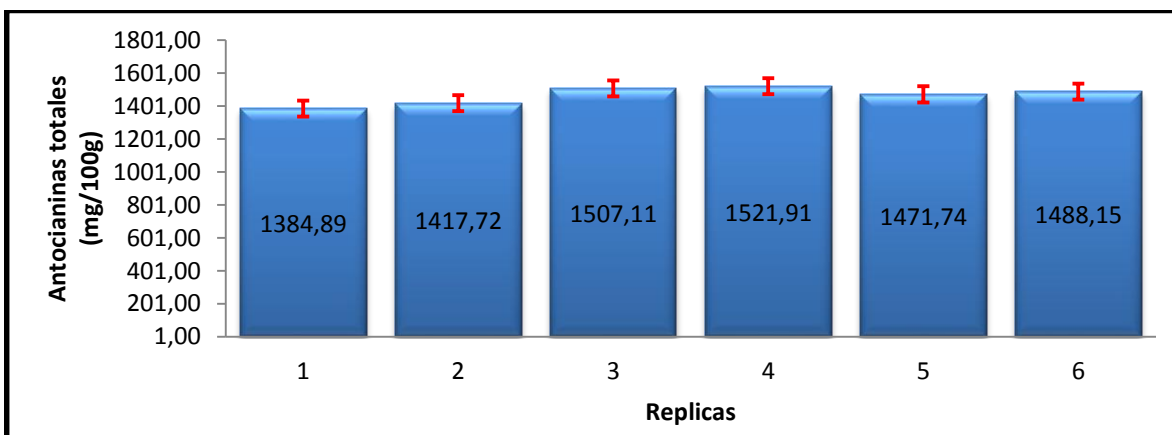


GRÁFICO 28. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando el método previamente optimizado, se procedió a la cuantificación de antocianinas totales en 15 muestras de mora por triplicado, los resultados se presentan en la Tabla 37.

TABLA 37. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Antocianinas Totales* (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g)
1	1399,33 ± 57,96
2	1362,89 ± 49,15
3	1232,00 ± 161,76
4	1882,24 ± 70,04
5	1292,94± 88,50
6	1365,79 ± 23,44
7	1445,31± 32,67
8	1580,64 ± 123,56
9	1515,75 ± 27,65
10	1380,43 ± 66,46
11	1424,64 ± 87,64
12	1189,49 ± 72,61
13	1303,35 ± 106,78
14	1409,35 ± 4,01
15	1466,14 ± 86,25

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de antocianinas totales en mora de castilla (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013 (procedente de la provincia de Tungurahua) fue de 1416,68± 158,71 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g en base seca, estos resultados se encuentran dentro del rango de 636,8 a 3000 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g en base seca; reportado por Mertz *et al.* (2009) y Garzón *et al.* (2009), para el contenido de antocianinas totales en mora de castilla de diferentes orígenes y variedades.

b) CAROTENOIDES TOTALES

Los carotenoides son pigmentos orgánicos que se encuentran de forma natural en las frutas, su color varía desde amarillo pálido hasta anaranjado, esta variación se encuentra directamente relacionada con su estructura. En base a este criterio se

determinó que estos compuestos no forman parte del perfil de antioxidantes identificados en mora de castilla, puesto que las muestras presentan un color rojo intenso con tendencia a negro.

Para confirmar estos datos se realizó un espectro UV en el extracto de hexano de la fruta, en la región de 420 nm a 500 nm (Gráfico 29), demostrándose que no existe absorción de luz en este rango de longitud de onda, por lo tanto se estableció que no existe presencia de estos compuestos en las muestras analizadas o que su concentración es inferior al límite de detección del equipo.

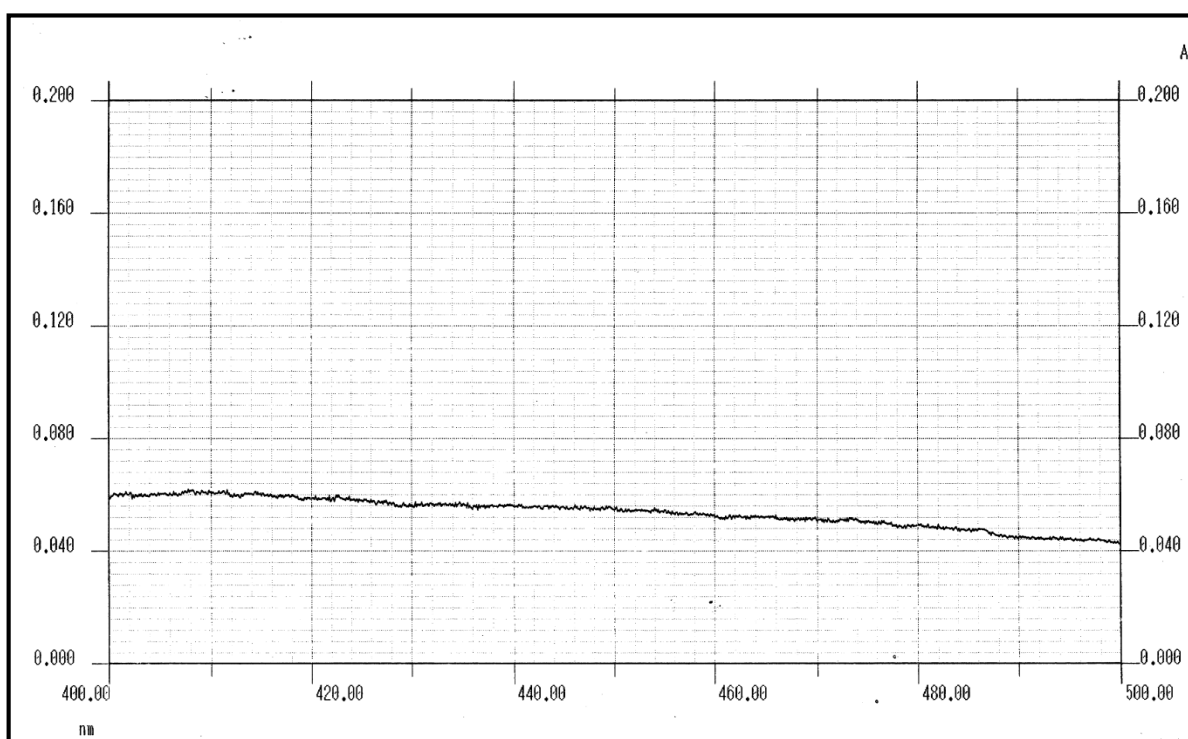


GRÁFICO 29. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

c) POLIFENOLES TOTALES

La cuantificación del contenido de polifenoles totales en mora de castilla se realizó utilizando el método colorimétrico publicado por Slinkard y Singleton (1967), basado en la reacción de los polifenoles con el reactivo de Folin&Ciocalteu. La extracción de estos compuestos fenólicos se realizó empleando una solución de acetona al

70% (v/v) y el análisis cuantitativo se realizó a partir de una curva de calibración con ácido gálico (Gráfico 30), la misma que presentó un coeficiente de correlación lineal r^2 de 0,9997.

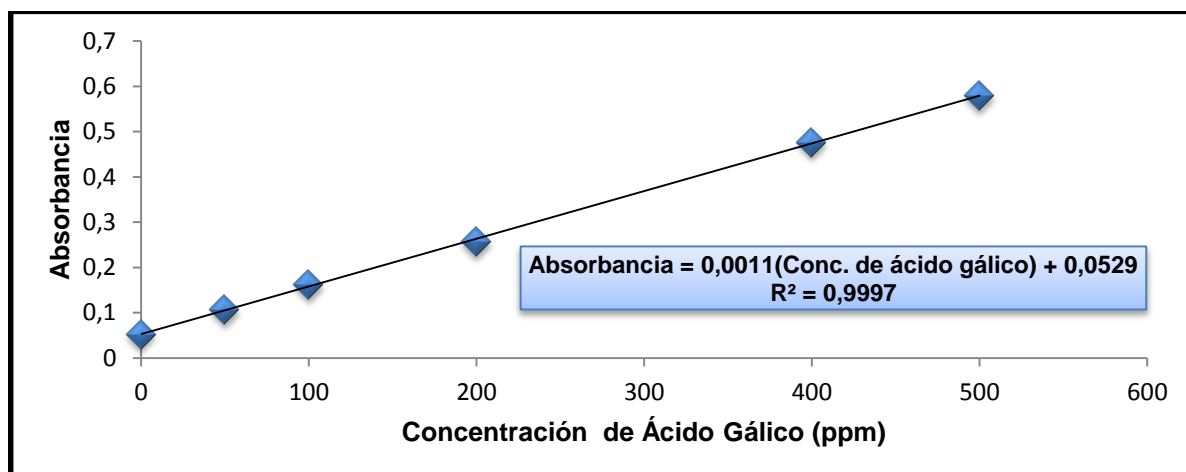


GRÁFICO 30. CURVA DE CALIBRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES PARA MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Para la determinación del contenido de polifenoles totales en muestras de mora se realizó previamente la adaptación del método de análisis, en función de dos parámetros: exactitud como porcentaje de recuperación del analito y precisión en función de la repetibilidad del método.

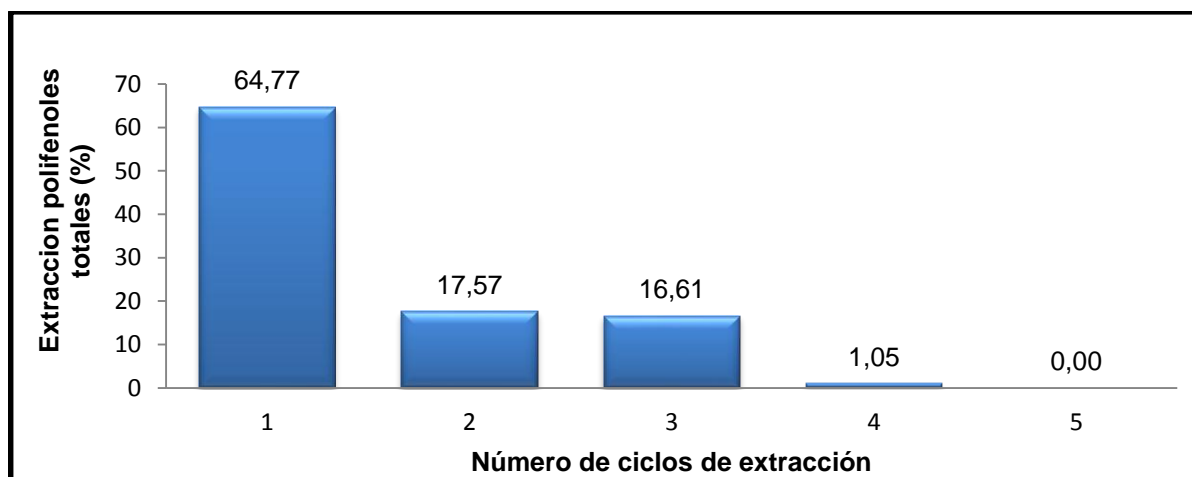


GRÁFICO 31. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados de los ensayos de adaptación del método demostraron que se requieren cinco ciclos de extracción de 45 minutos en una solución de acetona-agua (70/30, v/v) para obtener el 100% de rendimiento de extracción de los polifenoles (Gráfico 31).

Posteriormente se determinó la precisión del método mediante la repetibilidad del ensayo, para lo que se realizó el análisis del contenido de polifenoles en una muestra de mora por quintuplicado, estableciéndose que la muestra presentó un contenido promedio de polifenoles de $7062,22 \pm 323,42$ mg de ácido gálico/100g y un error experimental expresado como coeficiente de variación de 4,58% (Gráfico 32).

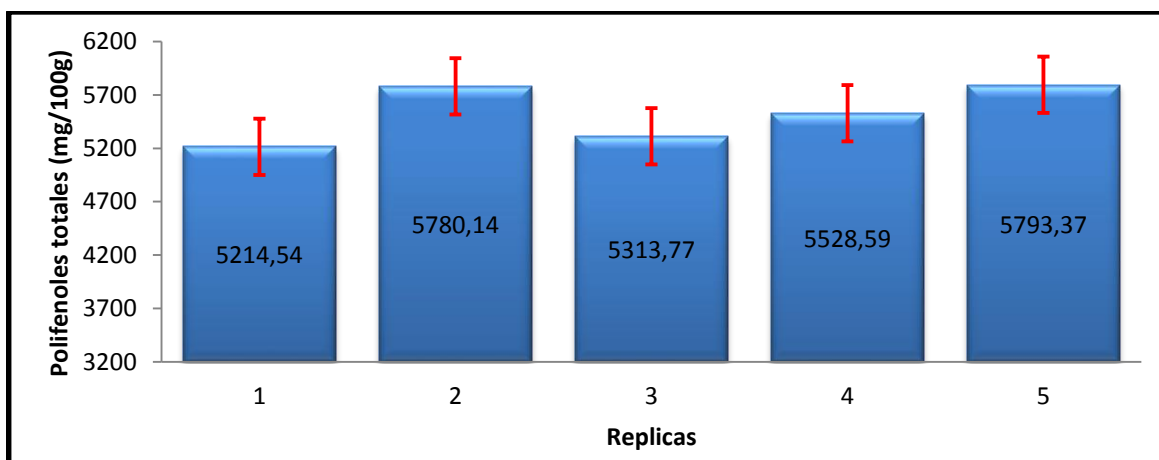


GRÁFICO 32. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados del análisis de precisión demostraron que el método presenta un error experimental (4,58%), inferior al error esperado para el rango de concentración medido, según la ecuación de Horwitz (5 al 8%).

Con el método previamente optimizado se realizó la cuantificación del contenido de polifenoles totales en 15 muestras de mora por triplicado, los resultados se presentan en la Tabla 38.

TABLA 38. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Polifenoles totales * (mg de ácido gálico/100g)
1	6478,86 ± 590,19
2	6322,15 ± 525,71
3	6477,48 ± 165,41
4	7595,90 ± 1006,38
5	6919,10 ± 1049,74
6	6197,46 ± 259,40
7	7084,10 ± 903,82
8	6824,67 ± 1309,75
9	6941,83 ± 552,38
10	6007,93 ± 225,87
11	5895,19 ± 1108,54
12	5306,08 ± 1187,70
13	5937,03 ± 1270,32
14	5604,42± 758,41
15	5692,04± 416,58

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de polifenoles totales obtenido en mora variedad Iniap Andimora 2013 fue de 6352,28 ± 633,61 mg de ácido gálico/100g de muestra seca, estos resultados son similares a los reportados por diferentes autores (Mertz *et al.*, 2009; Montalvo D. 2011 y Garzón *et al.*, 2009) para muestras de mora de castilla de diferentes orígenes (2340,24 a 6300 mg de ácido gálico/100g).

d) VITAMINA C

La cuantificación del contenido de vitamina C se realizó utilizando un método reflectométrico. De igual manera, con la finalidad de calcular el error experimental del ensayo se estableció la precisión del mismo mediante un ensayo de repetibilidad, para lo que se realizó la determinación de vitamina C en una muestra de mora con cuatro repeticiones. Se obtuvo un contenido promedio de 96,95±7,73 mg de ácido ascórbico/100g de muestra seca y un coeficiente de variación (error experimental) de 7,98%, los resultados se presentan en el Gráfico 33.

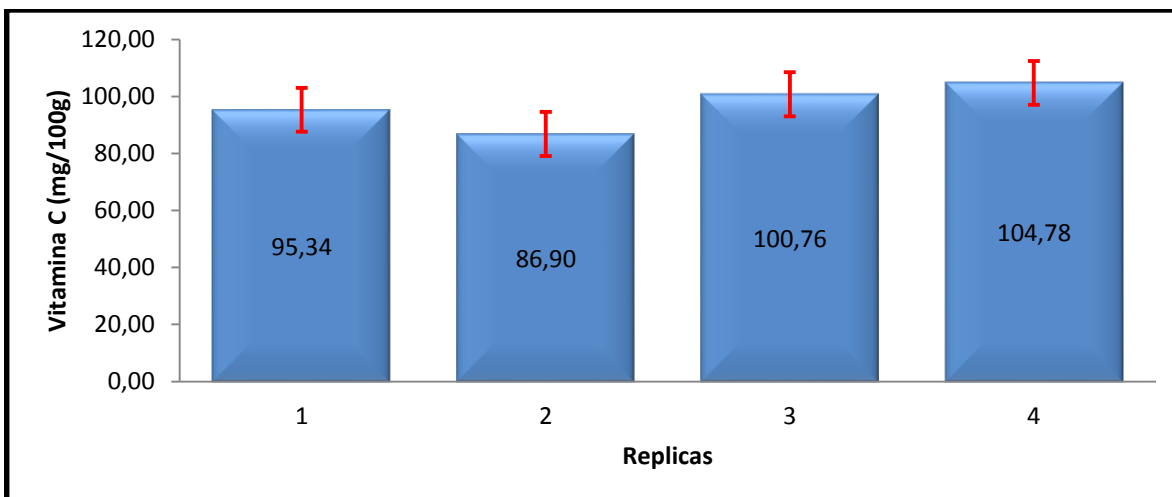


GRÁFICO 33. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente se realizó la cuantificación del contenido de vitamina C en 15 muestras de mora de castilla variedad INIAP Andimora 2013, los resultados se presentan en la Tabla 39.

TABLA 39. CONTENIDO DE VITAMINA C EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Vitamina C* (mg de ácido ascórbico/100g)
1	86,83
2	104,90
3	107,15
4	84,80
5	96,42
6	98,41
7	83,74
8	85,75
9	105,62
10	117,53
11	100,64
12	105,84
13	101,78
14	117,66
15	110,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

* Los resultados son reportados en base seca

El contenido promedio de vitamina C obtenido para las muestras de mora de castilla variedad Iniap Andimora 2013 fue de 100,49±11,19 mg de ácido ascórbico/100g de muestra seca, estos resultados se encuentran dentro de los rangos reportados por Garzón *et al.*, 2009 y Montalvo, D. 2009 para muestras de mora de castilla de diferentes orígenes (80,40 a 132,66 mg de ácido ascórbico/100g). En la Tabla 40, se presenta el perfil de antioxidantes obtenido para mora de castilla variedad Iniap Andimora 2013.

TABLA 40. CONTENIDO DE PROMEDIO DE ANTIOXIDANTES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Caracterización Química	Antocianinas totales (mg/100g)*	Carotenoides totales (µg/g)*	Polifenoles totales (mg/100g)*	Vitamina C (mg/100g)*
Promedio	1416,68±158,71	No Detectable	6352,28±633,61	100,49±11,19
Coef. Variación (%)	11,20		9,97	11,14

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 15 repeticiones.

4.1.1.2.5. FASE 5. DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS

a) ANTOCIANINAS TOTALES

Para el desarrollo del modelo matemático de predicción del contenido de antocianinas totales en mora de castilla variedad Iniap Andimora 2013, se elaboró una matriz de resultados, estableciendo como variables independientes (X) a los componentes de color (L, a*, b*) y como variable dependiente Y a los valores de referencia del contenido de antocianinas totales medido en el laboratorio (Tabla 41).

Posteriormente, utilizando la matriz de resultados se realizó un análisis de regresión múltiple; obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 13) que relaciona las variables en estudio.

TABLA 41. MATRIZ DE RESULTADOS DE ANTOCIANINAS TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Antocianinas Totales (Y)
1	13,00	10,35	2,12	1399,33
2	8,47	10,88	4,58	1362,89
3	12,92	9,42	4,19	1232,00
4	8,92	9,72	5,26	1882,24
5	11,16	10,46	5,40	1292,94
6	15,15	11,98	4,72	1365,79
7	10,20	8,58	2,82	1445,31
8	11,90	12,77	2,90	1580,64
9	12,72	15,73	4,06	1515,75
10	8,95	16,68	4,84	1380,43
11	8,79	19,15	6,95	1424,64
12	9,07	17,98	6,35	1189,49
13	12,34	15,36	4,76	1303,25
14	9,36	18,61	6,97	1409,35
15	7,25	19,34	8,39	1466,14

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El modelo matemático obtenido para la predicción del contenido de antocianinas totales presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,12, lo que demuestra que este modelo explica el 12% del comportamiento de los datos, por lo que se estableció que existen datos dispersos que influyen en la correlación de las variables (Gráfico 34).

$$AT = 1914,33 - 28,04L * -9,00a * -14,94b * \quad (\text{Ecuación 13})$$

Con la finalidad de obtener un coeficiente de correlación (r^2) superior a 0,70, se realizó un ajuste de los datos, mediante un análisis de residuos entre el valor de antocianinas totales experimental (laboratorio) y el valor estimado por el modelo matemático desarrollado (Ecuación 13); el mismo que permitió escoger una población de datos con características homogéneas, seleccionando las muestras que presentaron valores de desviación inferiores a 2σ (muestras 1, 2, 6, 7, 10, 11, 13, 14).

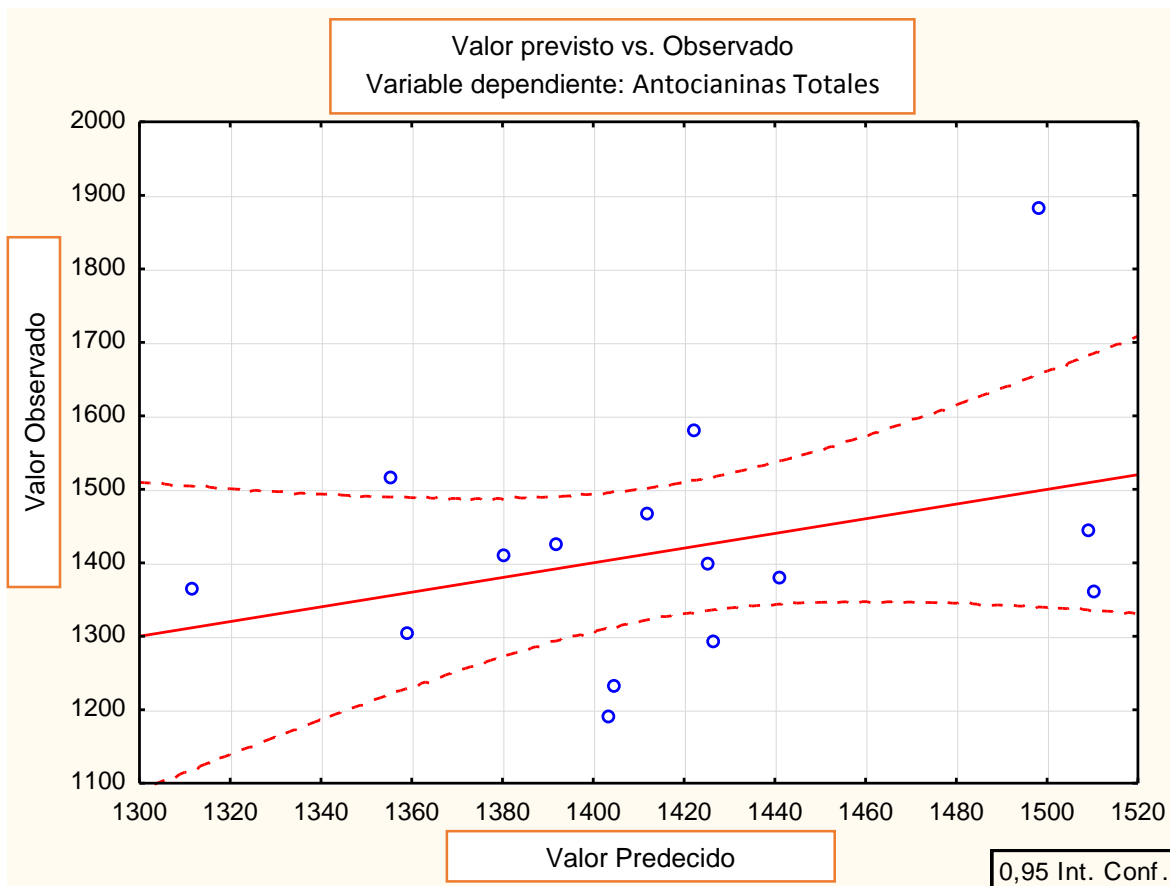


GRÁFICO 34. CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente, se evaluó el efecto de las variables independientes (L^* , a^* y b^*) sobre el contenido de antocianinas totales (variable dependiente), mediante una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales; empleando el estadístico t de student como se muestra en la Tabla 42.

TABLA 42. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	-1,06	2,20
B2=0	-0,52	
B3=0	-0,33	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados de la prueba t de student para los coeficientes parciales del modelo (L^* , a^* y b^*), demostraron que no existe una influencia significativa de estos coeficientes sobre el contenido de antocianinas totales, estableciéndose que ninguno de los parámetros de color aporta individualmente para los fines de predicción ($t_{\text{experimental}} < t_{\text{crítico}}$).

Utilizando los datos de color y contenido de antocianinas de las muestras escogidas en la optimización del modelo, se estructuró una segunda matriz de resultados ajustados (Tabla 43).

TABLA 43. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA ANTOCIANINAS TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR DE MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Antocianinas Totales (Y)
1	13,00	10,35	2,12	1399,33
6	15,15	11,98	4,72	1365,79
7	10,20	8,58	2,82	1445,31
10	8,95	16,68	4,84	1380,43
11	8,79	19,15	6,95	1424,64
14	9,36	18,61	6,97	1409,35
15	7,25	19,34	8,39	1466,14

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El análisis de regresión múltiple con los datos seleccionados permitió obtener un mejor ajuste de los datos (Gráfico 35), obteniéndose el modelo matemático final (Ecuación 14) con un coeficiente de correlación (r^2) de 0,82; lo que permitió establecer que el modelo de predicción desarrollado explica el 82% del comportamiento de los datos.

$$AT = 1644,47 - 13,53L^* - 12,56a^* + 18,42b^* \quad (\text{Ecuación 14})$$

Finalmente se realizó la predicción matemática del contenido de antocianinas totales en las muestras de mora de castilla variedad Iniap Andimora 2013, utilizando la ecuación matemática optimizada; los resultados se presentan en la Tabla 44.

TABLA 44. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g)		Desviación Estándar	Promedio (mg/100g)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimental				
1	1377,62	1399,33	15,35	1388,47	1,11	1,56
6	1376,14	1365,79	7,32	1370,96	0,53	0,75
7	1450,76	1445,31	3,85	1448,04	0,27	0,38
10	1403,07	1380,43	16,01	1391,75	1,15	1,63
11	1412,94	1424,64	8,27	1418,79	0,58	0,82
14	1412,46	1409,35	2,20	1410,91	0,16	0,22
15	1458,00	1466,14	5,75	1462,07	0,39	0,56

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción para el contenido de antocianinas totales se evaluó en función de tres parámetros estadísticos; el coeficiente de correlación (r^2), el error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV), entre los valores estimados por el modelo y los datos experimentales medidos en la laboratorio (Tabla 45).

TABLA 45. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Estadístico	ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,82
Error experimental (EE)/ de predicción (EP)	11,20	0,85

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

El modelo matemático presentó un error de predicción de 0,85%, lo que permitió establecer que cada vez que se realice la predicción matemática, los resultados presentarán una desviación de $\pm 35,34$ mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g;

la misma que es inferior a la desviación obtenida al realizar el ensayo en el laboratorio (11,20%).

Demostrándose que el modelo matemático desarrollado es robusto puesto que se encuentra dentro del límite aceptable para las concentraciones medidas (5 a 8%), de acuerdo a la ecuación de Horwitz (Anexo 9).

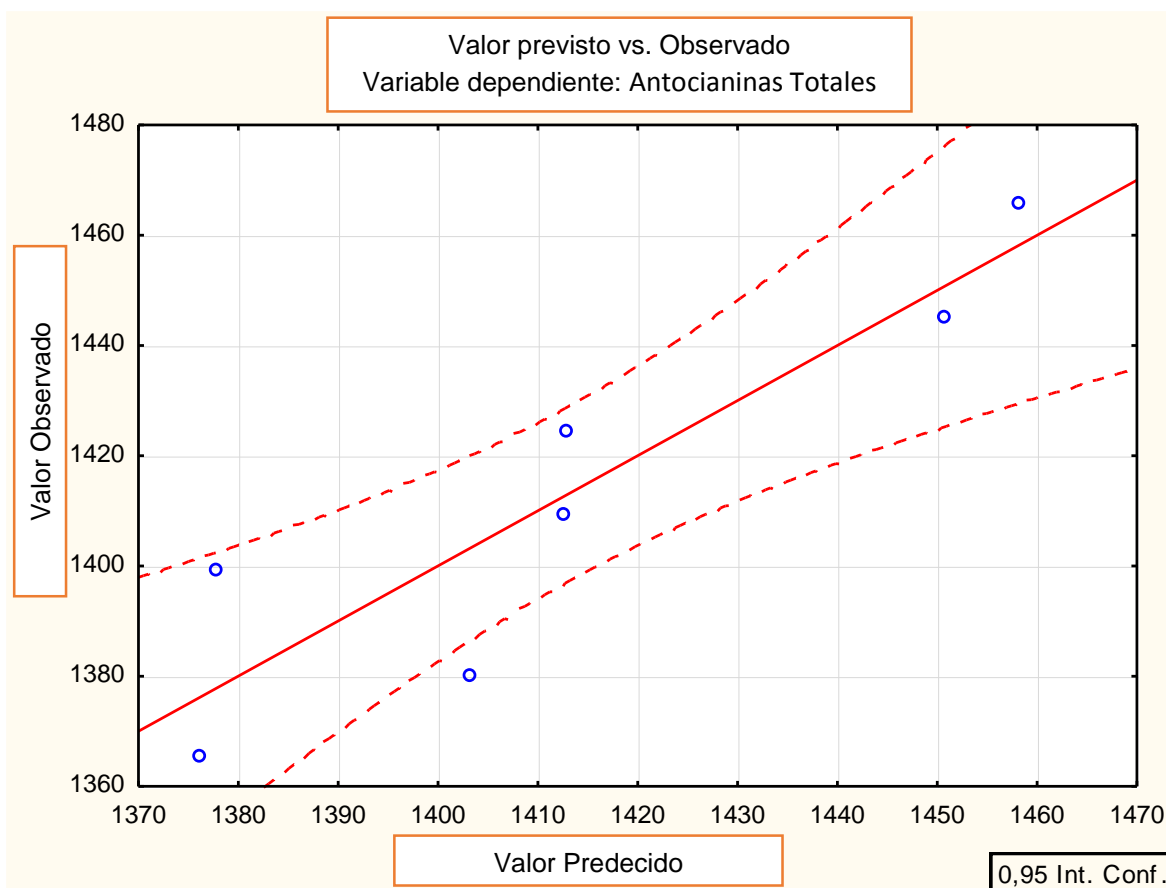


GRÁFICO 35. CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

b) POLIFENOLES TOTALES

De igual manera para el desarrollo del modelo matemático de predicción para el contenido de polifenoles totales en mora de castilla, se elaboró una matriz de

resultados con los datos de medición de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y los resultados del contenido de polifenoles medidos en el laboratorio (Tabla 46).

TABLA 46. MATRIZ DE RESULTADOS DE POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	21,44	2,89	3,46	8662,29
2	22,23	2,66	3,05	7987,70
3	21,02	3,04	3,79	3981,66
4	19,14	2,98	4,57	6597,00
5	19,50	2,37	4,64	6953,57
6	21,75	2,85	2,69	6686,36
7	21,13	3,30	4,48	6913,77
8	19,47	3,06	2,33	7073,79
9	21,74	2,97	3,67	7065,05
10	21,00	2,38	2,77	9243,78
11	20,04	5,27	3,35	7364,88
12	18,93	4,14	1,84	8097,79
13	18,95	4,85	2,10	6415,86
14	21,19	5,98	2,89	7783,39
15	24,44	4,10	1,81	7992,34

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente utilizando la matriz de resultados (Tabla 46), se realizó un análisis de regresión multilínea; estableciendo como variables independientes (X) a los componentes de color y como variable dependiente (Y) al contenido de polifenoles totales, con la finalidad de obtener una ecuación matemática que relaciona las variables en estudio (Ecuación 15).

$$PT = 8684,45 - 41,72L^* - 115,92a^* - 57,91b^* \text{ (Ecuación 15)}$$

El modelo matemático desarrollado presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,60; estableciéndose que el modelo explica el 60% de la población de datos, por lo cual se definió que la correlación obtenida entre las variables en estudio es inferior al valor esperado para el desarrollo de modelos de predicción ($r^2 \leq 0,70$),

determinándose que existe valores dispersos dentro de la población de datos. (Gráfico 36).

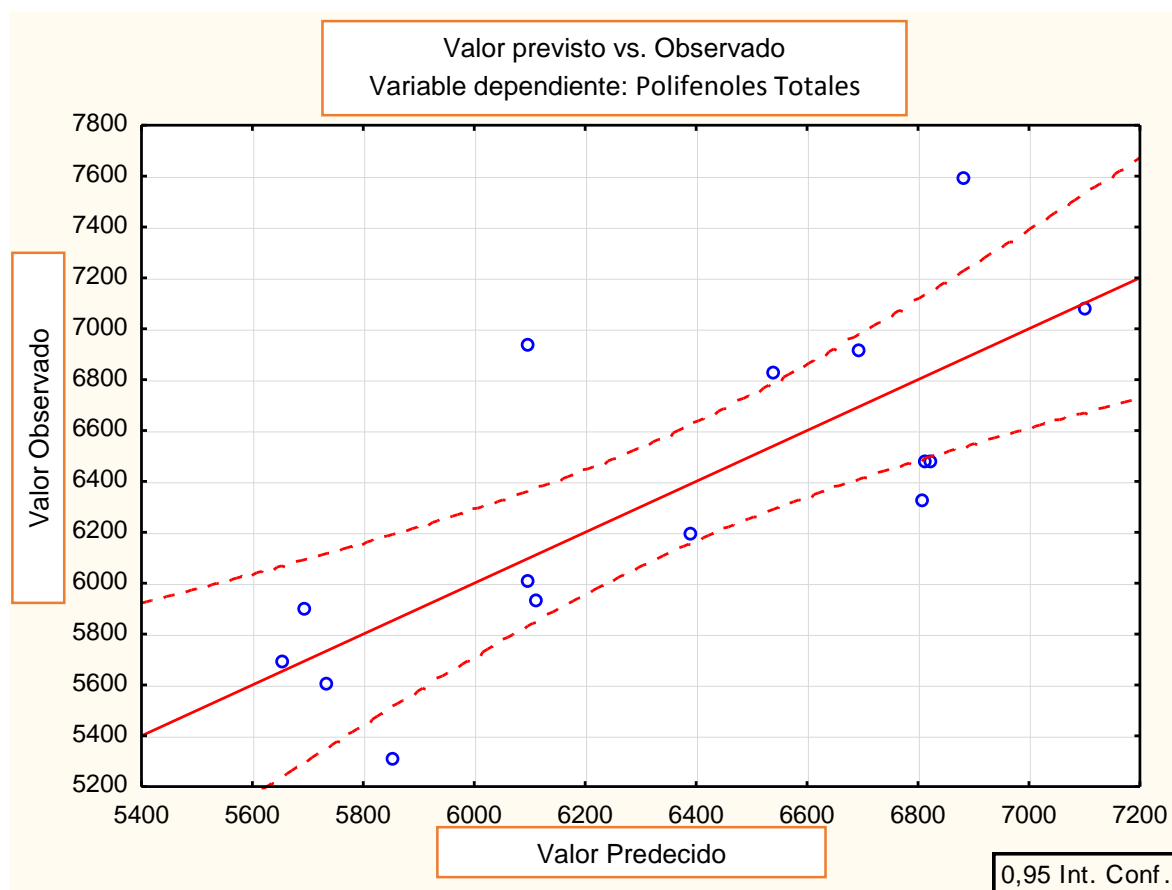


GRÁFICO 36. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad de alcanzar un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$) se evaluó el efecto del error experimental y la heterogeneidad de la población de datos en la correlación de las variables, para esto se realizó un análisis de residuos entre el valor de polifenoles totales de referencia y el valor estimado matemáticamente por la ecuación 15. En base a este análisis se seleccionó una población de datos con características homogéneas, seleccionando las muestras (1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14 y 15), las mismas que mostraron valores de desviación inferiores a 2σ .

Dentro del proceso de ajuste de los datos se realizó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*); mediante el estadístico t de student, demostrándose que los parámetros L^* , a^* y b^* no presentan un aporte individual para el desarrollo de la ecuación matemática de predicción ($t_{\text{calculado}} < t_{\text{teórico}}$) como se observa en la Tabla 47.

TABLA 47. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Hipótesis	t_{student}	Valor crítico
B1=0	-0,61	2,20
B2=0	-2,55	
B3=0	-0,49	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Finalmente, con los datos seleccionados se elaboró una segunda matriz de resultados ajustados, en función del análisis de residuos y heterogeneidad de las muestras (Tabla 48).

TABLA 48. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	13,00	10,35	2,12	6478,86
2	8,47	10,88	4,58	6322,15
3	12,92	9,42	4,19	6477,48
5	11,16	10,46	5,40	6919,10
6	15,15	11,98	4,72	6197,46
7	10,20	8,58	2,82	7084,10
10	8,95	16,68	4,84	6007,93
11	8,79	19,15	6,95	5895,19
12	9,07	17,98	6,35	5306,08
13	12,34	15,36	4,76	5937,03
14	9,36	18,61	6,97	5604,42
15	7,25	19,34	8,39	5692,04

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados ajustados (Tabla 48), se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple, a partir del cual se obtuvo la ecuación matemática final (Ecuación 16), cuyo coeficiente de correlación (r^2) fue de 0,81, demostrándose que el modelo matemático de predicción desarrollado explica el 81% del comportamiento de los datos y que presenta un mejor ajuste de los mismos como se observa en el Gráfico 37.

$$PT = 7095,72 + 33,44L^* + 143,50a^* - 308,63b^* \quad (\text{Ecuación 16})$$

Empleando la ecuación matemática final (ecuación 16), se realizó la predicción del contenido de polifenoles totales en muestras de mora de castilla variedad Iniap Andimora 2013, en función de los componentes de color (L^* , a^* , b^*), los resultados se presentan en la Tabla 49.

TABLA 49. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Polifenoles Totales (mg de ácido gálico/100g)		Desviación Estándar	Promedio ($\mu\text{g/g}$)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
4	6752,89	6597,00	110,23	6674,94	1,65	2,34
5	6654,97	6953,57	211,14	6804,27	3,10	4,39
7	6894,52	6913,77	13,61	6904,14	0,20	0,28
8	7467,23	7073,79	278,20	7270,51	3,83	5,41
9	7116,07	7065,05	36,08	7090,56	0,51	0,72
11	7490,36	7364,88	88,73	7427,62	1,19	1,69
12	7755,00	8097,79	242,39	7926,40	3,06	4,32
14	7769,75	7783,39	9,64	7776,57	0,12	0,18
15	7940,78	7992,34	36,46	7966,56	0,46	0,65

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo de predicción obtenido se evaluó en función de parámetros estadísticos como: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) (Tabla 50).

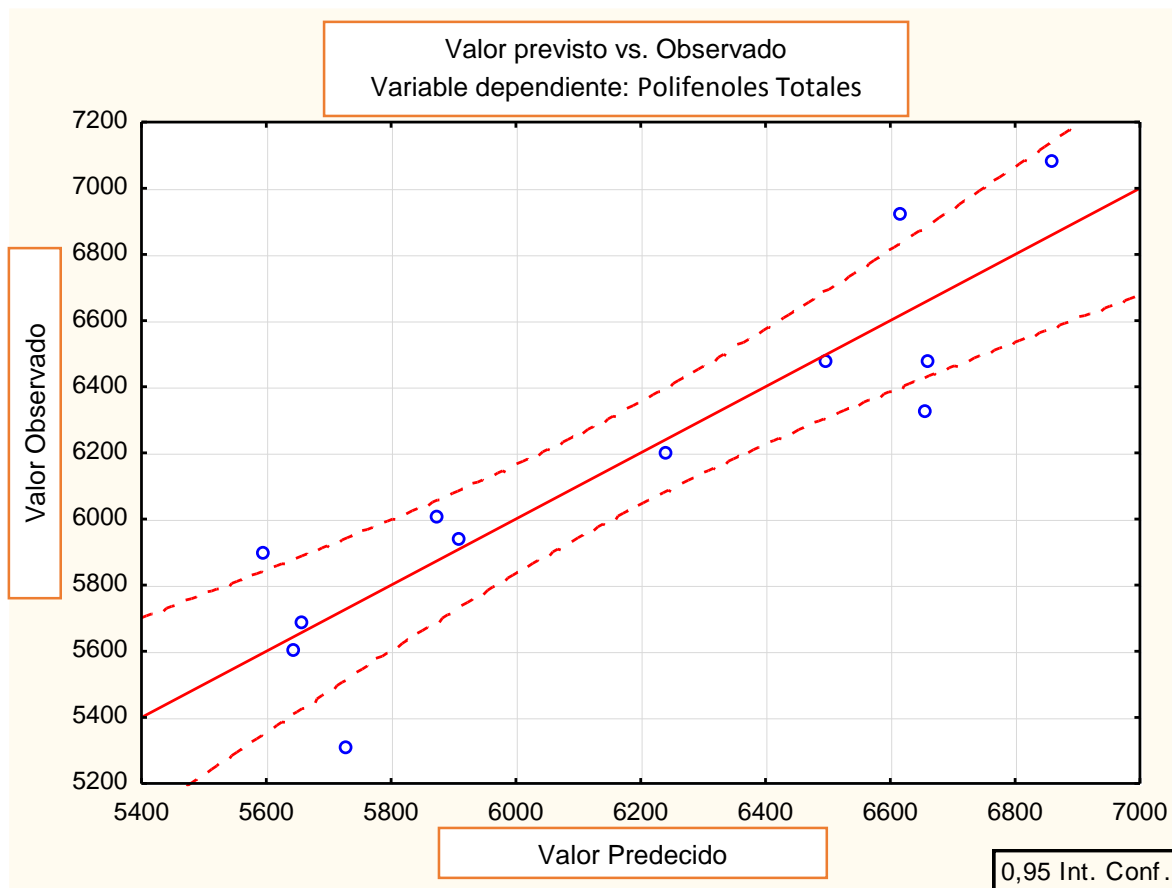


GRÁFICO 37. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

TABLA 50. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POLIFENOLES TOTALES EXPERIMENTAL (mg de ácido gálico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Estadístico	POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coefficiente de correlación (r^2)		0,81
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	4,77	3,38

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El análisis de robustez del modelo matemático demostró que la ecuación obtenida es útil para los fines de predicción; puesto que el error de predicción obtenido es de 3,38%, este valor es inferior al error experimental (4,77%), demostrándose que los valores obtenidos están dentro de los niveles aceptables para concentraciones medidas (mg/100g) de acuerdo al coeficiente de variación de Horwitz ($Cv \leq 8$).

c) VITAMINA C

El desarrollo del modelo matemático de predicción del contenido de vitamina C para mora variedad Iniap Andimora 2013, se elaboró a partir de una matriz de resultados (Tabla 51), que incluye los datos de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y los valores de referencia de vitamina C obtenidos en el laboratorio.

TABLA 51. MATRIZ DE RESULTADOS DE VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	13,00	10,35	2,12	86,83
2	8,47	10,88	4,58	104,90
3	12,92	9,42	4,19	107,15
4	8,92	9,72	5,26	84,80
5	11,16	10,46	5,40	96,42
6	15,15	11,98	4,72	98,41
7	10,20	8,58	2,82	83,74
8	11,90	12,77	2,90	85,75
9	12,72	15,73	4,06	105,62
10	8,95	16,68	4,84	117,53
11	8,79	19,15	6,95	100,64
12	9,07	17,98	6,35	105,84
13	12,34	15,36	4,76	101,78
14	9,36	18,61	6,97	117,66
15	7,25	19,34	8,39	110,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En función de los datos de la matriz de resultados (Tabla 51), se realizó un análisis de regresión múltiple, fijando como variables independientes (X) a las coordenadas de color y como variable dependiente (Y) al contenido de vitamina C determinado

en el laboratorio, estableciéndose una ecuación matemática (Ecuación 17) que relaciona las variables en estudio.

$$VC = 64,43 + 0,59L^* + 1,40a^* + 2,11b^* \quad (\text{Ecuación 17})$$

El modelo matemático obtenido por regresión múltiple presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,49, lo que demuestra que la ecuación desarrollada explica el 49% del comportamiento de los datos, en función de la correlación de las variables en estudio (Gráfico 38).

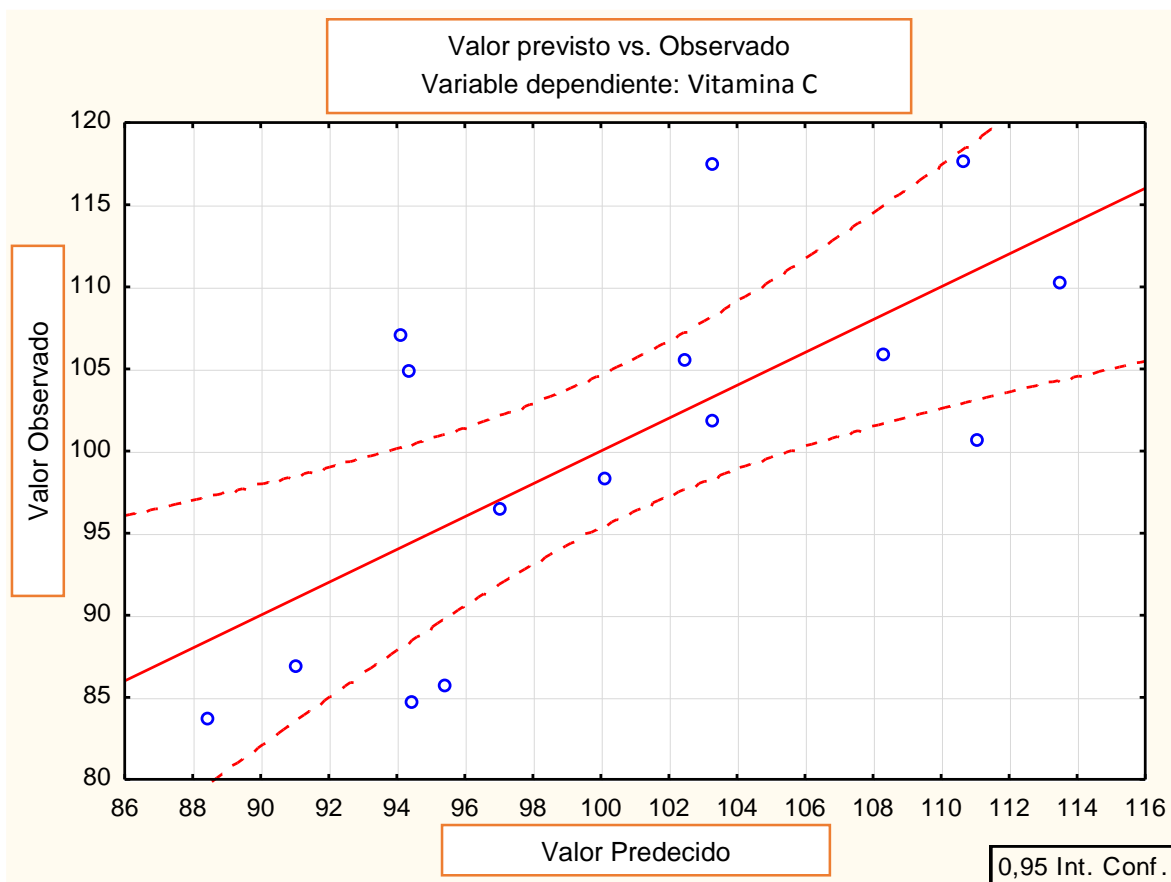


GRÁFICO 38. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad de obtener un coeficiente de correlación(r^2) superior 0,70; se realizó un análisis de residuos entre los valores experimentales y los valores obtenidos en

laboratorio, este análisis permitió seleccionar una población de datos con características homogéneas (muestras 1, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13,14 y 15); las mismas que presentaron una desviación $\leq 2 \sigma$. Posteriormente se evaluó la influencia de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) en la correlación de las variables, mediante una prueba de hipótesis (estadístico t de student) para los coeficientes parciales, los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 52.

TABLA 52. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	0,43	2,20
B2=0	1,54	
B3=0	0,89	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a los resultados obtenidos se demostró que los parámetros L^* , a^* y b^* , no aportan individualmente en el desarrollo de la ecuación matemática de predicción del contenido de vitamina C ($t_{\text{calculado}} < t_{\text{teórico}}$), estableciéndose que el modelo de predicción debe realizarse utilizando los tres componentes de color.

TABLA 53. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Replica	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	13,00	10,35	2,12	86,83
4	8,92	9,72	5,26	84,80
5	11,16	10,46	5,40	96,42
6	15,15	11,98	4,72	98,41
7	10,20	8,58	2,82	83,74
8	11,90	12,77	2,90	85,75
9	12,72	15,73	4,06	105,62
11	8,79	19,15	6,95	100,64
12	9,07	17,98	6,35	105,84
13	12,34	15,36	4,76	101,78
14	9,36	18,61	6,97	117,66
15	7,25	19,34	8,39	110,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En la Tabla 53, se presenta la matriz de resultados elaborada con los datos seleccionados en función de los análisis estadísticos realizados para optimizar el modelo, utilizando esta matriz se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple, obteniéndose la ecuación matemática final (Ecuación 18).

El modelo de predicción final, obtenido utilizando los datos ajustados, presentó un coeficiente de determinación (r^2) de 0,83, demostrándose que este modelo matemático (Ecuación 18) explica el 83% del comportamiento de los datos (Gráfico 39).

$$VC = 37,28 + 1,84L^* + 1,70a^* + 3,14b^* \quad (\text{Ecuación 18})$$

Finalmente, utilizando el modelo matemático de predicción desarrollado se determinó el contenido de vitamina C en muestras mora de castilla variedad Iniap Andimora 2013, los resultados se presentan en la Tabla 54.

TABLA 54. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Muestra	Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g)		Desviación Estándar	Promedio	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
1	86,45	86,83	0,27	86,64	0,31	0,43
4	87,71	84,80	2,06	86,26	2,39	3,38
5	101,16	96,42	3,35	98,79	3,39	4,80
6	108,79	100,64	5,77	104,71	5,51	7,79
7	80,49	83,74	2,29	82,12	2,79	3,95
8	91,01	85,75	3,72	88,38	4,20	5,95
9	108,97	105,62	2,37	107,30	2,21	3,13
11	110,82	110,33	0,34	110,58	0,31	0,44
12	105,47	105,84	0,26	105,66	0,25	0,35
13	102,04	101,78	0,18	101,91	0,18	0,25
14	108,97	117,66	6,14	113,32	5,42	7,67
15	110,82	110,33	0,34	110,58	0,31	0,44

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

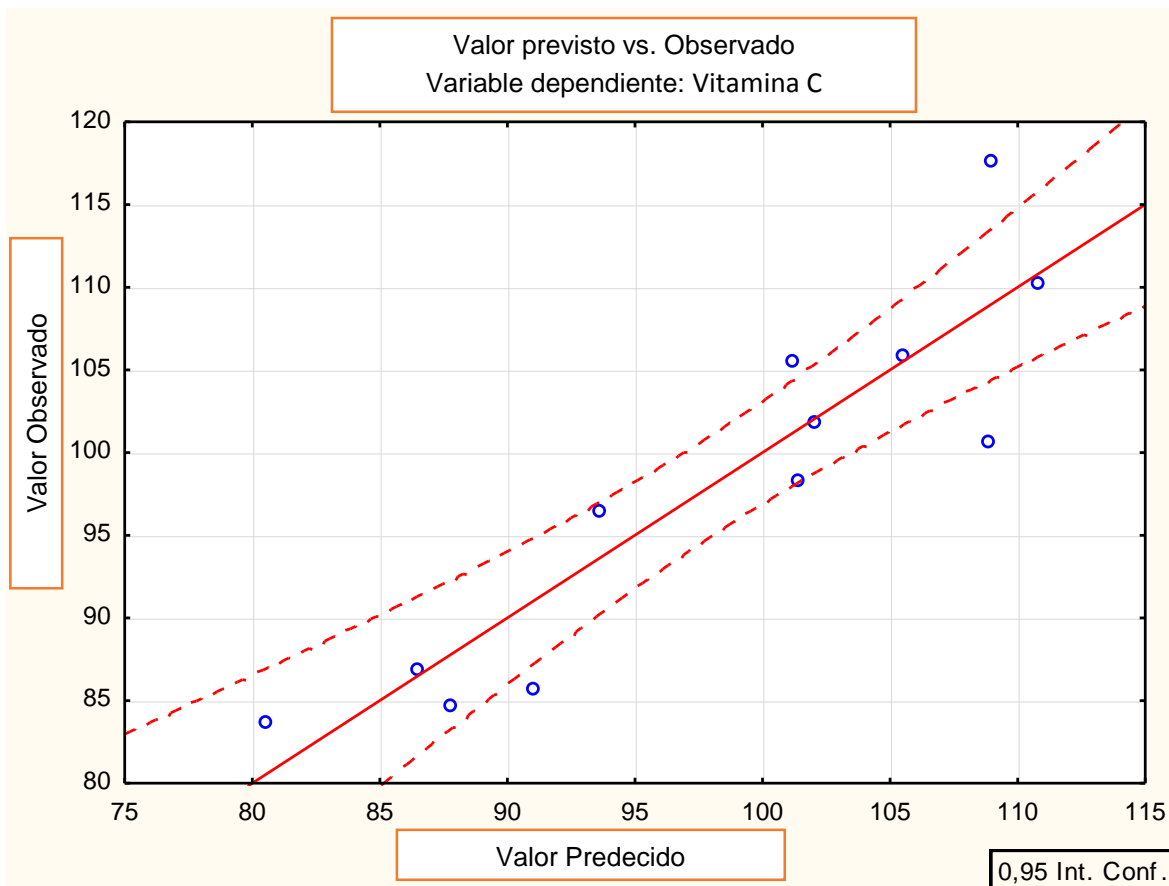


GRÁFICO 39. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción desarrollado para el contenido de vitamina C se evaluó en función de parámetros estadísticos como: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV), los resultados se presentan en la Tabla 55.

El modelo matemático desarrollado para la predicción del contenido de vitamina C presentó un error de predicción de 3,21%, el mismo que es inferior al error experimental obtenido en laboratorio (11,14%), demostrándose que el modelo de predicción presenta un coeficiente de variación aceptable para las concentraciones medidas (mg/100g) en función de la ecuación de Horwitz ($Cv \leq 8\%$).

TABLA 55. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VITAMINA C EXPERIMENTAL (mg/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN MORA (*Rubus glaucus*) VARIEDAD INIAP ANDIMORA 2013

Estadístico	VITAMINA C (mg/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,83
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	11,14	3,21

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a los resultados obtenidos en este estudio se demostró que utilizando el modelo matemático desarrollado, se puede predecir el contenido de vitamina C en función de los parámetros de color (L^* , a^* y b) para mora de castilla, tomando en consideración que este compuesto antioxidante no está relacionado directamente con el color de la fruta.

4.1.1.3. MORTIÑO

4.1.1.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA

a) CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Para la caracterización física de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) se determinó el peso, largo, diámetro y firmeza en 20 frutos, los resultados promedio se presentan en la Tabla 56.

TABLA 56. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Caracterización Física	Peso (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Firmeza (g-f)
Promedio	0,21± 0,06	0,71± 0,09	0,69± 0,08	70,25 ± 7,86
Coef. Variación (%)	29,51	13,23	10,95	11,19

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El mortiño es una baya silvestre y no cuenta con una variedad específica identificada, en este sentido la revisión bibliográfica realizada no permitió encontrar estudios sobre la caracterización física de este fruto, los únicos valores de referencia encontrados para el peso y diámetro de esta fruta son los reportados por Montalvo,

D. (2009) y Tupuna, D. (2012); estos autores presentaron valores promedio de 0,32 g para el peso y 0,65 cm para el diámetro, los mismos que son similares a los obtenidos en este estudio (Tabla 56). Con la finalidad de que las muestras seleccionadas presenten un índice de madurez homogéneo se evaluó la firmeza de la fruta con ayuda de un penetrómetro de aguja, obteniéndose un valor promedio de 70,95 g-f, con una variación de 11,19%.

b) CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Dentro de la caracterización química del mortiño se determinó el pH, acidez titulable, humedad y sólidos solubles, los resultados promedio de la medición realizada en 10 muestras para la determinación de pH y acidez titulable, tres muestras para humedad y 20 mediciones para sólidos solubles, se presentan en la Tabla 57.

TABLA 57. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Caracterización Química	pH*	Ácido Cítrico* (%)	Humedad* (%)	Sólidos Solubles * (°Brix)
Promedio	3,20 ± 0,02	0,96± 0,05	84,85± 0,79	11,81±0,26
Coef. Variación (%)	0,61	5,35	0,01	2,21

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca.

Los parámetros químicos presentados en la Tabla 57, confirman los resultados obtenidos por Montalvo (2009), quien reportó en su estudio para mortiño un pH de 2,92, acidez titulable de 1,20% y humedad de 84,04%. De igual manera, estudios realizados por Tupuna (2012), demostraron que el mortiño nativo procedente de la provincia de Pichincha presenta un contenido de sólidos solubles de 11,0 °Brix; confirmando los resultados obtenidos en la presente investigación.

4.1.1.3.2. FASE 2. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES

Los análisis de compuestos antioxidantes se realizaron en muestras liofilizadas de pulpa de mortiño; dentro del proceso de preparación de muestras se separó la pulpa

y las semillas del fruto, en función de esto se evaluó el porcentaje de rendimiento en pulpa y el contenido de humedad, obteniéndose para mortiño un porcentaje de rendimiento de 82,62% (Tabla 58) y una humedad de 84,85% (Tabla 57), estos resultados confirman los estudios realizados por Montalvo (2009), quien reportó un porcentaje de rendimiento en pulpa para mortiño de $86,29\% \pm 2,85$. Utilizando estos resultados se calculó la cantidad de fruta fresca necesaria para el proceso de liofilización.

TABLA 58. RENDIMIENTO DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Peso fruta (g)	Semilla (g)	Pulpa (g)	Rendimiento* (%)
Promedio	5,18 ± 0,08	0,90 ± 0,00	4,28 ± 0,08	82,62 ± 0,28
C. variación (%)	1,62	0,00	1,95	0,34

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados reportados en base fresca.

4.1.1.3.3. FASE 3. DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO

El color interno para muestras de mortiño se evaluó en función de parámetros como: Luminosidad, a^* y b^* , los resultados son presentados en la Tabla 59.

TABLA 59. COORDENADAS DE COLOR INTERNO EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth): LUMINOSIDAD (L^*), PARÁMETRO a^* Y PARÁMETRO b^*

Color	Luminosidad* (x)	Parámetro $a^{*(x)}$	Parámetro $b^{*(x)}$
Promedio	20,80 ± 1,50	3,52±1,10	3,16 ±0,95
Coef. Variación	7,21	31,18	29,91

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

(x) Los resultados son reportados en base fresca ± 15 desviaciones estándar.

Las coordenadas de color interno para mortiño reportadas en la Tabla 59, muestran la tendencia del color de la fruta hacia el color negro (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*); estos resultados presentan diferencias con los obtenidos por Montalvo (2009), quien reportó para mortiño una luminosidad de 7,49, para (a^*) 3,26 y para (b^*) 0,41; las variaciones en los parámetros de luminosidad, a^* y b^* , se atribuyen a la sensibilidad del equipo de medición y al estado de madurez de las frutas. El Gráfico 40, describe la representación tridimensional para los valores promedio de las coordenadas de color: luminosidad (L^*), parámetro a^* y b^* obtenidos en las muestras de mortiño.

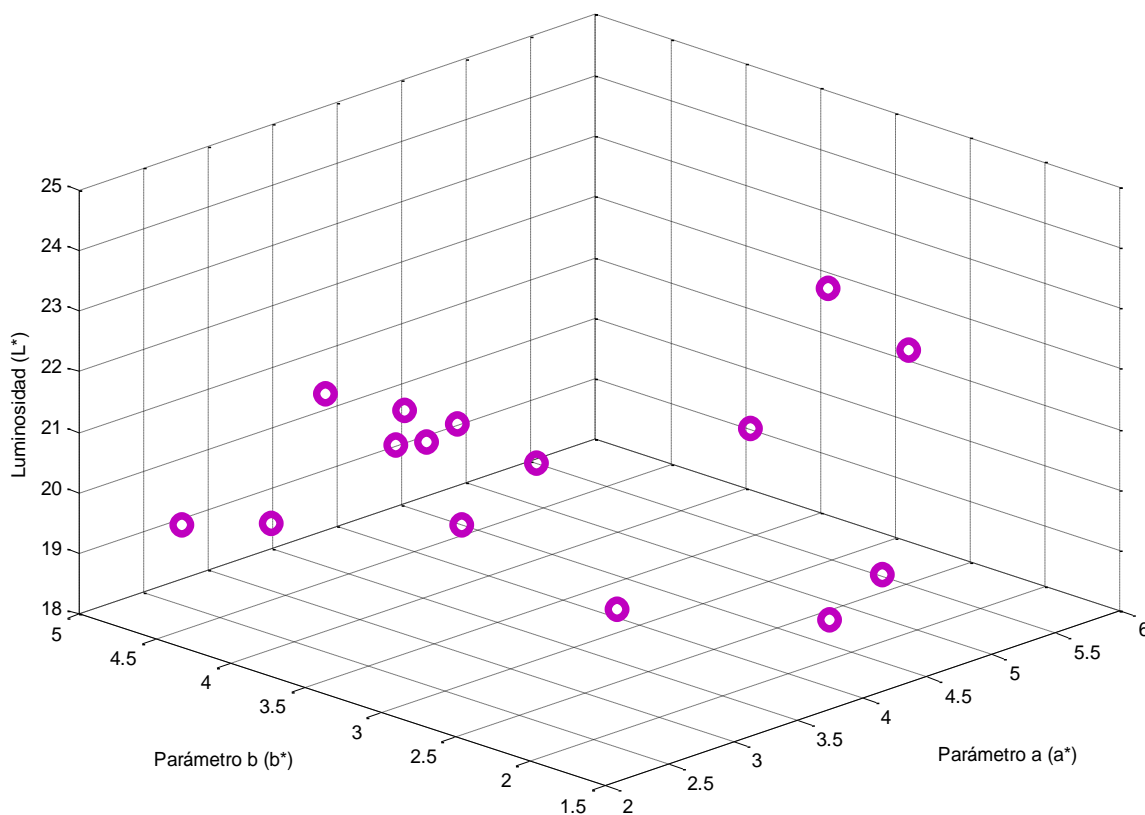


GRÁFICO 40. COORDENADAS DE COLOR INTERNO DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth): LUMINOSIDAD (L*), PARÁMETRO a* Y PARÁMETRO b*. Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

4.1.1.3.4. FASE 4. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

a) ANTOCIANINAS TOTALES

Las antocianinas totales se determinaron siguiendo el método establecido por Rapisarda *et al.* 2000, el cual fue previamente adaptado en los laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad (INIAP) para muestras de mortiño procedentes de las provincias de Pichincha, Bolívar y Cotopaxi. Dentro de la adaptación del ensayo, se realizó la determinación de la exactitud del método de análisis en función del porcentaje de recuperación, estableciéndose que se requieren 6 ciclos de extracción de 60 minutos con soluciones tampón pH 1,0 y pH 4,5 para alcanzar el

100% de recuperación de las antocianinas de la fruta como se observa en el Gráfico 41.

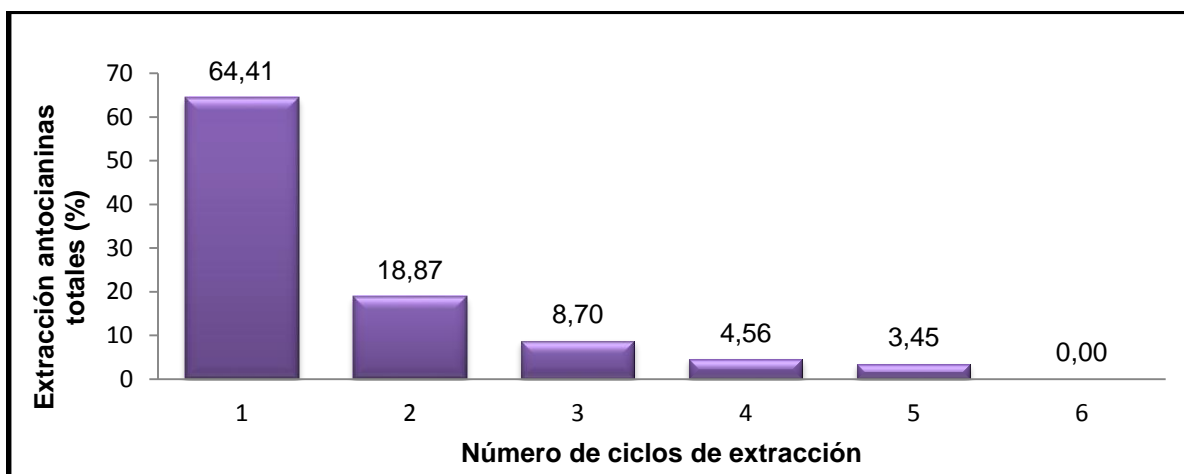


GRÁFICO 41. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente, dentro de la adaptación del método se realizó el análisis de precisión en función de la repetibilidad del ensayo, con la finalidad de establecer el error experimental; para esto, se realizó el análisis de una muestra de mortiño liofilizada con 6 réplicas como se observa en el Gráfico 42.

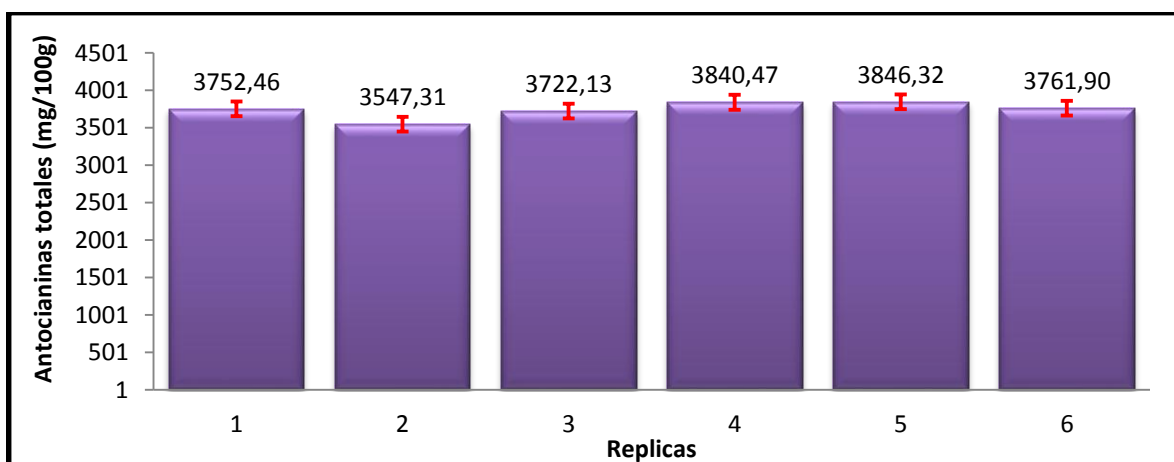


GRÁFICO 42. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En función del ensayo de repetibilidad se estableció que la muestra analizada presentó un contenido promedio de antocianinas de 3745,10 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g de muestra seca y un coeficiente de variación (error experimental) de 2,66%.

Con el método previamente optimizado se procedió a la cuantificación de antocianinas totales en las 15 muestras de mortiño por triplicado, los resultados promedio se presenta en la Tabla 60.

TABLA 60. CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Antocianinas Totales* (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g)
1	1797,63 ± 25,80
2	1722,77 ± 66,40
3	1798,27 ± 22,63
4	3295,38 ± 62,90
5	2951,22± 141,52
6	3040,12 ± 97,91
7	3147,93± 134,10
8	2849,77 ± 27,04
9	2792,49 ± 118,01
10	2920,31 ± 489,07
11	2825,20 ± 294,41
12	3037,50 ± 758,31
13	2106,73 ± 492,31
14	3308,55 ± 185,16
15	3640,63 ± 22,91

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de antocianinas totales obtenido en muestras de mortiño procedentes de 3 zonas (Machachi, Sigchos y Salinas de Guaranda) fue de 2682,30± 602,92 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g en base seca, estos resultados son similares a los reportados por Vasco *et al.*, 2009, quien presentó un valor de 345 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g en muestra fresca, el cual corresponde a 3832,95 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g de muestra seca.

b) CAROTENOIDES TOTALES

Los carotenoides son los responsables del color amarillo, anaranjado y rojo en las frutas, estableciéndose que estos compuestos no son parte del perfil de antioxidantes identificados en las muestras de mortiño estudiadas, puesto que presentan un color rojo intenso con tendencia a negro. Estos datos fueron confirmados realizando un espectro UV (Gráfico 43) del extracto de la fruta en una solución de hexano/acetona/etanol (50/25/25, v/v/v), demostrándose que no existe absorción de luz en la región de 420 nm a 500 nm, por lo tanto se estableció que no existe presencia de estos compuestos en las muestras analizadas o su concentración es inferior al límite de detección del equipo.

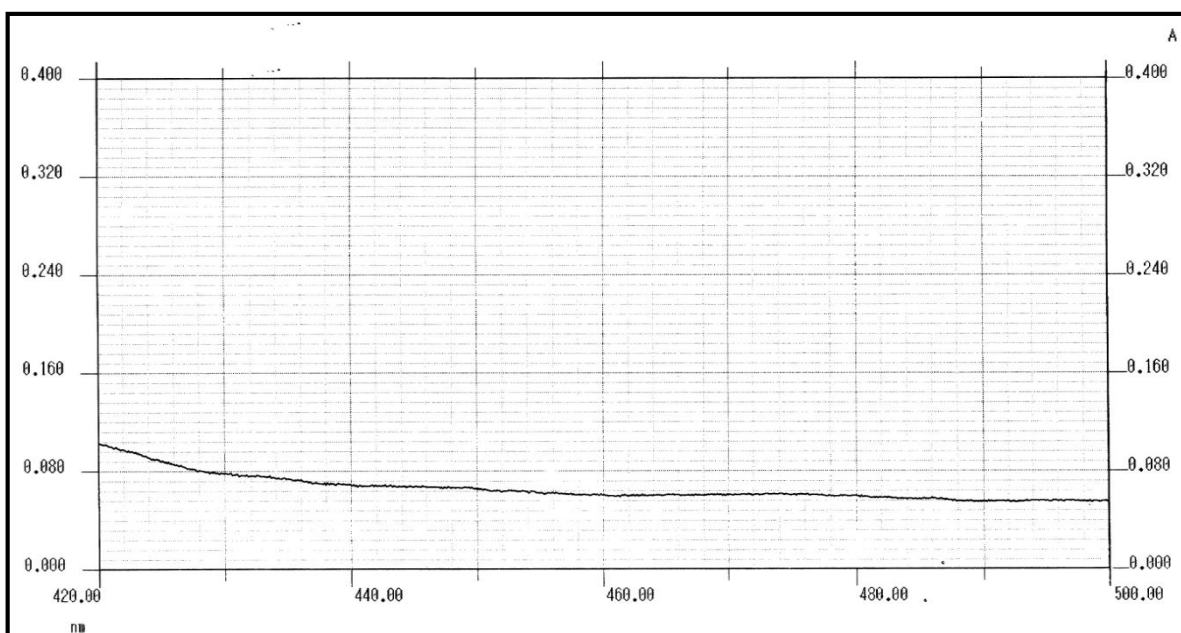


GRÁFICO 43. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

c) POLIFENOLES TOTALES

La evaluación del contenido de polifenoles totales en las muestras de mortiño se realizó utilizando un método colorimétrico publicado por Slinkard y Singleton (1967), mediante reacción de los polifenoles con el reactivo de Folin&Ciocalteu, la extracción de estos compuestos bioactivos se realizó empleando una solución de

acetona al 70% (v/v) y el análisis cuantitativo se realizó mediante una curva de calibración con ácido gálico (Gráfico 44).

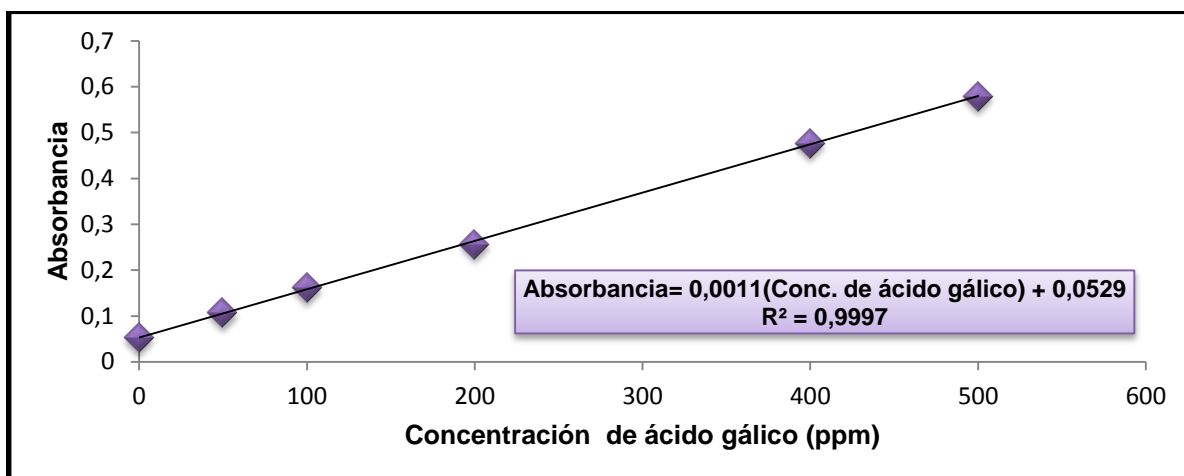


GRÁFICO 44. CURVA DE CALIBRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES PARA MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera, para la determinación del contenido de polifenoles se realizó la adaptación del método de análisis, se evaluó la exactitud del método en función del porcentaje de recuperación del analito, observándose que para obtener el 100% de rendimiento de extracción de los polifenoles se requieren cinco ciclos de extracción de 45 minutos con agitación magnética en una solución de acetona-agua (70/30, v/v), Gráfico 45.

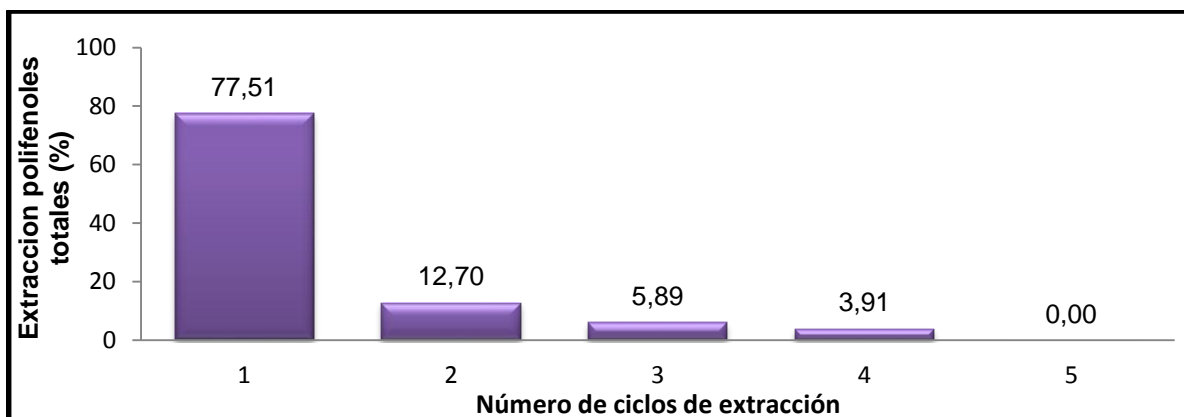


GRÁFICO 45. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth).

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Dentro del proceso de adaptación del método con la finalidad de determinar el error experimental se estableció la precisión, en función de la repetibilidad del ensayo; para esto se realizó el análisis de polifenoles en una muestra de mortiño con cinco repeticiones, estableciéndose que la muestra presentó un contenido promedio de polifenoles de $6184,30 \pm 671,42$ mg de ácido gálico/100g y un error experimental expresado como coeficiente de variación de 10,86% (Gráfico 46).

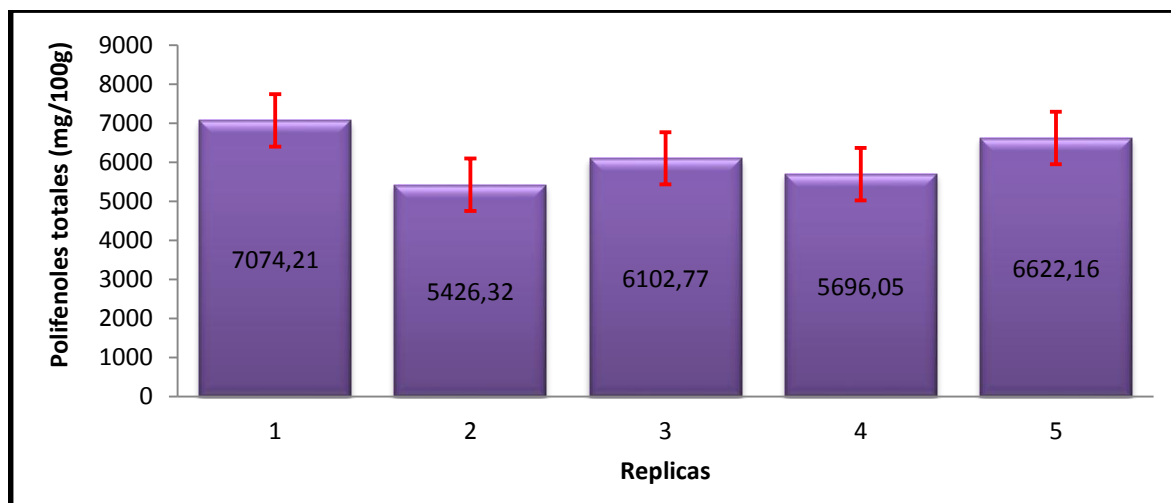


GRÁFICO 46. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados del análisis de precisión demostraron que el método presenta un error experimental de 10,86% como coeficiente de variación, el mismo que es superior al error esperado para el rango de concentraciones medidas en función de la ecuación de Horwitz (5 al 8% como coeficiente de variación); atribuyéndose esta variación a que el método de análisis incluye varios pasos para la preparación de la muestra, lo cual incrementa el rango de incertidumbre en el análisis.

Empleando el método previamente optimizado, se procedió a la cuantificación del contenido de polifenoles totales en 15 muestras de mortiño por triplicado, los resultados se presenta en la Tabla 61.

TABLA 61. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Polifenoles totales * (mg de ácido gálico/100g)
1	8662,29 ± 803,66
2	7987,70 ± 769,26
3	3981,66 ± 271,50
4	6597,00 ± 514,62
5	6953,57 ± 865,65
6	6686,36 ± 788,556
7	6913,77 ± 1481,34
8	7073,79 ± 738,06
9	7065,05 ± 1102,29
10	9243,78 ± 61,33
11	7364,88 ± 544,08
12	8097,79 ± 861,52
13	6415,86 ± 171,78
14	7783,39± 1132,39
15	7992,34± 962,37

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de polifenoles totales obtenido en las muestras de mortiño fue de 7254,62 ± 1209,17 mg de ácido gálico/100g de muestra seca, estos resultados son similares a los reportados por diferentes autores, como Tupuna, D. 2012 y Vasco *et al.*, 2009, para muestras de mortiño ecuatoriano de diferentes orígenes (8104,52 a 9799,02 mg de ácido gálico/100g de muestra seca).

d) VITAMINA C

La cuantificación de vitamina C se realizó utilizando un método reflectométrico. De igual manera, previamente se realizó una adaptación del método de análisis evaluándose la repetibilidad del ensayo, con la finalidad de establecer el error experimental, para lo cual se realizó la determinación de vitamina C en una muestra de mortiño con cuatro repeticiones; obteniéndose un valor promedio de 481,75 ± 11,01 mg de ácido ascórbico/100g de muestra seca y un error experimental como coeficiente de variación de 2,28% (Gráfico 47).

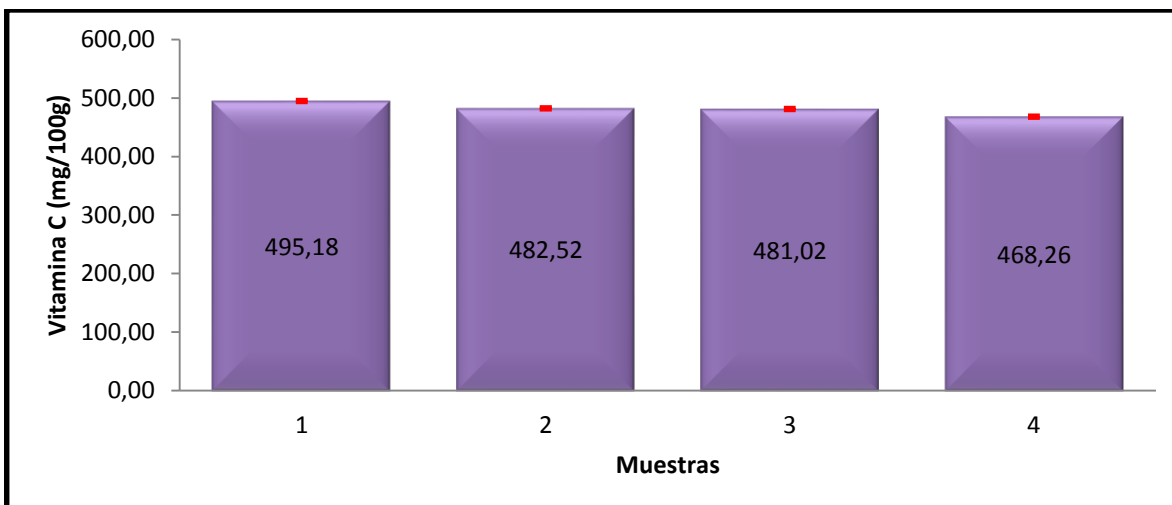


GRÁFICO 47. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE ANÁLISIS PARA CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con el método previamente optimizado se procedió a evaluar el contenido de vitamina C en las 15 muestras de mortiño, los resultados se presentan en la Tabla 62.

TABLA 62. CONTENIDO DE VITAMINA C EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Vitamina C* (mg de ácido ascórbico/100g)
1	60,34
2	63,04
3	40,63
4	68,26
5	68,12
6	77,29
7	91,84
8	101,08
9	77,41
10	61,60
11	85,10
12	65,51
13	95,88
14	96,93
15	73,53

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

* Los resultados son reportados en base seca

El contenido promedio de vitamina C obtenido en las muestras de mortiño fue de $75,10 \pm 16,68$ mg de ácido ascórbico/100g en base seca, estos resultados son similares a los valores reportados por Vasco *et al.*, 2009, quien presentó un contenido de vitamina C de 99,99 mg de ácido ascórbico/100g para mortiño nativo de Ecuador.

Finalmente, en la Tabla 63 se presenta el perfil de antioxidantes obtenido en las muestras de mortiño ecuatoriano procedentes de las provincias de Bolívar, Pichincha y Cotopaxi.

TABLA 63. CONTENIDO PROMEDIO DE ANTIOXIDANTES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Caracterización Química	Antocianinas totales (mg/100g)*	Carotenoides totales (µg/g)*	Polifenoles totales (mg/100g)*	Vitamina C (mg/100g)*
Promedio	2682,30±602,92	No	7254,62±1209,17	75,10± 16,68
Coef. Variación (%)	22,48	Detectable	16,67	22,22

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca \pm desviación estándar de 15 repeticiones.

4.1.1.3.5. FASE 5. DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS

a) ANTOCIANINAS TOTALES

El desarrollo del modelo matemático de predicción se realizó en función de la matriz resultados elaborada con los datos de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el contenido de antocianinas totales determinados en el laboratorio (Tabla 64).

Con la finalidad de desarrollar el modelo matemático de predicción, se realizó un análisis de regresión multivariable, fijando como variables independientes X a los componentes de color y como variable dependiente Y al contenido de antocianinas totales determinado en el laboratorio, obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 19) que relaciona las variables en estudio.

TABLA 64. MATRIZ DE RESULTADOS DE ANTOCIANINAS TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Antocianinas Totales (Y)
1	21,44	2,89	3,46	1797,63
2	22,23	2,66	3,05	1722,77
3	21,02	3,04	3,79	1798,27
4	19,14	2,98	4,57	3295,38
5	19,50	2,37	4,64	2951,22
6	21,75	2,85	2,69	3040,12
7	21,13	3,30	4,48	3147,93
8	19,47	3,06	2,33	2849,77
9	21,74	2,97	3,67	2792,49
10	21,00	2,38	2,77	2920,31
11	20,04	5,27	3,35	2825,20
12	18,93	4,14	1,84	2037,50
13	18,95	4,85	2,10	2106,73
14	21,19	5,98	2,89	3308,55
15	24,44	4,10	1,81	3640,63

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

$$AT = -916,53 + 118,35L^* + 166,81a^* - 173,87b^* \text{ (Ecuación 19)}$$

Posteriormente, se evaluó la robustez del modelo matemático en función del coeficiente de correlación (r^2 de 0,14), por lo cual se estableció que la correlación obtenida está por debajo del valor aceptado para la elaboración de modelos de predicción, determinándose que el modelo explica el 14% del comportamiento de los datos, puesto que existe datos dispersos como se observa en el Gráfico 48.

Con la finalidad de alcanzar un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$) se realizó un ajuste de los datos presentados en la matriz de resultados (Tabla 64), para lo cual se evaluó el efecto del error experimental mediante un análisis de residuos entre el valor de antocianinas totales experimental (laboratorio) y los valores estimados (predecidos por el modelo) en base a la Ecuación 19, lo que permitió escoger una población de datos con características homogéneas, seleccionando las muestras 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 (valores de desviación inferiores a 2σ).

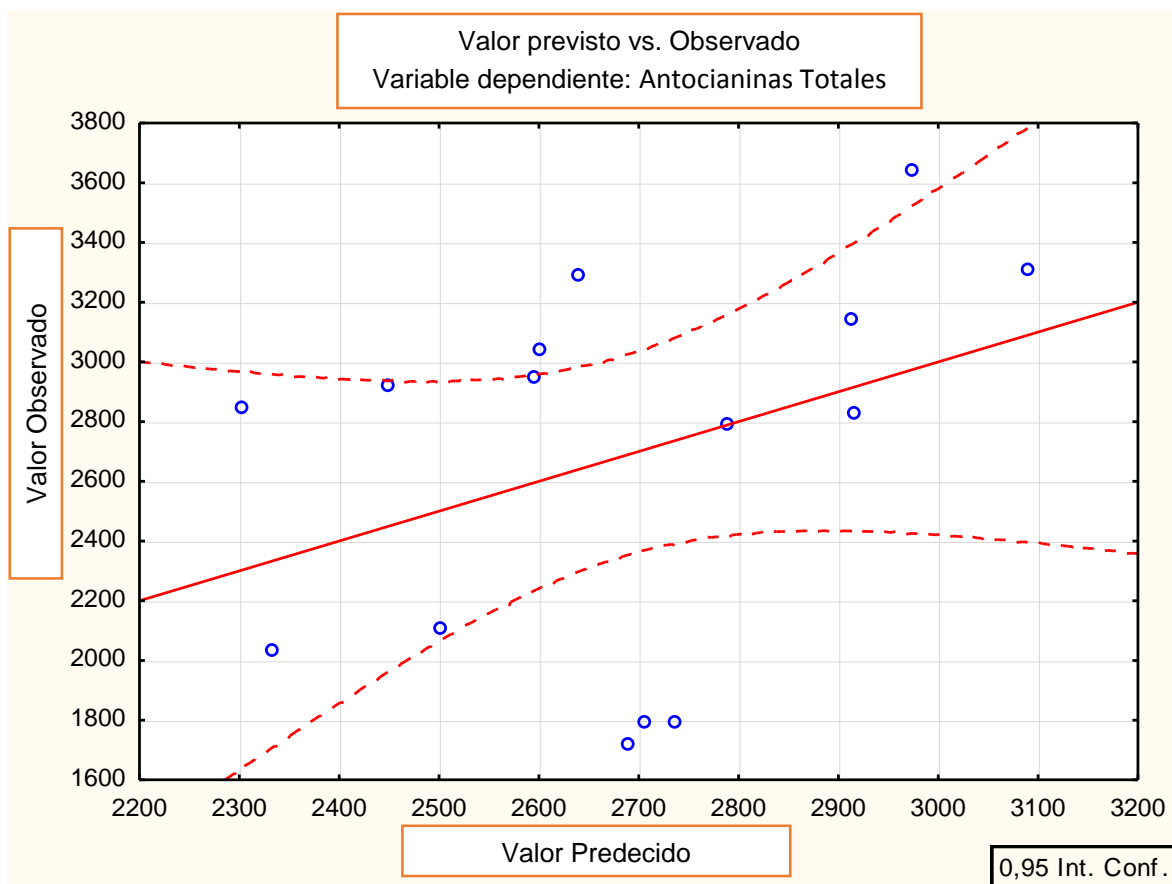


GRÁFICO 48. CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Continuando con el ajuste de los resultados, se evaluó el efecto de las variables independientes (X) sobre la variable dependiente (Y), mediante una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), aplicando el estadístico t de student; los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 65.

TABLA 65. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	0,99	2,20
B2=0	0,95	
B3=0	0,85	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

Los resultados de la prueba t de student demostraron que no existe una influencia significativa de los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) sobre el contenido de antocianinas totales ($t_{\text{experimental}} < t_{\text{crítico}}$), estableciéndose que los parámetros de color no aportan individualmente para los fines de predicción, por lo tanto el modelo matemático se desarrolló utilizando las coordenadas cromáticas L^* , a^* , b^* y las muestras escogidas en función del análisis de residuos.

Posteriormente se estructuró una segunda matriz de resultados ajustados (Tabla 66), a partir de la cual se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple para establecer la ecuación matemática final (Ecuación 20).

TABLA 66. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA ANTOCIANINAS TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Antocianinas T. (Y)
5	19,50	2,37	4,64	2951,22
7	21,13	3,30	4,48	3147,93
9	21,74	2,97	3,67	2792,49
10	21,00	2,38	2,77	2920,31
11	20,04	5,27	3,35	2825,20
12	18,93	4,14	1,84	2037,50
13	18,95	4,85	2,10	2106,73
14	21,19	5,98	2,89	3308,55

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados del análisis de regresión múltiple con los datos ajustados permitieron mejorar la correlación de los datos como se observa en el Gráfico 49, obteniéndose un modelo matemático (Ecuación 20) con un coeficiente de correlación (r^2) de 0,81; estableciéndose que el modelo de predicción desarrollado explica el 81% del comportamiento de los datos.

$$AT = -3206,38 + 233,19L^* + 96,97a^* + 264,90b^* \quad (\text{Ecuación 20})$$

Utilizando la Ecuación 20, se realizó la predicción matemática del contenido de antocianinas totales en las muestras de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), los resultados se presentan en la Tabla 67.

TABLA 67. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Antocianinas totales (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g)		Desviación Estándar	Promedio (mg/100g)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimental				
5	2800,90	2951,22	106,29	2876,06	3,70	5,23
7	3227,57	3147,93	56,31	3187,75	1,77	2,50
9	3121,98	2792,49	232,99	2957,23	7,88	11,14
10	2656,42	2920,31	186,59	2788,36	6,69	9,46
11	2864,98	2825,20	28,13	2845,09	0,99	1,40
12	2096,34	2037,50	41,61	2066,92	2,01	2,85
13	2241,13	2106,73	95,04	2173,93	4,37	6,18
14	3080,60	3308,55	161,19	3194,57	5,05	7,14

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción se evaluó en función de parámetros estadísticos como: coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) entre el valor estimado y el valor experimental, los resultados obtenidos se observan en la Tabla 68.

TABLA 68. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth).

Estadístico	ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,81
Error experimental (EE)/ de predicción (EP)	2,66	5,74

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El modelo matemático presentó un error de predicción de 5,74%, lo que permitió establecer que cada vez que se realice la predicción matemática los valores presentarán una desviación de $\pm 113,52$ mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g, la misma que es superior a la desviación obtenida al realizar el

ensayo en el laboratorio (2,66%), sin embargo el método es robusto puesto que se encuentra dentro del límite aceptable para las concentraciones medidas (5 a 8%) según la ecuación de Horwitz (Anexo 9).

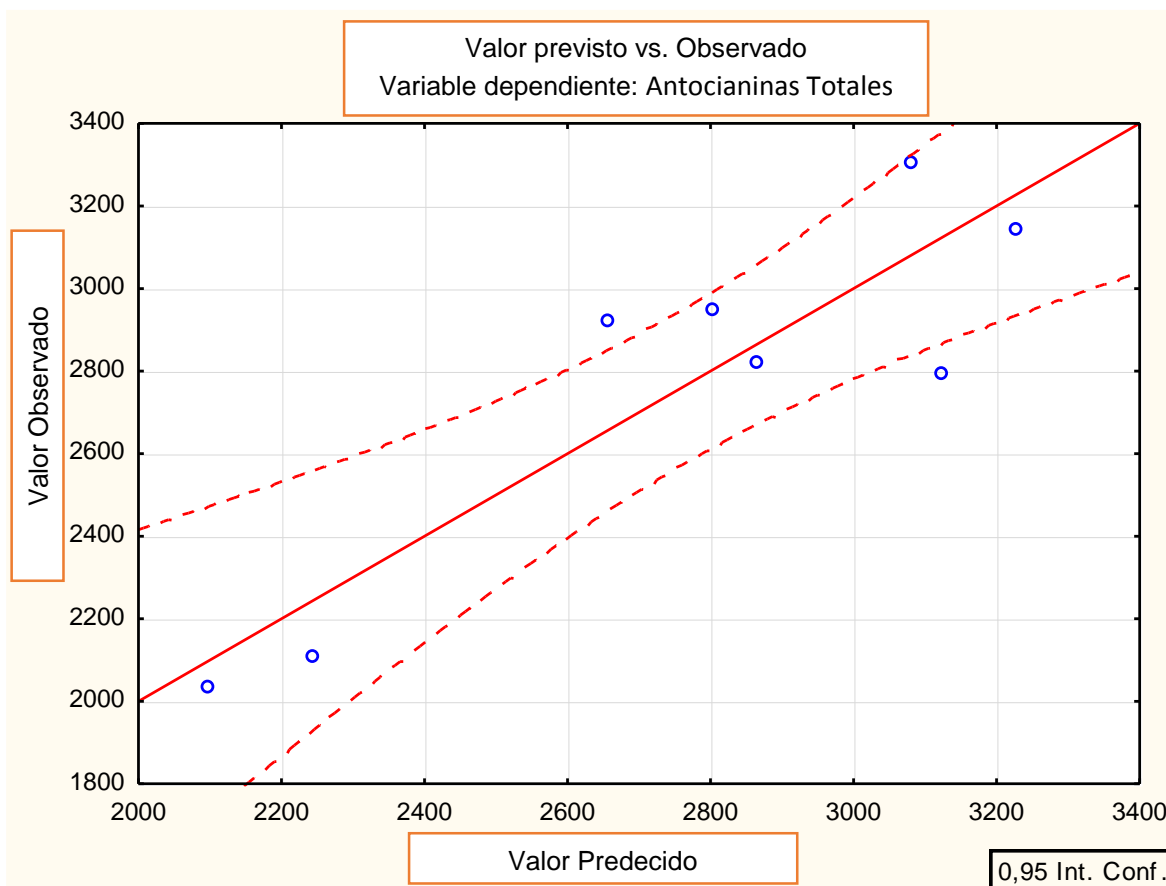


GRÁFICO 49. CONCENTRACIÓN DE ANTOCIANINAS TOTALES (mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

b) POLIFENOLES TOTALES

De igual manera para el desarrollo del modelo matemático de predicción del contenido de polifenoles totales en mortiño, se elaboró una matriz de resultados con los datos de medición de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el valor de polifenoles de referencia (medidos en el laboratorio) como se presenta en la Tabla 69.

TABLA 69. MATRIZ DE RESULTADOS DE POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	21,44	2,89	3,46	8662,29
2	22,23	2,66	3,05	7987,70
3	21,02	3,04	3,79	3981,66
4	19,14	2,98	4,57	6597,00
5	19,50	2,37	4,64	6953,57
6	21,75	2,85	2,69	6686,36
7	21,13	3,30	4,48	6913,77
8	19,47	3,06	2,33	7073,79
9	21,74	2,97	3,67	7065,05
10	21,00	2,38	2,77	9243,78
11	20,04	5,27	3,35	7364,88
12	18,93	4,14	1,84	8097,79
13	18,95	4,85	2,10	6415,86
14	21,19	5,98	2,89	7783,39
15	24,44	4,10	1,81	7992,34

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

Utilizando esta matriz de resultados se realizó un análisis de regresión múltiple, fijando como variables independientes (X) a los componentes de color y como variable dependiente (Y) a los resultados experimentales del análisis de polifenoles totales, obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 21) que relaciona las variables en estudio.

$$PT = 6654,73 + 114,51L * -107,77a * -443,36b * \quad (\text{Ecuación 21})$$

La ecuación matemática obtenida presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,14; estableciéndose que existe una baja correlación entre las variables en estudio; es decir el modelo matemático explica el 14% del comportamiento de los datos, por lo cual se determinó que existen datos dispersos dentro del modelo desarrollado como se observa en el Gráfico 50.

De igual manera con la finalidad de alcanzar un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$), se evaluó el efecto del error experimental y la heterogeneidad de la población de datos en la correlación de las variables; mediante un análisis de

residuos entre el valor de polifenoles totales de referencia y el valor estimado matemáticamente a partir de la Ecuación 21.

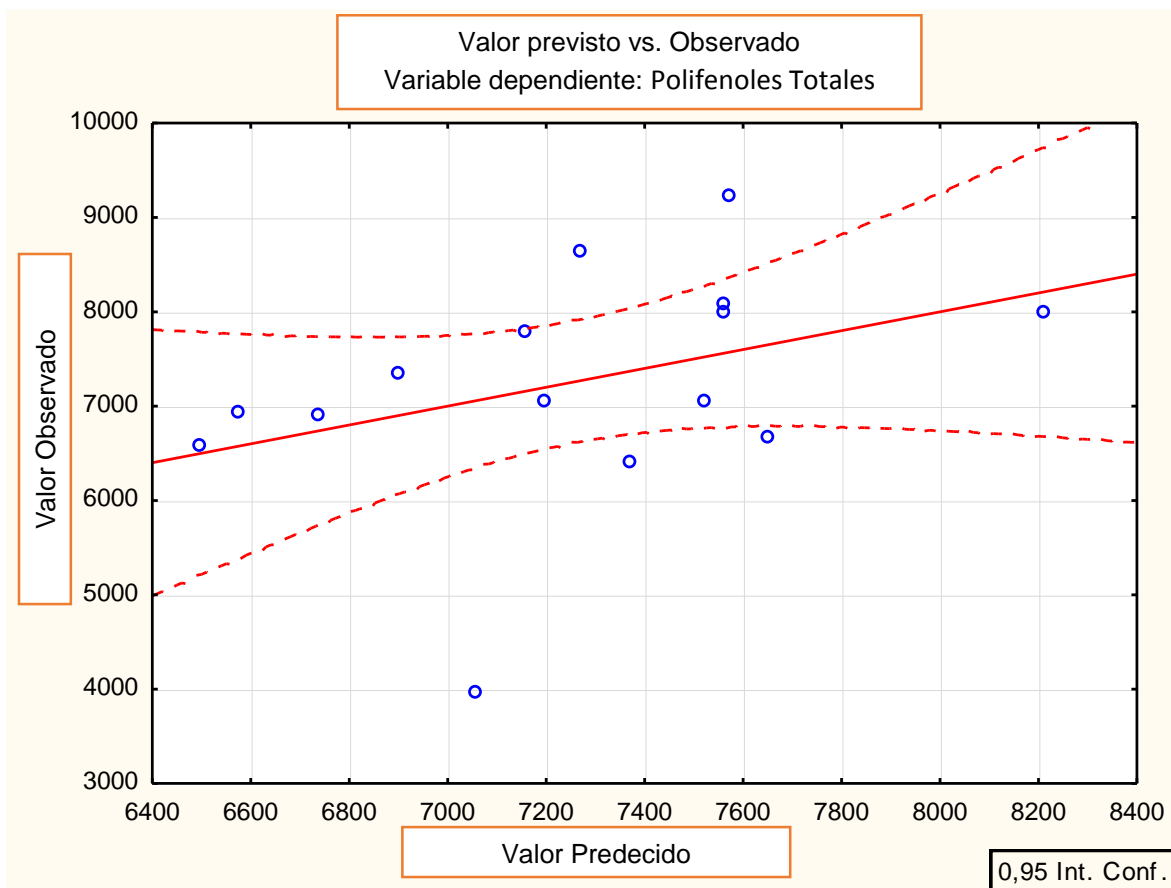


GRÁFICO 50. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a este análisis se seleccionó una población de datos con características homogéneas, seleccionando las muestras (4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 14 y 15), las mismas que mostraron valores de desviación inferiores a 2σ .

Posteriormente se realizó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*); mediante el estadístico t de student, los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 70.

TABLA 70. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Hipótesis	t _{student}	Valor crítico
B1=0	-0,25	2,20
B2=0	0,42	
B3=0	0,32	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a los resultados de la prueba t de student se demostró que los parámetros L*, a* y b* no presentan un aporte individual para el desarrollo de la ecuación matemática de predicción, puesto que el valor (t de student) calculado para los coeficientes parciales (L*, a* y b*) es inferior al valor teórico (2,20). Finalmente se elaboró una segunda matriz de resultados utilizando los datos seleccionados en función del análisis de residuos y heterogeneidad de las muestras (Tabla 71).

TABLA 71. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
4	19,14	2,98	4,57	6597,00
5	19,50	2,37	4,64	6953,57
7	21,13	3,30	4,48	6913,77
8	19,47	3,06	2,33	7073,79
9	21,74	2,97	3,67	7065,05
11	20,04	5,27	3,35	7364,88
12	18,93	4,14	1,84	8097,79
14	21,19	5,98	2,89	7783,39
15	24,44	4,10	1,81	7992,34

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados ajustados (Tabla 71), se realizó un nuevo análisis de regresión multivariable, obteniéndose la ecuación matemática final (Ecuación 22), cuyo coeficiente de correlación (r^2) fue de 0,82; demostrándose que el modelo matemático de predicción desarrollado explica el 82% del comportamiento de los datos y que presenta un mejor ajuste de los mismos como se observa en el Gráfico 51.

$$PT = 8375 - 41,15L^* - 132,30a^* + 18,79b^* \quad (\text{Ecuación 22})$$

Empleando el modelo matemático final (Ecuación 22), se realizó la predicción del contenido de polifenoles totales en las muestras de mortiño en función de los datos de color, los resultados se presentan en la Tabla 72.

TABLA 72. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Polifenoles Totales (mg de ácido gálico/100g)		Desviación Estándar	Promedio (µg/g)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
4	6752,89	6597,00	110,23	6674,94	1,65	2,34
5	6654,97	6953,57	211,14	6804,27	3,10	4,39
7	6894,52	6913,77	13,61	6904,14	0,20	0,28
8	7467,23	7073,79	278,20	7270,51	3,83	5,41
9	7116,07	7065,05	36,08	7090,56	0,51	0,72
11	7490,36	7364,88	88,73	7427,62	1,19	1,69
12	7755,00	8097,79	242,39	7926,40	3,06	4,32
14	7769,75	7783,39	9,64	7776,57	0,12	0,18
15	7940,78	7992,34	36,46	7966,56	0,46	0,65

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo de predicción obtenido (Ecuación 22), se evaluó en función de parámetros como: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) (Tabla 73).

TABLA 73. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POLIFENOLES TOTALES EXPERIMENTAL (mg de ácido gálico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Estadístico	POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,82
Error experimental (EE)/ de predicción (EP)	10,86	2,22

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

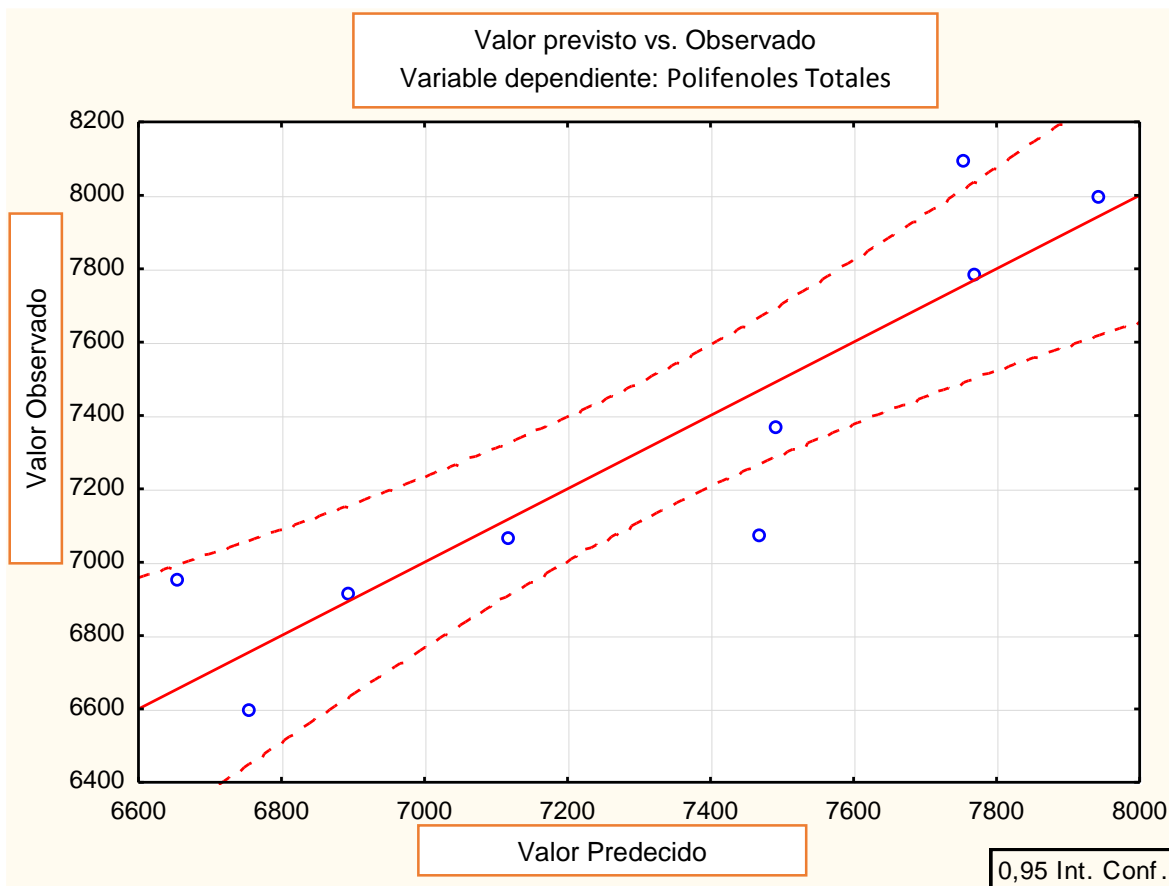


GRÁFICO 51. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El análisis de robustez del modelo matemático demostró que existe una correlación aceptable (r^2 0,88) entre los valores del contenido de polifenoles totales predecidos por el modelo y los valores experimentales, obteniéndose un error de predicción de 2,22%; el mismo que es inferior al error obtenido experimentalmente en el laboratorio (10,86%) y está dentro de los niveles aceptables para las concentraciones medidas (mg/100g) en función de la ecuación Horwitz ($C_v \leq 8\%$), lo que permitió establecer que la ecuación obtenida es útil para fines de predicción de resultados.

c) VITAMINA C

De igual manera, utilizando los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio para vitamina C y los datos de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*), se elaboró una matriz de resultados (Tabla 74).

TABLA 74. MATRIZ DE RESULTADOS DE VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	21,44	2,89	3,46	60,34
2	22,23	2,66	3,05	63,04
3	21,02	3,04	3,79	40,63
4	19,14	2,98	4,57	68,26
5	19,50	2,37	4,64	68,12
6	21,75	2,85	2,69	77,29
7	21,13	3,30	4,48	91,84
8	19,47	3,06	2,33	101,08
9	21,74	2,97	3,67	77,41
10	21,00	2,38	2,77	61,60
11	20,04	5,27	3,35	85,10
12	18,93	4,14	1,84	65,51
13	18,95	4,85	2,10	95,88
14	21,19	5,98	2,89	96,93
15	24,44	4,10	1,81	73,53

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente, en función de la matriz de resultados, se realizó un análisis de regresión múltiple; fijando como variables independientes (X) a los componentes de color y como variable dependiente (Y) a los resultados experimentales del análisis de vitamina C, estableciéndose una ecuación matemática (Ecuación 23) que relaciona las variables en estudio.

$$VC = 87,84 - 1,73L^* + 7,54a^* - 1,08b^* \quad (\text{Ecuación 23})$$

El modelo matemático obtenido presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,31, demostrándose que la ecuación matemática desarrollada explica solo el 31% del comportamiento de los datos, estableciéndose que existen datos dispersos en el modelo (Gráfico 52).

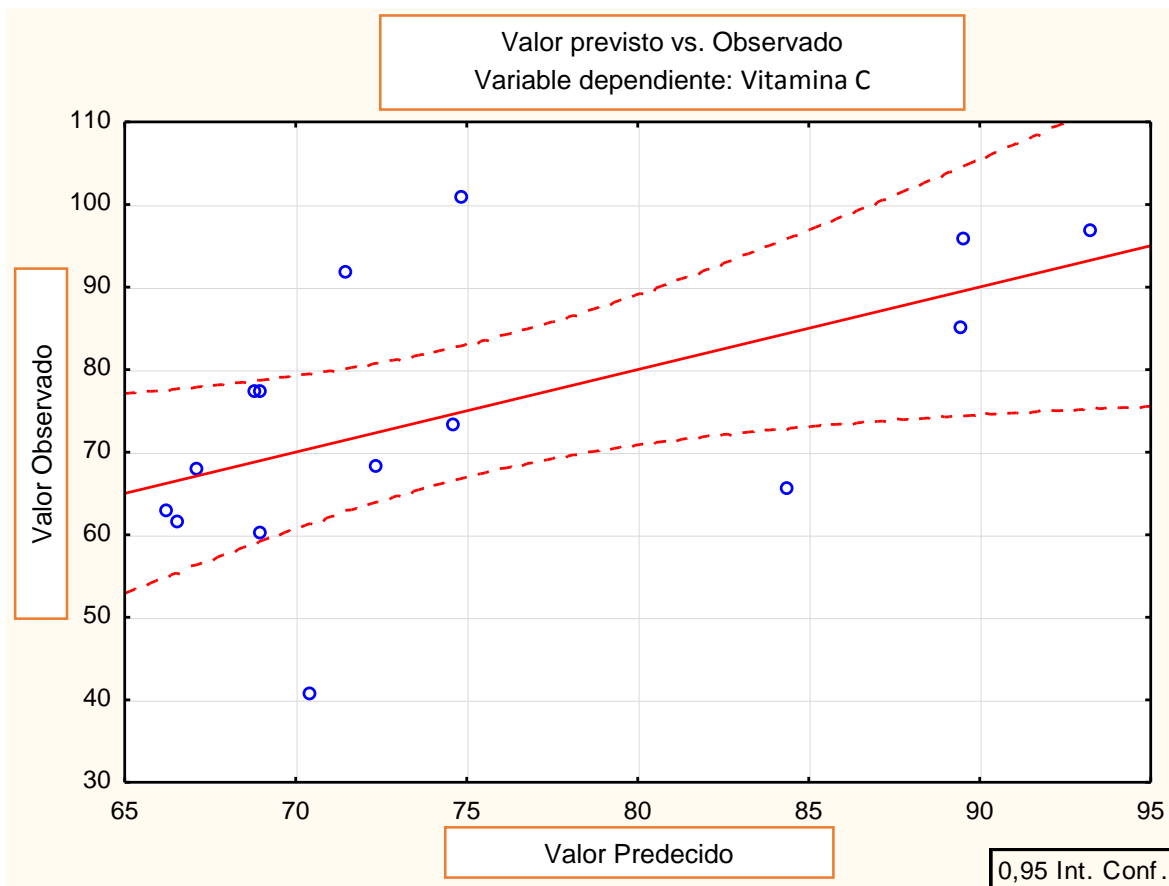


GRÁFICO 52. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera con la finalidad de alcanzar un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$); se realizó un análisis de residuos entre los valores predcidos y los valores obtenidos en laboratorio, este análisis permitió escoger una población de datos con características homogéneas con errores experimentales $\leq 2 \sigma$ (muestras 1, 2, 4, 5, 6, 9,10,11,13,14 y 15).

Posteriormente se evaluó la influencia de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) en la correlación de las variables, mediante una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (t de student), los resultados se presentan en la Tabla 75.

TABLA 75. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	-1,49	2,20
B2=0	0,66	
B3=0	0,57	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El análisis de los coeficiente parciales demostró que los parámetros L*, a* y b*, no aportan individualmente en el desarrollo de la ecuación matemática de predicción del contenido de vitamina C ($t_{\text{calculado}} < t_{\text{teórico}}$), estableciéndose que el modelo de predicción debe realizarse a partir de las once muestras seleccionadas y los tres componentes de color (Tabla 76).

TABLA 76. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	21,44	2,89	3,46	60,34
2	22,23	2,66	3,05	63,04
4	19,14	2,98	4,57	68,26
5	19,50	2,37	4,64	68,12
6	21,75	2,85	2,69	77,29
9	21,74	2,97	3,67	77,41
10	21,00	2,38	2,77	61,60
11	20,04	5,27	3,35	85,10
13	18,95	4,85	2,10	95,88
14	21,19	5,98	2,89	96,93
15	24,44	4,10	1,81	73,53

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a la matriz de resultados ajustados se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple, obteniéndose la ecuación matemática final (Ecuación 24), la misma que presentó un coeficiente de determinación (r^2) de 0,81; estableciéndose que el modelo de predicción final explica el 81% de los datos (Gráfico 53).

$$VC = 103,87 - 2,27L^* + 7,85a^* - 2,83b^* \quad (\text{Ecuación 24})$$

Finalmente, utilizando el modelo matemático optimizado se determinó el contenido de vitamina C en las muestras de mortiño ecuatoriano; los resultados se presentan en la Tabla 77.

TABLA 77. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Muestra	Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g)		Desviación Estándar	Promedio	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
1	68,18	60,34	5,55	64,26	8,64	12,21
2	65,71	63,04	1,89	64,38	2,93	4,15
4	70,97	68,26	1,92	69,61	2,75	3,89
5	65,15	68,12	2,10	66,63	3,15	4,45
6	69,39	77,29	5,59	73,34	7,62	10,77
9	67,51	77,41	7,00	72,46	9,66	13,66
10	67,07	61,60	3,87	64,33	6,01	8,50
11	90,37	85,10	3,73	87,73	4,25	6,00
13	93,07	95,88	1,99	94,47	2,10	2,97
14	94,57	96,93	1,67	95,75	1,75	2,47
15	75,50	73,53	1,39	74,51	1,87	2,64

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción de vitamina C se evaluó en base a parámetros estadísticos como: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV), los resultados se muestran en la Tabla 78.

TABLA 78. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VITAMINA C EXPERIMENTAL (mg/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Estadístico	VITAMINA C (mg/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,81
Error experimental (EE)/ de predicción (EP)	2,28	6,52

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La precisión del modelo matemático desarrollado para la predicción del contenido de vitamina C fue evaluado en función de la ecuación de Horwitz, la misma que indica que para las concentraciones medidas (mg/100g) se acepta valores de coeficiente de variación $\leq 8\%$, demostrándose que el modelo desarrollado es robusto (Ecuación 24), puesto que los valores predecidos matemáticamente para este antioxidante presentaron un error de predicción de 6,52%.

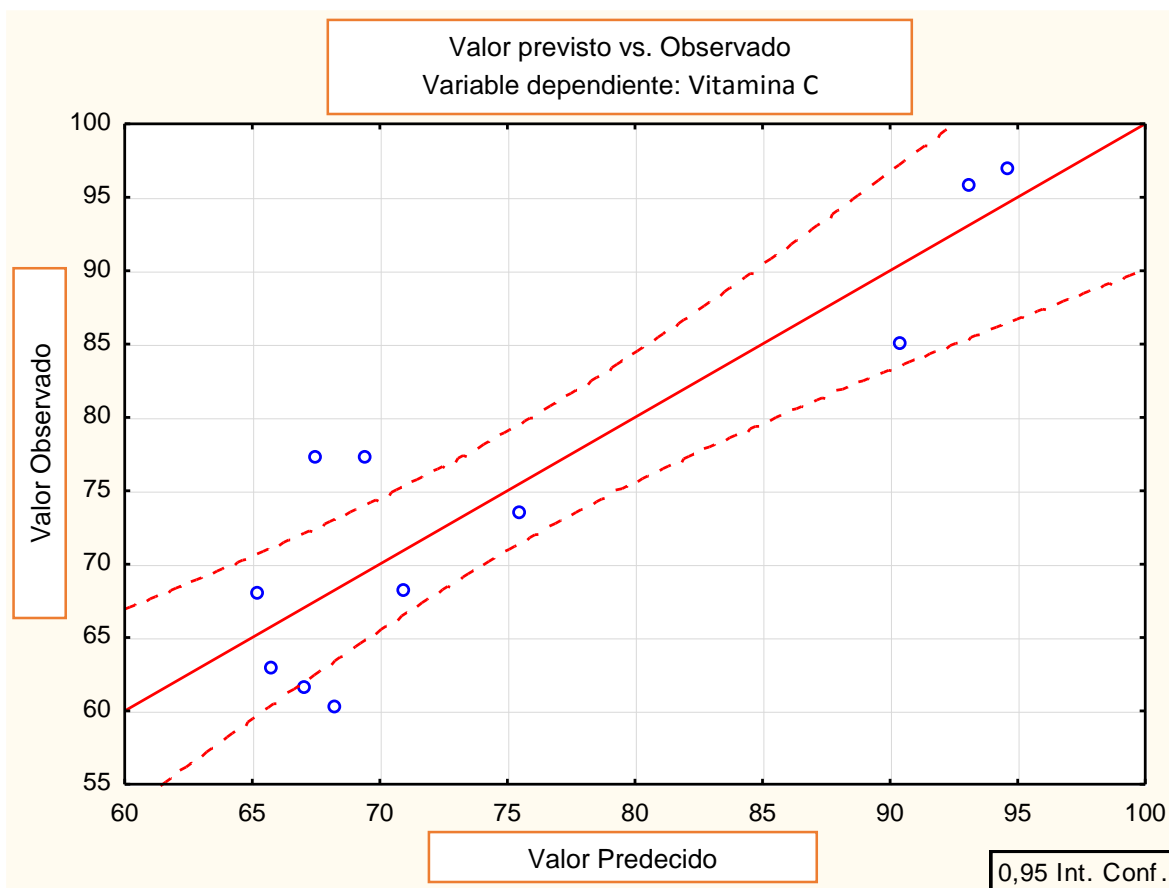


GRÁFICO 53. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Este estudio demostró que utilizando el modelo matemático se puede predecir el contenido de vitamina C en función de los parámetros de color (L^* , a^* y b) en muestras de mortiño ecuatoriano, a pesar que este compuesto antioxidante no está relacionado directamente con el color de la fruta.

4.1.1.4. NARANJILLA

4.1.1.4.1. FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA

a) CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La caracterización física de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009, se realizó en base a parámetros como: peso, largo, diámetro y firmeza. Los resultados promedio de cada uno de los parámetros físicos evaluados se presentan en la Tabla 79.

TABLA 79. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Caracterización Física	Peso * (g)	Largo * (cm)	Diámetro * (cm)	Firmeza * (kg-f)
Promedio	110,54 ± 25,91	5,62 ± 0,43	5,67 ± 0,45	4,90 ± 1,79
Coef. Variación (%)	23,44	7,69	7,96	35,98

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca ± 20 desviaciones estándar.

Los resultados obtenidos dentro de la caracterización física de esta fruta confirman los estudios realizados por López (2011), quien reportó valores de 109,54 g para el peso de la fruta, 5,57 y 5,86 cm para el largo y diámetro, respectivamente. Con la finalidad de seleccionar un grupo de muestras que presenten un estado de madurez homogéneo, dentro de la caracterización física se evaluó la firmeza de la fruta, obteniéndose un valor promedio de 4,90±1,79 Kg-f, el mismo que es inferior al obtenido por López (2011), quien reportó valores de firmeza de 5,70 Kg-f, demostrándose que en este estudio se utilizaron frutas con diferente estado de madurez.

b) CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La caracterización química de naranjilla se realizó en función de parámetros como: pH, acidez titulable, humedad y sólidos solubles. Los resultados promedio obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados dentro de la caracterización química se presentan en la Tabla 80.

TABLA 80. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Caracterización Química	pH	Acidez Titulable (%)	Humedad (%)	Sólidos Solubles (°Brix)
Promedio	2,83 ± 0,34	2,58 ± 0,15	90,55 ± 0,56	9,55 ± 0,77
Coef. Variación (%)	11,92	5,90	0,01	8,04

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados obtenidos en este estudio para los parámetros químicos evaluados dentro de la caracterización de naranjilla, confirman los estudios realizados por López (2011), quien reportó un valor promedio de 2,93 para el pH, una acidez titulable de 2,62% (como ácido cítrico) y un contenido de humedad de 90,46%. El contenido de sólidos solubles (9,55 °Brix) determinado en este estudio presentó una variación con respecto a los datos reportados por este autor (12,60 °Brix), demostrándose que las muestras de naranjilla utilizadas para la investigación presentó distintos estados de madurez.

4.1.1.4.2. FASE 2. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES

Dentro del proceso de preparación de muestras para el análisis de compuestos antioxidantes en naranjilla variedad Iniap Quitoense 2009, se determinó el porcentaje de rendimiento y el contenido de humedad de la fruta, estableciéndose que la fruta contiene un 90,55% de humedad (Tabla 80) y un rendimiento en pulpa de 64,37%, estos datos permitieron calcular la cantidad de muestra fresca necesaria para el proceso de liofilización (Tabla 81).

TABLA 81. RENDIMIENTO DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Peso fruta (g)	Semilla (g)	Cascara (g)	Pulpa (g)	Rendimiento* (%)
Promedio	100,52 ± 21,42	23,73 ± 3,51	15,08 ± 6,69	73,81 ± 13,21	59,21 ± 12,81
C. variación (%)	21,31	14,80	44,32	17,90	21,63

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca ± 5 desviaciones estándar.

4.1.1.4.3. FASE 3. DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO

La determinación de las características cromáticas en naranjilla variedad Iniap Quitoense 2009, se realizó en función de 3 parámetros: Luminosidad (L^*), parámetro a (a^*) y parámetro b (b^*). En la Tabla 82 se presenta los resultados promedio de las mediciones de color interno en 15 muestras de pulpa de naranjilla.

TABLA 82. COORDENADAS DE COLOR INTERNO EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009: LUMINOSIDAD (L^*), PARÁMETRO a^* Y PARÁMETRO b^*

Color	Luminosidad * (L^*)	Parámetro a^* (a^*)	Parámetro b^* (b^*)
Promedio	40,10 ± 1,92	-4,25±0,60	22,04 ±2,62
Coef. Variación	4,79	14,03	11,88

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

* Los resultados son reportados en base fresca ± 15 desviaciones estándar.

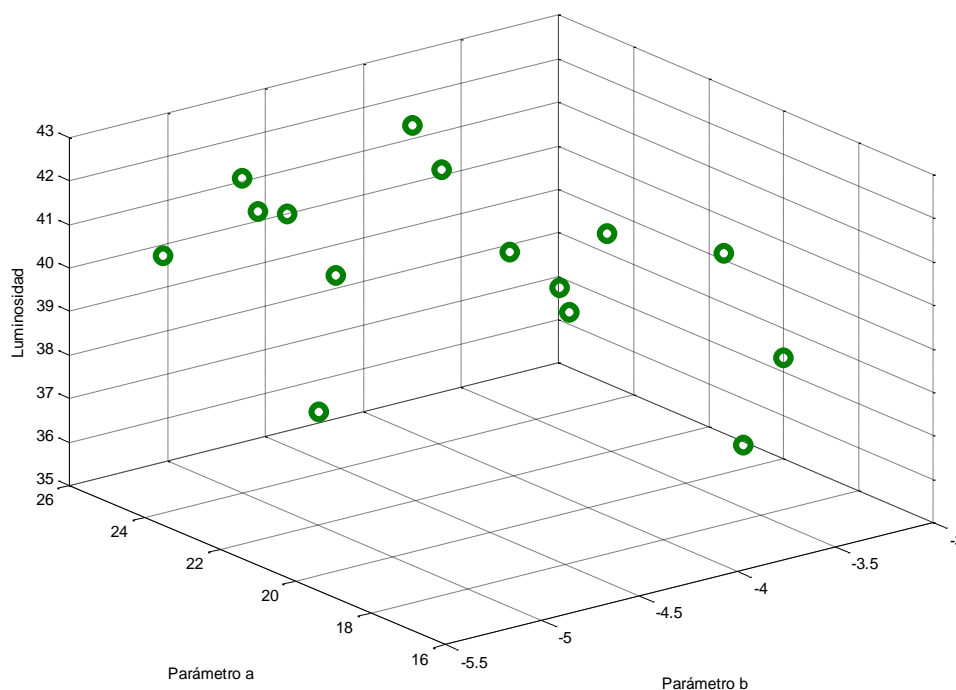


GRÁFICO 54. COORDENADAS DE COLOR INTERNO DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009: LUMINOSIDAD (L^*), PARÁMETRO a^* Y PARÁMETRO b^*

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

En el gráfico 54, se observa la representación tridimensional de las coordenadas de color interno (luminosidad L*, parámetro a* y b*) en naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.).

Los resultados del análisis de color interno demostraron que la fruta tiene tendencia hacia el color verde (a*) y amarillo (b*), encontrándose ligeras variaciones con relación a los datos de color reportados por López (2011), quien presentó valores de 53,75, -5,62 y 25,43 para la luminosidad, a* y b* respectivamente, estas variaciones se atribuyen a distintos factores como: la sensibilidad del equipo de medición, el estado de madurez de las muestras estudiadas, entre otras.

4.1.1.4.4. FASE 4. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

a) ANTOCIANINAS TOTALES

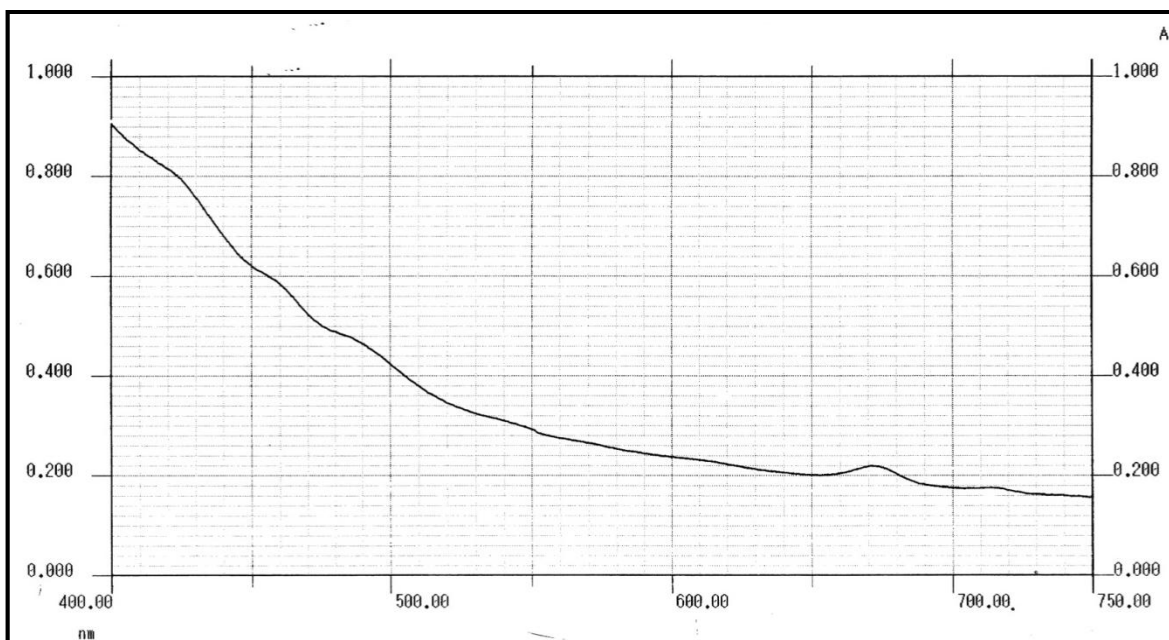


GRÁFICO 55. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009 EN BUFFER pH 1,0

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Las antocianinas son compuestos bioactivos responsables del color rojo a violeta en los alimentos; en función de los análisis de color se estableció la tendencia de la naranjilla hacia el color amarillo y verde, por lo que al realizar la determinación de

estos compuestos utilizando el método propuesto por Rapisarda *et al.* (2000), se estableció que este tipo de compuestos bioactivos no forman parte del perfil de antioxidantes encontrados en naranjilla. Estos resultados fueron confirmados realizando un espectro de absorción UV en la región de 400 a 700 nm del extracto de naranjilla en buffer pH 1 y 4,5; como se muestra en los Gráficos 55 y 56, demostrándose que no existe absorción de luz a estas longitudes de onda o que las concentraciones medidas se encuentran por debajo del límite de detección del equipo utilizado.

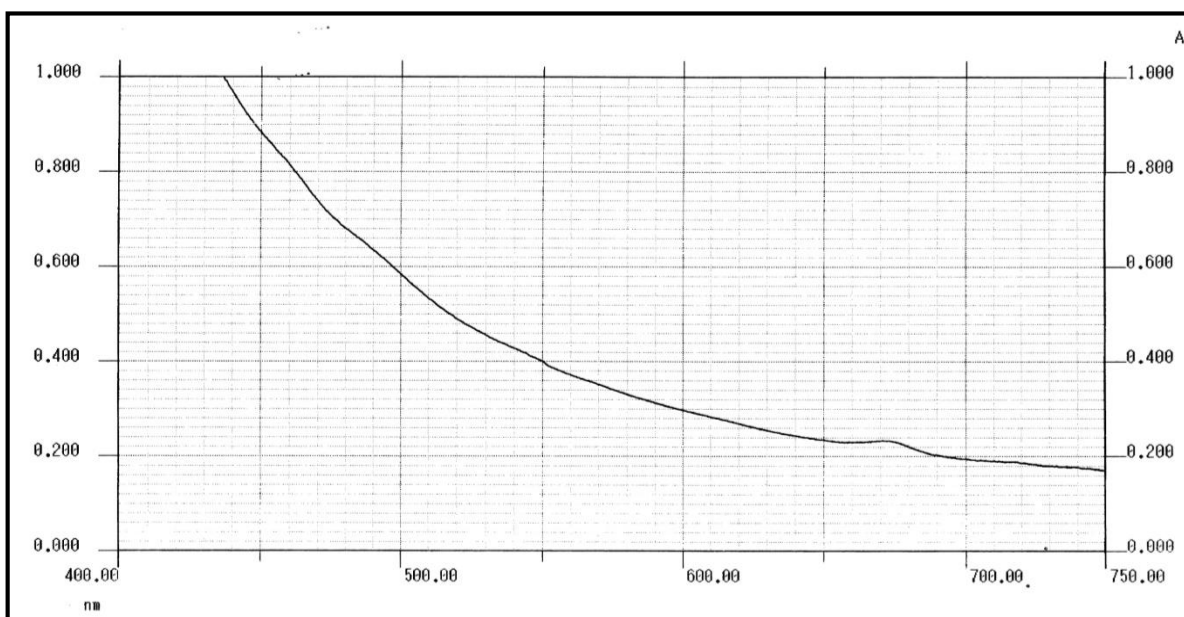


GRÁFICO 56. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009 EN BUFFER pH 4,5

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

b) CAROTENOIDES TOTALES

La cuantificación de carotenoides totales se realizó utilizando el método planteado por Sze e Indrawati. (2012), el mismo que fue adaptado en el laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad para muestras de naranjilla, variedad Iniap Quitoense 2009.

Dentro de la adaptación del método de análisis se determinó el porcentaje de recuperación de estos compuestos en función del número de ciclos de extracción,

estableciéndose que para alcanzar el 100% de recuperación de los carotenoides en las muestra de naranjilla, se requiere de 5 ciclos de extracción de 30 minutos mediante agitación magnética con una solución de hexano/acetona/etanol (50:25:25, v/v/v), los resultados del ensayo de recuperación se presentan en el Gráfico 57.

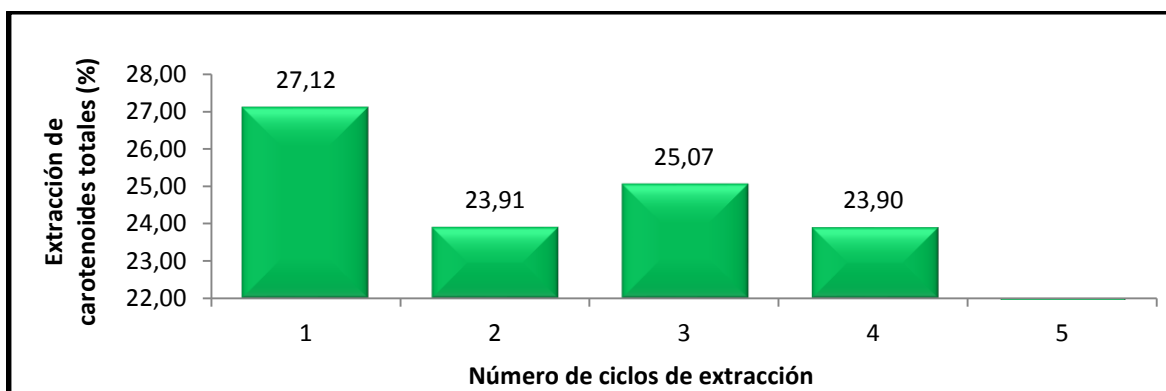


GRÁFICO 57. PORCENTAJE DE EXTRACCION DE CAROTENOIDES TOTALES EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera con la finalidad de determinar el error experimental del método de análisis para el contenido de carotenoides totales, se evaluó la precisión del mismo mediante un ensayo de repetibilidad, para lo cual se realizó el análisis de una muestra de naranjilla liofilizada con 4 repeticiones (Gráfico 58).

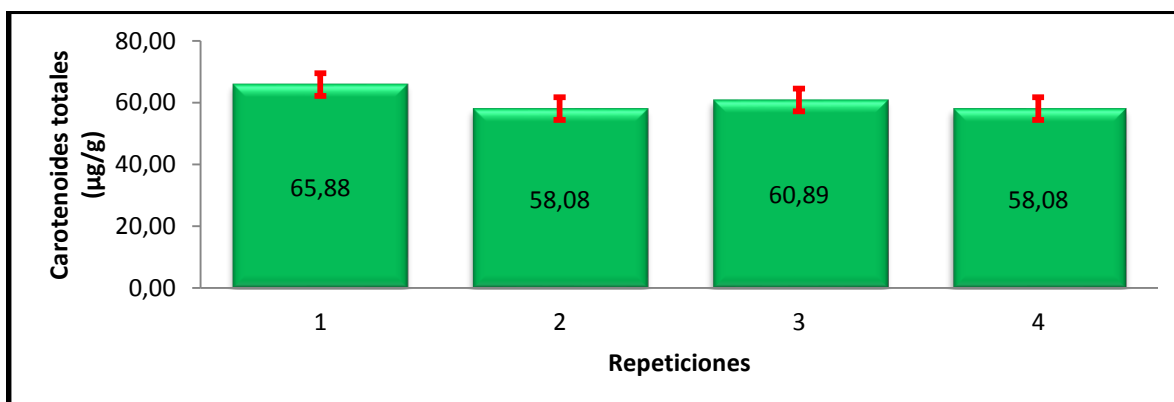


GRÁFICO 58. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados del ensayo de repetibilidad demostraron que la muestra de naranjilla analizada presenta un contenido promedio de carotenoides totales de $60,73 \pm 3,68$ μg de β -Caroteno/g de muestra seca y un error experimental como coeficiente de variación de $\pm 6,05\%$.

Utilizando el método de análisis previamente optimizado, se determinó el contenido de carotenoides totales en 15 muestras de naranjilla por duplicado, los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 83.

TABLA 83. CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Carotenoides totales (μg de β -Caroteno/g)
1	$57,34 \pm 0,73$
2	$61,15 \pm 2,83$
3	$53,75 \pm 0,16$
4	$61,15 \pm 2,83$
5	$53,75 \pm 0,16$
6	$57,47 \pm 2,47$
7	$53,75 \pm 0,16$
8	$57,47 \pm 2,47$
9	$55,23 \pm 3,08$
10	$57,47 \pm 2,47$
11	$55,23 \pm 3,08$
12	$59,81 \pm 11,79$
13	$55,23 \pm 3,08$
14	$59,81 \pm 11,79$
15	$70,33 \pm 2,96$

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca \pm desviación estándar de 2 repeticiones.

El contenido promedio de carotenoides totales obtenido para las 15 muestras de naranjilla analizadas fue de $57,93 \pm 4,28$ μg de β -caroteno/g de muestra seca, estos resultados son similares a los estudios realizados por Acosta *et al.*, 2009, quien reportó un contenido de carotenoides totales de $7,2$ μg de β -caroteno/g de muestra fresca en naranjilla de Costa Rica, que corresponde a $76,59$ μg de β -caroteno/g de muestra seca.

c) POLIFENOLES TOTALES

La determinación del contenido de polifenoles totales en muestras de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009, se realizó utilizando el método colorimétrico con el reactivo Folin&Ciocalteu publicado por Slinkard y Singleton (1967). El análisis cuantitativo del contenido de polifenoles se realizó en función de una curva de calibración con ácido gálico como estándar (Gráfico 59), demostrándose que existe una alta correlación entre la concentración del estándar y la absorbancia ($r^2 = 0,999$), lo que permitió cuantificar con exactitud y precisión el contenido de polifenoles totales en naranjilla.

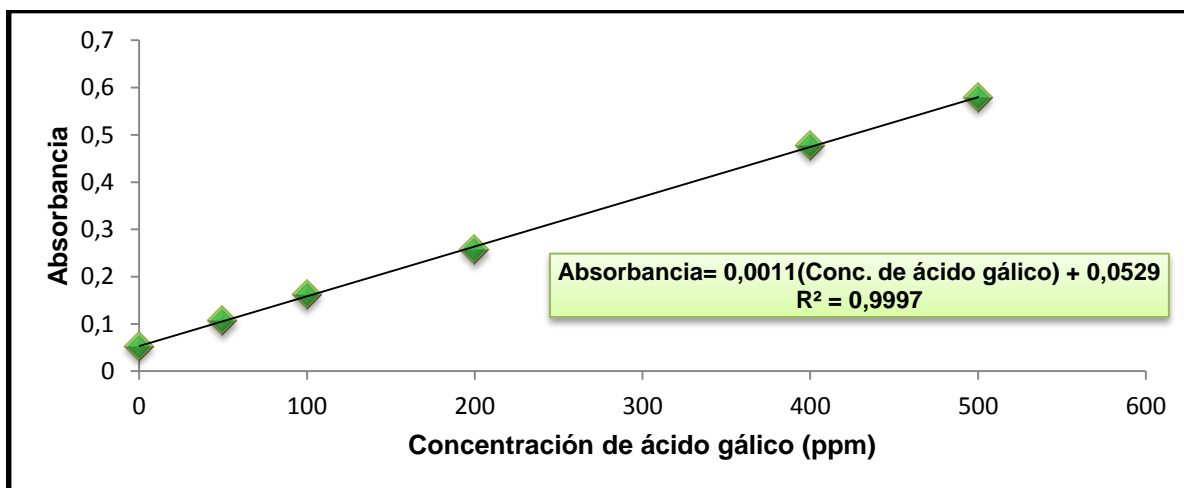


GRÁFICO 59. CURVA DE CALIBRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES PARA NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera, para la cuantificación del contenido de polifenoles, se realizó la optimización del método de análisis en base a dos parámetros: el porcentaje de recuperación del analito y la repetibilidad del ensayo.

Los análisis realizados demostraron que para obtener el 100% de recuperación de estos compuestos bioactivos en naranjilla se requiere 3 ciclos de extracción de 45 minutos con agitación magnética, en una solución de acetona-agua (70/30, v/v) (Gráfico 60).

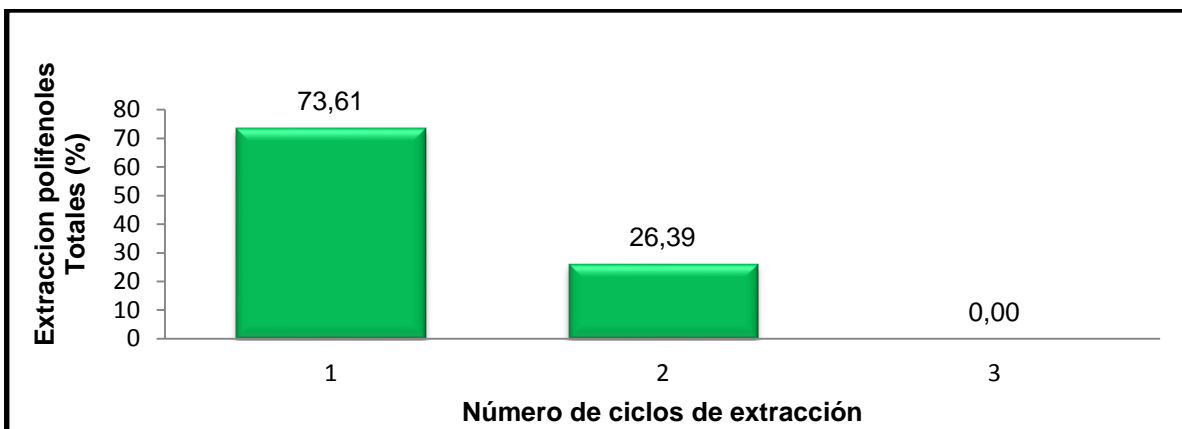


GRÁFICO 60. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009
 Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente, con la finalidad de determinar el error experimental, se realizó un ensayo de repetibilidad; en una muestra de naranjilla con 4 repeticiones.

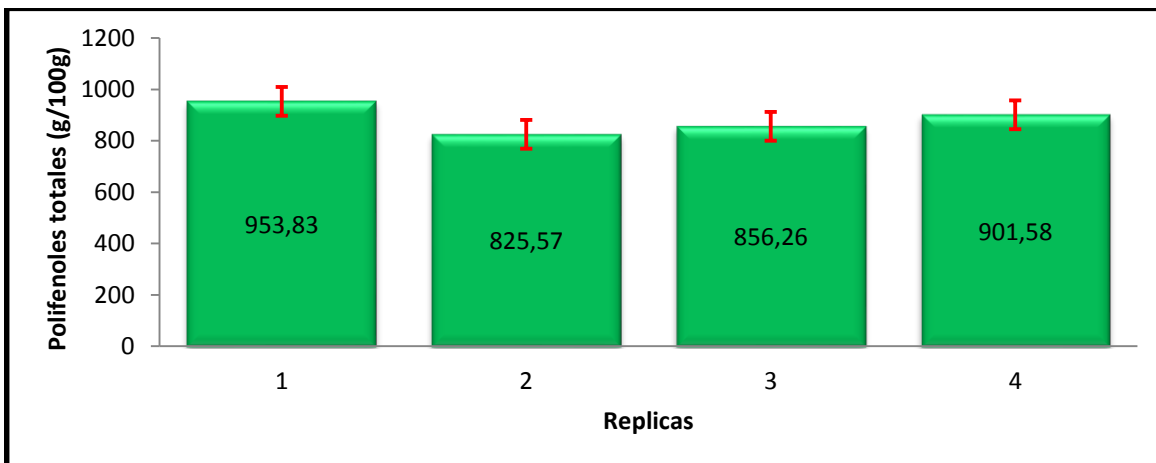


GRÁFICO 61. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009
 Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados del ensayo de repetibilidad demostraron que la muestra de naranjilla analizada presenta un contenido promedio de polifenoles totales de $884,31 \pm 55,88$ mg de ácido gálico/100g y un error experimental como coeficiente de variación de 6,32 % (Gráfico 61), mismo que se encuentra dentro del rango de error establecido para las concentraciones medidas (mg/100g), según la ecuación de Horwitz (5 al 8%).

Utilizando el método previamente optimizado, se determinó el contenido de polifenoles totales en 15 muestras de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) procedentes de la provincia de Orellana, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 84.

TABLA 84. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g)
1	627,15 ± 8,25
2	728,91 ± 87,04
3	1294,71 ± 48,33
4	728,91 ± 76,49
5	1294,71 ± 159,32
6	936,78 ± 163,08
7	1294,71 ± 89,04
8	963,78 ± 34,00
9	746,88 ± 138,51
10	963,78 ± 91,34
11	746,85 ± 10,11
12	784,85 ± 41,27
13	746,88 ± 58,52
14	841,39 ± 44,40
15	736,33 ± 143,56

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de polifenoles totales obtenido para las 15 muestras de naranjilla analizadas fue de 897,58±227,77 mg de ácido gálico/100g de muestra en base seca, estos resultados son superiores a los estudios realizados por diferentes autores como: Cerón *et al.*, 2010, Vasco *et al.*, 2008, Contreras-Calderón *et al.*, 2011 y Acosta *et al.*, 2009, quienes reportaron un contenido de polifenoles totales de 510,72 a 699,79 mg de ácido gálico/100g de muestra seca para muestras de naranjilla procedentes de Colombia, Costa Rica y Ecuador, demostrándose que existe influencia de la zona de producción y la variedad sobre el contenido de estos compuestos bioactivos.

d) VITAMINA C

La cuantificación del contenido de vitamina C se realizó utilizando un método reflectométrico, de igual manera; con la finalidad de evaluar el error experimental del método se analizó una muestra de naranjilla con cuatro repeticiones, obteniéndose un contenido promedio de vitamina C de $244,04 \pm 11,43$ mg ácido ascórbico/100g de muestra seca y un coeficiente de variación (error experimental) de 4,69% (Gráfico 62).

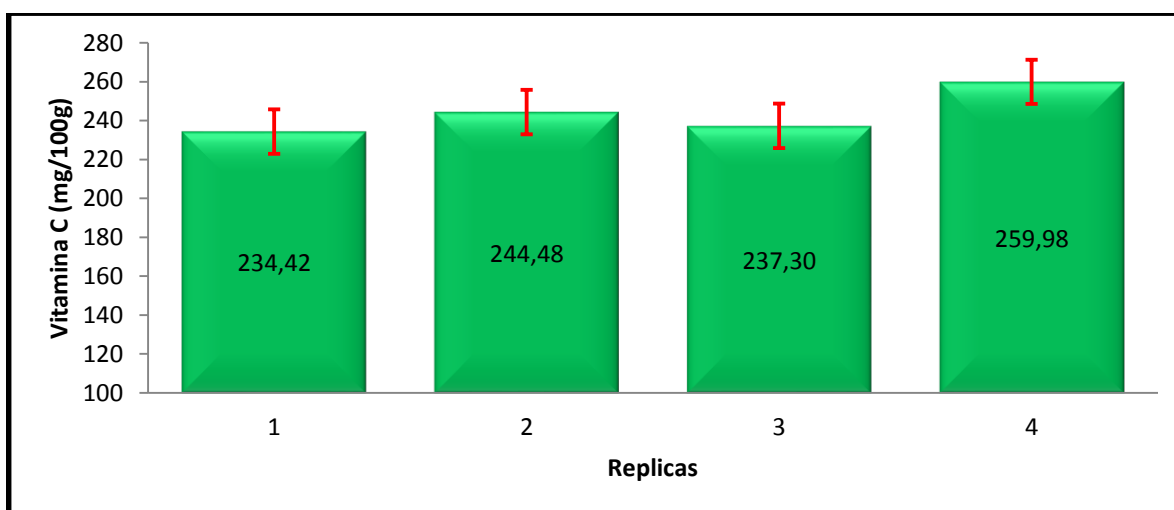


GRÁFICO 62. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente, se procedió a la cuantificación del contenido de vitamina C en las 15 muestras de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) de la variedad Iniap Quitoense 2009, los resultados se presentan en la Tabla 85.

El contenido promedio de vitamina C obtenido para naranjilla fue de $200,62 \pm 20,50$ mg ácido ascórbico/100g de muestra seca, estos resultados son superiores a los reportados por Cerón *et al.*, 2010 y Vasco *et al.*, 2008, quienes presentaron un contenido de vitamina C de 84,59 a 133 mg ácido ascórbico/100g para naranjilla originaria de Ecuador y Costa Rica, respectivamente, demostrándose de igual manera que existe un efecto del ambiente y la variedad sobre el contenido de vitamina C.

TABLA 85. CONTENIDO DE VITAMINA C EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)
1	210,32
2	211,27
3	210,85
4	175,41
5	182,43
6	217,27
7	175,07
8	189,71
9	203,71
10	223,90
11	203,88
12	182,74
13	202,63
14	245,37
15	174,78

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

* Los resultados son reportados en base seca.

En la Tabla 86, se presenta un resumen del perfil de compuestos antioxidantes (carotenoides, polifenoles y vitamina C), para naranjilla procedente de la provincia de Orellana.

TABLA 86. CONTENIDO PROMEDIO DE ANTIOXIDANTES EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Caracterización Química	Antocianinas totales (mg/100g)*	Carotenoides totales (µg/g)*	Polifenoles totales (g/100g)*	Vitamina C (mg/100g)*
Promedio	No	57,93 ± 4,28	897,58±227,77	200,62± 20,50
Coef. Variación	detectable	7,40	25,38	10,22

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados del contenido de antioxidantes se presentan en base seca.

4.1.1.4.5. FASE 5. DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS

a) CAROTENOIDES TOTALES

Con la finalidad de desarrollar un modelo matemático de predicción para el contenido de carotenoides totales en naranjilla, se elaboró una matriz de resultados;

utilizando los datos obtenidos en el análisis químico (contenido de carotenoides) y los datos de medición del color (coordenadas L*, a* y b*), (Tabla 87).

TABLA 87. MATRIZ DE COMPONENTES MULTIVARIABLE DE CAROTENOIDES TOTALES VS. COORDENADAS DE COLOR DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
1	41,73	-3,89	25,28	57,34
2	39,79	-4,16	19,68	61,15
3	39,20	-3,81	21,78	53,75
4	40,97	-4,28	20,62	61,15
5	40,09	-3,31	19,99	53,75
6	38,60	-3,43	17,79	57,47
7	42,51	-4,39	21,88	53,75
8	39,49	-4,53	23,99	57,47
9	40,79	-4,65	24,62	55,23
10	42,53	-5,10	23,52	57,47
11	41,24	-4,88	24,23	55,23
12	35,74	-4,39	25,16	59,81
13	40,70	-5,34	24,37	55,23
14	41,23	-3,92	19,94	59,81
15	36,85	-3,64	17,76	70,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente, empleando los datos de la matriz de resultados, se realizó un análisis de regresión multivariable, fijando como variables independientes (X) a los componentes de color y como variable dependiente (Y) al contenido de carotenoides totales, obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 25) que permite relacionar las variables en estudio.

$$CT = 112,95 - 1,11L^* - 2,55a^* - 0,97b^* \quad (\text{Ecuación 25})$$

El modelo de regresión obtenido presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,46; estableciéndose que el modelo explica el 46% del comportamiento de los datos (Gráfico 63), en función de estos resultados se determinó que la correlación entre las variables (r^2) se encuentra por debajo del valor aceptado para fines de predicción, demostrándose que existen datos dispersos.

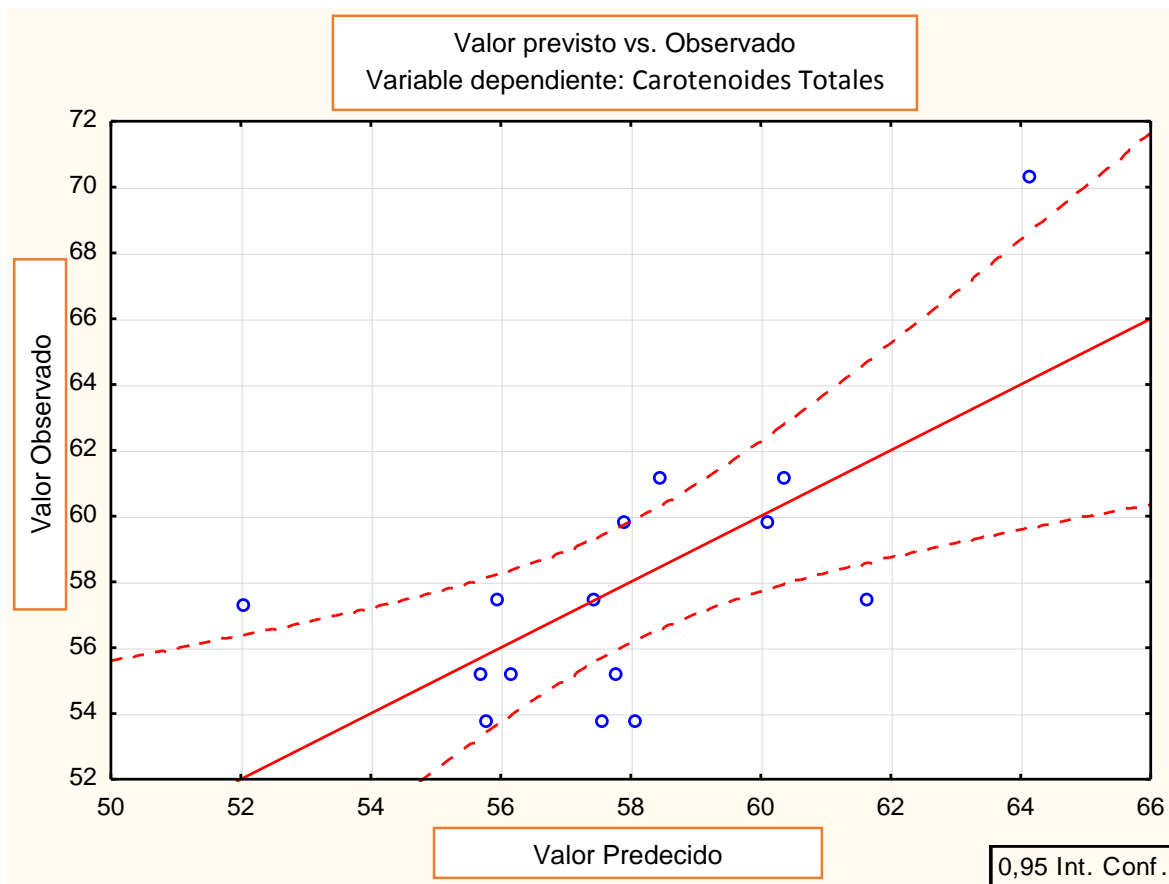


GRÁFICO 63. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009.

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad de obtener un coeficiente de correlación (r^2) superior a 0,70; se realizó un ajuste de los datos, mediante un análisis de residuos entre el valor de carotenoides totales experimental (laboratorio) y el valor estimado por el modelo matemático desarrollado (Ecuación 25); el mismo que permitió escoger una población de datos con características homogéneas, seleccionando las muestras 1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 (valores de desviación inferiores a 2σ).

Continuando con el proceso de optimización del modelo matemático, se evaluó el efecto de las variables independientes (X) sobre el contenido de carotenoides totales (Y) de las muestras en estudio, aplicando una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student, mismo que

evindecia que no existe un aporte individual de los parametros de color en el desarrollo de la ecuación matemática de predicción (Tabla 88).

TABLA 88. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN PARA CAROTENOIDES TOTALES ESTIMADO DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Hipótesis	t _{student}	Valor crítico
B1=0	-2,05	2,20
B2=0	-1,09	
B3=0	-1,92	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Continuando con el desarrollo de la ecuación matemática de predicción se elaboró una segunda matriz de resultados, empleando las tres coordenadas de color y las muestras seleccionadas en función del análisis de residuos (Tabla 89).

TABLA 89. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA CAROTENOIDES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
1	41,73	-3,89	25,28	57,34
2	39,79	-4,16	19,68	61,15
4	40,97	-4,28	20,62	61,15
7	42,51	-4,39	21,88	53,75
8	39,49	-4,53	23,99	57,47
9	40,79	-4,65	24,62	55,23
10	42,53	-5,10	23,52	57,47
11	41,24	-4,88	24,23	55,23
12	35,74	-4,39	25,16	59,81
13	40,70	-5,34	24,37	55,23
14	41,23	-3,92	19,94	59,81
15	36,85	-3,64	17,76	70,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados ajustados se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple, observándose que la nueva ecuación matemática obtenida (Ecuación 26) presenta una mejor correlación entre los datos ($r^2=0,84$), por lo cual

se estableció que este modelo de predicción explica el 84% del comportamiento de los datos.

$$CT = 129,24 - 1,04L^* + 1,47a^* - 0,98b^* \quad (\text{Ecuación 26})$$

En el Gráfico 64 se presenta los valores ajustados para predicción del contenido de carotenoides totales, obtenidos a partir de la Ecuación 26.

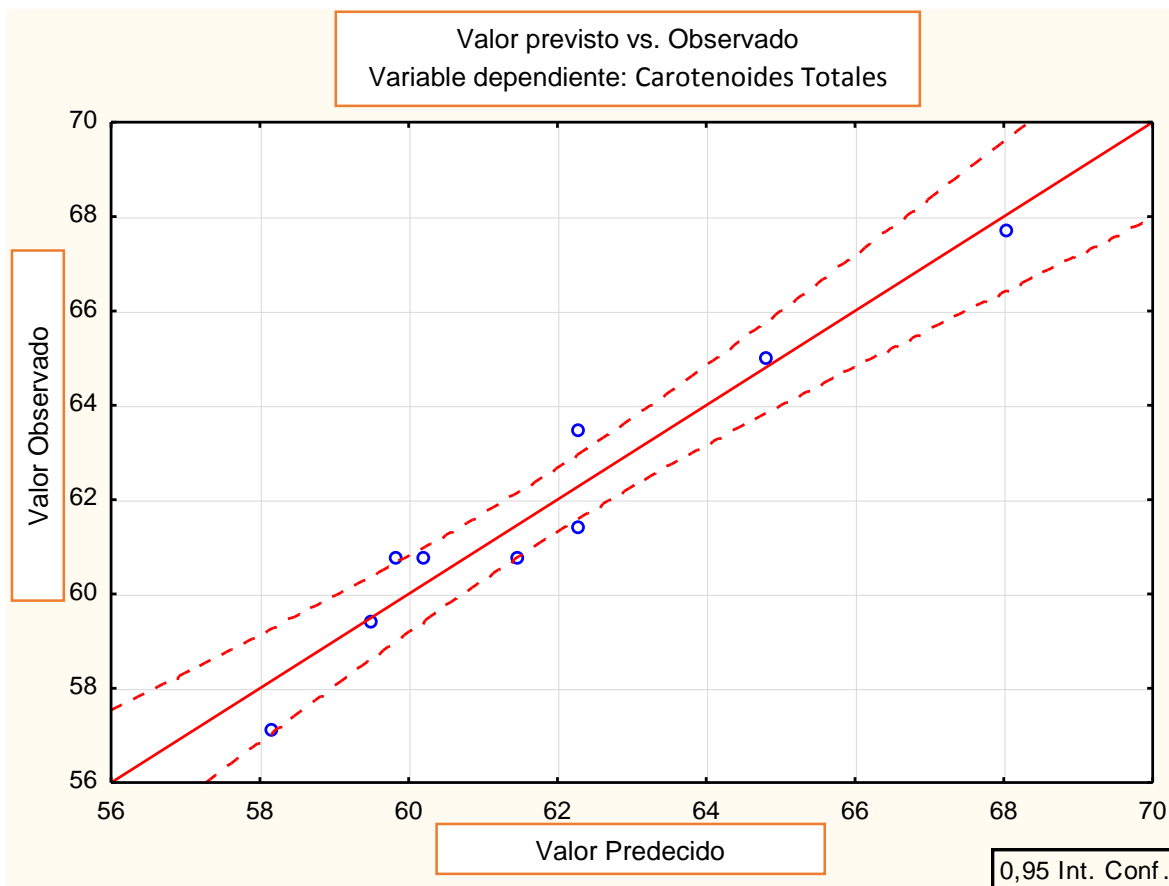


GRÁFICO 64. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Finalmente se realizó la predicción matemática del contenido de carotenoides totales en las muestras de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009, utilizando la ecuación matemática optimizada; los resultados se presentan en la Tabla 90.

TABLA 90. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES ($\mu\text{g/g}$) PREDECIDOS UTILIZANDO EL MODELO MATEMÁTICO EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Carotenoides totales (μg de β -caroteno/g)		Desviación Estándar	Promedio ($\mu\text{g/g}$)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimental				
1	55,33	57,34	1,42	56,34	2,53	3,57
2	62,44	61,15	0,92	61,80	1,48	2,10
4	60,10	61,15	0,74	60,63	1,22	1,72
7	57,11	53,75	2,38	55,43	4,29	6,07
8	57,99	57,47	0,37	57,73	0,65	0,91
9	55,83	55,23	0,43	55,53	0,77	1,08
10	54,44	57,47	2,14	55,95	3,82	5,40
11	55,41	55,23	0,13	55,32	0,23	0,32
12	60,94	59,81	0,80	60,38	1,32	1,86
13	55,17	55,23	0,04	55,20	0,08	0,11
14	61,05	59,81	0,87	60,43	1,44	2,04
15	68,15	70,33	1,54	69,24	2,23	3,15

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático desarrollado se evaluó en base a parámetros estadísticos como: coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV), (Tabla 91).

TABLA 91. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Estadístico	CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,84
Error experimental (EE)/ de predicción (EP)	6,05	2,36

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El modelo matemático desarrollado presentó un error de predicción de 2,36%, estableciéndose que cada vez que se realice la predicción matemática del contenido de carotenoides totales, los resultados presentarán una desviación de $\pm 0,98$ (μg de β -caroteno/g de muestra seca); la misma que es inferior a la desviación obtenida al

realizar experimentalmente el ensayo en el laboratorio (3,68 μg de β -caroteno/g de muestra seca), demostrándose que el modelo matemático desarrollado es robusto puesto que presenta un coeficiente de variación que se encuentra dentro de los valores aceptados para las concentraciones medidas ($\mu\text{g/g}$) de acuerdo a la ecuación de Horwitz ($Cv < 16\%$).

b) POLIFENOLES TOTALES

Con la finalidad de desarrollar un modelo matemático de predicción para el contenido de polifenoles totales en naranjilla, se estructuró una matriz de resultados, utilizando los datos de la medición de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el contenido de polifenoles totales de referencia (medidos en el laboratorio) (Tabla 92).

TABLA 92. MATRIZ DE COMPONENTES MULTIVARIABLE DE POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	41,73	-3,89	25,28	627,15
2	39,79	-4,16	19,68	728,91
3	39,20	-3,81	21,78	1294,71
4	40,97	-4,28	20,62	728,91
5	40,09	-3,31	19,99	1294,71
6	38,60	-3,43	17,79	963,78
7	42,51	-4,39	21,88	1294,71
8	39,49	-4,53	23,99	963,78
9	40,79	-4,65	24,62	746,88
10	42,53	-5,10	23,52	963,78
11	41,24	-4,88	24,23	746,88
12	35,74	-4,39	25,16	784,85
13	40,70	-5,34	24,37	746,88
14	41,23	-3,92	19,94	841,39
15	36,85	-3,64	17,76	736,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando los datos de la matriz de resultados (Tabla 92), se realizó un análisis de regresión múltiple; fijando como variables independientes (X) a las coordenadas de color y como variable dependiente (Y) al contenido de polifenoles totales,

obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 27) que relaciona las variables en estudio.

$$PT = 331,77 + 30,90L^* + 150,63a^* - 1,52b^* \quad (\text{Ecuación 27})$$

El modelo matemático de predicción desarrollado para la determinación de polifenoles totales presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,15; demostrándose que existe una correlación inferior al valor aceptado para el desarrollo de modelos de predicción ($r^2 \geq 0,70$). Se estableció que existen datos dispersos dentro de la población de datos utilizados para el análisis de regresión múltiple (Gráfico 65).

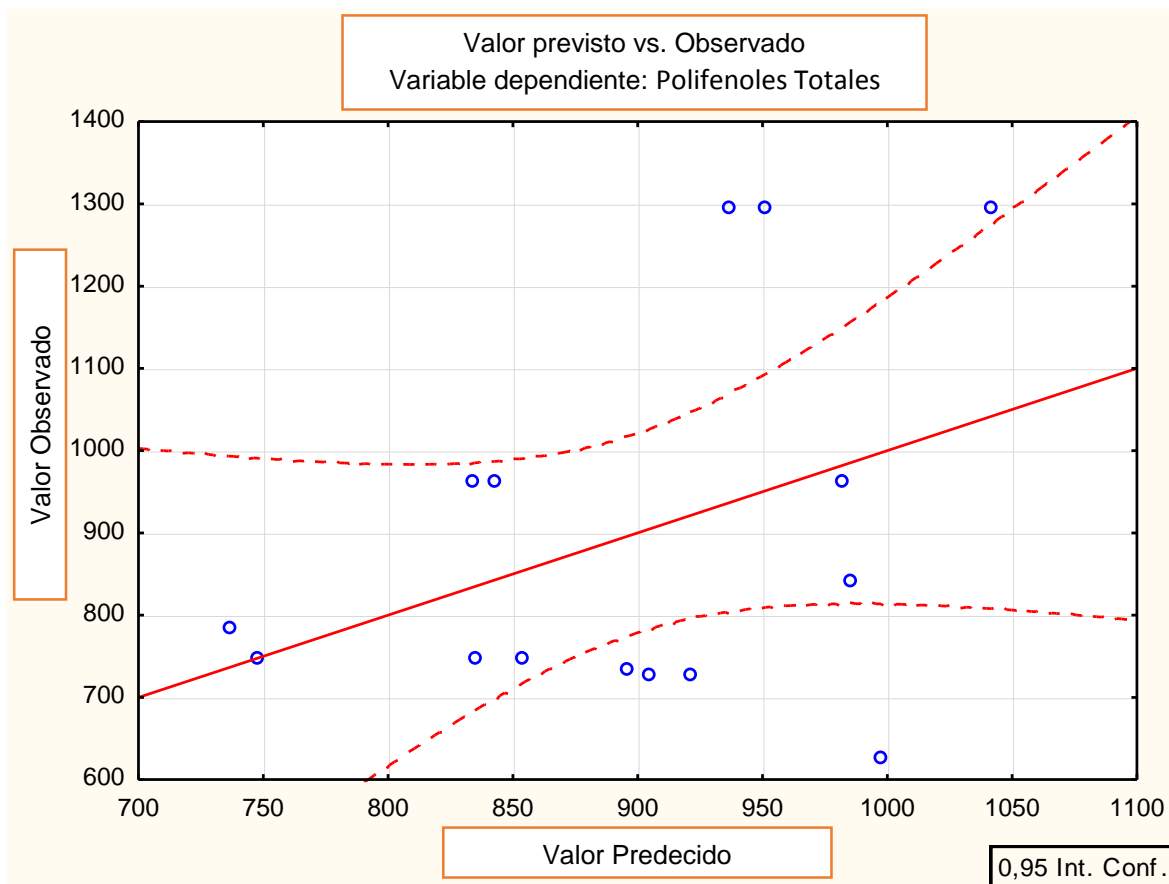


GRÁFICO 65. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con el objetivo de optimizar la correlación entre las variables, se evaluó el efecto del error experimental y la heterogeneidad de las muestras, mediante un análisis de residuos entre el valor de referencia de polifenoles totales y el valor estimado matemáticamente a partir de la Ecuación 27, seleccionando las muestras 1, 2, 4, 9, 11, 12, 13 y 15 de la matriz de resultados, las mismas que presentan valores de desviación inferiores a 2σ . De igual manera, con la finalidad de alcanzar una correlación superior al 70% entre las variables en estudio, se aplicó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student (Tabla 93).

TABLA 93. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Hipótesis	t_{student}	Valor crítico
B1=0	0,87	2,20
B2=0	0,98	
B3=0	-0,05	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a los resultados, se estableció que los parámetros L^* , a^* y b^* no aportan individualmente para el desarrollo del modelo matemático de predicción del contenido de polifenoles totales en naranjilla ($t_{\text{calculado}} < t_{\text{teórico}}$).

TABLA 94. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	41,73	-3,89	25,28	627,15
2	39,79	-4,16	19,68	728,91
4	40,97	-4,28	20,62	728,91
9	40,79	-4,65	24,62	746,88
11	41,24	-4,88	24,23	746,88
12	35,74	-4,39	25,16	784,85
13	40,70	-5,34	24,37	746,88
15	36,85	-3,64	17,76	736,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Finalmente, se elaboró una nueva matriz de resultados empleando las tres coordenadas de color (L^* , a y b^*) y las muestras seleccionadas en función del análisis de residuos (Tabla 94), a partir de la cual se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple, obteniéndose la ecuación matemática final (Ecuación 28), la misma que presentó un coeficiente de determinación ($r^2=0,84$), estableciéndose que el modelo matemático final explica el 84% del comportamiento de los datos (Gráfico 66).

$$PT = 1151,18 - 15,69L^* - 74,94a^* - 5,58b^* \quad (\text{Ecuación 28})$$

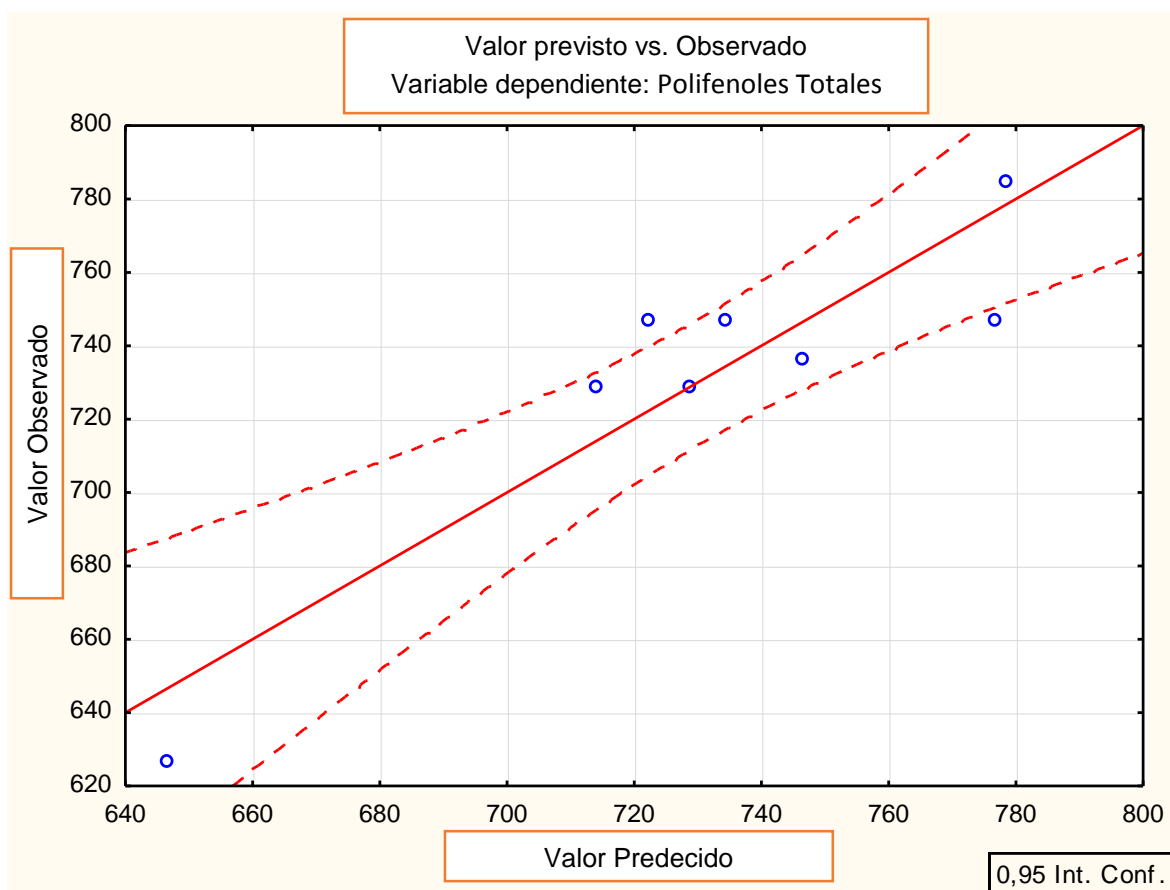


GRÁFICO 66. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009.

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Empleando el modelo matemático ajustado (Ecuación 28), se realizó la predicción del contenido de polifenoles para muestras de naranjilla variedad Iniap Quitoense 2009, los resultados se presentan en la Tabla 95.

TABLA 95. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Polifenoles totales (mg de ácido gálico/100g)		Desviación Estándar	Promedio (mg/100g)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimental				
1	646,32	627,15	13,56	636,74	2,13	3,01
2	728,64	728,91	0,19	728,77	0,03	0,04
4	714,03	728,91	10,52	721,47	1,46	2,06
9	722,34	746,88	17,35	734,61	2,36	3,34
11	734,21	746,88	8,96	740,55	1,21	1,71
12	778,58	784,85	4,43	781,71	0,57	0,80
13	776,49	746,88	20,94	761,69	2,75	3,89
15	746,18	736,33	6,96	741,26	0,94	1,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción obtenido para la determinación de polifenoles totales se evaluó estadísticamente en función del coeficiente de correlación (r^2), el error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) (Tabla 96).

TABLA 96. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POLIFENOLES TOTALES EXPERIMENTAL (mg de ácido gálico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Estadístico	POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,84
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	6,32	2,02

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El modelo matemático desarrollado presentó un error de predicción de 2,02%, el mismo que es inferior al error obtenido al realizar el ensayo en el laboratorio (6,32%). Demostrándose que este modelo es robusto, puesto que presenta un coeficiente de

variación que se encuentra dentro del límite aceptable para las concentraciones medidas (mg /100g) de acuerdo a la ecuación de Horwitz (5 a 8%).

c) VITAMINA C

De igual manera, con los valores de referencia del contenido de vitamina C (laboratorio) y los datos de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*), se elaboró una matriz de resultados (Tabla 97).

TABLA 97. MATRIZ DE RESULTADOS DE VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	41,73	-3,89	25,28	210,32
2	39,79	-4,16	19,68	211,27
3	39,20	-3,81	21,78	210,85
4	40,97	-4,28	20,62	175,41
5	40,09	-3,31	19,99	182,43
6	38,60	-3,43	17,79	217,27
7	42,51	-4,39	21,88	175,07
8	39,49	-4,53	23,99	189,71
9	40,79	-4,65	24,62	203,71
10	42,53	-5,10	23,52	223,90
11	41,24	-4,88	24,23	203,88
12	35,74	-4,39	25,16	182,74
13	40,70	-5,34	24,37	202,63
14	41,23	-3,92	19,94	245,37
15	36,85	-3,64	17,76	174,78

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Empleando esta matriz de resultados se realizó un análisis de regresión múltiple, considerándose a los componentes de color como variables independientes (X) y al contenido de vitamina C como variable dependiente (Y), a partir del cual se obtuvo la Ecuación 29, que relaciona las variables en estudio.

$$VC = 66,69 + 3,70L^* + 0,80a^* - 0,49b^* \quad (\text{Ecuación 29})$$

El modelo matemático obtenido (Ecuación 29) presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,16; lo que demuestra que este modelo explica el 16% del

comportamiento de la población de datos, por lo cual se estableció que existen datos dispersos que influyen en la correlación de las variables (Gráfico 67).

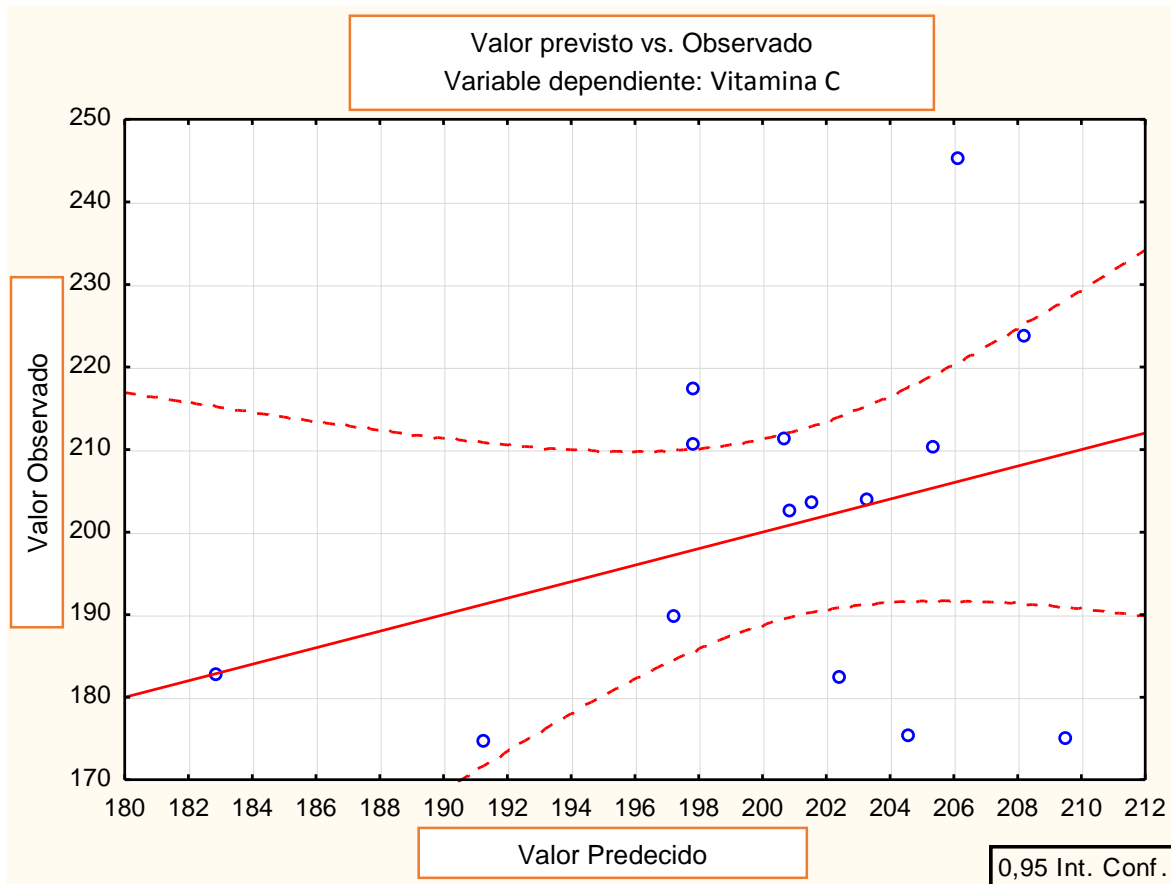


GRÁFICO 67. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad de obtener un coeficiente de correlación (r^2) superior a 0,70; se realizó un ajuste de los datos, mediante un análisis de residuos entre el valor de vitamina C experimental (laboratorio) y el valor estimado por el modelo matemático desarrollado (Ecuación 29); el mismo que permitió escoger una población de datos con características homogéneas, seleccionando las muestras que presentaron valores de desviación inferiores a 2σ (muestras 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 15).

Posteriormente, se evaluó el efecto de las variables independientes (L^* , a^* y b^*) sobre el contenido de vitamina C (variable dependiente), mediante una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales; empleando el estadístico t de student como se muestra en la Tabla 98.

TABLA 98. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE VITAMINA C (mg/100g) EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Hipótesis	t _{student}	Valor crítico
B1=0	1,13	2,20
B2=0	0,06	
B3=0	-0,16	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados de la prueba t de student para los coeficientes parciales del modelo (L^* , a^* y b^*), demostraron que no existe una influencia significativa de estos coeficientes sobre el contenido de vitamina C, estableciéndose que ninguno de los parámetros de color aporta individualmente para los fines de predicción ($t_{\text{experimental}} < t_{\text{crítico}}$).

TABLA 99. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	41,73	-3,89	25,28	210,32
2	39,79	-4,16	19,68	211,27
3	39,20	-3,81	21,78	210,85
8	39,49	-4,53	23,99	189,71
9	40,79	-4,65	24,62	203,71
10	42,53	-5,10	23,52	223,90
11	41,24	-4,88	24,23	203,88
12	35,74	-4,39	25,16	182,74
13	40,70	-5,34	24,37	202,63
15	36,85	-3,64	17,76	174,78

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Finalmente se elaboró una segunda matriz de resultados ajustados, utilizando las tres coordenadas de color (L^* , a^* y b^*) y las muestras seleccionadas en función del

análisis de residuos (Tabla 99), posteriormente se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple, obteniendo la ecuación matemática final (Ecuación 30).

$$VC = -32,16 + 6,22L^* + 2,33a^* - 0,16b^* \quad (\text{Ecuación 30})$$

El análisis de regresión múltiple con los datos seleccionados permitió obtener un mejor ajuste de los datos (Gráfico 68), obteniéndose el modelo matemático final (Ecuación 30) con un coeficiente de correlación (r^2) de 0,71; lo que permitió establecer que el modelo de predicción desarrollado explica el 71% del comportamiento de los datos.

Utilizando el modelo matemático optimizado (Ecuación 30) se realizó la predicción del contenido de vitamina C para naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad Iniap Quitoense 2009, los resultados se presentan en la Tabla 100.

TABLA 100. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Muestra	Vitamina C (mg ácido ascórbico/100g)		Desviación Estándar	Promedio	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
1	214,30	210,32	2,81	212,31	1,32	1,87
2	202,43	211,27	6,25	206,85	3,02	4,27
3	199,28	210,85	8,18	205,07	3,99	5,64
8	199,04	189,71	6,59	194,37	3,39	4,80
9	206,72	203,71	2,13	205,21	1,04	1,47
10	216,72	223,90	5,07	220,31	2,30	3,26
11	209,10	203,88	3,69	206,49	1,79	2,53
12	175,90	182,74	4,83	179,32	2,69	3,81
13	204,61	202,63	1,40	203,62	0,69	0,97
15	185,69	174,78	7,72	180,23	4,28	6,05

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

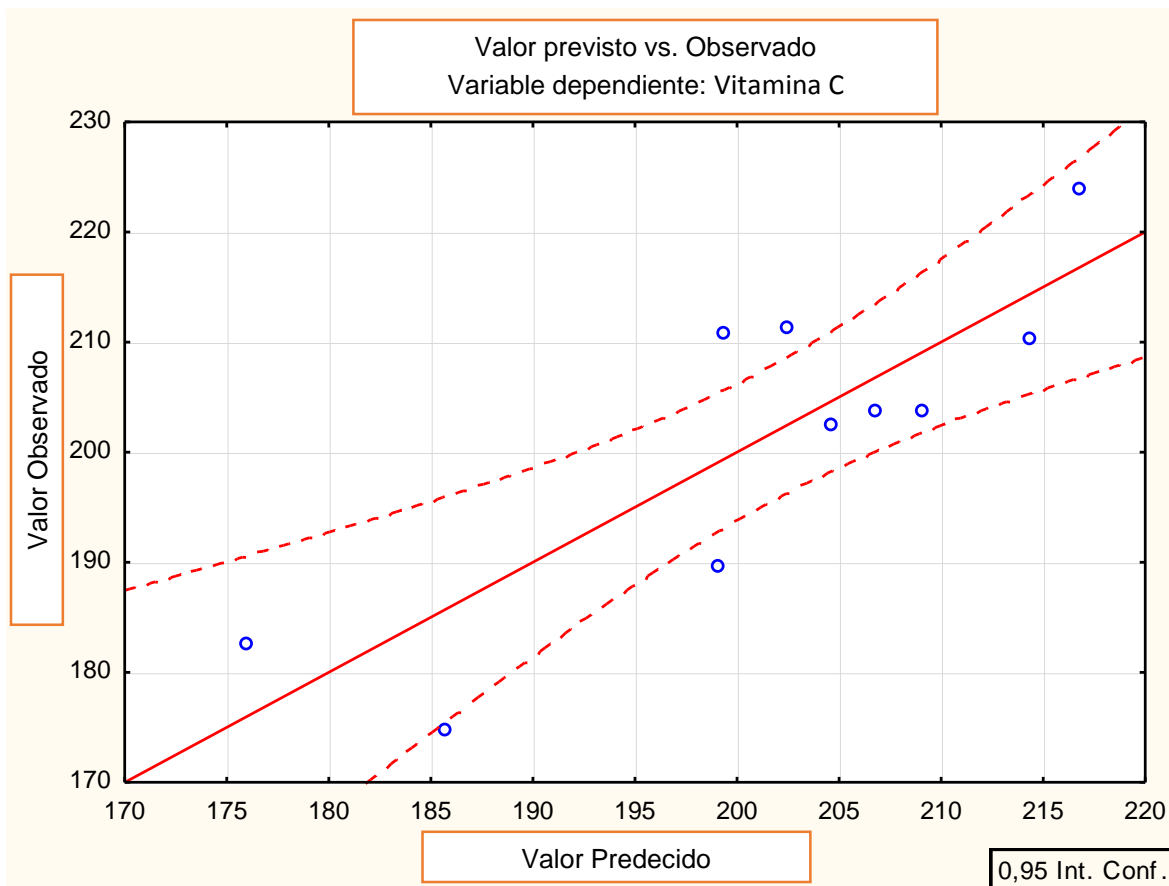


GRÁFICO 68. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción para vitamina C se evaluó en base a parámetros estadísticos como: el coeficiente de correlación (r^2), el error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) (Tabla 101).

El modelo matemático desarrollado presentó un error de predicción de 3,47%, el mismo que es inferior al error obtenido al realizar el ensayo en el laboratorio (4,69%). Demostrándose que este modelo es robusto, puesto que presenta un coeficiente de variación que se encuentra dentro del límite aceptable para las concentraciones medidas (mg /100g) de acuerdo a la ecuación de Horwitz (5 a 8%).

TABLA 101. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VITAMINA C EXPERIMENTAL (mg de ácido ascórbico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.) VARIEDAD INIAP QUITOENSE 2009

Estadístico	VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coefficiente de correlación (r^2)		0,89
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	4,69	3,47

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

4.1.1.4.6. TOMATE DE ÁRBOL

4.1.1.4.7. FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA

a) CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Dentro de la caracterización física de la fruta se realizó la determinación de peso, largo, diámetro y firmeza. Los resultados promedio de 20 frutas se presentan en la Tabla 102.

TABLA 102. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Caracterización Física	Peso* (g)	Largo* (cm)	Diámetro* (cm)	Firmeza* (kg-f)
Promedio	94,54±6,74	6,92±0,29	5,2±0,19	5,69±1,69
Coef. Variación (%)	7,13	4,24	3,57	29,81

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca.

La caracterización física de la fruta permitió identificar y reconocer los diferentes cultivares o variedades, los valores reportados en la Tabla 102, concuerdan con los resultados presentados por Torres (2006), tanto para peso, largo y diámetro de tomate de árbol Anaranjado Gigante.

La firmeza de la fruta es uno de los métodos ampliamente utilizados para evaluar la textura de los alimentos sólidos, suele estar relacionado con el estado de madurez de los mismos.

Para la presente investigación se seleccionó materiales en estado de madurez comestible con menor firmeza que las muestras empleadas por Torres (2006), quien reporta un valor de $7,27 \pm 1,31$. La firmeza se consideró como un parámetro crítico de selección de las muestras con la finalidad que estas presenten homogeneidad en color y compuestos bioactivos (antioxidantes).

b) CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La caracterización química del tomate de árbol incluyó los análisis de pH, acidez titulable (ácido cítrico), humedad y sólidos solubles, los resultados se presentan en la Tabla 103. Los datos de la caracterización química se presentan como el promedio de 10 repeticiones para la determinación de pH y acidez titulable, para el caso del análisis de humedad se consideró el promedio de tres repeticiones y en el caso del análisis de sólidos solubles el promedio de 20 repeticiones.

TABLA 103. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Caracterización Química	pH*	Ácido Cítrico* (%)	Humedad* (%)	Sólidos Solubles * (°Brix)
Promedio	3,75 ± 0,03	2,09± 0,05	87,16± 1,17	12,43±0,94
Coef. Variación (%)	0,75	2,35	0,01	7,58

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca.

Los parámetros químicos presentados en la Tabla 103, confirman los estudios realizados por Torres (2006), en donde se indica que la variedad de tomate de árbol Anaranjado Gigante presenta un pH de 3,76, un porcentaje de ácido cítrico de 1,87%, humedad del 87,16% y sólidos solubles 12,7°Brix, estas características de la fruta están influenciadas por las zonas de procedencia y el estado de madurez de las muestras en estudio.

4.1.1.5.2. FASE 2. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES

Dentro de la preparación de las muestras de tomate de árbol para el análisis de antioxidantes se realizó la determinación del porcentaje de rendimiento (Tabla 103), y el contenido de humedad (Tabla 104), permitiendo establecer la cantidad de muestra necesaria para el despulpado y liofilización. Se asumió que la fruta presenta un 87,16% de agua y que luego del proceso de sublimación esta debería presentar un contenido promedio de 5% de agua, tomando en cuenta que el rendimiento en peso de la misma es del 68,33%.

TABLA 104. RENDIMIENTO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE.

Muestra	Peso fruta (g)	Semilla (g)	Cáscara (g)	Pulpa (g)	Rendimiento* (%)
Promedio	103,18 ± 14,34	12,74 ± 1,15	19,15 ± 15,80	71,29 ± 23,63	68,33 ± 17,78
C. variación (%)	13,90	9,07	82,51	,33,15	26,03

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados reportados en base fresca.

El rendimiento promedio de cinco muestras de pulpa de tomate de árbol fue de 68,33%, similar a lo reportado por Torres (2006), quien presenta un valor de 71,93% para tomate de árbol Anaranjado Gigante.

Este parámetro es importante tanto para la industria como para la presente investigación por que permite establecer el porcentaje de fruta aprovechable para su consumo o procesamiento.

4.1.1.4.8. FASE 3. DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO

Los parámetros que definen el espacio de color CIELab, son representados por las diferentes características cromáticas: Luminosidad, parámetro a* y parámetro b*. En la tabla 105 se presenta las características cromáticas promedio de 15 muestras de tomate de árbol variedad Anaranjado Gigante.

TABLA 105. COORDENADAS DE COLOR INTERNO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE: LUMINOSIDAD (L*), PARÁMETRO a* Y PARÁMETRO b*.

Color	Luminosidad* (x)	Parámetro a*(x)	Parámetro b*(x)
Promedio	51,75 ± 2,93	9,06±0,71	32,68 ±2,83
Coef. Variación	5,67	7,84	8,65

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

(x) Los resultados son reportados en base fresca ± 15 desviaciones estándar.

Las coordenadas de color interno de tomate de árbol reportadas en la tabla muestran la tendencia de la fruta hacia el color rojo y amarillo.

En el Gráfico 69 se muestra una representación tridimensional de las coordenadas de color: luminosidad (L*), parámetro a* y b* para los valores promedio de color de tomate de árbol Anaranjado Gigante.

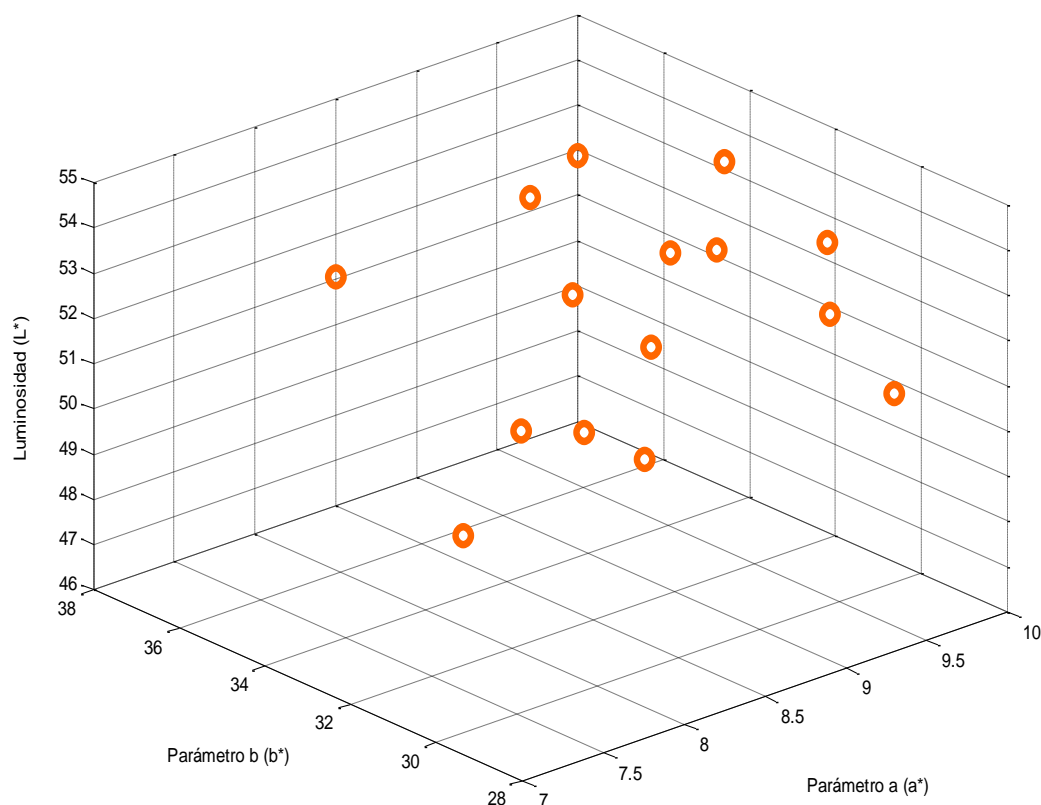


GRÁFICO 69. COORDENADAS DE COLOR INTERNO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE: LUMINOSIDAD (L*), PARÁMETRO a* Y PARÁMETRO b*.

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

4.1.1.4.9. FASE 4. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

a) ANTOCIANINAS TOTALES

Las antocianinas son el grupo más importante de pigmentos solubles en agua visibles para el ojo humano, estos compuestos polares imparten color rojo, morado y azul a las frutas. En los Gráficos 70 y 71, se observa el espectro UV en la región de 400 a 700 nm de extracto de tomate de árbol Anaranjado Gigante en solución tampón pH 1,0 y 4,5 de acuerdo al método de cuantificación de antocianinas por diferencia de pH aplicado por Rapisarda *et al.* (2000), en el que se puede observar que no existe absorción de luz en la región de 510 nm y 700 nm, por lo tanto se estableció que no existe presencia de dichos compuestos fenólicos en las muestras en estudio o su concentración es inferior al límite de detección del equipo, estos datos confirman lo estudios realizados por Torres (2006) y Mertz *et al.* (2009), en donde se indica que no existe presencia de estos componentes en cultivares de tomate de árbol

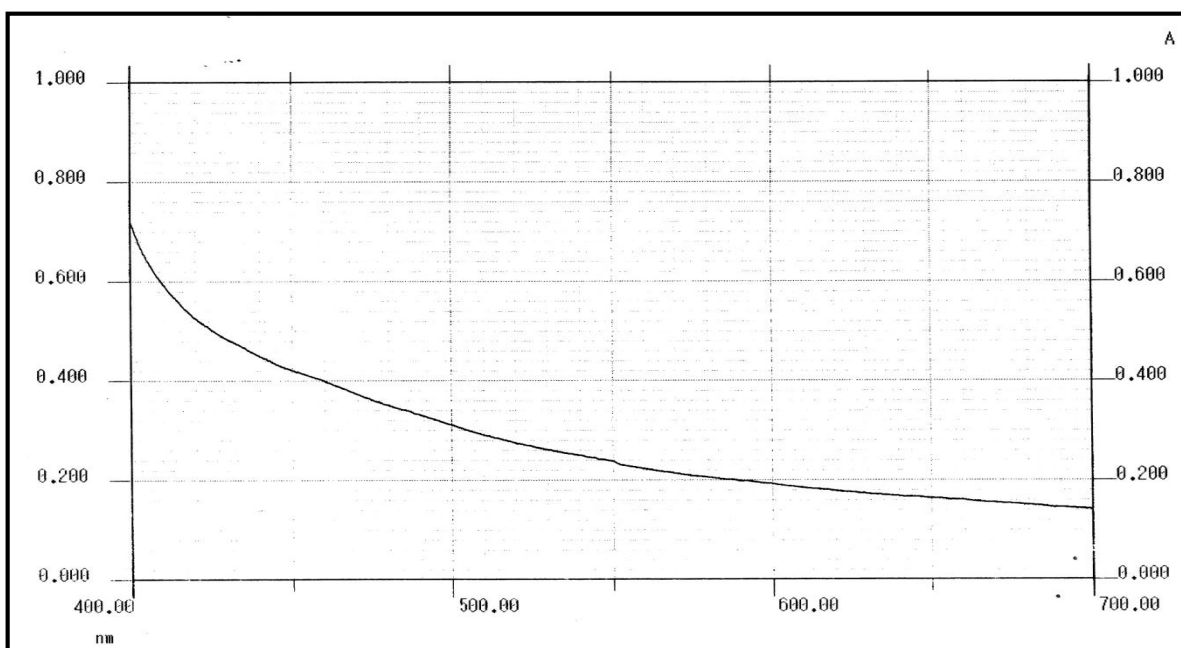


GRÁFICO 70. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE EN BUFFER pH 1,0

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

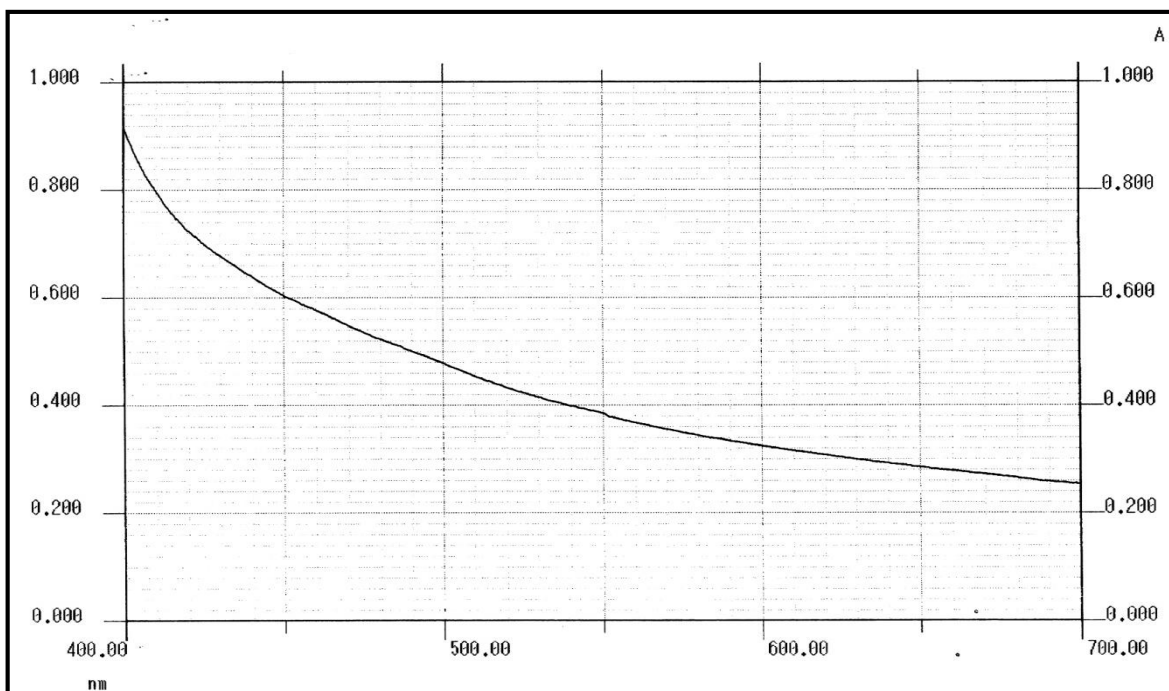


GRÁFICO 71. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE EN BUFFER pH 4,5

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

b) CAROTENOIDES TOTALES

Los carotenoides totales se determinaron espectrofotométricamente en base al método presentado por Sze e Indrawati (2012), el cual fue adaptado en el laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad para muestras de tomate de árbol Anaranjado Gigante.

Con la finalidad de optimizar el método de análisis se evaluó el porcentaje de extracción de estos compuestos en función del número de ciclos de extracción, estableciendo que para obtener el 100% de recuperación de los carotenoides totales de la muestra se necesita 6 ciclos de extracción de 30 minutos con una solución de hexano/acetona/etanol (50:25:25, v/v/v), mediante agitación magnética, como se muestra en el Gráfico 72.

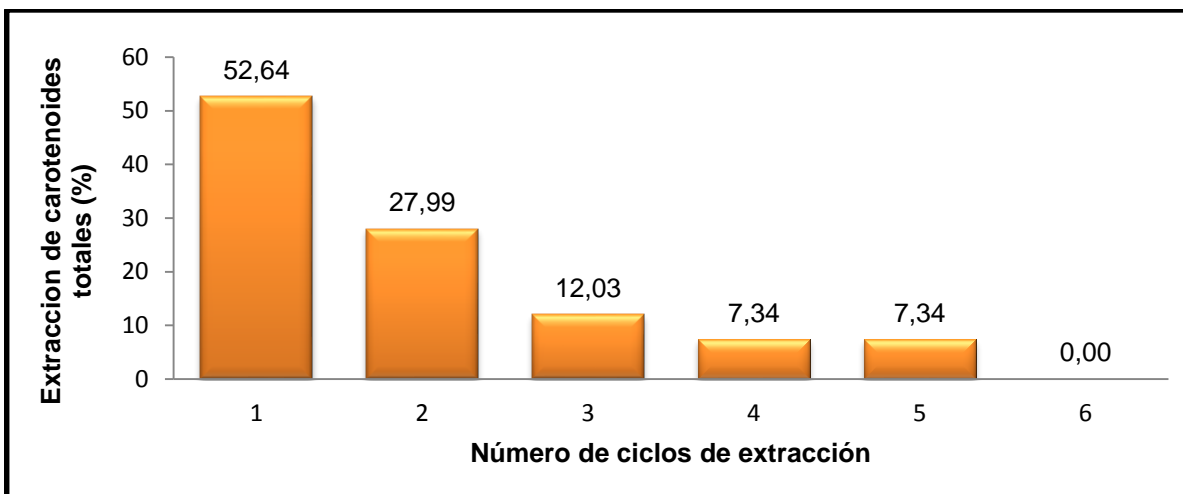


GRÁFICO 72. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Dentro de la optimización del método de análisis de carotenoides totales se determinó la repetibilidad del ensayo, para lo cual se realizó el análisis de una muestra con 6 réplicas de tomate de árbol liofilizado, los resultados se presenta en el Gráfico 73.

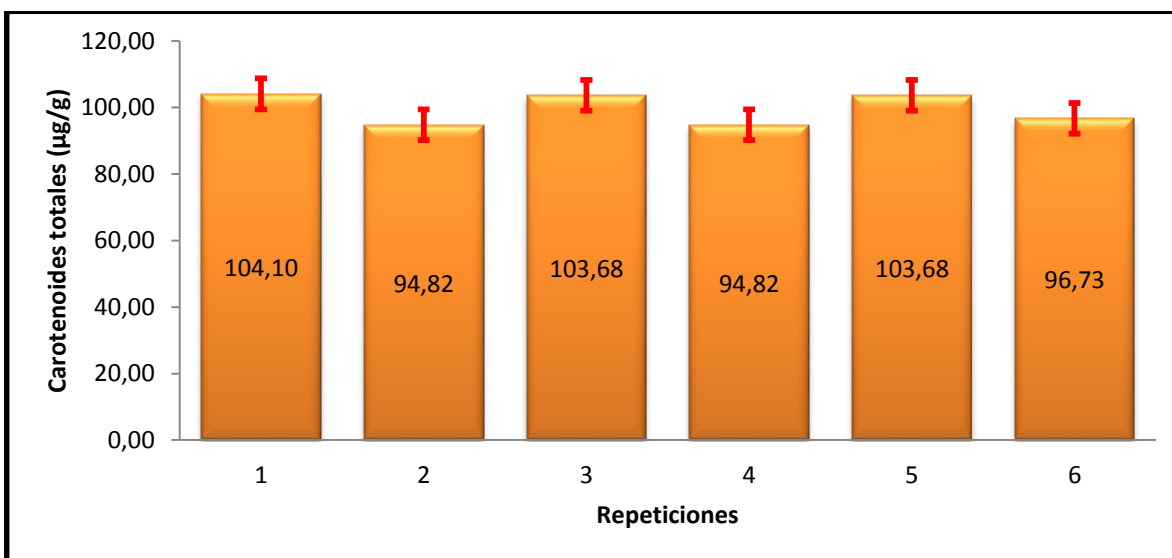


GRÁFICO 73. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Observando los resultados del Gráfico 73, se estableció que el contenido de carotenoides totales en la muestra de tomate de árbol varió entre 43,37 μg de β -caroteno/g y 52,61 μg de β -caroteno/g, con un promedio de 48,26 μg de β -caroteno/g y una desviación estándar de 4,53, por lo que se estableció que el método presenta una repetibilidad de $\pm 9,40\%$.

Con el método optimizado se procedió a la cuantificación de carotenoides totales en las 15 muestras de tomate de árbol por duplicado, los resultados promedio se presenta en la Tabla 106.

TABLA 106. CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE.

Muestra	Carotenoides Totales* (μg de β -Caroteno/g)
1	96,29 \pm 9,36
2	128,21 \pm 5,66
3	105,03 \pm 0,09
4	128,21 \pm 5,66
5	105,03 \pm 0,09
6	146,54 \pm 17,14
7	105,03 \pm 0,09
8	146,54 \pm 17,14
9	124,23 \pm 1,55
10	146,54 \pm 17,14
11	124,23 \pm 1,55
12	131,26 \pm 4,41
13	124,23 \pm 1,55
14	131,26 \pm 4,41
15	105,01 \pm 5,99

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca \pm desviación estándar de 2 repeticiones.

El contenido de carotenoides totales promedio obtenido en las 15 muestras de tomate de árbol procedente de la provincia de Tungurahua fue de 123,16 \pm 16,61 μg de β -caroteno/g, estos resultados confirman los estudios presentados por Mertz *et al.* (2009), en donde se indica que el contenido de carotenoides en muestras de tomate de árbol Anaranjado Gigante del Ecuador fue de 15,07 μg de β -caroteno/g

de muestra fresca, el cual corresponde a 117,37 μg de β -caroteno/g de muestra seca.

c) POLIFENOLES TOTALES

Para la evaluación del contenido de polifenoles totales en las muestras de tomate de árbol variedad Anaranjado Gigante se empleó el método publicado por Slinkard y Singleton (1967), la extracción de los polifenoles fue realizada en una solución de acetona al 70% y la cuantificación se efectuó por colorimetría utilizando el reactivo de Folin&Ciocalteu. El análisis cuantitativo de los polifenoles se realizó utilizando una curva estándar de calibración con ácido gálico (Gráfico 74) y los resultados se reportaron como mg de ácido gálico por 100 g de muestra seca.

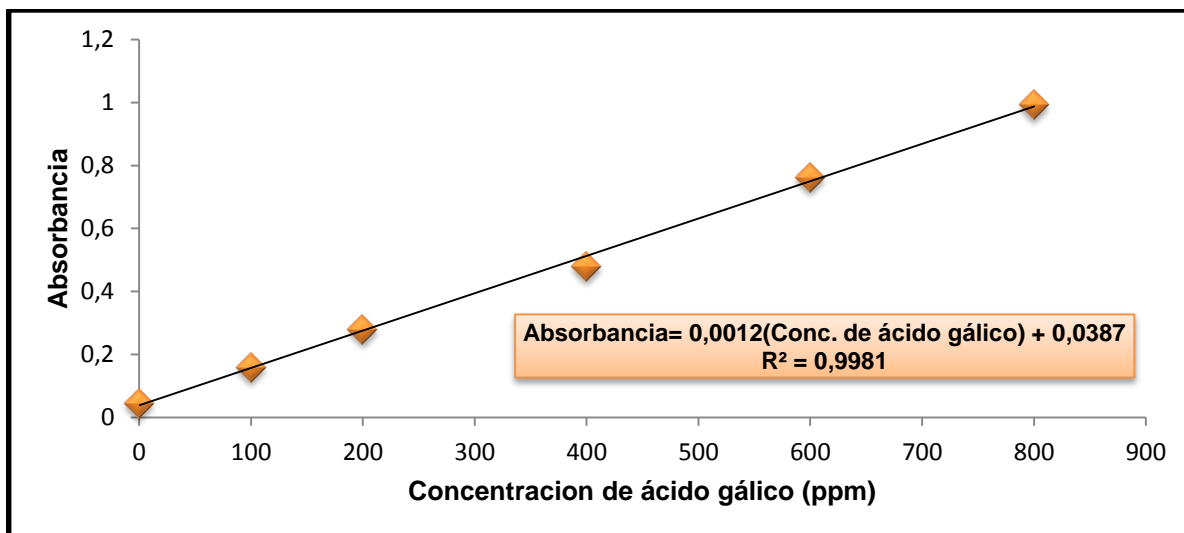


GRÁFICO 74. CURVA DE CALIBRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES PARA TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera dentro de la optimización del método de análisis se determinó el porcentaje de recuperación del analito, este proceso se realizó estableciéndose el número de ciclos de extracción para obtener el 100% de recuperación. Los ensayos realizados mostraron que para obtener el 100% de recuperación de los polifenoles en las muestras de tomate de árbol se requieren 3 ciclos de extracción de 45

minutos con agitación magnética en la solución de acetona-agua (70/30, v/v), como se observa en el Gráfico 75.

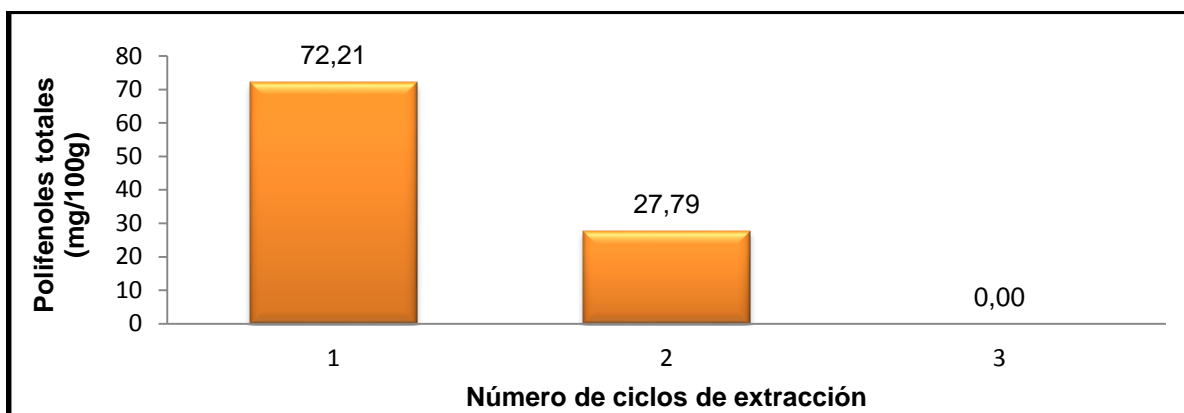


GRÁFICO 75. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Mediante la optimización del proceso de extracción de polifenoles se ajustó los datos obtenidos durante la cuantificación de antioxidantes reduciendo el error experimental, además permitió que los valores sean comparables bibliográficamente.

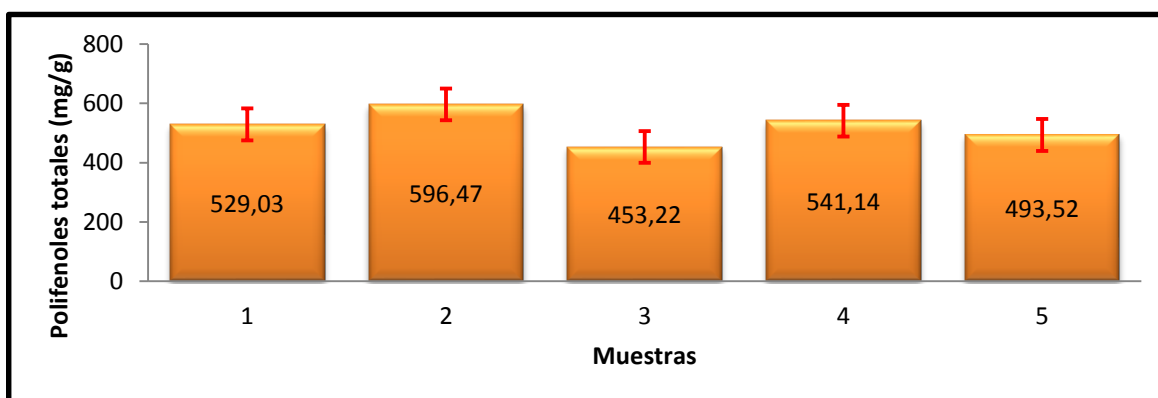


GRÁFICO 76. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En el Gráfico 76, se observa los resultados del ensayo de repetibilidad para la cuantificación de polifenoles totales en una muestra de tomate de árbol; el análisis

se realizó por quintuplicado, obteniendo un valor promedio de $522,68 \pm 53,62$ mg de ácido gálico/100g y un coeficiente de variación 10,26%. Estos resultados son superiores a los esperados para el rango de concentración medidas (0,01 a 0,1%) por el método de análisis en función de la ecuación de Horwitz que relaciona el coeficiente de variación con la concentración, en donde se indica que a este nivel la variación debe ser del 5 al 8%. Esta variación se explica debido a que el método utilizado para la determinación de polifenoles incluye pasos de purificación de los extractos mediante cromatografía de fase sólida con ayuda de cartuchos C18, estableciéndose que existen problemas de repetibilidad por el efecto de la matriz en la retención de los analitos en estudio, por lo cual se observó una variación importante en los resultados.

En la Tabla 107, se presenta los valores promedio de polifenoles totales para tomate de árbol Anaranjado Gigante. Las 15 muestras fueron evaluadas por triplicado aplicando el método previamente optimizado.

TABLA 107. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Polifenoles totales * (mg ácido gálico/100g)
1	1053,52 ± 146,70
2	1099,87 ± 113,06
3	1045,59 ± 151,61
4	1099,87 ± 113,06
5	1045,59 ± 151,61
6	1055,63 ± 184,41
7	1045,59 ± 151,61
8	1055,63 ± 184,41
9	1042,01 ± 85,31
10	1055,63 ± 184,41
11	1042,01 ± 85,31
12	1004,49 ± 211,46
13	1042,01 ± 85,31
14	1004,49 ± 211,46
15	1249,66 ± 19,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de polifenoles totales en tomate de árbol Anaranjado Gigante es $1062,77 \pm 57,87$ mg de ácido gálico/100g en base seca que corresponde a $136,36 \pm 7,43$ mg de ácido gálico/100g en base fresca, estos resultados son superiores a los reportado por Torres (2006), quien presenta un valor de polifenoles de 84 mg de ácido gálico/100g en muestra fresca, pero no se presenta los datos de recuperación para ajustar los mismos al 100%.

d) VITAMINA C

La cuantificación de vitamina C se realizó con agua destilada y agitación magnética durante 30 minutos a temperatura ambiente, la repetibilidad del método fue evaluada realizando un ensayo por cuadruplicado de una muestra de tomate de árbol variedad Anaranjado Gigante, obteniendo un valor promedio de $237,73 \pm 21,30$ mg de ácido ascórbico/100g de muestra seca.

En el Gráfico 77, se presenta los valores de repetibilidad del método reflectométrico para la cuantificación de vitamina C.

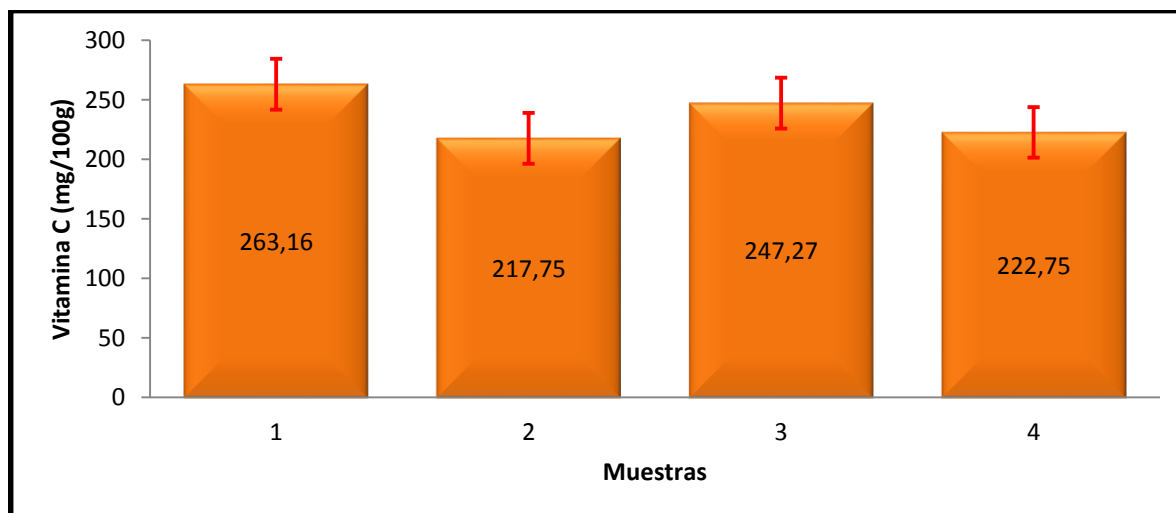


GRÁFICO 77. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Dentro de la optimización del método se determinó la repetibilidad del mismo con la finalidad de establecer la desviación de los datos, las condiciones experimentales

que influyen frecuentemente son el desempeño del analista en el laboratorio, la homogeneidad de las muestras en estudio y la sensibilidad del método de evaluación aplicado.

Una vez establecido el error experimental se procedió a la cuantificación de la vitamina C en 15 muestras de tomate de árbol como se observa en la Tabla 108.

TABLA 108. CONTENIDO DE VITAMINA C EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE EN BASE SECA

Muestra	Vitamina C* (mg de ácido ascórbico/100g)
1	217,53
2	170,95
3	206,87
4	217,08
5	191,71
6	191,55
7	218,11
8	144,51
9	210,92
10	212,70
11	217,12
12	169,86
13	207,17
14	176,35
15	155,12

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados de la tabla 108, muestran que el contenido promedio obtenido de vitamina C fue de $193,84 \pm 24,75$ mg de ácido ascórbico/100g de muestra seca lo que corresponde a un $24,88 \pm 3,18$ en base fresca, similar a lo reportado por Torres (2006) que presentó valores de $33,19 \pm 19$ mg de ácido ascórbico/100g en muestra fresca, pero se observó que la desviación de los valores reportados por este autor son superiores a los estimados para el rango de medición.

En resumen en la Tabla 109, se presenta el contenido promedio de antioxidantes en el tomate de árbol variedad Anaranjado Gigante.

TABLA 109. CONTENIDO DE PROMEDIO DE ANTIOXIDANTES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.) VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Caracterización Química	Antocianinas totales (mg/100g)*	Carotenoides totales (µg/g)*	Polifenoles totales (mg/100g)*	Vitamina C (mg/100g)*
Promedio	No Detectable	123,18 ± 16,61	1062,77±57,87	193,84± 24,75
Coef. Variación		13,49	51,77	18,43

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 15 repeticiones.

4.1.1.5.5. FASE 5. DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS

a) CAROTENOIDES TOTALES

Con la finalidad de desarrollar el modelo matemático predictivo se elaboró una matriz con los datos de medición de las coordenadas cromáticas (L*, a* y b*) y el contenido de carotenoides totales como se muestra en la Tabla 110.

TABLA 110. MATRIZ DE RESULTADOS DE CAROTENOIDES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
1	53,40	9,02	32,16	96,29
2	53,30	9,96	34,41	128,21
3	49,58	9,24	35,82	105,03
4	50,85	8,22	31,14	128,21
5	53,68	8,12	29,19	105,03
6	46,89	9,27	35,87	146,54
7	53,51	9,42	35,81	105,03
8	44,96	8,55	35,44	146,54
9	51,40	9,40	28,38	124,23
10	53,07	10,06	36,74	146,54
11	56,07	8,03	33,14	124,23
12	55,03	9,62	31,13	131,26
13	51,40	7,98	29,73	124,23
14	52,54	9,78	31,64	131,26
15	50,58	9,21	29,64	105,01

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

A partir de la Tabla 110, se realizó el análisis de regresión múltiple en función de los datos del color y el contenido de carotenoides presentados en la matriz.

Los resultados obtenidos en función de las variables X (componentes de color) y de la variable Y (carotenoides totales) para tomate de árbol variedad Anaranjado Gigante permitieron calcular la ecuación matemática (Ecuación 31) que relaciona las variables en estudio de las 15 muestras de tomate de árbol Anaranjado Gigante.

$$CT = 150,04 - 1,84L^* + 3,20a^* + 1,20b^* \text{ (Ecuación 31)}$$

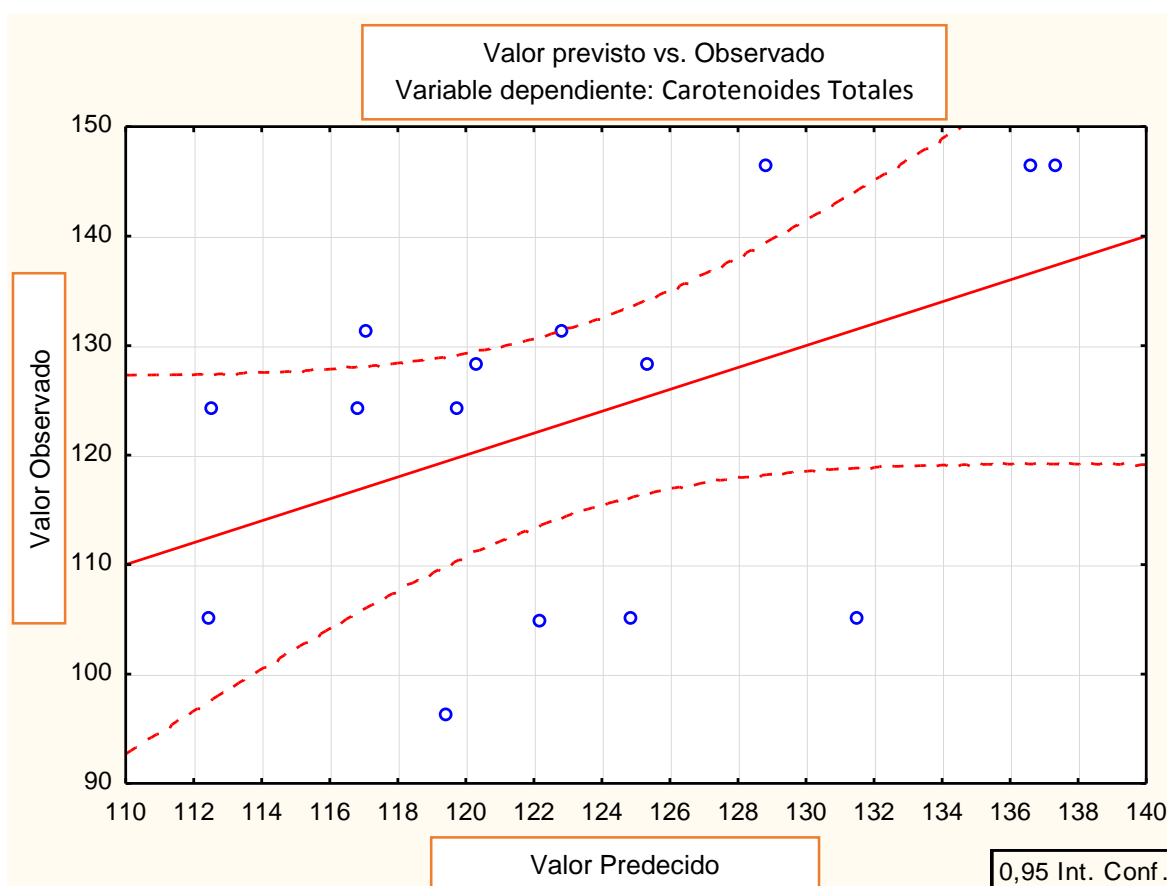


GRÁFICO 78. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Posteriormente se evaluó la robustez del modelo en función del coeficiente de correlación (r^2), obteniéndose un r^2 de 0,22, por lo cual se consideró que la correlación obtenida está por debajo del valor aceptado para realizar modelos de predicción, puesto que esta correlación significa que el modelo explica el 22 % del comportamiento de los datos, concluyéndose que existe datos dispersos (Gráfico 78).

Con la finalidad de alcanzar un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$) se evaluó el efecto del error experimental y la heterogeneidad de las muestras en la correlación de las variables, se aplicó un análisis de residuos entre el valor de carotenoides totales experimental y el estimado mediante la Ecuación 31, como se observa en el Gráfico 78, a partir del cual se escujo una población de características homogéneas seleccionando las muestras 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 (valores de desviación inferiores a 2σ). Esta población permitió elaborar una segunda matriz de correlación entre los componentes de color y el contenido de carotenoides.

De igual manera, dentro del proceso de ajuste del modelo matemático para alcanzar una correlación superior al 70% entre las variables, se evaluó el efecto de las variables independientes (X) sobre el contenido de carotenoides (Y) de las muestras en estudio, para esto se aplicó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student como se observa en la Tabla 111.

TABLA 111. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Hipótesis	t _{student}	Valor crítico
B1=0	-1,15	2,20
B2=0	0,006	
B3=0	0,0006	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Estadísticamente se determinó que no existe una influencia significativa de los coeficientes parciales en el contenido de carotenoides totales debido a que ninguno de los parámetros aporta individualmente para los fines de predicción, el valor crítico

t de student (valor bibliográfico) es de 2,20 superior al valor calculado para las variables independientes, por lo cual el modelo se realizó utilizando las tres coordenadas de color.

Finalmente, utilizando las 9 muestras (Tabla 112) escogidas en función del análisis de residuos entre las variables en estudio, se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple para establecer la ecuación matemática final (Ecuación 32).

TABLA 112. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA CAROTENOIDES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
4	50,85	8,22	31,14	128,21
6	46,89	9,27	35,87	146,54
8	44,96	8,55	35,44	146,54
9	51,40	9,40	28,38	124,23
10	53,07	10,06	36,74	146,54
11	56,07	8,03	33,14	124,23
12	55,03	9,62	31,13	131,26
13	51,40	7,98	29,73	124,23
14	52,54	9,78	31,64	131,26

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

Los resultados del análisis de regresión múltiple utilizando las muestras seleccionadas permitieron un mejor ajuste de los datos (Gráfico 79), presentando un coeficiente de correlación (r^2) de 0,98 (Ecuación 32); considerándose como una correlación positiva fuerte.

$$CT = 79,29 - 1,12L * + 3,93a * + 2,35b * \text{ (Ecuación 32)}$$

En base a la Ecuación 32, se realizó la predicción del contenido de carotenoides totales utilizando el modelo matemático desarrollado para tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), variedad Anaranjado Gigante como se observa en la Tabla 113.

TABLA 113. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Carotenoides totales (μg de β -caroteno/g)		Desviación Estándar	Promedio ($\mu\text{g}/\text{g}$)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimental				
4	128,32	128,21	0,08	128,27	0,06	0,09
6	146,32	146,54	0,16	146,43	0,11	0,15
8	146,04	146,54	0,35	146,29	0,24	0,34
9	124,87	124,23	0,46	124,55	0,37	0,52
10	142,10	146,54	3,14	144,32	2,17	3,07
11	125,21	124,23	0,70	124,72	0,56	0,79
12	126,49	131,26	3,37	128,88	2,62	3,70
13	124,00	124,23	0,16	124,11	0,13	0,18
14	131,27	131,26	0,00	131,27	0,00	0,00

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo fue evaluada en base a parámetros estadísticos como coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) entre el valor estimado y el valor experimental (Tabla 114, Gráfico 79).

TABLA 114. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Estadístico	CAROTENOIDES TOTALES (μg β -caroteno /g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,98
Error experimental (EE)/ de predicción (EP)	4,65	1,95

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

El coeficiente de determinación del modelo matemático para la predicción del contenido de carotenoides totales presentó un valor de 0,98, lo que demostró que el modelo matemático explica el 98% de los datos, en función de los parámetros L^* , a^* y b^* como se muestra en el Gráfico 79.

De igual manera, el error de predicción obtenido fue de 1,95% estableciendo que cada vez que se realice la predicción matemática los valores presentarán una desviación de $\pm 1,95$ ($\mu\text{g/g}$), el mismo que es inferior a la desviación obtenida al realizar experimentalmente el ensayo en el laboratorio (4,50%), demostrándose que el método es robusto.

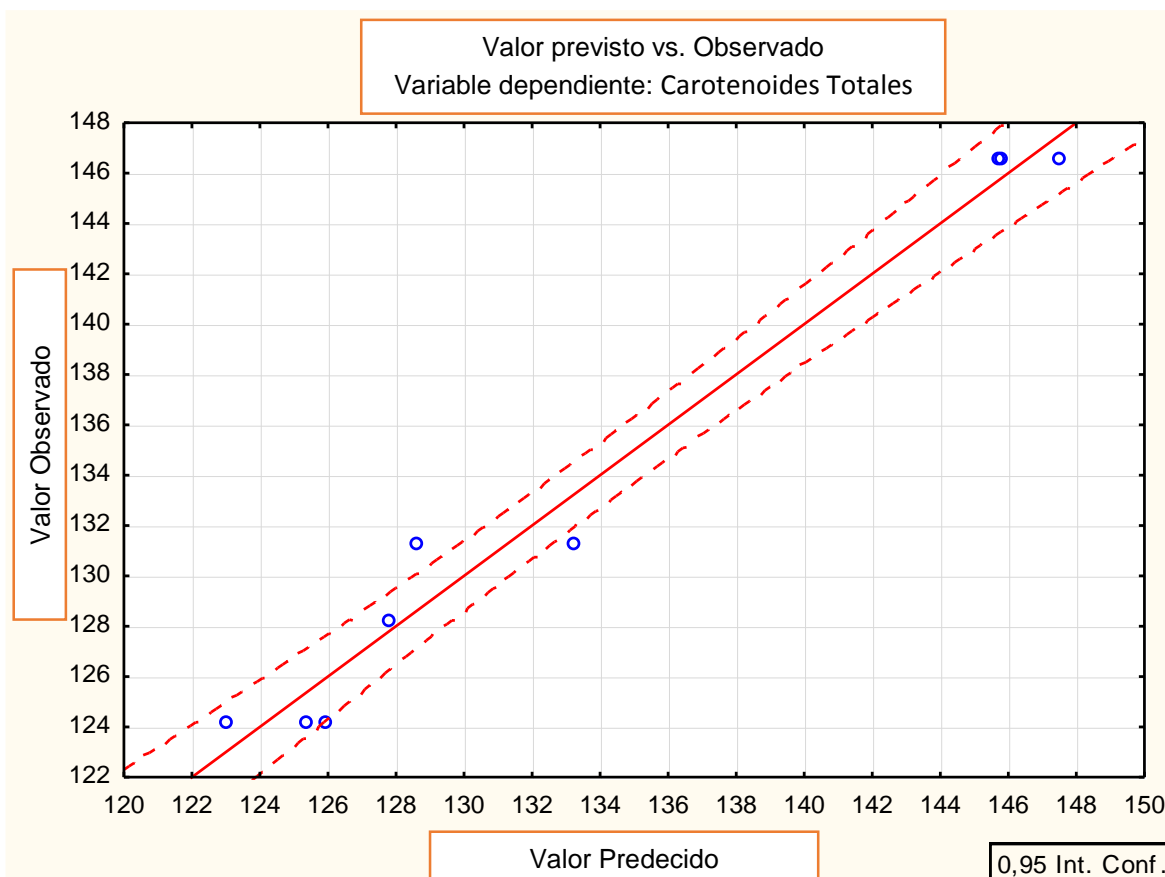


GRÁFICO 79. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β - caroteno/g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El coeficiente de variación de Horwitz (Anexo 9) es un valor de referencia para el control de calidad y evaluación del desempeño, se emplea para normalizar el cálculo en la dispersión de resultados de medición a través de la incertidumbre. En concentraciones de $\mu\text{g/g}$ se acepta un error del 16%, estableciendo que tanto

experimentalmente como matemáticamente se obtiene un error dentro de los límites aceptables para las concentraciones medidas, como se muestra en la Tabla 114.

b) POLIFENOLES TOTALES

Continuando con el desarrollo de modelos matemáticos de predicción se elaboró una matriz con los datos de medición de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el contenido de polifenoles totales de referencia (medidos en el laboratorio), Tabla 115.

TABLA 115. MATRIZ DE RESULTADOS DE POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	53,40	9,02	32,16	1053,52
2	53,30	9,96	34,41	1099,87
3	49,58	9,24	35,82	1045,59
4	50,85	8,22	31,14	1099,87
5	53,68	8,12	29,19	1045,59
6	46,89	9,27	35,87	1055,63
7	53,51	9,42	35,81	1045,59
8	44,96	8,55	35,44	1055,63
9	51,40	9,40	28,38	1042,01
10	53,07	10,06	36,74	1055,63
11	56,07	8,03	33,14	1042,01
12	55,03	9,62	31,13	1004,49
13	51,40	7,98	29,73	1042,01
14	52,54	9,78	31,64	1004,49
15	50,58	9,21	29,64	1249,66

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

A partir de la matriz de resultados (Tabla 115) se realizó un análisis de regresión múltiple en función de las variables independientes (componentes de color) y la variable dependiente (polifenoles totales), obteniéndose la ecuación matemática (Ecuación 33) que relaciona las variables en estudio.

$$PT = 1143,19 - 1,18L^* - 4,13a^* + 0,21b^* \quad (\text{Ecuación 33})$$

De igual manera, la robustez del modelo se evaluó en función del coeficiente de correlación (r^2), cuyo valor fue de 0,11, considerándose que la correlación obtenida está por debajo del valor aceptado para el desarrollo de modelos de predicción, puesto que esta correlación significa que el modelo explica el 11% del comportamiento de los datos, determinándose que existe datos dispersos dentro de la matriz de correlación (Gráfico 80).

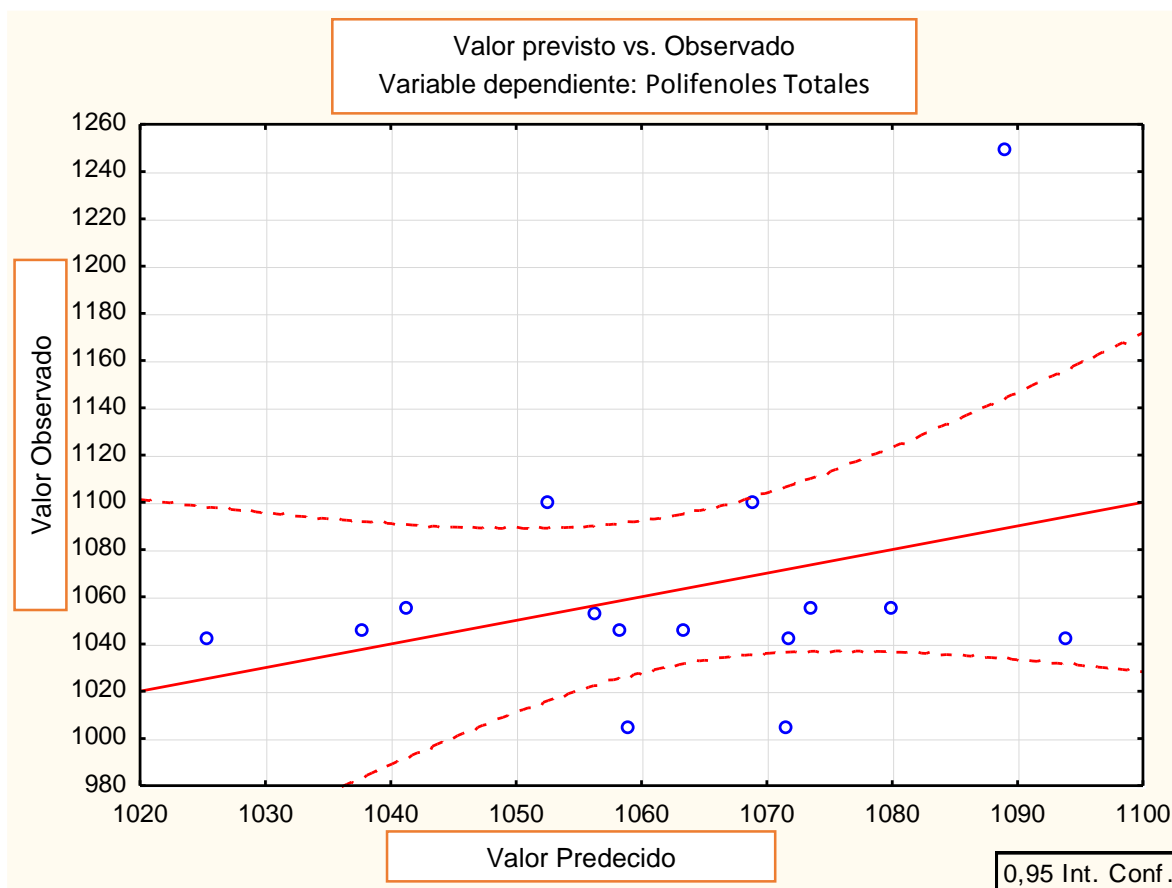


GRÁFICO 80. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con el objetivo de ajustar el coeficiente de correlación hasta un valor superior al 70% ($r^2 > 0,70$) se evaluó el efecto del error experimental y la heterogeneidad de las muestras en la correlación de los parámetros de color (L^* , a^* , y b^*) y el contenido de polifenoles, mediante un análisis de residuos entre el valor de polifenoles totales

de referencia y el valor estimado matemáticamente a partir de la Ecuación 33, como se observa en el Gráfico 80. En base a los resultados del análisis de residuos se seleccionó una población de características homogéneas, estableciendo que las muestras 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 13 presentan valores de desviación inferiores a 2σ .

Dentro de la optimización del modelo matemático para alcanzar una correlación superior al 70% entre las variables en estudio, se aplicó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student como se observa en la Tabla 116.

TABLA 116. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE.

Hipótesis	t student	Valor critico
B1=0	-0,95	2,20
B2=0	0,001	
B3=0	-	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base al análisis estadístico se estableció que los parámetros L^* , a^* y b^* no presentan un aporte individual durante el desarrollo de la ecuación matemática de predicción de compuestos antioxidantes (polifenoles totales); ya que el valor t de student calculado de los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) es inferior al valor bibliográfico (2,20).

Finalmente, se estableció que el modelo matemático para polifenoles totales debe elaborarse empleando las tres coordenadas de color y las muestras seleccionadas en función del análisis de residuos entre las variables en estudio. A partir de estos resultados se estructuró una segunda matriz de resultados ajustados (Tabla 117), con la finalidad de realizar un nuevo análisis de regresión multivariado que permitió obtener la ecuación matemática final (Ecuación 34), cuyo coeficiente de determinación ($r^2=0,75$) presentó un mejor ajuste de los datos como se observa en el Gráfico 81, determinándose que los valores obtenidos explican el 75% del comportamiento de los datos al relacionar los parámetros L^* , a^* y b^* y el contenido de polifenoles totales.

TABLA 117. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	53,40	9,02	32,16	1053,52
2	53,30	9,96	34,41	1099,87
3	49,58	9,24	35,82	1045,59
5	53,68	8,12	29,19	1045,59
6	46,89	9,27	35,87	1055,63
7	53,51	9,42	35,81	1045,59
8	44,96	8,55	35,44	1055,63
10	53,07	10,06	36,74	1055,63
13	51,40	7,98	29,73	1042,01

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

$$PT = 1247,55 - 5,53L^* + 53a^* - 11,51b^* \text{ (Ecuación 34)}$$

Utilizando el modelo matemático final (Ecuación 34), se realizó la predicción del contenido de polifenoles totales para tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), variedad Anaranjado Gigante en función de los datos de color, como se observa en la Tabla 118.

TABLA 118. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Polifenoles Totales (mg de ácido gálico/100g)		Desviación Estándar	Promedio (µg/g)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
1	1060,28	1053,52	4,78	1056,90	0,45	0,64
2	1084,62	1099,87	10,78	1092,25	0,99	1,40
3	1050,79	1045,59	3,68	1048,19	0,35	0,50
5	1045,10	1045,59	0,34	1045,34	0,03	0,05
6	1066,65	1055,63	7,79	1061,14	0,73	1,04
7	1038,73	1045,59	4,85	1042,16	0,46	0,66
8	1043,97	1055,63	8,25	1049,80	0,79	1,11
10	1064,71	1055,63	6,42	1060,17	0,61	0,86
13	1044,19	1042,01	1,55	1043,10	0,15	0,21

Los parámetros estadísticos que permitieron evaluar la robustez del modelo de predicción obtenido a partir de la matriz de resultados ajustados fueron: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV), (Tabla 119, Gráfico 81).

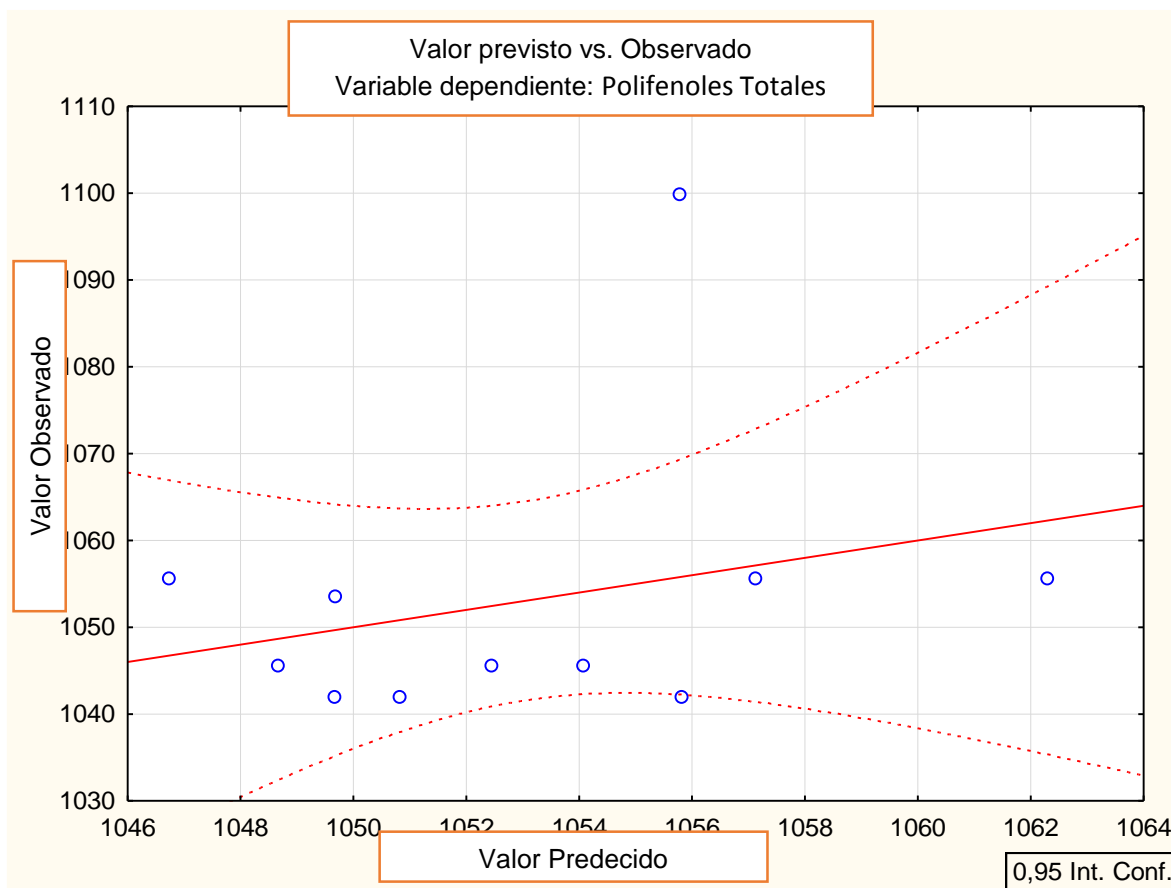


GRÁFICO 81. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico /100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Estos resultados demostraron que existe una correlación aceptable ($r^2=0,75$) entre los valores predichos por el modelo matemático y los valores experimentales para el contenido de polifenoles totales, con un error de predicción de 0,72%; el mismo que es inferior al error obtenido experimentalmente en el laboratorio de 10,26%.

TABLA 119. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POLIFENOLES TOTALES EXPERIMENTAL (mg de ácido gálico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Estadístico	POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico /100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coefficiente de correlación (r^2)		0,75
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	10,26	0,72

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La precisión de los resultados obtenidos por el modelo matemático se valoró en función del coeficiente de variación mediante la ecuación de Horwitz (Anexo 9), con la finalidad de evaluar el efecto del error experimental y la incertidumbre de los datos en la predicción de este antioxidante, concluyendo que la ecuación desarrollada es robusta puesto que presenta un valor dentro del límite aceptado para la medición de concentraciones en mg/100g (CV Horwitz $\leq 8\%$). Por el contrario, en los ensayos de laboratorio se obtuvo un error experimental que supera el valor aceptable para estas concentraciones, este error es atribuido al método empleado en la cuantificación de polifenoles, puesto que el mismo involucra la realización de varios pasos para preparar la muestra, siendo más susceptible a errores por parte del analista.

c) VITAMINA C

De igual manera con los resultados obtenidos en el laboratorio se procedió al desarrollo del modelo matemático, elaborándose la matriz de coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) en función de los valores de referencia de vitamina C, como se muestra en la Tabla 120.

Utilizando la matriz de resultados y considerando a los componentes de color como variables independientes y el contenido de vitamina C como variable dependiente se estableció la ecuación matemática (Ecuación 35) mediante un análisis de regresión múltiple con la finalidad de explicar el comportamiento de las variables en estudio.

TABLA 120. MATRIZ DE RESULTADOS DE VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	53,40	9,02	32,16	217,53
2	53,30	9,96	34,41	170,95
3	49,58	9,24	35,82	206,87
4	50,85	8,22	31,14	217,08
5	53,68	8,12	29,19	191,71
6	46,89	9,27	35,87	191,55
7	53,51	9,42	35,81	218,11
8	44,96	8,55	35,44	144,51
9	51,40	9,40	28,38	210,92
10	53,07	10,06	36,74	212,70
11	56,07	8,03	33,14	217,12
12	55,03	9,62	31,13	169,86
13	51,40	7,98	29,73	207,17
14	52,54	9,78	31,64	176,35
15	50,58	9,21	29,64	155,12

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El modelo de regresión obtenido (Ecuación 35) presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,29, determinándose que la ecuación desarrollada explica el comportamiento de la variable dependiente (vitamina C) en función de los componentes de color (L^* , a^* y b^*) en un 29%, como se muestra en el Gráfico 82.

$$VC = -7,25 + 4,32L^* - 12,24a^* + 2,71b^* \text{ (Ecuación 35)}$$

Posteriormente, se realizó un análisis de residuos y de homogeneidad de los resultados, escogiéndose una población de datos con características homogéneas y con un error experimental $\leq 2\sigma$ (muestras 1, 3, 4, 6, 7, 10, 13 y 14), que permita ajustar el modelo de regresión hasta un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$).

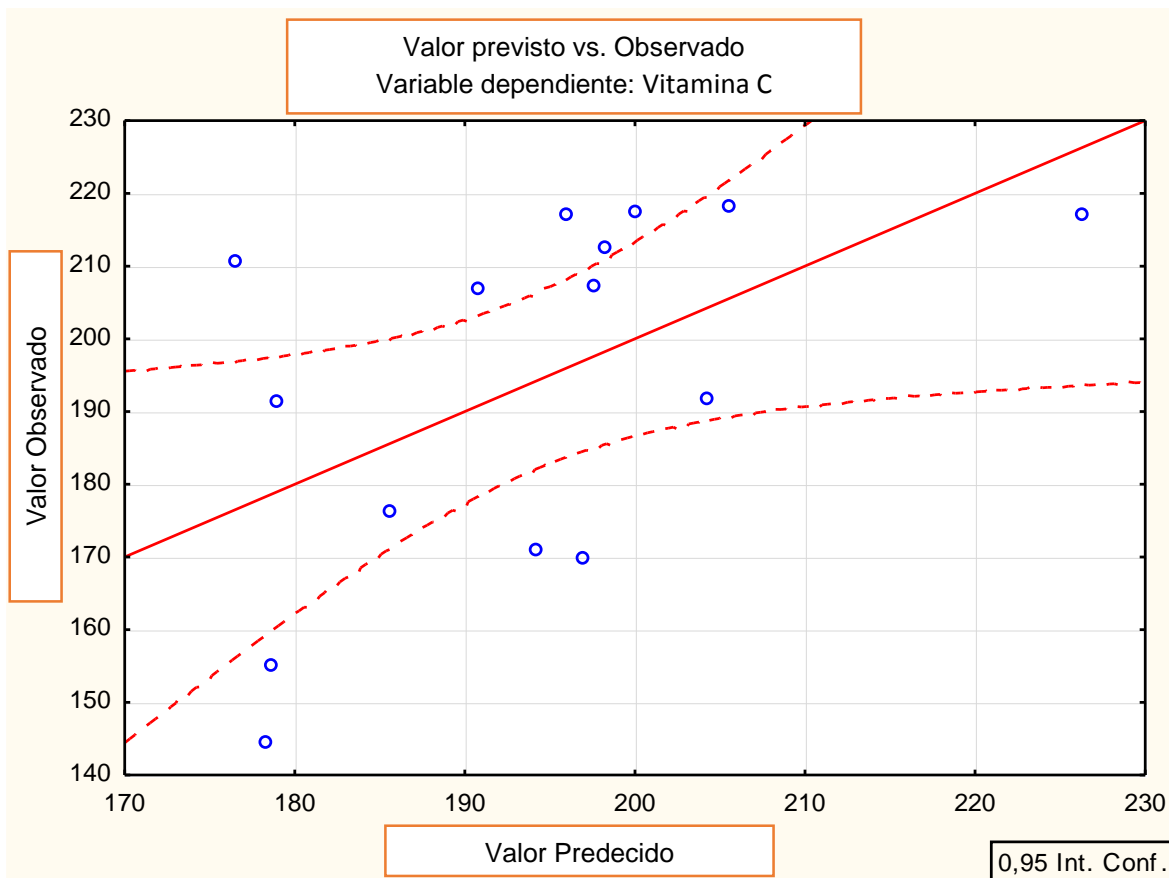


GRÁFICO 82. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera, con el mismo objetivo de incrementar la correlación entre las variables independientes y dependientes se realizó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student como se observa en la Tabla 121.

TABLA 121. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE VITAMINA C EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Hipótesis	t_{student}	Valor crítico
B1=0	1,90	2,20
B2=0	-	
B3=0	0,0003	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

A partir del parámetro estadístico t de student se determinó que los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) no aportan individualmente en el desarrollo de la ecuación matemática de predicción de vitamina C; ya que el valor t de student calculado para los componentes de color es inferior al valor bibliográfico (2,20). En conclusión el modelo de predicción para vitamina C debe realizarse utilizando las tres coordenadas de color y las muestras seleccionadas en función del análisis de residuos.

Una vez seleccionada la población con características homogéneas mediante el análisis de residuos y al aplicar la prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) se planteó una segunda matriz de correlación como se muestra en la Tabla 122.

TABLA 122. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	53,40	9,02	32,16	217,53
3	49,58	9,24	35,82	206,87
4	50,85	8,22	31,14	217,08
6	46,89	9,27	35,87	191,55
7	53,51	9,42	35,81	218,11
10	53,07	10,06	36,74	212,70
13	51,40	7,98	29,73	207,17
14	52,54	9,78	31,64	176,35

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

A partir de esta matriz ajustada de vitamina C en función de los componentes de color (Tabla 122) se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple que permitió obtener la ecuación matemática final (Ecuación 36) cuyo coeficiente de determinación (r^2) fue de 0,89 (Gráfico 83), determinándose que el 89% de los datos del contenido de vitamina C predichos son explicados por el modelo desarrollado.

$$VC = -53,42 + 5,73L^* - 29,35a^* + 6,91b^* \text{ (Ecuación 36)}$$

Finalmente se empleo el modelo matemático ajustado (Ecuación 36) en la predicción del contenido de vitamina C para muestras de tomate de árbol (*Solanum*

betaceum Cav.), variedad Anaranjado Gigante en función de los parámetros de color interno, como se observa en la Tabla 123.

TABLA 123. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Muestra	Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g)		Desviación Estándar	Promedio	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
1	210,33	217,53	5,09	213,93	2,38	3,37
3	207,33	206,87	0,33	207,10	0,16	0,22
4	212,14	217,08	3,49	214,61	1,63	2,30
6	191,41	191,55	0,10	191,48	0,05	0,08
7	224,54	218,11	4,54	221,32	2,05	2,90
10	209,46	212,70	2,29	211,08	1,09	1,54
13	212,60	207,17	3,84	209,88	1,83	2,59
14	179,56	176,35	2,27	177,95	1,28	1,80

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción de vitamina C fue evaluado en base a parámetros estadísticos como el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV). En la Tabla 124 se presenta la comparación entre los valores de vitamina C predecidos y los valores experimentales de referencia.

TABLA 124. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VITAMINA C EXPERIMENTAL (mg ácido ascórbico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE

Estadístico	VITAMINA C (mg de ácido ascórbico /100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,89
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	6,79	1,85

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

De igual manera la precisión del modelo matemático desarrollado para vitamina C fue evaluado en función de la ecuación de Horwitz, la misma que indica que para

las concentraciones medidas (mg/100g) se acepta valores de coeficiente de variación $\leq 8\%$, demostrándose que el modelo desarrollado es robusto (Ecuación 36) , puesto que los valores predecidos matemáticamente para este antioxidante presentaron un error de predicción de 1,85%, el mismo que está dentro de los límites aceptables por dicha relación (CV de Horwitz). El error experimental obtenido en los ensayos de laboratorio para la determinación de vitamina C fue de 6,79%, superior al error de predicción, demostrándose que el método reflectométrico utilizado para la determinación de este antioxidante presenta un error experimental alto con respecto a los resultados predecidos por el modelo.

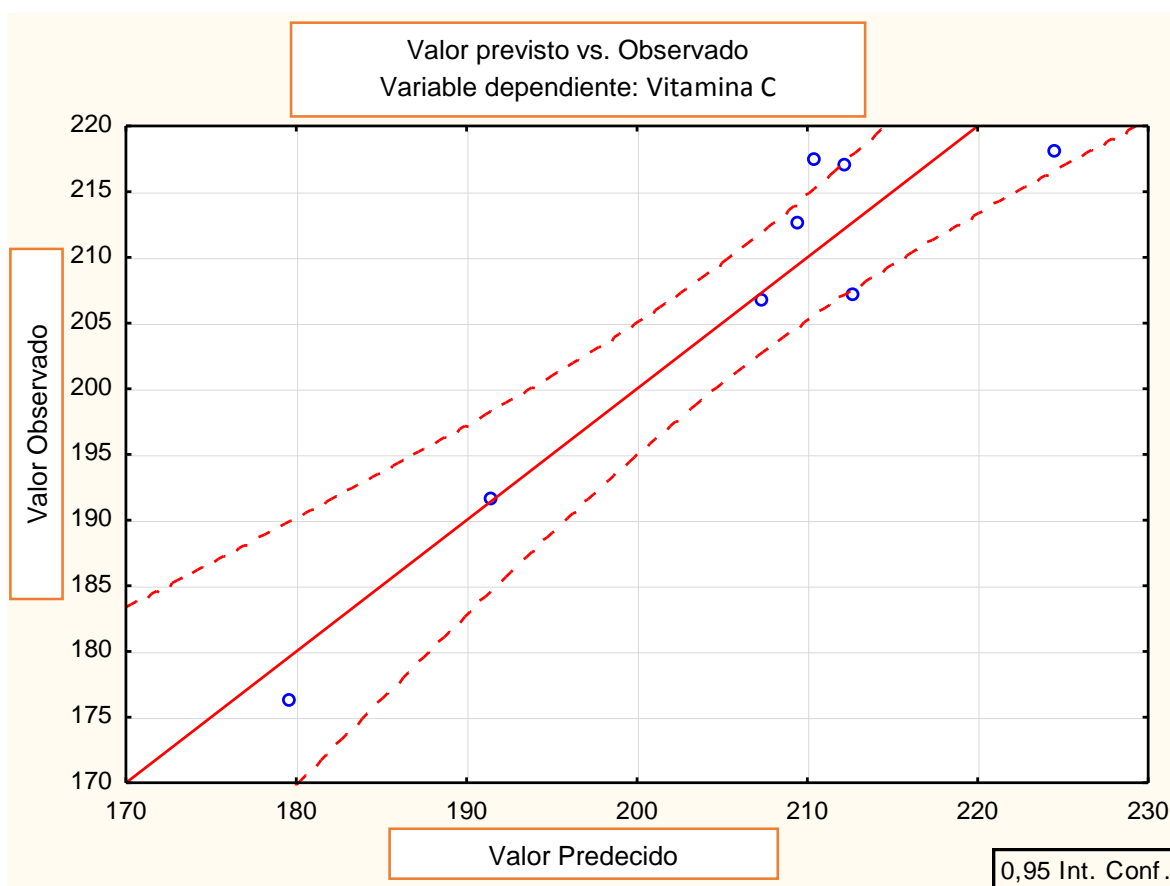


GRÁFICO 83. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum* Cav.), VARIEDAD ANARANJADO GIGANTE
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Este estudio demostró que utilizando el modelo matemático se puede predecir el contenido de vitamina C en función de los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) en tomate de árbol, a pesar de que este compuesto antioxidante no es considerado como responsable del color en los alimentos.

4.1.1.6. UVILLA

4.1.1.6.1.1. FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LA FRUTA

a) CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Dentro de la caracterización física de uvilla (*Physalis peruviana* L.) se determinó el peso, largo, diámetro y firmeza. Los resultados promedio de 20 frutas se presentan en la Tabla 125.

TABLA 125. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Caracterización Física	Peso (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Firmeza (kg-f)
Promedio	5,42± 0,15	2,00± 0,11	2,12± 0,16	0,27 ± 0,04
Coef. Variación (%)	19,43	5,14	7,46	4,34

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca.

La caracterización física de la fruta se realizó con la finalidad establecer parámetros de calidad que permitan escoger una población de frutas que presenten características homogéneas, tanto en su grado de madurez como en la variedad (Golden Keniana). Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los presentados por Medina (2006), quien reportó valores de 5,32 g, 1,99 cm, 2,11cm y 0,27 Kg-f para las determinaciones de peso, largo, diámetro y firmeza, respectivamente.

b) CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Dentro de la caracterización química de uvilla se determinó el pH, acidez titulable, humedad y sólidos solubles. Los datos presentados en la caracterización química (Tabla 126) constituyen el promedio de la medición realizada en 10 frutas para la

determinación de pH y acidez titulable, para el ensayo de humedad se consideró el promedio de tres mediciones y para el análisis de sólidos solubles el promedio de 20 mediciones.

TABLA 126. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Caracterización Química	pH*	Ácido Cítrico* (%)	Humedad* (%)	Sólidos Solubles * (°Brix)
Promedio	3,75 ± 0,03	2,09± 0,05	81,26± 0,79	13,73±1,50
Coef. Variación (%)	1,24	1,10	0,01	10,91

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base fresca.

Los parámetros químicos presentados en la Tabla 126, confirman los estudios realizados por Medina (2006), quien presentó valores de 3,74 para el pH, 1,26% de acidez titulable, 81,26% de humedad y 12,7 °Brix, para muestras de uvilla variedad Golden Keniana.

4.1.1.6.2. FASE 2. PREPARACIÓN DE MUESTRA PARA ANÁLISIS DE ANTIOXIDANTES

Los análisis de compuestos antioxidantes se realizaron en muestras secas de pulpa de uvilla, por lo cual se realizó un proceso de separación de la pulpa, cascara y semillas, estableciéndose el porcentaje de rendimiento en pulpa y el contenido de humedad (Tabla 126). Estos resultados permitieron establecer que el contenido de humedad promedio en la pulpa de uvilla fue de 81,26%, en función del cual se determinó la cantidad necesaria de fruta fresca para el proceso de liofilización.

TABLA 127. RENDIMIENTO DE UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Peso fruta (g)	Semilla (g)	Pulpa (g)	Rendimiento* (%)
Promedio	6,21 ± 0,95	0,77 ± 0,12	5,43 ± 0,83	87,51 ± 0,09
C. variación (%)	15,28	15,19	15,29	0,11

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados reportados en base fresca.

Los resultados presentados en la Tabla 127, muestran que esta fruta presenta un rendimiento promedio en pulpa de 87,51%, el mismo que es superior al rendimiento presentado por Medina (2006), quien obtuvo un valor de 78,96%, esto se debe a que este autor asume el peso la corteza (capuchón) y la fruta como el 100% para la determinación del rendimiento.

4.1.1.6.3. FASE 3. DETERMINACIÓN DE COLOR INTERNO

El análisis de color en las muestras de uvilla (Golden Keniana), se realizó en función de los parámetros: Luminosidad, a^* y b^* (Tabla 128).

En el Gráfico 84, se muestra una representación tridimensional para los valores promedio de las coordenadas de color: luminosidad (L^*), parámetro a^* y b^* .

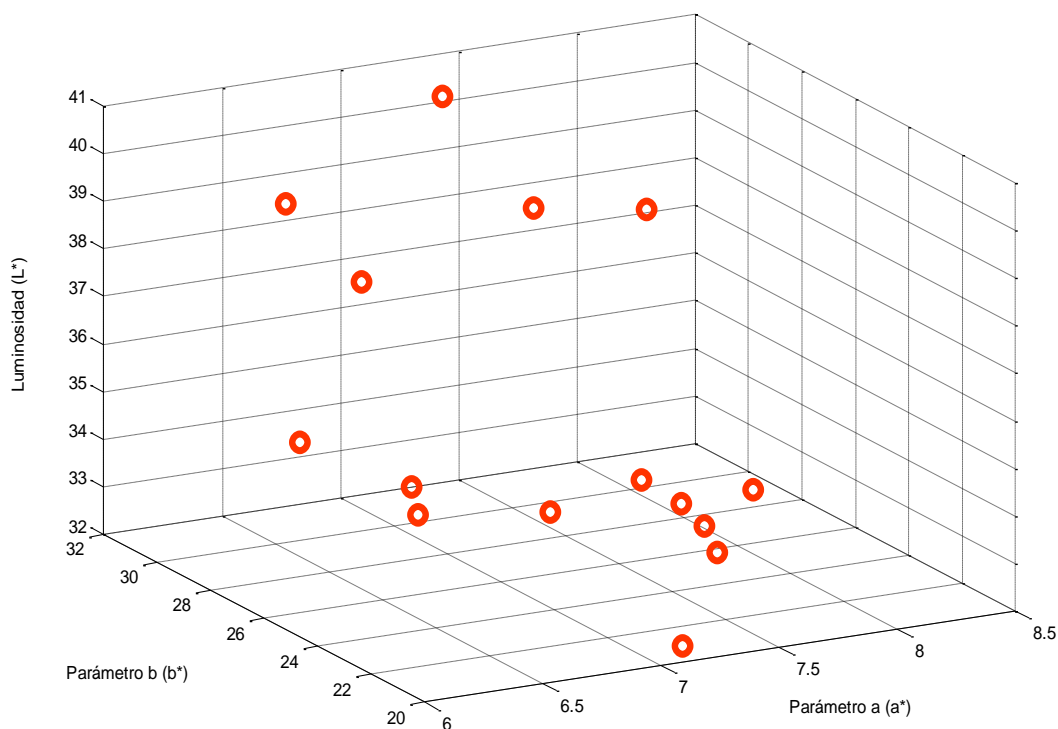


GRÁFICO 84. COORDENADAS DE COLOR INTERNO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA: LUMINOSIDAD (L^*), PARÁMETRO a^* Y PARÁMETRO b^*

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Las coordenadas de color interno para uvilla (Tabla 128), muestran la tendencia de la fruta hacia el color rojo (a^*) y amarillo (b^*), similar a lo reportado por Medina (2006), quien presentó valores de 37,02; 4,70 y 25,95 para la luminosidad, a^* y b^* , respectivamente; las variaciones encontradas con respecto los resultados obtenidos por este autor, se atribuyen a la sensibilidad del equipo de medición y al estado de madurez de las frutas.

TABLA 128. COORDENADAS DE COLOR INTERNO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA: LUMINOSIDAD (L^*), PARÁMETRO a^* Y PARÁMETRO b^*

Color	Luminosidad* (x)	Parámetro $a^{*(x)}$	Parámetro $b^{*(x)}$
Promedio	35,70 ± 2,46	7,10±0,51	25,39 ±3,55
Coef. Variación	6,88	7,25	13,99

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

(x) Los resultados son reportados en base fresca ± 15 desviaciones estándar.

4.1.1.6.4. FASE 4. CUANTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES

a) ANTOCIANINAS TOTALES

Las antocianinas son las responsables del color rojo, morado y azul en las frutas, estableciéndose que estos compuestos no son parte de los antioxidantes identificados en cultivares de uvilla puesto que presentan un color anaranjado, estos datos fueron confirmados al realizarse un espectro UV en la región de 400 a 700 nm en muestras de la fruta.

El proceso de extracción de antocianinas totales se realizó en soluciones tampón pH 1,0 y 4,5 de acuerdo al método de cuantificación aplicado (Rapisarda *et al*, 2000), los resultados presentados en los Gráficos 85 y 86 demuestran que no existe absorción de luz en la región de 510 nm y 700 nm, por lo tanto se estableció que no existe presencia de estos compuestos en las muestras analizadas o su concentración es inferior al límite de detección del equipo.

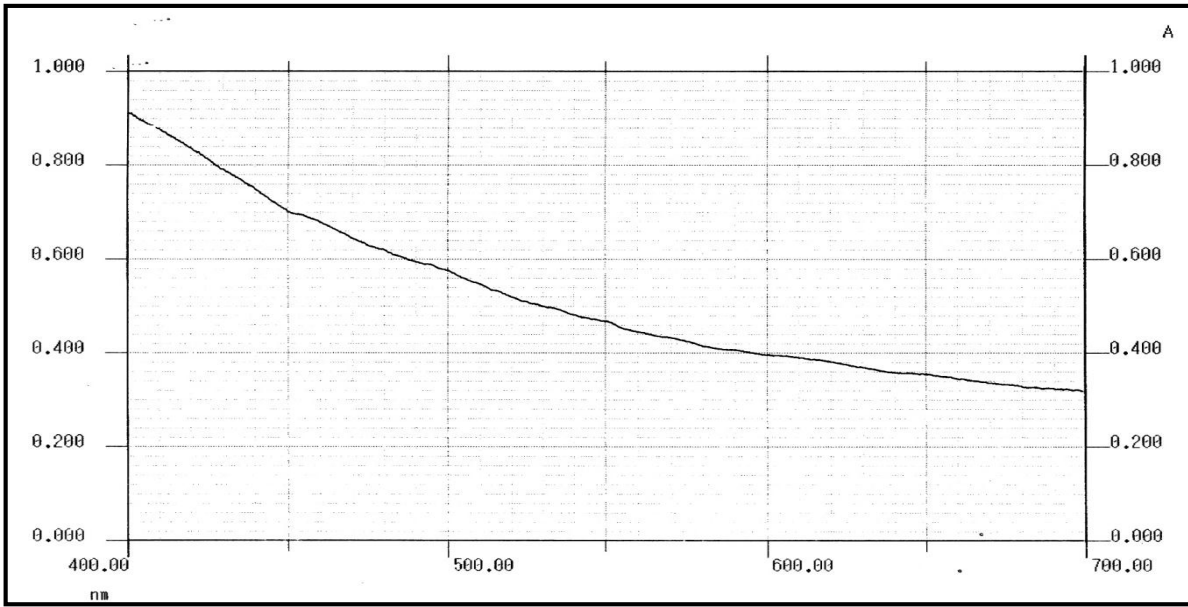


GRÁFICO 85. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO DE UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA EN BUFFER pH 1,0

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

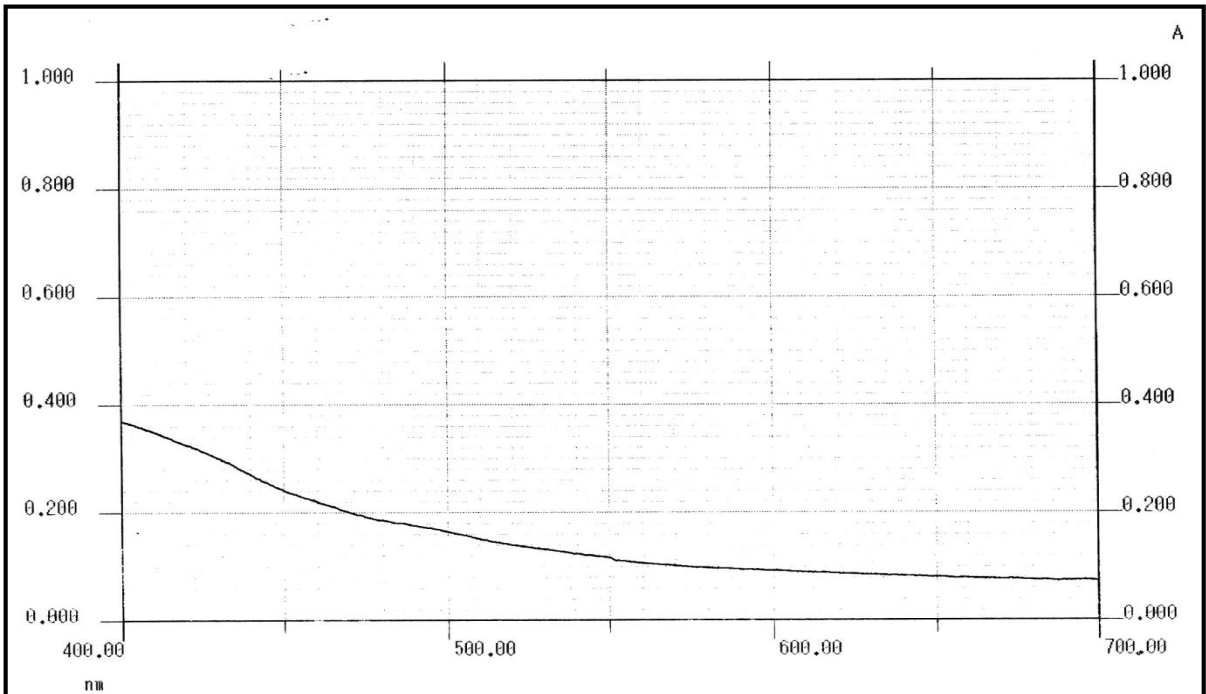


GRÁFICO 86. ESPECTRO UV EN LA REGIÓN DE 400 A 700 nm EN EXTRACTO UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA EN BUFFER pH 4,5

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

b) CAROTENOIDES TOTALES

Los carotenoides totales se determinaron siguiendo el método establecido por Sze e Indrawati (2012), el cual fue previamente adaptado en los laboratorios del Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP. Dentro de la adaptación del método de análisis se realizó la determinación de la exactitud en función del porcentaje de recuperación, en base al número de ciclos de extracción necesarios para alcanzar el 100% de recuperación de los carotenoides, de igual manera se realizó el análisis de precisión en función de la repetibilidad del ensayo con la finalidad de establecer el error experimental. En el Gráfico 87, se presenta el porcentaje de extracción de carotenoides totales en una muestra de uvilla, determinándose que se necesitan 5 ciclos de extracción de 30 minutos con una solución de hexano/acetona/etanol (50:25:25, v/v/v) para obtener el 100% de recuperación.

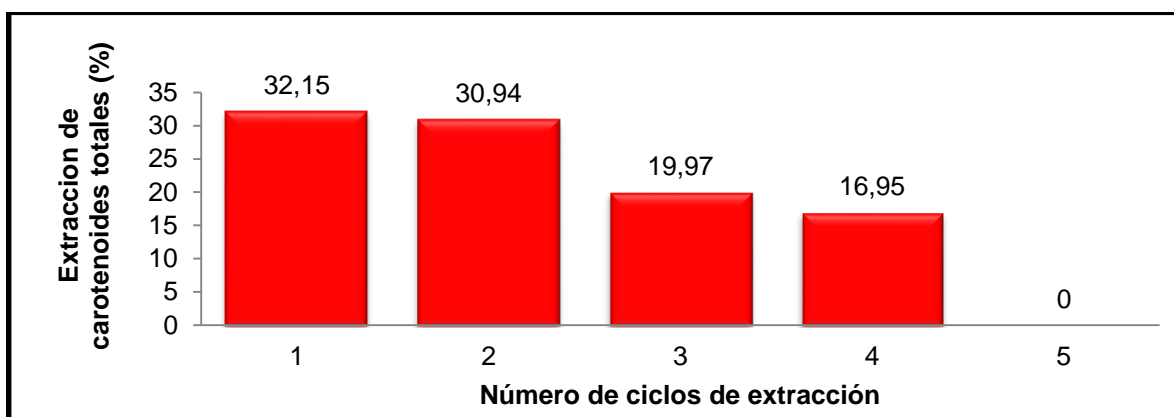


GRÁFICO 87. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA.

Elaborado por: Wilma M. Llerena S. 2014.

De igual manera en el Gráfico 88, se presenta los resultados del ensayo de repetibilidad del método, para lo cual se realizó el análisis de una muestra de uvilla liofilizada con 6 réplicas.

En función del ensayo de repetibilidad se estableció que la muestra de uvilla analizada presentó un contenido promedio de carotenoides de 56,88 μg de β -caroteno/g y una desviación estándar de 6,16 estableciéndose un error experimental como coeficiente de variación de $\pm 10,84\%$.

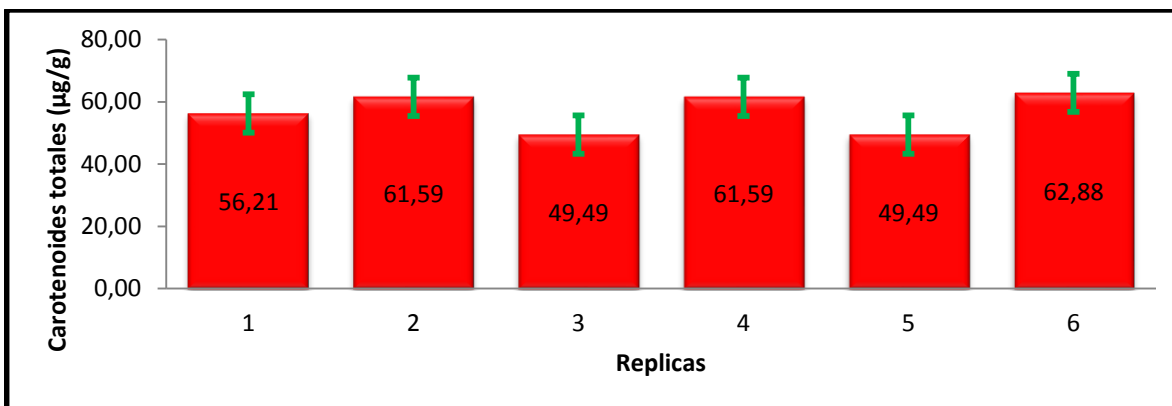


GRÁFICO 88. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con el método optimizado se procedió a la cuantificación de carotenoides totales en las 15 muestras de uvilla por duplicado, los resultados promedio se presenta en la Tabla 129.

TABLA 129. CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Carotenoides Totales* (µg de β-caroteno/g)
1	66,20 ± 24,06
2	77,15 ± 1,51
3	56,40 ± 2,64
4	77,15 ± 1,51
5	56,40 ± 2,64
6	57,93 ± 11,89
7	56,40 ± 2,64
8	57,93 ± 11,89
9	64,82 ± 0,11
10	57,93 ± 11,89
11	64,82 ± 0,11
12	69,61 ± 29,21
13	64,82 ± 0,11
14	69,61 ± 29,21
15	80,99 ± 6,28

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 2 repeticiones.

El contenido promedio de carotenoides totales en las muestras de uvilla procedente de la provincia de Tungurahua fue de $65,21 \pm 8,31$ μg de β -caroteno/g en base seca, estos resultados son similares a los reportados por Ramadan (2011), quien presenta un valor de carotenoides totales de 16 μg de β -caroteno/g en muestra fresca, el cual corresponde a $85,38$ μg de β -caroteno/g de muestra seca.

4.1.1.6.3.1. POLIFENOLES TOTALES

Para la evaluación del contenido de polifenoles totales en las muestras de uvilla variedad Golden Keniana se utilizó un método colorimétrico, mediante reacción de los polifenoles con el reactivo de Folin&Ciocalteu (publicado por Slinkard, K. *et al.*, 1967), la extracción de estos compuestos bioactivos se realizó empleando una solución de acetona al 70% (v/v) y el análisis cuantitativo se realizó mediante una curva de calibración con ácido gálico (Gráfico 89).

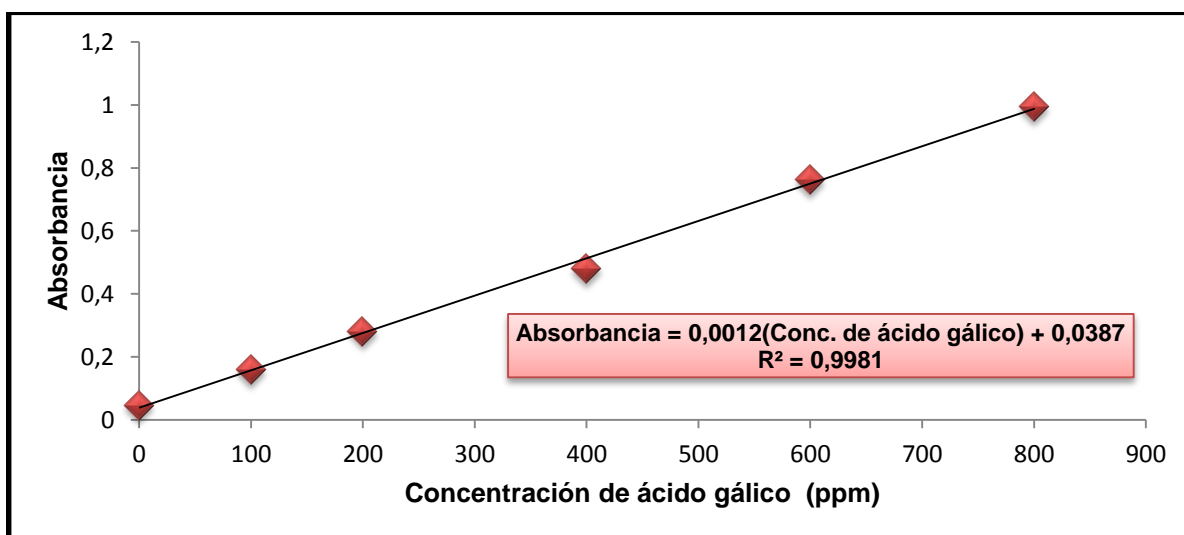


GRÁFICO 89. CURVA DE CALIBRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES PARA UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Observando los resultados del Gráfico 89, se estableció que existe una buena correlación entre la concentración de ácido gálico y la absorbancia, obteniéndose un r^2 de 0,9981, por lo que se utilizó esta curva de calibración para la cuantificación de los polifenoles.

De igual manera, dentro de la adaptación del método para cuantificar los polifenoles totales en uvilla se determinó el porcentaje de recuperación del analito, estableciéndose que se requieren cuatro ciclos de extracción de 45 minutos con agitación magnética en una solución de acetona-agua (70/30, v/v) para obtener el 100% de rendimiento, como se observa en el Gráfico 90.

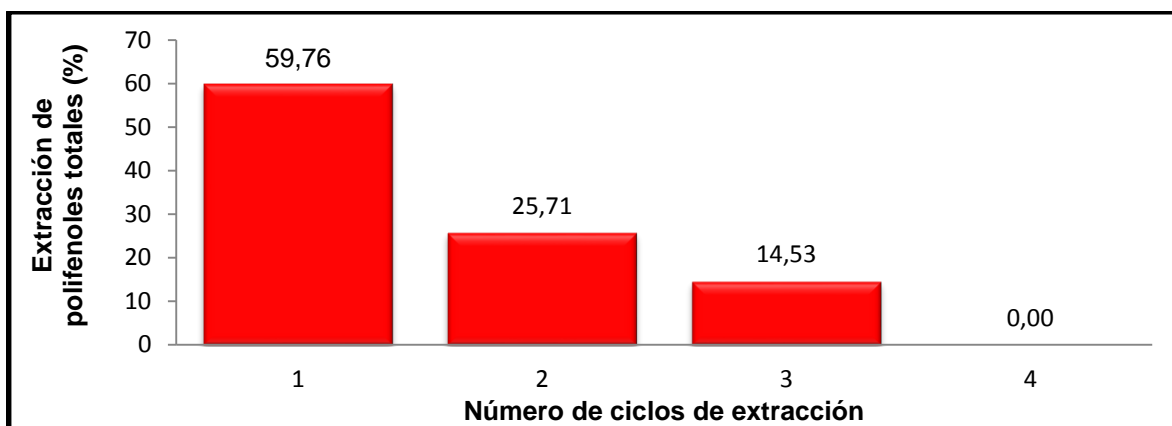


GRÁFICO 90. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA.

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad de determinar la precisión del método se evaluó la repetibilidad del ensayo, la misma que permitió establecer el error experimental de los datos, para lo cual se realizó el análisis de polifenoles en una muestra con cinco repeticiones.

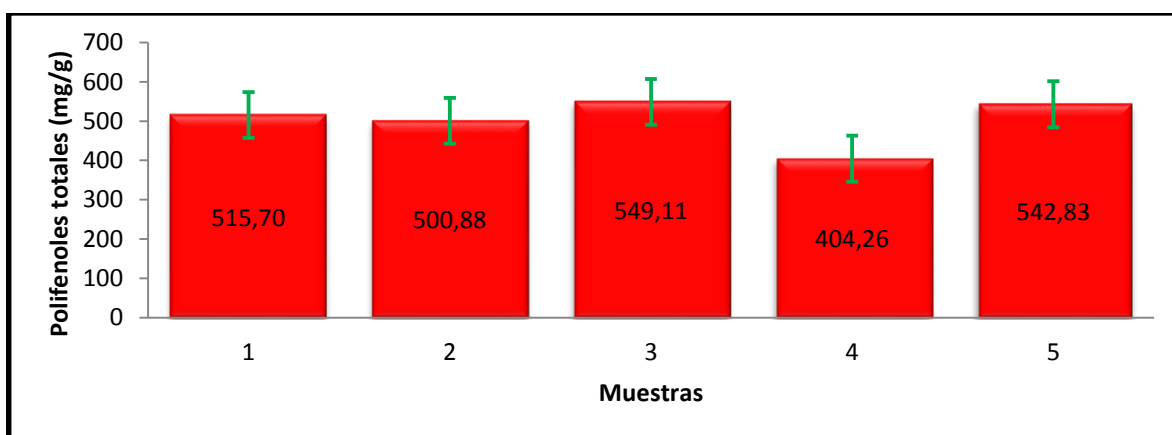


GRÁFICO 91. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En base a los resultados del ensayo de repetibilidad se estableció que la muestra de uvilla analizada en este ensayo presentó un contenido promedio de polifenoles de $505,56 \pm 58,37$ mg de ácido gálico/100g y un error experimental expresado como coeficiente de variación de 11,61% (Gráfico 91), el mismo que es superior al error esperado para el rango de concentración medido; en función de la ecuación de Horwitz, que indica para este caso un error experimental en el rango de 5 al 8%, atribuyendo esta variación a la complejidad del método de análisis en el laboratorio, el mismo que incluye varios pasos para la preparación de la muestra; lo cual incrementa la posibilidad de obtener datos con coeficientes de variación superiores a los recomendados.

En la Tabla 130, se presenta los resultados promedio (3 repeticiones) del contenido de polifenoles totales para 15 muestras de uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana.

TABLA 130. CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Polifenoles totales * (mg de ácido gálico/100g)
1	237,84± 2,82
2	286,48± 6,42
3	217,71± 53,38
4	286,48± 6,42
5	217,71± 53,38
6	220,17± 35,67
7	217,71± 53,38
8	220,17± 35,67
9	315,88± 35,67
10	168,83 ± 96,70
11	315,88± 96,70
12	251,64 ± 89,03
13	315,88± 96,70
14	251,64± 89,03
15	323,64 ± 62,92

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 3 repeticiones.

El contenido promedio de polifenoles totales en uvilla (*Physalis peruviana* L.) es $259,93 \pm 42,74$ mg de ácido gálico/100g de muestra seca, estos resultados confirman los datos reportado por Cerón *et al.*, 2011, quienes presentan un valor de polifenoles totales en uvilla colombiana de 215,60 mg de ácido gálico/100g en muestra seca.

4.1.1.6.3.2. VITAMINA C

La cuantificación de vitamina C se realizó aplicando un método reflectométrico, y la extracción de este analito se realizó con agua destilada y agitación magnética durante 30 minutos a temperatura ambiente.

De igual manera con la finalidad de optimizar el método de análisis, se determinó la repetibilidad del ensayo, realizando la determinación de vitamina C en una muestra de uvilla con cuatro repeticiones; obteniéndose un valor promedio de $122,51 \pm 14,30$ mg de ácido ascórbico/100g de muestra seca y un error experimental expresado como coeficiente de variación de 11,68% (Gráfico 92).

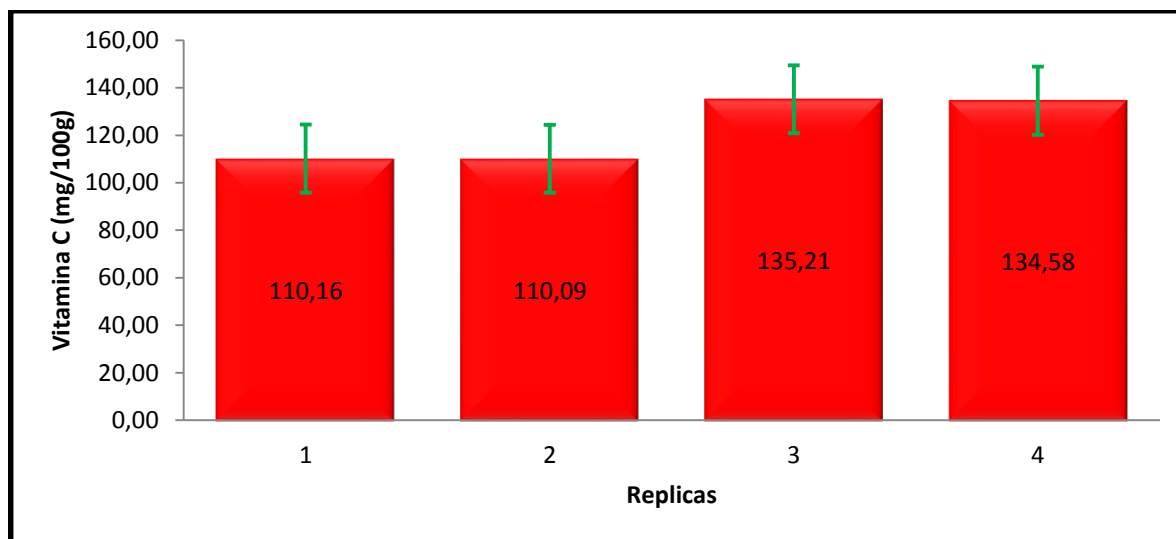


GRÁFICO 92. REPETIBILIDAD DEL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE VITAMINA C EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA
Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

En la Tabla 131, se presenta los resultados del análisis de vitamina C en 15 muestras de uvilla variedad Golden Keniana.

TABLA 131. CONTENIDO DE VITAMINA C EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Vitamina C* (mg de ácido ascórbico/100g)
1	170,43
2	113,52
3	142,25
4	127,66
5	166,74
6	159,57
7	205,91
8	166,62
9	177,36
10	170,43
11	163,31
12	156,29
13	131,21
14	149,00
15	188,08

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

* Los resultados son reportados en base seca

El contenido promedio de vitamina C en muestras de uvilla variedad Golden Keniana fue de $159,22 \pm 23,89$ mg de ácido ascórbico/100g de muestra seca, estos resultados se encuentran dentro del rango reportado por diferentes autores (Medina, G. 2006; Ramadán, M. 2011; Puente *et al.*, 2011) en muestras de uvilla de diferentes orígenes y variedades (98,28 a 229,19 mg de ácido ascórbico/100g), demostrándose que existe un efecto del ambiente y la variedad de la fruta sobre el contenido de vitamina C.

TABLA 132. CONTENIDO DE PROMEDIO DE ANTIOXIDANTES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Caracterización Química	Antocianinas totales (mg/100g)*	Carotenoides totales (µg/g)*	Polifenoles totales (mg/100g)*	Vitamina C (mg/100g)*
Promedio	No	65,21±8,31	259,93±42,74	159,22± 23,89
Coef. Variación (%)	Detectable	12,74	16,44	15

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

*Los resultados son reportados en base seca ± desviación estándar de 15 repeticiones.

Finalmente, en la Tabla 132, se presenta el contenido promedio de antioxidantes para las muestras de uvilla variedad Golden Keniana procedente de la provincia de Tungurahua.

4.1.1.5.5. FASE 5. DESARROLLO DE MODELOS MATEMÁTICOS

a) CAROTENOIDES TOTALES

El desarrollo del modelo matemático de predicción se elaboró a partir de la matriz de coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el contenido de carotenoides totales como se muestra en la Tabla 133.

TABLA 133. MATRIZ DE RESULTADOS DE CAROTENOIDES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
1	37,79	6,70	28,50	66,20
2	38,74	6,65	30,99	77,15
3	35,99	6,03	24,96	56,40
4	40,93	7,19	29,86	77,15
5	33,92	6,58	25,40	56,40
6	38,44	7,52	29,41	57,93
7	33,75	7,49	22,75	56,40
8	34,90	7,23	22,77	57,93
9	34,15	6,66	26,36	64,82
10	32,35	7,09	20,02	57,93
11	34,64	7,62	21,99	64,82
12	37,91	8,04	29,76	69,61
13	34,06	7,47	23,41	64,82
14	33,76	7,37	21,19	69,61
15	34,24	6,93	23,51	80,99

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando los datos de la matriz de resultados (Tabla 133) se desarrolló un modelo matemático de predicción mediante un análisis de regresión multivariable; en función de las variables independientes X (componentes de color) y la variable dependiente Y (carotenoides totales) para uvilla variedad Golden Keniana,

obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 37) que relaciona las variables en estudio.

$$CT = 6,53 + 1,50L^* + 0,92a^* - 0,05b^* \quad (\text{Ecuación 37})$$

Posteriormente, se evaluó la robustez del modelo matemático en función del coeficiente de correlación (r^2), obteniéndose un r^2 de 0,18, por lo cual se consideró que la correlación obtenida está por debajo del valor aceptado para la elaboración de modelos de predicción, puesto que este r^2 indica que el modelo explica el 18% del comportamiento de los datos, estableciéndose que existe datos dispersos en el modelo como se observa en el Gráfico 93.

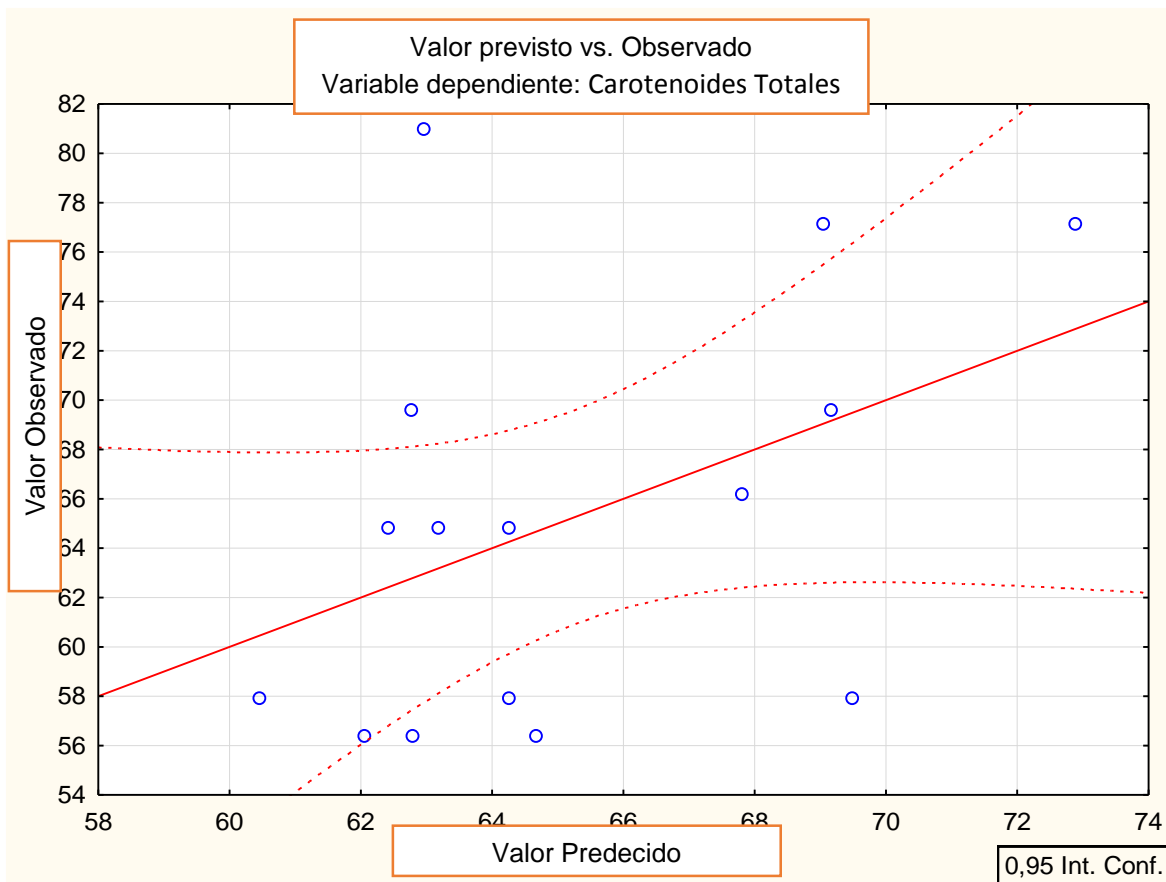


GRÁFICO 93. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β - caroteno/g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con la finalidad de alcanzar un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$) se evaluó el efecto del error experimental mediante un análisis de residuos entre los valores de carotenoides totales experimentales medidos en el laboratorio y los valores estimados predecidos por el modelo en base a la Ecuación 37, en función de este análisis se escogió una población de datos con características homogéneas, seleccionando las muestras 1, 4, 5, 9, 10, 11, 12 y 13 (valores de desviación inferiores a 2σ).

Además, se evaluó el efecto de las variables independientes (X) sobre la variable dependiente (Y) de las muestras en estudio, mediante una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), aplicando el estadístico t de student; los resultados de esta prueba se observa en la Tabla 134.

TABLA 134. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	0,72	2,20
B2=0	0,20	
B3=0	-0,03	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados de la prueba t-student demostraron que no existe una influencia significativa de los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) en el contenido de carotenoides totales ($t_{\text{experimental}} < t_{\text{crítico}}$), por lo cual se estableció que ninguno de los coeficientes parciales aporta individualmente para los fines de predicción, por lo cual el modelo se desarrollo utilizando todos estos parámetros.

Finalmente, utilizando las 9 muestras (Tabla 135) escogidas en función del análisis de residuos y las tres coordenadas de color (L^* , a^* y b^*), se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple para establecer la ecuación matemática final (Ecuación 38).

TABLA 135. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA CAROTENOIDES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR DE UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestras	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Carotenoides Totales (Y)
1	37,79	6,70	28,50	66,20
4	40,93	7,19	29,86	77,15
5	33,92	6,58	25,40	56,40
9	34,15	6,66	26,36	64,82
10	32,35	7,09	20,02	57,93
11	34,64	7,62	21,99	64,82
12	37,91	8,04	29,76	69,61
13	34,06	7,47	23,41	64,82

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados del análisis de regresión múltiple utilizando las muestras seleccionadas permitieron ajustar de mejor manera los datos (Gráfico 94), obteniéndose un modelo matemático con un coeficiente de correlación (r^2) de 0,85 (Ecuación 38); estableciéndose que el modelo de predicción desarrollado permite explicar el 85% del comportamiento de los datos.

$$CT = -24,31 + 2,19L^* + 2,41a^* - 0,23b^* \quad (\text{Ecuación 38})$$

TABLA 136. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE CAROTENOIDES TOTALES ($\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Carotenoides totales ($\mu\text{g de } \beta\text{-caroteno/g}$)		Desviación Estándar	Promedio ($\mu\text{g/g}$)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Predecido	Experimenta I				
1	67,96	66,20	1,24	67,08	1,85	2,62
4	75,71	77,15	1,02	76,43	1,34	1,89
5	59,92	56,40	2,49	58,16	4,28	6,05
9	60,39	64,82	3,13	62,61	5,00	7,08
10	58,98	57,93	0,74	58,45	1,27	1,80
11	64,79	64,82	0,02	64,81	0,03	0,05
12	71,18	69,61	1,11	70,40	1,58	2,23
13	62,83	64,82	1,41	63,83	2,20	3,12

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la Ecuación 38, se realizó la predicción del contenido de carotenoides totales en las muestras de uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana, los resultados se presentan en la Tabla 136.

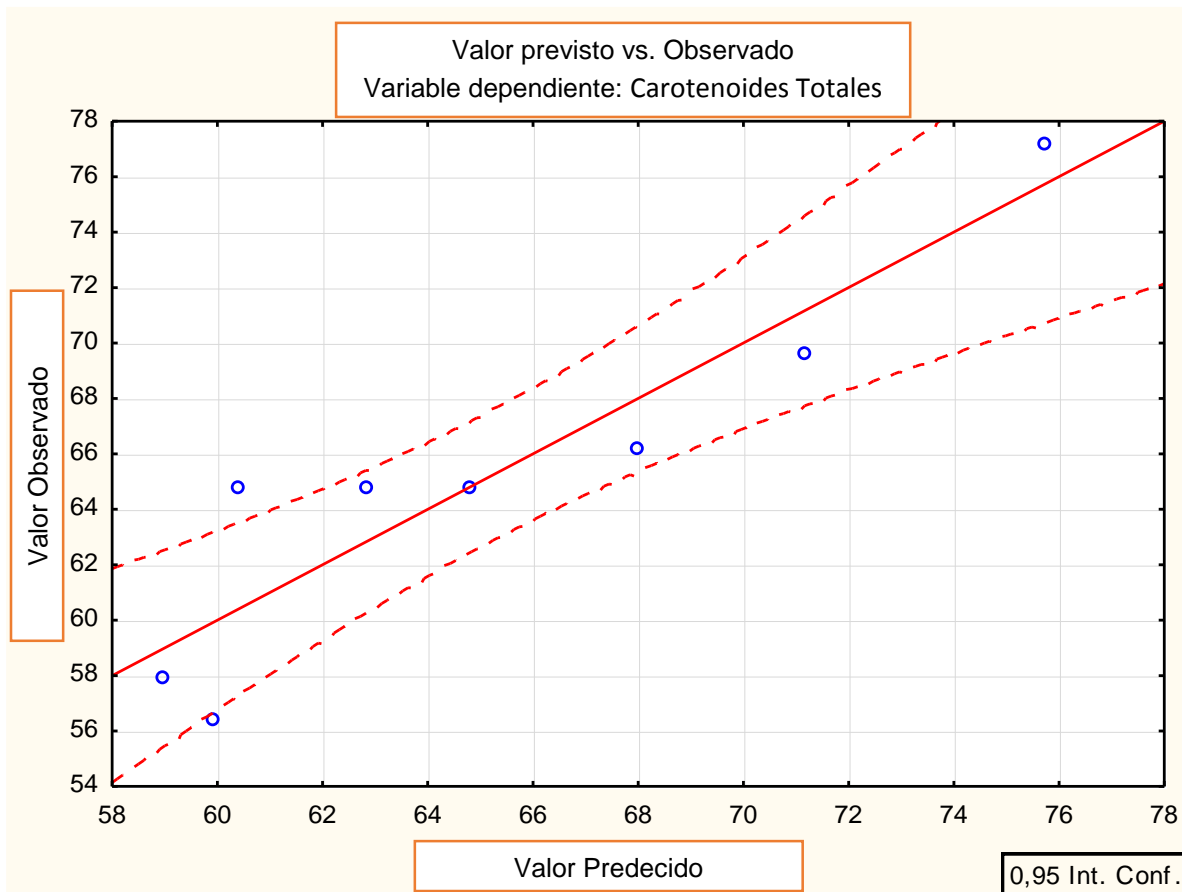


GRÁFICO 94. CONCENTRACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES ($\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción se realizó en función de parámetros estadísticos como; coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV) entre el valor estimado y el valor experimental (Tabla 137, Gráfico 94).

TABLA 137. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CAROTENOIDES TOTALES (μg de β -caroteno/g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Estadístico	VITAMINA C (μg de β -caroteno/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coefficiente de correlación (r^2)		0,85
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	10,84	3,10

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El modelo matemático presentó un error de predicción de 3,10%, lo que permitió establecer que cada vez que se realice la predicción matemática los valores presentarán una desviación de $\pm 6,48$ (μg de β -caroteno/g), la misma que es inferior a la desviación obtenida al realizar el ensayo en el laboratorio (10,84%), demostrándose que el método es robusto.

En base a la ecuación de Horwitz (Anexo 9) se determinó que tanto los resultados obtenidos en el laboratorio como los resultados predecidos matemáticamente para el contenido de carotenoides presentan errores dentro de los límites aceptables para las concentraciones medidas (16%).

b) POLIFENOLES TOTALES

De igual manera, para el caso del contenido de polifenoles totales se desarrolló un modelo matemático de predicción, para lo cual se elaboró una matriz con los datos de medición de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y el contenido de polifenoles totales de referencia (medidos en el laboratorio), Tabla 138.

Utilizando los datos de la matriz de resultados se realizó un análisis de regresión múltiple, estableciendo como variables independientes (X) a los componentes de color y como variable dependiente (Y) a los resultados del análisis de polifenoles totales medidos en el laboratorio, obteniéndose una ecuación matemática (Ecuación 39) que relaciona las variables en estudio.

TABLA 138. MATRIZ DE RESULTADOS DE POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles T. (Y)
1	37,79	6,70	28,50	237,84
2	38,74	6,65	30,99	286,48
3	35,99	6,03	24,96	217,71
4	40,93	7,19	29,86	286,48
5	33,92	6,58	25,40	217,71
6	38,44	7,52	29,41	220,17
7	33,75	7,49	22,75	217,71
8	34,90	7,23	22,77	220,17
9	34,15	6,66	26,36	315,88
10	32,35	7,09	20,02	220,17
11	34,64	7,62	21,99	315,88
12	37,91	8,04	29,76	251,64
13	34,06	7,47	23,41	315,88
14	33,76	7,37	21,19	251,64
15	34,24	6,93	23,51	323,64

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La ecuación matemática obtenida del análisis de regresión múltiple presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,02; por lo que se consideró que la correlación obtenida entre las variables en estudio es muy baja, es decir mediante esta ecuación matemática solo se explica el 2% del comportamiento de los datos, determinándose que existe datos dispersos dentro del modelo desarrollado (Gráfico 95).

$$PT = 223,82 - 2,97L^* + 10,62a^* + 2,62b^* \quad (\text{Ecuación 39})$$

Con el objetivo de ajustar el coeficiente de correlación hasta un valor superior al 70% ($r^2 > 0,70$) se evaluó el efecto del error experimental y la heterogeneidad de la población de datos, mediante un análisis de residuos entre el valor de polifenoles totales de referencia y el valor estimado matemáticamente a partir de la Ecuación 39, lo que permitió seleccionar una población de datos con características homogéneas; muestras 1, 3, 4, 5, 7, 8, 10 y 12 de la matriz de resultados, las mismas que mostraron valores de desviación inferiores a 2σ .

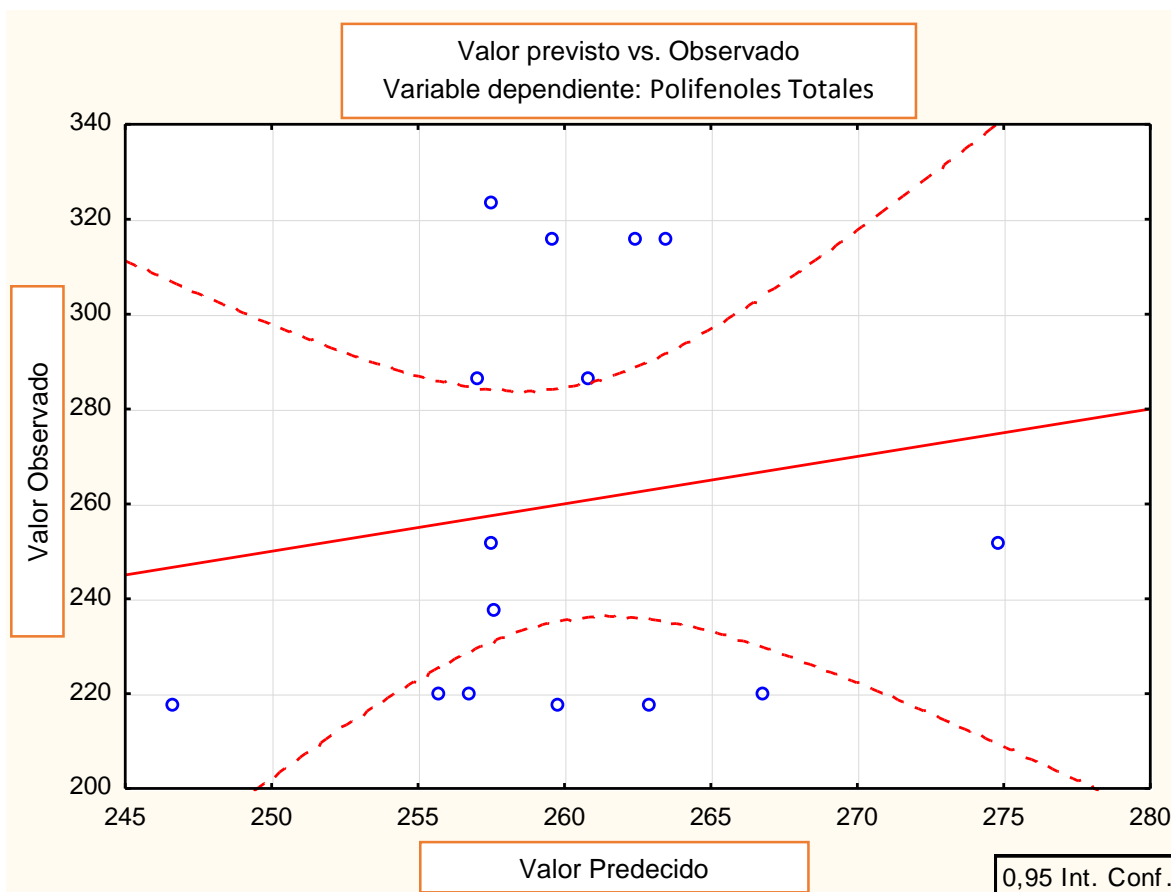


GRÁFICO 95. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

De igual manera, con el objetivo de optimizar el modelo matemático para alcanzar una mejor correlación ($r^2 > 0,70$), se realizó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*); mediante el estadístico t de student, los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 139.

TABLA 139. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE POLIFENOLES TOTALES EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Hipótesis	t _{student}	Valor crítico
B1=0	-0,25	2,20
B2=0	0,42	
B3=0	0,32	

Los resultados de la prueba t.student demostraron que los parámetros L^* , a^* y b^* no presentan un aporte individual durante el desarrollo de la ecuación matemática de predicción, puesto que el valor (t de student) calculado para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) es inferior al valor teórico (2,20).

Finalmente, se elaboró una segunda matriz de resultados utilizando los datos seleccionados en función del análisis de residuos y heterogeneidad de las muestras. Tabla 140.

TABLA 140. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA POLIFENOLES TOTALES VS. COMPONENTES DE COLOR UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Polifenoles totales (Y)
1	37,79	6,70	28,50	237,84
3	35,99	6,03	24,96	217,71
4	40,93	7,19	29,86	286,48
5	33,92	6,58	25,40	217,71
7	33,75	7,49	22,75	217,71
8	34,90	7,23	22,77	220,17
10	32,35	7,09	20,02	220,17
12	37,91	8,04	29,76	251,64

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados (Tabla 140), se realizó un nuevo análisis de regresión multivariado, el cual permitió obtener la ecuación matemática final (Ecuación 40), la misma que presentó un coeficiente de correlación r^2 de 0,88, demostrándose que el modelo matemático de predicción desarrollado explica el 88% del comportamiento de los datos y que presenta un mejor ajuste de los mismos como se observa en el Gráfico 96.

$$PT = -142,76 + 9,85L^* + 10,09a^* - 1,91b^* \quad (\text{Ecuación 40})$$

Utilizando el modelo matemático final (Ecuación 40), se realizó la predicción del contenido de polifenoles totales para uvilla (*Physalis peruviana* L.), variedad Golden

Keniana en función de los datos de color, los resultados se presentan en la Tabla 141.

TABLA 141. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Polifenoles Totales (mg de ácido gálico/100g)		Desviación Estándar	Promedio (µg/g)	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
1	242,66	237,84	3,40	240,25	1,42	2,00
3	224,94	217,71	5,11	221,32	2,31	3,27
4	275,96	286,48	7,44	281,22	2,64	3,74
5	209,22	217,71	6,00	213,46	2,81	3,98
7	221,90	217,71	2,96	219,80	1,35	1,91
8	230,51	220,17	7,31	225,34	3,25	4,59
10	209,23	220,17	7,73	214,70	3,60	5,09
12	255,01	251,64	2,38	253,33	0,94	1,33

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo de predicción obtenido se evaluó a partir de la matriz de resultados ajustados en función de parámetros como: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV). (Tabla 142, Gráfico 96).

TABLA 142. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE POLIFENOLES TOTALES EXPERIMENTAL (mg de ácido gálico/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Estadístico	POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,88
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	11,61	3,24

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados del análisis de robustez del modelo matemático demostraron que existe una correlación aceptable (r^2 0,88) entre los valores predecidos por el modelo y los valores experimentales para el contenido de polifenoles totales, con un error

de predicción de 3,24%; el mismo que es inferior al error obtenido experimentalmente en el laboratorio (11,61%) y está dentro de los niveles aceptables para el rango de concentraciones medidas (mg/g) en función de la ecuación Horwitz ($Cv \leq 8\%$).

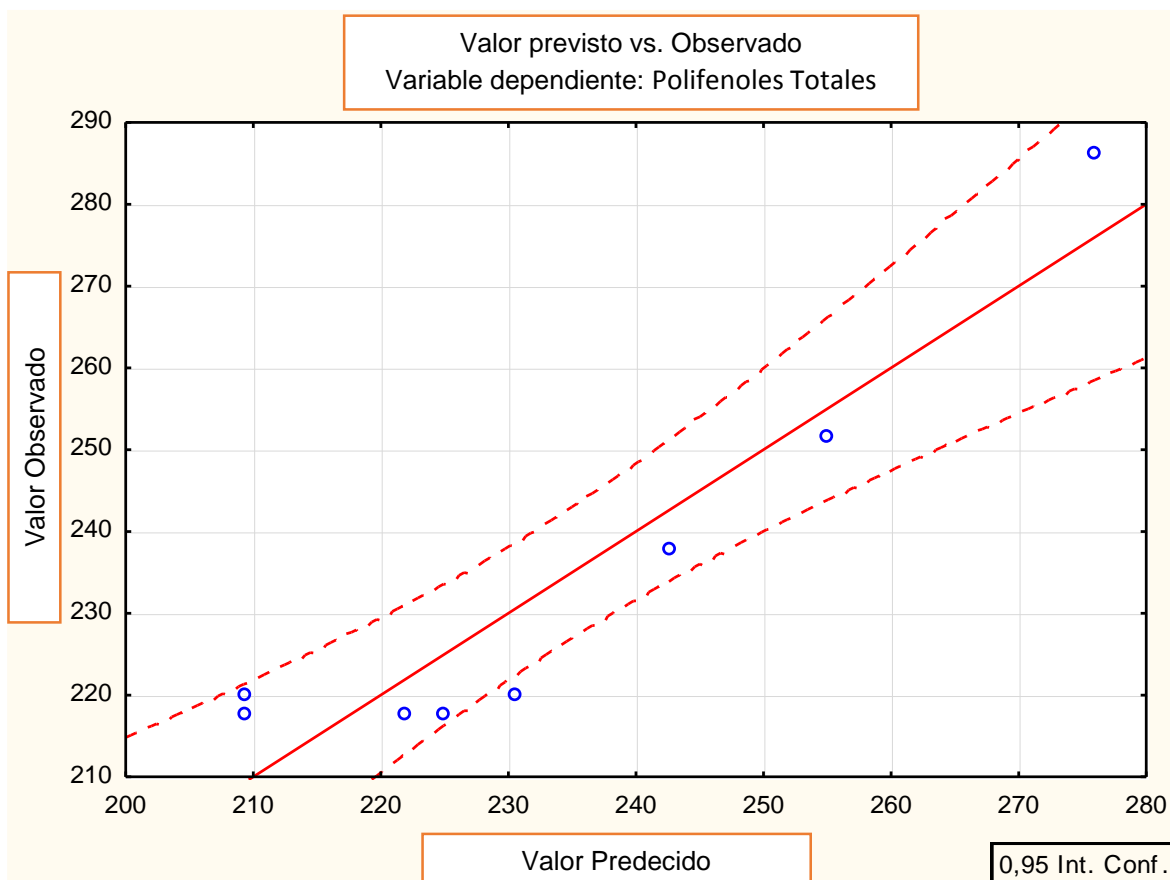


GRÁFICO 96. CONCENTRACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES (mg de ácido gálico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

c) VITAMINA C

Con los resultados obtenidos en el laboratorio se procedió al desarrollo del modelo matemático para la predicción del contenido de vitamina C en uvilla; a partir de la matriz elaborada con los datos de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* y b^*) y los valores de referencia de vitamina C medidos en el laboratorio (Tabla 143).

TABLA 143. MATRIZ DE RESULTADOS DE VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
1	37,79	6,70	28,50	170,43
2	38,74	6,65	30,99	113,52
3	35,99	6,03	24,96	142,25
4	40,93	7,19	29,86	127,66
5	33,92	6,58	25,40	166,74
6	38,44	7,52	29,41	159,57
7	33,75	7,49	22,75	205,91
8	34,90	7,23	22,77	166,62
9	34,15	6,66	26,36	177,36
10	32,35	7,09	20,02	170,43
11	34,64	7,62	21,99	163,31
12	37,91	8,04	29,76	156,29
13	34,06	7,47	23,41	131,21
14	33,76	7,37	21,19	149,00
15	34,24	6,93	23,51	188,08

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados se realizó un análisis de regresión multilíneal tomando como variables independientes (X) a los componentes de color y como variable dependiente al contenido de vitamina C. En función de este análisis se estableció la ecuación matemática que relaciona las variables en estudio (Ecuación 41).

$$VC = 338,83 - 8,10L^* + 7,80a^* + 2,14b^* \quad (\text{Ecuación 41})$$

El modelo de regresión obtenido (Ecuación 41) presentó un coeficiente de correlación (r^2) de 0,33; determinándose que la ecuación desarrollada explica el 33% del comportamiento de los componentes de color (L^* , a^* y b^*) sobre la variable dependiente (vitamina C), como se presenta en el Gráfico 97. De igual manera, con la finalidad de optimizar el modelo de predicción se realizó un análisis de residuos y de homogeneidad de los datos, escogiéndose una población de datos con características homogéneas y con un error experimental $\leq 2\sigma$ (muestras 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 y 12), que permita ajustar el modelo de regresión hasta un coeficiente de correlación superior al 70% ($r^2 > 0,70$).

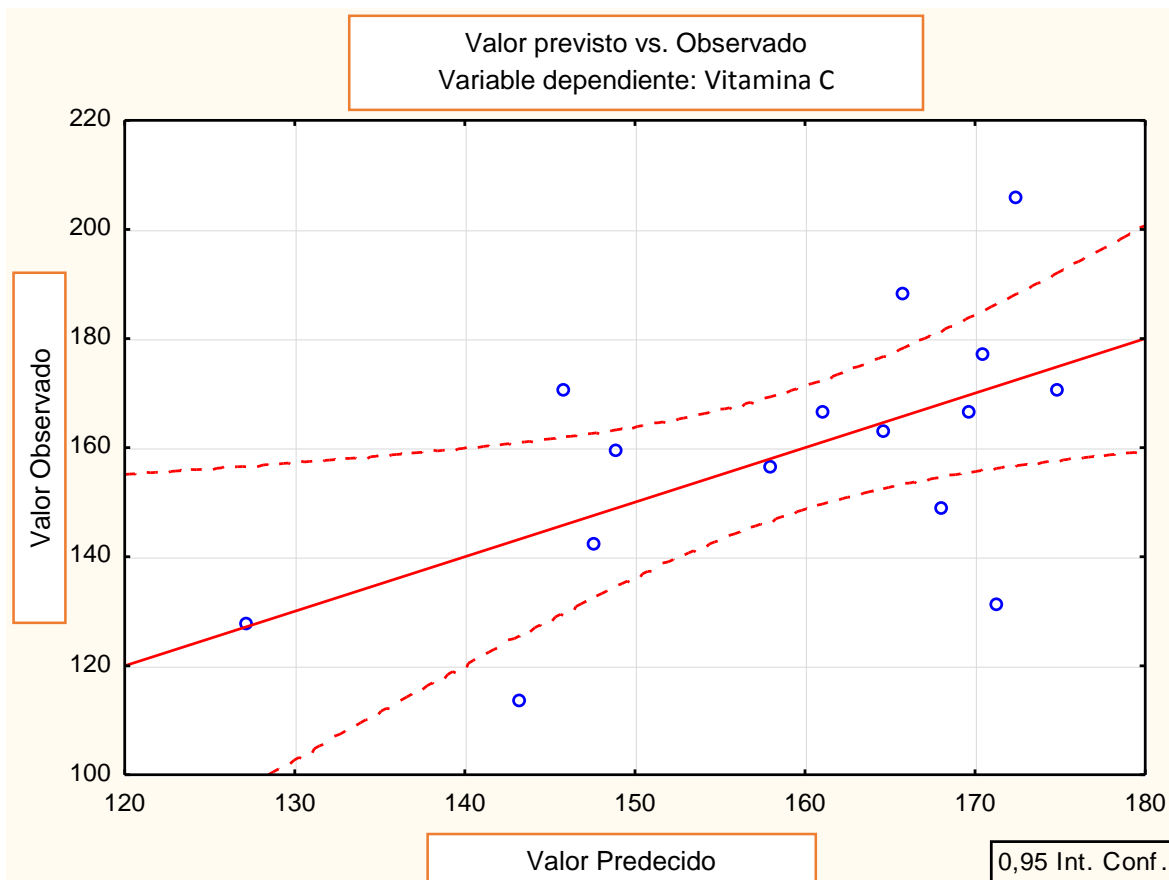


GRÁFICO 97. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Con el mismo objetivo de incrementar la correlación entre las variables se realizó una prueba de hipótesis para los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*), mediante el estadístico t de student (Tabla 143).

TABLA 144. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LOS COEFICIENTES PARCIALES DEL MODELO DE REGRESIÓN DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Hipótesis	t student	Valor crítico
B1=0	-1,49	2,20
B2=0	0,66	
B3=0	0,57	

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Los resultados de la prueba t-student demostraron que los coeficientes parciales (L^* , a^* y b^*) no aportan individualmente en el desarrollo de la ecuación matemática de predicción del contenido de vitamina C ($t_{\text{calculado}} < t_{\text{teórico}}$), por lo cual se determinó que el modelo de predicción para vitamina C debe realizarse a partir de la matriz estructurada en función de las tres coordenadas de color (Tabla 145).

TABLA 145. MATRIZ DE RESULTADOS AJUSTADOS EN FUNCIÓN DEL ANÁLISIS DE RESIDUOS PARA VITAMINA C VS. COMPONENTES DE COLOR EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Replica	Luminosidad (X1)	Parámetro a (X2)	Parámetro b (X3)	Vitamina C (Y)
3	35,99	6,03	24,96	142,25
4	40,93	7,19	29,86	127,66
5	33,92	6,58	25,40	166,74
6	38,44	7,52	29,41	159,57
8	34,90	7,23	22,77	166,62
9	34,15	6,66	26,36	177,36
10	32,35	7,09	20,02	170,43
11	34,64	7,62	21,99	163,31
12	37,91	8,04	29,76	156,29

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

Utilizando la matriz de resultados ajustada (Tabla 145), se realizó un nuevo análisis de regresión múltiple que permitió obtener la ecuación matemática final (Ecuación 42), la misma que presentó un coeficiente de determinación (r^2) de 0,89 (Gráfico 98), estableciéndose que el modelo matemático desarrollado explica el 89% de los datos.

$$VC = 323,70 - 8,69L^* - 9,91a^* + 3,00b^* \quad (\text{Ecuación 42})$$

Finalmente utilizando el modelo matemático optimizado se determinó el contenido de vitamina C en las muestras de uvilla variedad Golden Keniana en función de los parámetros de color interno (L^* , a^* y b^*), los resultados se presentan en la tabla 146.

TABLA 146. RESULTADOS DEL CONTENIDO DE VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g) PREDECIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Muestra	Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100g)		Desviación Estándar	Promedio	Coeficiente de variación (%)	Error de predicción (%)
	Estimado	Experimental				
3	145,65	142,25	2,40	143,95	1,67	2,36
4	128,86	127,66	0,85	128,26	0,66	0,94
5	170,43	166,74	2,61	168,58	1,55	2,19
6	152,42	159,57	5,06	156,00	3,25	4,59
8	160,37	166,62	4,42	163,49	2,70	3,82
9	172,11	177,36	3,71	174,73	2,12	3,00
10	172,99	170,43	1,81	171,71	1,05	1,49
11	164,18	163,31	0,62	163,74	0,38	0,53
12	163,22	156,29	4,90	159,76	3,07	4,34

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La robustez del modelo matemático de predicción de vitamina C fue evaluada en base a parámetros estadísticos como: el coeficiente de correlación (r^2), error de predicción (EP) y el coeficiente de variación (CV), los resultados se muestran en la Tabla 147.

TABLA 147. COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VITAMINA C EXPERIMENTAL (mg/100g) Y PREDECIDOS POR EL MODELO EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Estadístico	VITAMINA C (mg de ácido ascórbico/100g)	
	Experimental (%)	Matemático (%)
Coeficiente de correlación (r^2)		0,89
Error experimental(EE)/ de predicción (EP)	11,68	2,59

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

La precisión del modelo matemático desarrollado para la predicción del contenido de vitamina C fue evaluado en función de la ecuación de Horwitz, la misma que indica que para las concentraciones medidas (mg/100g) se acepta valores de coeficiente de variación $\leq 8\%$, demostrándose que el modelo desarrollado es robusto (Ecuación 42), puesto que los valores predecidos matemáticamente para este antioxidante presentaron un error de predicción de 2,59%.

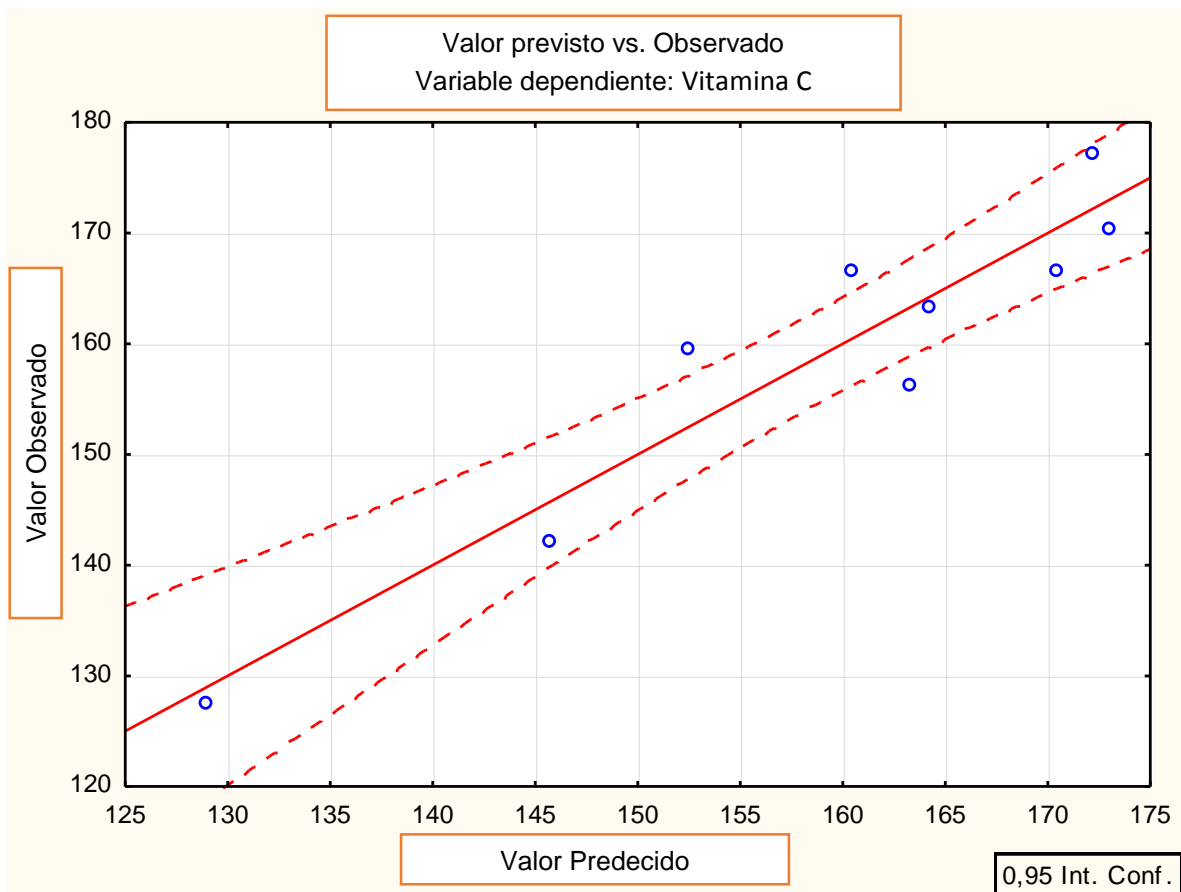


GRÁFICO 98. CONCENTRACIÓN DE VITAMINA C (mg/100g) PREDECIDOS POR EL MODELO MATEMÁTICO AJUSTADO EN FUNCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE REFERENCIA EN UVILLA (*Physalis peruviana* L.) VARIEDAD GOLDEN KENIANA

Elaborado por: Wilma M. Llerena S., 2014.

El error experimental obtenido en los ensayos de laboratorio para la determinación de vitamina C fue de 11,68%, el mismo que es superior al error de predicción, demostrándose que el método reflectométrico utilizado para la determinación de este antioxidante presenta un error experimental alto con respecto a los resultados predecidos por el modelo

Este estudio demostró que utilizando el modelo matemático se puede predecir el contenido de vitamina C en función de los parámetros de color (L^* , a^* y b) en muestras de uvilla, a pesar que este compuesto antioxidante no está relacionado directamente con el color de la fruta.

4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis de correlación permitió describir el grado o fuerza con que se produce la relación entre las variables independientes (componentes de color L*, a* y b*) sobre el contenido de antioxidantes (antocianinas, carotenoides, polifenoles y vitamina C); en base al coeficiente de correlación de Pearson (r^2), para lo cual se realizó una matriz de resultados con los coeficientes de correlación r^2 obtenidos para arazá, mora, mortiño, naranjilla, tomate de árbol y uvilla como se muestra en la Tabla 148.

TABLA 148. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DEL CONTENIDO DE ANTIOXIDANTES EN FUNCIÓN DEL COLOR EN FRUTAS TROPICALES Y ANDINAS

FRUTAS	ANTIOXIDANTES			
	Antocianinas	Carotenoides	Polifenoles	Vitamina C
Arazá (<i>Eugenia stipitata</i>)	ND	0,93	0,88	0,89
Mora (<i>Rubus glaucus</i>)	0,82	ND	0,81	0,83
Mortiño (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth.)	0,81	ND	0,82	0,81
Naranjilla (<i>Solanum quitoense</i> Lam.)	ND	0,84	0,84	0,89
Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i> Cav.)	ND	0,98	0,75	0,89
uvilla (<i>Physalis peruviana</i>)	ND	0,85	0,88	0,89

Elaborado por: Wilma Maribel Llerena S., 2014.

En base a los resultados obtenidos (Tabla 148), se demostró que el color de las frutas esta relacionado con el contenido de antioxidantes de las muestras seleccionadas, puesto que se obtuvo valores de correlación superiores a 0,70 (0,75 - 0,98), demostrándose que se puede desarrollar modelos matemáticos de predicción en función de los parámetros de color L*, a* y b*.

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Aplicando técnicas de análisis multivariado, con un nivel de confianza del 95%, se estableció que el color interno de las muestras estudiadas correlacionan con el

contenido de antioxidantes, demostrándose que las muestras de arazá, naranjilla, tomate de árbol y uvilla presentan una correlación entre el color y el contenido de carotenoides, polifenoles y vitamina C; para el caso de mora de castilla variedad Iniap Andimora y mortiño nativo se estableció que existe correlación del color con el contenido de antocianinas, polifenoles y vitamina C. De igual manera en base a los resultados obtenidos se demostró que los modelos matemáticos desarrollados permiten realizar la predicción de estos compuestos bioactivos con exactitud y precisión, puesto que se obtuvo coeficientes de determinación (r^2) superiores al 70%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos confirman que los compuestos antioxidantes encontrados en las frutas propuestas están directamente relacionada con los parámetros de color (L^* , a^* y b^*), confirmándose que los carotenoides son los responsables del color amarillo y anaranjado. Se obtuvieron correlaciones significativas entre este compuesto bioactivo y el color interno para muestras (arazá, naranjilla, tomate de árbol y uvilla) que se caracterizan por tener un color de pulpa amarillo con tendencia a verde y anaranjado.
- Los análisis de color en mortiño y mora demostraron que estas frutas presentan una tendencia al color rojo y violeta, por lo cual presentaron correlaciones significativas con el contenido de antocianinas
- Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que los polifenoles presentan una correlación significativa con el color de las seis frutas seleccionadas, determinándose que este compuesto se encuentra mayor concentración en frutas con tonalidades rojas y violetas, como es el caso del mortiño y mora; presentando un contenido de polifenoles totales superior al 5%.
- Dentro de la cuantificación de carotenoides totales se estableció que los frutos con tendencia hacia el color amarillo y anaranjado (arazá, naranjilla, tomate de árbol y uvilla) son ricos en carotenoides; observándose una mayor concentración de este compuesto en tomate de árbol (123,18 μg de β - caroteno/g), el cual es atribuido al color anaranjado de la misma, por el contrario la naranjilla tiene una tendencia hacia el color verde presentó una menor concentración de carotenoides (57,93 μg de β - caroteno/g).
- Los resultados de esta investigación demostraron que las antocianinas son parte del perfil de compuestos bioactivos presentes en mortiño y mora, puesto que

estas frutas presentan un color rojo con tendencia a azul, propio de este antioxidante. La concentración media fue de 2682,30 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g en mortiño y 1416,68 mg de cloruro de cianidina 3-glucósido/100g para mora. En frutas como arazá, naranjilla, tomate de árbol y uvilla no se identificó la presencia de estos compuestos.

- El análisis de polifenoles totales en las seis frutas en estudio demostró que el mortiño y mora presentan los contenidos más altos de este antioxidante, 7254,62 y 6352,28 mg de ácido gálico/ 100 g de muestra seca respectivamente; por el contrario, la uvilla presentó el contenido mas bajo de polifenoles (259,93 mg de ácido gálico/ 100 g).
- Los resultados de esta investigación demostraron que la fruta que presenta el contenido más alto de vitamina C es el arazá (427,74 mg de ácido ascórbico/ 100g de muestra), seguido por la naranjilla, tomate de árbol, uvilla, mora y mortiño.
- Los análisis de color y los resultados de laboratorio del contenido de antioxidantes, permitieron desarrollar modelos matemáticos de predicción para la cuantificación de antocianinas en mora y mortiño; carotenoides en arazá, naranjilla, tomate de árbol y uvilla; polifenoles y vitamina C en arazá, mora, mortiño, naranjilla, tomate de árbol y uvilla. Los modelos mostraron una buena calibración estadística obteniendo coeficientes de determinación r^2 entre 0,75 a 0,98; demostrándose que existe una alta correlación entre los valores de referencia de laboratorio y los predcidos con las ecuaciones matemáticas desarrolladas. De igual manera, se ha demostrado que los errores de predicción obtenidos (0,72% a 6,94 %), se encuentra dentro de los niveles de error aceptables para las concentraciones medidas de acuerdo a la ecuación de Horwitz ($C_v=5$ al 16%).
- Los modelos matemáticos de predicción desarrollados permiten predecir el contenido de antioxidantes en las seis frutas en estudio de una manera rápida,

precisa y no destructiva, minimizando los costos de análisis, puesto que no se utiliza solventes y otros materiales en la preparación de las muestras

- El uso de métodos convencionales en el análisis de compuestos antioxidantes demostró que su aplicación es muy costosa, compleja y requiere de mucha precisión por parte del analista para obtener resultados precisos. De acuerdo al método empleado, el rango de incertidumbre aumenta en función de los pasos de preparación de la muestra; de esta manera se demostró que el método de cuantificación de polifenoles totales es uno de los más complejos puesto que el proceso de extracción y purificación de la muestra empleando (cromatografía de fase sólida con cartuchos C18) dió como resultado un error experimental (EE) superior al rango establecido por Horwitz (5-8%) para arazá, mortiño, tomate de árbol y uvilla. De igual manera se obtuvo una variación importante en el contenido de vitamina C en mora y uvilla (EE > 11%), otro de los factores que afectan directamente en la predicción matemática de los resultados fue la influencia del estado de madurez y la zona de procedencia, como en el caso de mortiño. En base al análisis global del uso de un método empírico (color) para la elaboración de modelos matemáticos de predicción del contenido de antioxidantes, en alimentos se plantea el uso de técnicas espectrales de análisis NIRS (Espectroscopia de infrarrojo cercano) que permitan relacionar la composición química del alimento analizado y el contenido de antioxidantes empleando valores de referencia obtenidos a partir de métodos convencionales, mismos que permitirán establecer una relación de estos dos parámetros independientemente del estado de madurez, variedad, y color del alimento, lo cual permitirá el desarrollo de un instrumento de control de calidad de alimentos en líneas de procesamiento y postcosecha en función del contenido de antocianinas, carotenoides, polifenoles y vitamina C en menor tiempo y con una menor cantidad de recursos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para la cuantificación de compuestos antioxidantes se recomienda muestrear y preparar la muestra inmediatamente para evitar la pérdida de estos componentes por efecto de la luz, oxígeno y cambios de temperatura y sugiriendo el uso de nitrógeno líquido en la congelación de la pulpa para su posterior liofilización.
- La liofilización de las muestras de interés debe realizarse en ausencia de luz y controlando posibles cambios de presión que produzcan problemas de oscurecimiento enzimático, caramelización de azúcares y cambios de estado de la muestra (sólido a líquido).
- La optimización del método de medición de color en pulpas debe realizarse manteniendo las condiciones de iluminación, dimensiones del espacio físico, así como la homogeneidad de la muestra (evitar formación de burbujas de aire), que permita mantener un error experimental estándar en todas las determinaciones.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. DATOS INFORMATIVOS

6.1.1. Título

Evaluación del contenido de antioxidantes en alimentos aplicando técnicas espectrales de análisis NIRS (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano) y métodos convencionales de química húmeda.

6.1.2. Institución Ejecutora

Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)
Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

6.1.3. Beneficiarios

Asociaciones de productores, industriales y exportadores de frutas tropicales y andinas del Ecuador

6.1.4. Ubicación

INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Nutrición y Calidad, Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos (LSAIA).

6.1.5. Tiempo estimado para la ejecución

12 meses

6.1.5.1. Fecha de inicio

Junio 2014

6.1.5.2. Fecha de culminación

Junio 2015

6.1.6. Costo

160000 USD

6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Las técnicas de análisis evolucionan día a día, pero desarrollar una técnica universal, confiable y única que permita analizar distintos tipos de alimentos es complejo. Sin embargo, la técnica de espectroscopia de infrarrojo es considerada en centros de investigación y laboratorios de análisis de alimentos como una herramienta analítica con alta precisión en sus resultados, rápida (entre 20 y 90 s), no destructiva y amigable con el medio ambiente, ya que no utiliza solventes contaminantes en su medición. La técnica de IR presenta también la ventaja de analizar muestras líquidas y sólidas, incluso muestras en estado gaseoso. Mondragón *et al.*, 2011.

Según Mondragón *et al.* (2011), a nivel industrial la espectroscopia de infrarrojo cercano NIRS es una técnica empleada en la identificación de agentes adulterantes en alimentos y bebidas, entre los cuales destacan diversas aplicaciones: Para productos cárnicos mencionan que se realizaron trabajos de detección de diferentes tipos de carnes que no son declaradas por parte del fabricante en la elaboración de carne para hamburguesa, el contenido de mezclas formuladas con carne de cordero, pavo o res. Así como también, la adulteración de aceite de oliva con aceites de maíz, soya o ajonjolí. En el caso de jugos de frutas la principal aplicación estudiada por estos autores ha sido la identificación de azúcares artificiales (fructosa y azúcar invertido) y la determinación de los tipos de aditivos empleados en la elaboración de estos jugos.

Cordella *et al.* (2002). Establecieron que durante el procesamiento de leche pasteurizada existen etapas en donde la medición de sus propiedades químicas es

importante para garantizar la calidad del producto como es el caso del contenido de proteínas y grasa en leche cruda y la posible variación de los componentes químicos en las diferentes etapas del proceso (homogenización, descremado y pasteurizado).

Otra fuerte aplicación en los productos lácteos, es la detección de proteínas y grasas ajenas a los contenidos originales de quesos y de leche fluida o en polvo. Mondragón *et al.*, 2011.

Para el caso de miel de abeja (Cordella *et al.*, 2002), establecieron que es importante verificar si este producto es de origen 100 % natural, además destacan que el sitio de procedencia (origen geográfico) es uno de los factores que garantizan las cualidades sensoriales de la miel, puesto que su aroma y sabor vienen dados por el tipo de flores que existen en determinada región de un país, lo cual es posible determinar en base a esta técnica espectroscópica.

En la industria harinera se emplea técnicas NIRS para realizar análisis rutinarios del contenido de proteína y humedad tanto al grano de trigo como a la harina con el propósito de determinar su calidad nutricional. Cordella *et al.*, 2002.

Zossi *et al.* (2010), emplearon esta técnica de análisis para el desarrollo de modelos que permitan predecir el contenido de sólidos solubles y el %Pol (Contenido de sacarosa aparente) en caña de azúcar.

Cabe destacar que el uso de NIRS es generalizado puesto que permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos de multicomponentes en muestras con un mínimo de preparación. El desarrollo de esta técnica para análisis cuantitativo estuvo limitado debido a la complejidad de los espectros obtenidos y a las interferencias espectrales los cuales son interpretados empleando mínimos cuadrados parciales (PLS) (Jiménez *et al.*, 2011).

6.3. JUSTIFICACIÓN

Las exigencias del mercado internacional están cada vez más ligadas con productos saludables y novedosos, que posean virtudes organolépticas como nutritivas.

Ecuador es un país con una participación importante en el mercado internacional con productos como piñas, mangos, banano, maracuyá, camarón entre otros; por tal motivo es sector exportador del país se ha visto obligado a cumplir con normas y requerimientos en cuanto a normas de calidad, por lo cual se ha empleado métodos convencionales de análisis los cuales son costosos y destructivos para el producto analizado, además que lleva mucho tiempo la obtención de resultados. Por tal motivo se propone la aplicación de la espectroscopia de reflectancia (NIRS) en el control de calidad de alimentos puesto que es una técnica muy versátil, que permite realizar análisis rutinarios como Humedad, °Brix, pH, acidez y análisis más complejos como la determinación de compuestos químicos como: azúcares, almidón, antioxidantes (antocianinas, carotenoides, polifenoles y vitamina C), vitaminas de manera rápida y confiable. Su principal ventaja se debe a que trabaja en una región del espectro en el cual las muestras observan una baja absorción, permitiendo que la radiación infrarroja penetre las muestra sin preparación (modificación o dilución), por lo cual se establece que el método es no destructivo, no contaminante, rápido y facilita la determinación de varios compuestos a la vez.

La finalidad de este trabajo es desarrollar modelos matemáticos de predicción utilizando los datos espectrales NIRS (de 1100 a 2500 nm) y los valores de referencia del contenido de compuestos antioxidantes medidos en el laboratorio, que permitan obtener una herramienta de análisis no destructivo y rápido para el control de calidad de alimentos en general

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. Objetivo general

- Evaluar el contenido de antioxidantes en alimentos aplicando técnicas espectrales de análisis NIRS (Espectroscopia de infrarrojo cercano) y métodos convencionales.

6.4.2. Objetivos específicos

- Elaborar una base de datos de compuestos antioxidantes presentes en alimentos aplicando métodos convencionales de análisis y métodos espectrales NIRS.
- Desarrollar modelos matemáticos de predicción del contenido de antioxidantes en alimentos.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La aplicación de modelos matemáticos empleando técnicas espectrales de análisis se plantea como una alternativa de evaluación de compuestos antioxidantes que permite realizar un análisis no destructivo de la muestra, rápido (5 minutos por muestra) y económico pues no utiliza solventes ni pasos previos de preparación de muestra.

Este proyecto de investigación tiene una proyección industrial y comercial ya que permite la selección de las muestras de interés en función del contenido de antioxidantes (parámetro de calidad), empleando un equipo NIRS en línea, evitando la toma de muestras, y el análisis experimental. Esta herramienta de análisis representa una optimización de tiempo y dinero para los exportadores e industriales del país.

6.6. FUNDAMENTACIÓN

La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) es una metodología instrumental que ha presentado un desarrollo creciente en los últimos años en la industria mundial. Se usa tanto en centros de investigación como en diversas industrias por ser una técnica no destructiva, rápida, que no emplea reactivos químicos (Zossi *et al.*, 2010).

El método utiliza la región del infrarrojo cercano de longitudes de onda entre los 1100 y 2500nm del espectro electromagnético (Cozzolino, D. 2002).

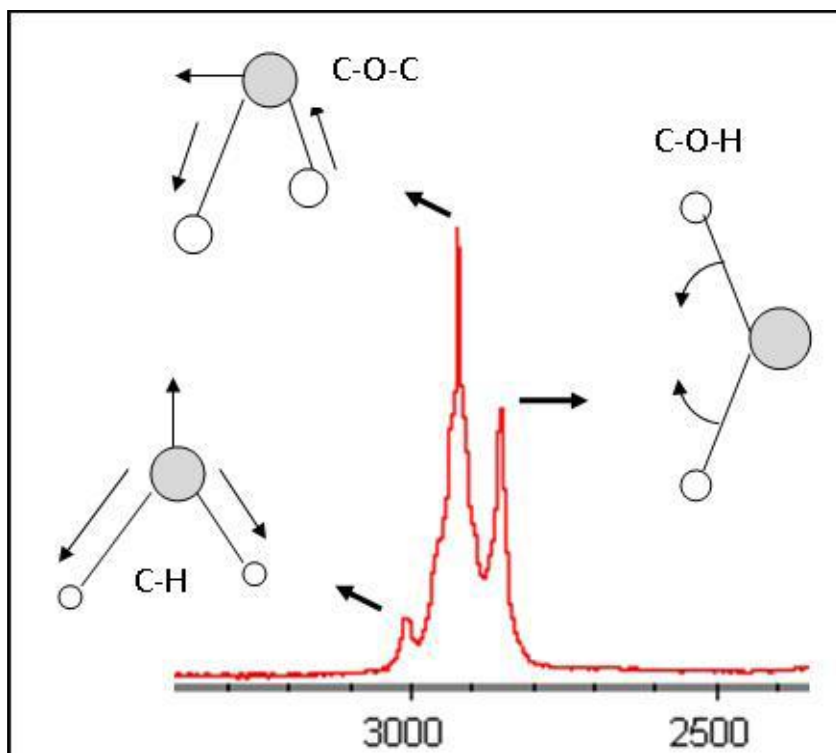


FIGURA 23. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE UN ESPECTRÓMETRO DE INFRARROJO

Cuando la luz incide en una muestra, una parte de los fotones puede transmitirse a través de la misma, y el resto se absorbe por algunos enlaces covalentes que actúan como resortes oscilantes, acoplados con la frecuencia o longitud de onda exacta de la radiación lumínica. La energía resultante se disipa y se provoca un calentamiento de la muestra. La absorción es selectiva y depende de los grupos moleculares involucrados (Valenciaga *et al.*, 2006).

Al interactuar la radiación con la muestra, parte de ella es absorbida, lo que provoca vibraciones a nivel molecular. Este fenómeno se representa e gráficamente (Figura 23) como un espectro de infrarrojo en el cual podemos observar picos de absorción a frecuencias específicas que corresponden a las frecuencias de vibración en los diferentes enlaces atómicos (Mondragón *et al.*, 2011).

6.7. METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO

TABLA 149. MODELO OPERATIVO (PLAN DE ACCIÓN)

Fases	Metas	Actividades	Responsables	Recursos	Presupuesto	Tiempo
1. Formulación de la propuesta	Implementar técnicas no destructivas de análisis de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> Revisión bibliográfica 	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Iván Samaniego MSc. Dr. Milton Ramos Ph.D. Egda. Wilma Llerena 	Materiales Humanos Económicos	1000	1 mes
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Aplicación de técnicas de control de calidad en alimentos de diferentes tipos y orígenes	<ul style="list-style-type: none"> Toma de muestras de alimentos para análisis de laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Iván Samaniego MSc. Egda. Wilma Llerena. 	Materiales Humanos Económicos	6000	2 meses
3. Implementación de la propuesta	Desarrollo de modelos matemáticos de predicción NIRS para compuestos antioxidantes en alimentos	<ul style="list-style-type: none"> Análisis químico de los compuestos antioxidantes en alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Iván Samaniego MSc. Egda. Wilma Llerena 	Materiales Humanos Económicos	10000	4 meses
		<ul style="list-style-type: none"> Determinación de espectros NIRS en los alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Iván Samaniego MSc. Egda. Wilma Llerena 	Materiales Humanos Económicos	130000	2 meses
		<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo del modelo de predicción 	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Iván Samaniego MSc. Egda. Wilma Llerena 	Materiales Humanos Económicos	10000	2 meses
4. Evaluación de la propuesta	Aplicación de herramientas matemáticas de predicción a nivel comercial e industrial	<ul style="list-style-type: none"> Validación del modelo de predicción Elaboración de informe de implementación de la técnica 	<ul style="list-style-type: none"> Dr. Iván Samaniego MSc. Dr. Milton Ramos Ph.D. Egda. Wilma Llerena 	Materiales Humanos Económicos	3000	1 mes

Elaborado por: Wilma M. Llerena., 2014.

6.8. ADMINISTRACIÓN

La ejecución de la propuesta se desarrollara bajo la coordinación del Dr. Iván Samaniego MSc., Dr. Milton Ramos Ph.D. y la Egda. Wilma Llerena.

TABLA 150. ADMINISTRACIÓN DE LA PROPUESTA

Indicadores a mejorar	Situación actual	Resultados esperados	Actividades	Responsables
Métodos de análisis rápidos y no destructivos para control de calidad de alimentos	Métodos de análisis químicos lentos y destructivos que no permiten tomar decisiones rápidas en el control de calidad de alimentos	Bases de datos elaboradas en función de espectros NIRS y métodos de referencia para predicción del contenido de antioxidantes en alimentos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caracterización del perfil de antioxidantes en alimentos por métodos de química húmeda y métodos espectrales NIRS ▪ Elaboración de bases de datos y desarrollo de modelos de predicción para el contenido de antioxidantes en alimentos ▪ Implementación de la tecnología para el control de calidad de alimentos en plantas industriales y centros de acopio y exportadoras de alimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dr. Iván Samaniego MSc. ▪ Dr. Milton Ramos Ph.D. ▪ Egda. Wilma Llerena

Elaborado por: Wilma M. Llerena., 2014.

6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

TABLA 151. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Preguntas básicas	Explicación
¿Quiénes solicitan evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas exportadoras de alimentos • Centros de acopio de alimentos para exportación • Empresas exportadoras
¿Por qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> • Con la finalidad de determinar el contenido de compuestos antioxidantes en alimentos por métodos rápidos de análisis
¿Para qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> • Se pretende realizar un control de calidad rápido y preciso en alimentos de consumo nacional y de exportación.
¿Qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> • El perfil de antioxidantes en alimentos procesados y productos frescos.
¿Quién evalúa?	<ul style="list-style-type: none"> • Director del proyecto • Responsables de Calidad • Responsables Técnicos • Personal de planta y de laboratorio
¿Cuándo evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> • En todos los puntos de control de calidad del proceso de producción de alimentos desde la recepción hasta el producto final
¿Cómo evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> • Con métodos químicos convencionales de análisis en laboratorio • Con métodos espectrales de análisis NIRS
¿Con que evaluar?	<ul style="list-style-type: none"> • Con análisis estadísticos y técnicas quimiométricas avanzadas.

Elaborado por: Wilma M. Llerena., 2014.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta Ó., Pérez A.M., Vaillant F. (2009). Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición 59(1): 88-94.
2. Altamirano, M. 2010. Estudio de la cadena productiva de la uvilla (*Physalis peruviana*, L) en la Sierra norte del Ecuador. Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutrición. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero en Agroempresas. Quito – Ecuador.
3. Ames, B. N.; Gold, L. S.; Willett, W. C. The causes and prevention of cancer. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 1995, 92, 5258.
4. Acosta, O.; Pérez, A. y Vaillant, F. 2009. Chemical characterization, antioxidant properties and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de San José. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). San José, Costa Rica.
5. Alvarado, J. y Aguilera, J. 2001. Métodos para medir propiedades físicas e industriales de alimentos. España. Editorial Acribia, S. A. pp. 157, 329.
6. Álvarez, P. y Espín, S. 2007. Estudio de factibilidad para la comercialización internacional de los concentrados y/o mermelada de arazá, a los Estados Unidos. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero en Ciencias

Económicas y Financieras. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ciencias. Quito-Ecuador.

7. Andari, V. 2009. La Importancia de los Antioxidantes en la Salud Cardiovascular. Alimentación, Nutrición y Salud. Los Ángeles – California. Publicación 6 de abril.
8. Araya, H; Clavijo, C y Herrera, C. 2006. Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivadas en Chile. Sociedad Latinoamericana de Nutrición 56(4): sp.
9. Badui, S. 1999. Química de los alimentos. Longman de México Editores. Juárez - México. Pág. 379-405.
10. Briceño, C.2007. Proyecto de factibilidad para la producción y exportación de uvilla al mercado alemán, periodo 2008–2018. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniería de Comercio Exterior e Integración. Universidad Tecnológica Equinoccial. Facultad de Ciencias Económicas y Negocios. Carrera de Comercio Exterior e Integración. Quito-Ecuador.
11. Brito, B. 2011. Aprovechamiento del potencial nutritivo y funcional de algunas frutas de la amazonía ecuatoriana. Informe de propiedad intelectual del proyecto financiado por SENE CYT. 10 p.
12. Brito, D. 2002. Producción de uvilla de exportación. Federación Ecuatoriana de tecnología apropiada (FEDETA).
13. Calvo, I. 2009. El cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana*), manejo integrado de cultivos, frutales de altura. Proyecto Microcuenca Plantón – Pacayas. Boletín técnico No. 10. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José–Costa Rica.
14. Chancusig, E. 2012. Cultivo de la mora de castilla (*Rubus glaucus*). Heifer Ecuador. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cultivo-mora-castilla/cultivo-mora-castilla.pdf>.

15. Castellucci, F. 2006. Determinación de las características cromáticas CIELab. Commission Internationale de l'Eclairage. París-Francia.
16. Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), División de Población de la CEPAL. 2004. Estimaciones y proyecciones de población de América Latina y el Caribe. http://www.eclac.cl/celade/proyecciones/basedatos_BD.htm.
17. Centro de Inteligencia sobre Mercados Sostenibles (CIMS). 2006. Oportunidades para las frutas tropicales exóticas en el mercado europeo. Alajuela – Costa Rica.
18. Cerón, I., Higueta, J. y Cardona, C. 2010. Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. Vector ISSN. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Manizales-Colombia.
19. Contreras-Calderón, J.; Calderón, L.; Guerra, E; y García, B. 2010. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. Food Research International. Universidad de Granada España. Universidad de Pamplona – Colombia. Pamplona, Colombia.
20. Cordella, C.; Moussa, I.; Martell, A.; Sbirrazzuoli, N. y Lizzani-CUVelier, L. Recent developments in food characterization and adulteration detection : technique-oriented perspectives, J. Agric. Food Chem. 50 (2002) 1751-1764. Hans Buning-Pfaue, Analysis of water in food by near infrared spectroscopy, Food Chemistry 82 (2003) 107-115.
21. Coultate, T. 1998. Alimentos química de sus componentes. Zaragoza, ES, Acribia. p. 101-114.
22. Cozzano, S. 2009. Impacto del proceso de microfiltración tangencial sobre los compuestos antioxidantes en jugos de frutas. Innova. Universidad Católica de Uruguay.

23. Cozzolino, D. 2002. Uso de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA. Revista Agrocienza. Colonia – Uruguay.
24. Cuevas, E., Antezana, A. y Winterhalter, P. 2008. Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano. Universidad Mayor San Simón Cochabamba- Institut für Lebensmittelchemie. Cochabamba-Bolivia.
25. Delgado, O., Betanzos, G., Sumaya M. 2010. Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo. Investigación y Ciencia, núm. 50. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, REDALYC. Aguascalientes – México.
26. El Agro. 2012. Frutos Amazónicos salen del anonimato. <http://www.revistaelagro.com/2012/02/29/frutales-amazonicos-salen-del-anonimato/>
27. Farinango, M. 2010. Estudio de la fisiología post-cosecha de la mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) y de la mora variedad brazos (*Rubus sp.*). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniera Agroindustrial. Quito-Ecuador.
28. Francis, F. y Clydesdale, F. (1975). Food Colorimetry: Theory and Applications. AVI Pub. Co. Westport, Conn.
29. García, M., Loera, I., Paz, S., Ramos, C., Rojas, I. 2010. Paradigma Interpretativo. Metodología de las ciencias sociales y humanas. <http://es.slideshare.net/carlostlapanco/paradigma-interpretativo-1>.
30. Garzón, G.; Rield, K. y Schwartz S. 2009. Determination of anthocyaninns, total phenolic content and antioxidant activity in Andes Berry (*Rubus glaucus* Benth)

31. Garzón, G.; Narvaez-Cuenca, C.; Kopec, R. Barry, A. Rield, K. y Schwartz S. 2010. Determination of carotenoids, total phenolic content and antioxidant activity of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), an Amazon fruit.
32. Gaviria, C.; Ochoa, C.; Sánchez, Nelly.; Medina, C.; Lobo, M.; Galeano, P.; Mosquera, A.; Tamayo, A.; Lopera, Y.; y Rojano, B. 2009. Actividad antioxidante e inhibición de la peroxidación lipídica de extractos de frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, vol. 8, núm. 6, noviembre, 2009, pp. 519-528. Sociedad Latinoamericana de Fitoquímica. Santiago, Chile.
33. González, G., Gardea, A. y Cuamea, F. 2005. Nuevas tecnologías de conservación de productos y vegetales frescos cortados. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Jalisco-México.
34. González, C., Jurado, V., González, S., Gómez, R y Roca, E. 2012. Boletín mensual de Comercio Exterior - Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración. Unidad de Inteligencia Comercial e Inversiones. PRO-ECUADOR. Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Ministerio de Relaciones Exteriores Comercio e Integración. Quito-Ecuador.
35. Guzmán R., De Villaveces M.C., De Clavijo E. (1977). Estudio de la composición química del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) y obtención de un producto comercial a partir de este fruto. *Frutas Tropicales, Boletín Informativo*, 2:59-69.
36. Hernández, M., Barrera, J., Fernández, J., Carrillo, M. y Bardales, X. 2007. Manual de manejo de cosecha y post cosecha de frutos de arazá (*Eugenia stipitata* Mc. Vaught) en la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – Sinchi. Bogotá-Colombia.
37. Jaramillo, V. 2013. Nueva variedad de mora de castilla sin espinas. Revista Informativa INIAP. Octava edición. Quito-Ecuador.

38. Jiménez, Y. y López, M. Aplicabilidad de la técnica de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano para determinar dodecilbenceno sulfonato de sodio en limpiadores líquidos. Revista Avances en Química. Departamento de Química, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad de Carabobo. Carabobo, Venezuela
39. Juntamay, E. 2010. Evaluación nutricional de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratado en bandejas. Escuela Politécnica del Chimborazo. Facultad de Ciencias. Riobamba Ecuador.
40. Kaur, C. y Kapoor, H. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables - the millennium's health. Journal of Food Science and Technology 36:703-725.
41. Kikugava, K., Kunugi, A. & Kurechi, T. 1990. Natural antioxidants exploited commercially. In: Food Antioxidants. B. J. F. Hudson. Elsevier Applied Science. p. 65-98.
42. Laverde, J. 2011. Estudio de las condiciones óptimas para la obtención de jugo clarificado de arazá (*Eugenia stipitata*) mediante procesos enzimático y membranario. Tesis de Ingeniero Agroindustrial. Quito, EC, Escuela Politécnica Nacional.
43. Licata, M. 2013. La Pirámide Nutricional o alimentaria y su composición. [www.zonadiet.com / Nutrición](http://www.zonadiet.com/Nutrición).
44. López, J., García, N. y Salazar, R. 2010. Proyecto de valoración financiera de la elaboración y comercialización de pulpa de arazá para la ciudad de Guayaquil. Escuela Superior Politecnica del Litoral. Guayaquil – Ecuador.
45. López, A. 2011. Determinación de las características fisicoquímicas y estudio de los índices de calidad en el comportamiento postcosecha en clones elite provenientes de cruzamientos de naranjilla en la provincia de Pastaza. Tesis de Ingeniera Agroindustrial. Ibarra, EC, Universidad Técnica del Norte. 280 p.

46. Martínez, A. 2003. Carotenoides. Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica. Medellín – Colombia.
47. Medina, G. 2006. Determinación del potencial nutritivo y nutracéutico de dos ecotipos de uvilla (*Physalis peruviana* L.) y granadilla (*Passiflora ligularis* L.). Tesis de Doctora en Bioquímica y Farmacia. Riobamba, EC, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 130 p.
48. Mejía, L.; Narváez, E. y Restrepo Luz. 2006. Cambios físicos, químicos y sensoriales durante el almacenamiento congelado de pulpa de arazá (*Eugenia stipitata* Vaugh). Agronomía Colombiana. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Departamento de Química. Bogotá, Colombia.
49. Merck KGaA. 2010. Test de ácido ascórbico. <http://fea.merck.de>
50. Mertz, C., Gancel, A., Gunata, Z., Alter, P., Dhuique-Mayer, C., Vaillant, F., Pérez, A., Ruales, J. y Brat, P. 2009. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidants capacity of three tropical fruits. Journal of food compositions and analysis. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Qualisut Université Montpellier (UMRQ), Centro Nacional de Tecnología de Alimentos (CITA) y Escuela Politécnica Nacional (EPN).
51. Mínguez, M., Pérez, A. y Hornero, D. 2010. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples “colorantes” naturales. Grupo de Química y Bioquímica de pigmentos. Departamento de Biotecnología de Alimentos. Instituto de la Grasa (CSIC). Sevilla-España.
52. Montalvo, D. 2009. Informe Técnico del Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Programa de fruticultura – Sede Central.

53. Montalvo, D. 2011. Evaluación de la calidad poscosecha de las accesiones seleccionadas de mora de castilla (*Rubus glaucus* Benth) provenientes de las provincias de Tungurahua y Bolívar. Tesis de Ingeniero Agroindustrial. Quito, EC, Escuela Politécnica Nacional. 174 p.
54. Muñoz A., Fernández A., Ramos F. y Alvarado C. 2007. Evaluación de la actividad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en vinos producidos en Perú. Rev. Soc. Quím. Perú. 73, Nº 1. La Molina – Perú. Pag 30-40.
55. Murdock, D. 2011. Dole Nutrition Institute. Disponible en: www.dolenutrition.com/News_subscribe.aspx?ln=es. Dole Food Company.
56. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS-Ecuador), Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2011. Plan estratégico para enfermedades crónicas no transmisibles y factores de riesgo. http://new.paho.org/ecu/index.pHp?option=com_joomlabook&Itemid=259&task=display&id=219.
57. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS-Ecuador), Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2012. Diabetes, un mal silencioso que invade todo el cuerpo http://new.paho.org/ecu/index.pHp?option=com_joomlabook&Itemid=259&ask=display&id=219.
58. Orozco, L. 2003. Proyecto de elaboración de una bebida energizante de pulpa de naranjilla. Universidad Tecnológica Equinoccial. Escuela de Ingeniería en Industrialización de Alimentos. Quito-Ecuador.
59. Paladino, S. 2007. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en las semillas de la vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis presentada para acceder al grado Académico de Magister en Alimentos, Mención en Ciencias del Posgrado Regional Cooperativo en Alimentos. Universidades Nacionales de Cuyo. La Rioja – España.

60. Pazmiño, I. 2002. Tiempo de investigar, Investigación científica 2. DIMAXI. Quito – Ecuador.
61. Political data base of the Americas. 2011. Republica del Ecuador. Constitución 2008. <http://pdba.georgetown.edu/constitutions/ecuador/ecuador08.html>
62. Proaño, O. 2003. Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de uvilla. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ciencias Administrativas. Proyecto de grado previo a la obtención del título de Ingeniera Comercial. Latacunga - Ecuador.
63. Rababah, T., Ereifej, K., Howard, L. 2005. Effect of ascorbic acid and dehydration of total pHenolics, antioxidant capacity, anthocyanins, and color in fruits. Journal of Agricultural Food Chemistry 53(11):4444–4447.
64. Ramadan, M. 2011. Bioactive pHytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. Departament of biochemistry, Faculty of agricultural, Zagazig University. Food research International. Zagazig, Egypt.
65. Rapisarda, P; Fanella, F y Macccarone, E. 2000. Reability of Analytical Methods for Determining Anthocyanins in Blood orange Juices. Journal of Agricultural Food Chemistry. pp. 2.249 – 2.251.
66. Revelo, J., Pérez, E. y Maila, V. 2006. El cultivo de tomate de árbol. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios (PROMSA), Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO). Quito-Ecuador.
67. Revelo, V. 2011. Evaluación de la calidad poscosecha en genotipos mejorados e injertos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*Cav.). Tesis de Ingeniero Agroindustrial. Quito, EC, Escuela Politécnica Nacional. 145 p.

68. Slinkard, K. y Singleton, V. Total pHenol analysis: automation and comparison with manual methods. Vol. 28, No. 1,1967.
69. Ruiz, I., 2003. "Situación de la cadena productiva de las frutas amazónicas ecuatorianas, <http://infoagro.net/shared/docs/a5/cf>, (Junio, 2008).
70. Soto, M., Pérez, A. y Acosta, O. 2011. La mora: una pequeña fruta beneficiosa para la salud. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA). Costa Rica.
71. Speisky, H. 2011. Importancia de los alimentos ricos en antioxidantes en la protección de la salud humana. Portal antioxidantes. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos INTA. Chile. <http://portalantioxidantes.com/articulo-2/>
72. Sze, L. y Indrawati, O. 2012. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. Department of Food Science, University of Otago. Food Chemistry. New Zealand.
73. Taringa. (2012). Salud y Bienestar, ¿Los colorantes artificiales afectan a los niños? <http://www.taringa.net/posts/salud-bienestar/9634971/Los-colorantes-artificiales-afectan-a-los-ninos.html>
74. Toledo, D. 2010. Determinación del valor nutritivo y funcional de tres clones seleccionados de arazá (*Eugenia stipitata*) y seis de borjón (*Borojoa patinoi*), y evaluación del proceso para la obtención de pulpas pasteurizadas y congeladas. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito – Ecuador.
75. Torres, N. 2006. Determinación del potencial nutritivo y nutracéutico de cuatro cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Bioquímica y Farmacia. Tesis de Grado previa a la obtención del Título de Doctora en Bioquímica y Farmacia.

76. Tupuna, D. 2012. Obtención de jugo concentrado clarificado de mortiño mediante el uso de tecnología de membranas. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito – Ecuador.
77. Vaillant, F., Perez, A., Dávila, I., Dornier, M., Reynes, M. 2005. Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus sp.*). *Fruits* 60(1):3-12.
78. Valenciaga, D. y Oliveira, E. 2006. La espectroscopia de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) y sus potencialidades para la evaluación de forrajes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 40, núm. 3, 2006, pp. 259-267. Instituto de Ciencia Animal. Cuba
79. Vásquez, W., Viteri, P., Martínez, A., Villares, M., Ayala, G. y Jácome, R. 2009. Naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) Tecnologías para mejorar la productividad y calidad de la fruta. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Fruticultura. Quito – Ecuador. Reardon., J. 2009. Importancia de los antioxidantes en nuestra alimentación. Department of Agriculture and Consumer Services Food and Drug Protection Division. Carolina del Norte – EE.UU.
80. Vásquez, W., León, J., Viera, W., Posso, W., Hinojosa, M., Revelo, J. y Ochoa, J. 2009. Naranjilla de jugo (*Solanum quitoense* Lam.) injerta en patrones de solanáceas silvestres resistentes a *Fusarium oxysporum* y a *Meloidogyne incognita*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Fruticultura. Granja Experimental Tumbaco. Quito – Ecuador.
81. Vasco, C.; Ruales, J. y Kamal-Eldin, A. 2008. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruit from Ecuador. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*

82. Vasco, C. 2009. Phenolic compounds in Ecuadorian fruits. Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Doctoral thesis. Uppsala, Sweden.
83. Vasco, C., Riihinen, K., Ruales, J y Kamal-Eldin, A. 2009. Chemical Composition and Phenolic Compound Profile of Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
84. Viteri, P., Vásquez, W., León, J., Viera, W., Posso, W., Hinojosa, M., Revelo, J. y Ochoa, J. 2009. Naranjilla de jugo (*Solanum quitoense* Lam.) injerta en patrones de solanáceas silvestres resistentes a *Fusarium oxysporum* y a *Meloidogyne incognita*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Fruticultura. Granja Experimental Tumbaco. Quito – Ecuador.
85. Wang, H.; Cao, G. y Prior, R. 1996. Total Antioxidant Capacity of Fruits. *J. Agric. Food Chem.*, 1996, 44 (3), 701-705.
86. Zossi, S.; Ruiz, R.; Sorol, N. y Sastre, M. 2010. Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS). Su aplicación en análisis de jugos de caña de azúcar. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. Tomo 87. Tucumán, Argentina.

ANEXOS

ANEXO 1. MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS EN FRUTAS Y HORTALIZAS.

a) OBJETIVO

Determinar las características físicas y químicas de productos vegetales, a través de la correcta manipulación de equipos y materiales.

b) MATERIALES

- Papel filtro
- Refractómetro 0 a 30 °Brix
- pH-metro
- Matraces Erlenmeyer de 125 ml
- Balanza analítica
- Bureta de 50 ml
- Pinzas para bureta
- Soporte universal
- Pipetas volumétricas de 10 ml
- Penetrómetro GY3
- Secador
- Estufa

c) REACTIVOS

- Solución de NaOH 0.1N
- Fenolftaleína al 1%
- Buffer pH 4 y pH 7
- Ácido cítrico
- Ácido Ascórbico

d) PROCEDIMIENTO

1. DETERMINACIÓN DEL pH Y °Brix.

- Extraer la pulpa de la fruta. Con ayuda de un pH-metro previamente calibrado determinar el potencial hidrogeno de las muestras (pH) por lectura directa.
- Los °Brix se realiza con ayuda de un refractómetro (0 - 30) °Brix, tomando 1 mililitro de muestra.

2. ACIDEZ TITULABLE

- Tomar 20 ml de pulpa y aforar a 200ml, de esta solución tomar una alícuota de 20ml y adicionar 2 ó 3 gotas de fenolftaleína y titule con la solución de NaOH 0.1N a un punto final de pH =8.2 (momento en que ocurre el cambio de color del indicador).
- La acidez puede calcularse con la siguiente ecuación.

$$\%Acidez = \frac{ml\ NaOH * N(NaOH) * meq.\ acido * FD * 100}{ml\ de\ muestra\ titulada}$$

- Utilice el valor del miliequivalente del ácido orgánico predominante en el producto. En la Tabla 152 se ilustra cómo se calcula para 3 ácidos orgánicos.

TABLA 152. PESO EQUIVALENTE, PESO MILIEQUIVALENTE Y PESO MOLECULAR DE LOS ÁCIDOS ORGANICOS PREDOMINANTES EN FRUTAS

Ácido Orgánico	Peso molecular	Peso equivalente	Peso miliequivalente
Cítrico	192,12	64,04	0,064
Málico	134,09	67,05	0,067
Tartárico	150,08	75,04	0,075

3. DETERMINACIÓN DE LA FIRMEZA

- Tome el Penetrómetro entre el pulgar y el índice de la mano derecha. Ponga en cero la aguja de lectura.

- Coloque la punta penetradora sobre el fruto y apretar progresivamente hasta hacer penetrar en la pulpa del fruto hasta el anillo tope.
- La lectura correcta será el valor medio de varias medidas seguidas, por lo tanto debe hacer este procedimiento 5 veces por cada fruta.

e) REFERENCIAS

- Blandón, S. 2012. Determinación de características físicas y químicas de Frutas y hortalizas. Universidad Nacional de Ingeniería. Ingeniería de Poscosecha II.

ANEXO 2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

a) PRINCIPIO

La humedad de la muestra se pierde por volatilización a causa del calor. La cantidad de material residual después de eliminar la humedad, constituye la materia seca.

b) EQUIPO Y MATERIAL

- Estufa
- Recipientes de Acero Inoxidable.
- Balanza analítica.
- Pinza metálica.
- Desecador.
- Espátula.

c) PROCEDIMIENTO

- Lavar los recipientes y secar en estufa a 65°C por 2 horas. Retirar de la estufa, enfriar y pesar.
- Pesar aproximadamente 400 g. de muestra, llevar a la estufa a 105°C por 8 horas (preferible una noche).
- Luego de este tiempo, se sacan los recipientes con la muestra, enfriar y pesar.

d) CALCULOS

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$MS = \frac{P_2 - P_r}{P_1 - P_r} * 100$$

Donde:

MS = Porcentaje de materia seca

P_r = Peso del recipiente

P₁ = Peso del recipiente más la muestra húmeda

P₂ = Peso del recipiente más la muestra seca

e) REFERENCIAS

Laboratorio de Servicios Analíticos e Investigación en Alimentos del Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina – INIAP.

ANEXO 3. DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS

a) PRINCIPIO

Las antocianinas son pigmentos responsables del color en algunas frutas. Las antocianinas sufren transformaciones estructurales con cambios en el pH. A pH 1,0 las antocianinas existen en una alta coloración de oxonium en su forma flavonoide y a pH 4,5 ellas están predominantemente en la forma de carbinol menos coloreado.

b) EQUIPO Y MATERIAL

- Espectrofotómetro UV-VIS
- Balanza analítica
- pH-metro
- Placa agitadora
- Centrifuga
- Papel filtro cualitativo
- Pipetas volumétricas
- Vasos de precipitación
- Probetas
- Balones aforados
- Cronómetro
- Agitadores magnéticos

c) REACTIVOS

- **Solución A, Cloruro de Potasio 0,2 N:** Pesar 14,912 g de cloruro de potasio (KCl), grado p.a. pureza 99,5%, PM 74,56 g/mol-g, disolver y aforar a un litro con agua destilada.
- **Solución B, Ácido clorhídrico HCl 0,2 N:** Tomar 16,56 ml de ácido clorhídrico HCl; 36,5 a 38 %, 1,19 g/ml) de pureza, y aforar a un litro con agua destilada.
- **Solución Buffer pH 1,0:** Medir 125 ml de la solución A y adicionar 375 ml de la Solución B, medir el pH y aforar a 500 ml.

- **Solución C, Acetato de Sodio 1 M:** Pesar 82,8586 g de acetato de sodio anhidro, disolver y aforar a un litro con agua destilada.
- **Solución D, Ácido clorhídrico HCl 1,0 N:** Tomar 82,81 ml de ácido clorhídrico HCl; 36,5 a 38 %, 1,19 g/ml) de pureza, y aforar a un litro con agua destilada.
- **Solución Buffer pH 4,5:** Medir 400 ml de la solución C, adicionar 240 ml de la solución D, y 360 ml de agua destilada ir controlando el pH y aforar a 1 lt.

d) PROCEDIMIENTO

- Pesar 0,25 g de muestra liofilizada, en vasos de precipitación.
- Adicionar 10 ml de buffer.
- Agitar por una hora sobre una placa agitadora.
- Ultracentrifugar < 5000 rpm.
- Medir la absorbancia del buffer pH 1,0 (blanco).
- Medir la absorbancia de las muestras a 510 nm y 700 nm
- Realizar el mismo procedimiento con el buffer pH 4,5.

e) CÁLCULOS

$$\text{Absorbancia} = [(A_1 - A_2) - (A_3 - A_4)]$$

$$\text{Antocianinas totales}_{(mg/100g)} = \frac{A}{\varepsilon * b} * \frac{Vt}{Pm} PM * 100$$

Donde:

- C = Concentración de antocianinas (mg/100g)
- A = Diferencia de la absorbancia entre pH 1,0 y pH 4,5
- A₁ = Absorbancia a 510 nm a pH 1,0
- A₂ = Absorbancia a 700 nm a pH 1,0
- A₃ = Absorbancia a 510 nm a pH 4,5
- A₄ = Absorbancia a 700 nm a pH 4,5
- Vt = Volumen total (ml)

- P_m = Peso de la muestra (g)
- PM = Peso molecular de cyanidin-3-glucoside chloride (484,82 g/mol)
- ϵ = Coeficiente de absortividad de cyanidin-3-glucoside chloride (24825 L mol⁻¹cm⁻¹)
- b = Ancho de la celda (1 cm)

f) REFERENCIAS

- Rapisarda, P; Fanella, F; Maccarone, E: Reliability of Analytical Methods for Determining Anthocyanina in Blood Orange Juices. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2000, Vol. 48, 2249-2252 pp. Adaptado por en el Departamento de Nutrición y Calidad para determinar Antocianinas Totales.

ANEXO 4. DETERMINACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES

a) PRINCIPIO:

Los carotenoides totales se determinan espectrofotométricamente basados en el coeficiente de extensión ($\epsilon_{1\%}$). Las concentraciones calculadas por este método se reportan en ($\mu\text{g/g}$) del total de carotenoides en frutas.

b) MATERIALES:

- Espectrofotómetro UV-VIS
- Balanza analítica
- Placa agitadora
- Agitadores magnéticos
- Erlenmeyers
- Embudos de separación
- Cronómetro
- Probetas

c) REACTIVOS:

- Solución de extracción: 50% Hexano, 25% Etanol, 25% Acetona y 0,1% de BHT (v/v).
- Cloruro de calcio

d) PROCEDIMIENTO:

- Pesar 0,6-1 g de muestra liofilizada en un Erlenmeyer protegido de la luz.
- Adicionar 50 ml de la solución de extracción
- Añadir 5 g de CaCl_2 y agitar la mezcla por 20 min a 4 °C
- Agregar 15 ml de agua y agitar por 10 min a 4 °C
- Colocar la mezcla en un embudo de separación
- Separar la fase acuosa y la fase orgánica
- La fase orgánica aforar a 50 ml con la solución de extracción
- Medir la absorbancia a 450 nm

a) CÁLCULOS

$$\text{Carotenoides totales } (\mu\text{g/g}) = \frac{A * V_{(\text{ml})} * 10^{-3} * 536,89 (\text{g/mol-g}) * 10^6}{\epsilon_{(\text{L/mol*cm})} * b_{(\text{cm})} * P_{(\text{g})}}$$

Donde:

- A** = Absorbancia
 ϵ = Coeficiente de extinción molar
b = Ancho de la celda

TABLA 153. COEFICIENTES DE EXTINCION MOLAR AL 1% DE LICOPENO, BETACAROTENO, LUTEOXANTINA Y CAPSANTINA.

Compuesto Fitoquímico	Coeficiente extinción	Longitud de onda	Tipo de muestra
Lycopene	3450	471	Tomate, melón y toronja rosada
Beta-caroteno	2550	449	Mango, papaya, albaricoque, míspero y melón
Luteoxanthin	2550	425	Concentrados cítricos, duraznos, piñas y ají amarillo
Capsanthin	2200	468	Pimiento dulce rojo

b) REFERENCIAS

- Sze, L. e Indrawati, O. 2012. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. Food Chemistry 133 (2012) 1577–1587.

ANEXO 5. DETERMINACIÓN DE POLIFENOLES TOTALES

a) PRINCIPIO

Los polifenoles se destacan por su amplia disponibilidad en la naturaleza y su elevada capacidad antioxidante, por lo que el potencial beneficio para la salud de los alimentos de origen vegetal está relacionado con su contenido en compuestos fenólicos.

El ensayo Folin&Ciocalteu, ha estado utilizado durante muchos años, como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos naturales. Aún así, el mecanismo básico es una reacción redox, por lo que se puede considerar, como otro método de medida de la actividad antioxidante total.

b) EQUIPO Y MATERIAL

- Espectrofotómetro UV-VIS
- Balanza analítica
- Placa agitadora
- Papel filtro cualitativo
- Balones aforados
- Pipetas volumétricas
- Probetas
- Viales con tapa
- Vasos de precipitación
- Cronómetro
- Agitadores magnéticos
- Cartuchos OASIS
- Termómetro

c) REACTIVOS

- **Acetona 70:30 (v/v):** Medir 70 ml de acetona CH_3COCH_3 grado p.a. PM 58,08 g/mol, $\geq 99,8\%$, $\delta=0,79$ g/ml y mezclar con 30 ml de agua destilada.
- **Metanol puro:** grado p.a CH_3OH , PM 32,04 g/mol, pureza 99,90 %.

- **Solución de carbonato de sodio 75 g/l:** Pesar 75 g de carbonato de sodio Na_2CO_3 , grado p.a, Na_2CO_3 , pureza $\geq 99.9\%$, PM 105.99 g/mol-g, disolver con un poco de agua destilada caliente y aforar a 1000 ml.
- **Reactivo de Folin-Ciocalteus:** Tomar 1 ml del reactivo de Folin, adicionar 9 ml de agua destilada, dilución 1/10.
- **Solución estándar de ácido gálico de 500 ppm:** Pesar 0,0564 g de ácido gálico monohidratado $(\text{HO})_3\text{C}_6\text{H}_2\text{CO}_2\text{H}\cdot\text{H}_2\text{O}$, 98 %, disolver y aforar a 100 ml con agua destilada. Preparar una curva de 0-500 ppm, tomar 50 μl de cada estándar, adicionar 450 μl , (volumen final 500 μl) y proceder con el método.

d) PROCEDIMIENTO

- Pesar entre 0,3 g a un 1 g de muestra liofilizada, en viales con tapa.
- Adicionar 10 ml de la mezcla acetona/agua.
- Agitar por 45 minutos en una placa agitadora.
- Centrifugar por 10 min a 3500 rpm y/o filtrar a través de papel filtro.
- Recoger el filtrado en viales con tapa (*extracto bruto del que se obtendrá las fracciones A y B*).

e) DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES SOLUBLES TOTALES EN AGUA (FRACCIÓN A)

- Tomar 25 μl , 50 μl ó 75 μl del extracto bruto.
- Adicionar 475 μl , 450 μl ó 425 μl de metanol.
- Medir utilizando el método de Folin.

f) SEPARACIÓN DE POLIFENOLES Y COMPUESTOS SOLUBLES EN AGUA (FRACCIÓN B)

- Tomar 500 μl del extracto bruto.
- Adicionar 3,5 ml de agua.
- Colocar 2 ml de esta solución en un cartucho OASIS previamente acondicionado (3 ml de metanol + 2 veces con 3 ml de agua).

- Lavar por 2 veces con 2 ml de agua.
- Medir utilizando el método de Folin.

NOTA: Después de cada análisis lavar los cartuchos OASIS con: 3 ml de metanol puro por 4 veces. Lavar por 2 veces con 2 ml de agua destilada.

g) MÉTODO DE FOLIN

- Adicionar 2,5 ml del reactivo de Folin&Ciocalteu (diluido en 1/10 con agua destilada).
- Dejar a temperatura ambiente por dos minutos.
- Adicionar 2 ml de carbonato de sodio, agitar e incubar inmediatamente a 50° C por 15 minutos exactos. Enfriar los tubos rápidamente en agua a 4° C.
- Leer la absorbancia inmediatamente a 760 nm de las muestras y de la curva de calibración con el ácido gálico. Realizar las mediciones por duplicado.

h) CÁLCULOS

- **Cálculo de la fracción A:**

$$\text{Fracción A}_{(\text{mg}/100\text{g})} = \text{LR}_a * \frac{V_t}{P_m}$$

- **Cálculo de la fracción B:**

$$\text{Fracción B}_{(\text{mg}/100\text{g})} = \left[\text{LR}_a * \frac{V_t}{P_m} * \text{FD} \right] * \frac{1}{10}$$

- **Polifenoles totales:**

$$\text{Polifenoles totales}_{(\text{mg}/100\text{g})} = \text{FA} - \text{FB}$$

Donde:

- LR_a = Concentración en mg/l de ácido gálico de la Fracción A
- LR_b = Concentración en mg/l de ácido gálico de la Fracción B
- V_t = Volumen total (ml)

- Pm = Peso muestra (g)
- FD = Factor de dilución Fracción B $((4/0,5)*(6/2))$
- B = ABS a 760 nm de la Fracción B

i) REFERENCIAS

Stephane, G; Pierre, B; Pascaline, A; Marie, J.A. Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant – Derived Products. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2005, Vol. 53, 1370 -1373 pp. Adaptado en el Laboratorio de Servicios Analíticos e Investigación en Alimentos del Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP.

ANEXO 6. DETERMINACIÓN DE VITAMINA C

a) PRINCIPIO

El ácido ascórbico reduce el ácido molibdofosfórico amarillo a azul de fosfomolibdeno que se determina reflectométricamente. El intervalo de medida va de 25 – 450 mg/lit de ácido ascórbico.

b) REACTIVOS Y AUXILIARES

Las tiras de ensayo son utilizadas hasta la fecha indicada y debe conservarse a temperaturas entre 15 °C y 25 °C

- Tiras de ensayo de ácido ascórbico
- Código de barras

c) PREPARACIÓN DE MUESTRAS

- Pesar 1 g de muestra sólida y aforar a 100ml con agua destilada.
- La temperatura de la muestra debe encontrarse entre 5 y 30 °C
- Muestras con más de 450 mg/lit de ácido ascórbico deben diluirse con solución de ácido oxálico 1% (14g de ácido oxálico dihidratado en 1lit de agua destilada)

d) TÉCNICA

Uso del reflectómetro

- Pulse la tecla start del reflectómetro e introduzca de forma simultánea la tira de ensayo con ambas zonas de reacción durante 2 segundos.
- Dejar que se escurra cuidadosamente el exceso de líquido sobre papel absorbente
- Después del tiempo de reacción leer el valor de ácido ascórbico en mg/lit

Si el valor de medición es superior al intervalo de medida la lectura en la pantalla indica HI.

e) REFERENCIA:

- Merck KGaA. 2010. Test de ácido ascórbico. <http://fea.merck.de>

ANEXO 7. DETERMINACIÓN DEL COLOR INTERNO

a) PRINCIPIO

El color se determina por el método Sistema Hunter (Hunter, 1975), para lo cual se utiliza el equipo marca ColorTec-PCM™. El color se reportará en L* (luminosidad), a* (rojo+, verde-) y b* (amarillo+, azul-).

b) EQUIPO Y MATERIAL

- Equipo ColorTec-PCM™
- Cajas petri
- Superficie de color blanco o negro (baldosa)

c) PROCEDIMIENTO

- Extraer el jugo o la pulpa de la fruta, manualmente o licuando dependiendo del tipo de fruta.
- Colocar en una caja petri pequeña, tapar teniendo cuidado de no dejar grumos o burbujas en la caja y poner sobre una superficie blanca o negra.
- Colocar el prisma del ColorTec-PCM™ sobre la superficie de la caja, tratando de cubrir toda la superficie.
- Realizar las lecturas en diferentes espacios de caja.

d) REFERENCIAS:

- Alvarado, J y Aguilera, J. 2001. Adaptado en el Laboratorio de Servicios Analíticos e Investigación en Alimentos del Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina – INIAP.

ANEXO 8. POLITICA DEL BUEN VIVIR

• PREÁMBULO

Nosotras y nosotros, el pueblo soberano del Ecuador reconociendo nuestras raíces milenarias, forjadas por mujeres y hombres de distintos pueblos, celebrando a la naturaleza, la Pacha Mama, de la que somos parte y que es vital para nuestra existencia, invocando el nombre de Dios y reconociendo nuestras diversas formas de religiosidad y espiritualidad, apelando a la sabiduría de todas las culturas que nos enriquecen como sociedad, como herederos de las luchas sociales de liberación frente a todas las formas de dominación y colonialismo, y con un profundo compromiso con el presente y el futuro,

Decidimos construir

Una nueva forma de convivencia ciudadana, en diversidad y armonía con la naturaleza, para alcanzar el buen vivir, el sumak kawsay;

Una sociedad que respeta, en todas sus dimensiones, la dignidad de las personas y las colectividades;

Un país democrático, comprometido con la integración latinoamericana, sueño de Bolívar y Alfaro, la paz y la solidaridad con todos los pueblos de la tierra;

Y, en ejercicio de nuestra soberanía, en Ciudad Alfaro, Montecristi, provincia de Manabí, nos damos la presente:

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

CAPÍTULO SEGUNDO

DERECHOS DEL BUEN VIVIR

1. SECCIÓN PRIMERA

1.1. AGUA Y ALIMENTACIÓN

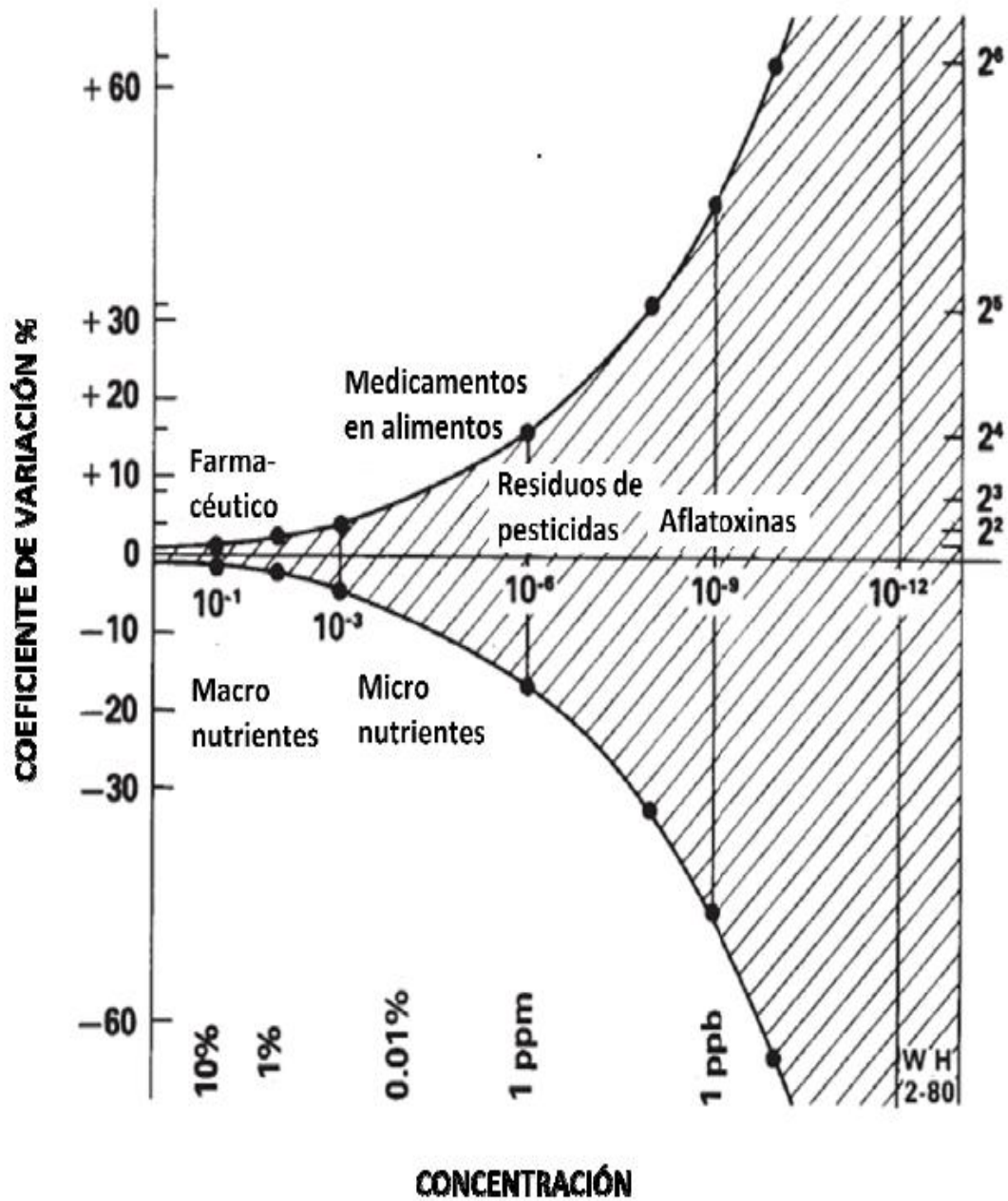
Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 13.- Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales. El Estado ecuatoriano promoverá la soberanía alimentaria.

REFERENCIA

Political data base of the Americas. 2011. República del Ecuador. Constitución 2008. <http://pdba.georgetown.edu/constitutions/ecuador/ecuador08.html>

ANEXO 9. TROMPETA DE HORWITZ



BIBLIOGRAFÍA:

- Orozco, C. y Rodríguez, M. 2010. Uso de la ecuación de Horwitz en laboratorios de ensayos NMX-EC-17025-IMNC-2006. Simposio de metrología. Chihuahua – México.