

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL  
MEDIO ACUOSO POR INMERSIÓN DE GRANOS DE CACAO  
CCN-51 CON DIFERENTES ÍNDICES DE FERMENTACIÓN”**

Presentado por:

JORGE LUIS MIGUEL LOO MIRANDA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Lima – Perú

2019

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

### *ABSTRACT*

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
2.1	CACAO.....	2
2.1.1	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	2
2.1.2	CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS .....	3
2.1.3	VARIETADES DE CACAO.....	3
2.1.4	GRANO DE CACAO .....	5
2.2	CULTIVO DE CACAO EN EL PERÚ .....	9
2.2.1	ZONAS DE CULTIVO .....	9
2.2.2	PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL PERÚ.....	9
2.2.3	CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN LOCAL.....	10
2.3	BENEFICIO DEL CACAO .....	11
2.3.1	COSECHA.....	11
2.3.2	QUEBRADO DE MAZORCA Y DESGRANE .....	12
2.3.3	FERMENTACIÓN .....	13
2.3.4	SECADO.....	17
2.3.5	SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN .....	19
2.3.6	ENVASADO.....	19
2.3.7	ALMACENAMIENTO .....	19

2.4	CAMBIOS QUE OCURREN EN LA FERMENTACIÓN DEL CACAO.....	20
2.4.1	CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	20
2.4.2	CAMBIOS EN EL COLOR .....	21
2.4.3	CAMBIOS EN LA TEMPERATURA .....	22
2.4.4	CAMBIOS EN LA POROSIDAD.....	22
2.4.5	CAMBIOS EN LA ACIDEZ.....	22
2.4.6	CAMBIOS EN EL pH .....	23
2.5	PRUEBA DE CORTE .....	23
2.5.1	GRANO MOHOSO.....	24
2.5.2	GRANO PIZARROSO (PASTOSO) .....	24
2.5.3	GRANO GERMINADO.....	24
2.5.4	GRANO DAÑADO POR INSECTOS .....	24
2.5.5	GRANO PLANO.....	25
2.5.6	GRANO VIOLETA O VIOLÁCEO .....	25
2.5.7	GRANO ROTO .....	26
2.5.8	GRANO MÚLTIPLE .....	26
2.5.9	GRANO ADECUADAMENTE FERMENTADO .....	27
2.6	ÍNDICE DE FERMENTACIÓN .....	28
2.7	ALTERNATIVAS AL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN .....	29
2.8	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	29
2.9	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO .....	30

2.9.1	HUMEDAD DE LA SEMILLA .....	30
2.9.2	TEMPERATURA DE REMOJO .....	30
2.9.3	TIEMPO DE REMOJO .....	31
2.9.4	PRESENCIA DE SEMILLAS VACÍAS.....	31
2.9.5	DAÑOS MECÁNICOS .....	32
2.10	MODELOS MATEMÁTICOS.....	32
2.10.1	METODOLOGÍA PARA OBTENER MODELOS MATEMÁTICOS..	33
2.10.2	MODELOS MATEMÁTICOS SEGÚN EL TIEMPO .....	34
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	35
3.2	MATERIA PRIMA.....	35
3.3	MATERIALES, EQUIPOS Y REATIVOS .....	35
3.3.1	MATERIALES .....	35
3.3.2	EQUIPOS.....	36
3.3.3	REACTIVOS .....	37
3.4	MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	38
3.4.1	ÍNDICE DE GRANO .....	38
3.4.2	DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPELOR DEL GRANO ....	38
3.4.3	DENSIDAD REAL DEL GRANO .....	38
3.4.4	pH.....	41
3.4.5	ACIDEZ TITULABLE.....	41
3.4.6	ÍNDICE DE FERMENTACIÓN .....	42

3.4.7	COMPOSICIÓN PROXIMAL .....	42
3.4.8	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS .....	46
3.4.9	pH DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS .....	47
3.4.10	PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS.....	47
3.5	OBTENCIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO SECO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN .....	47
3.6	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	48
3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	50
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>53</b>
4.1	ÍNDICE DE GRANO .....	53
4.2	DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPESOR DEL GRANO ....	54
4.3	DENSIDAD REAL DEL GRANO .....	55
4.4	pH Y ACIDEZ TITULABLE .....	56
4.5	ÍNDICE DE FERMENTACIÓN .....	59
4.6	COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	63
4.7	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS .....	66
4.8	pH DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS .....	69
4.9	PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS.....	70
4.10	CORRELACIONES .....	71

4.10.1	CORRELCIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN .....	72
4.10.2	CORRELACIÓN ENTRE EL pH DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN .....	77
4.10.3	CORRELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN .....	82
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>89</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Grupos de cacao y su distribución geográfica.....	5
Cuadro 2:	Criterios para el tamaño de grano.....	8
Cuadro 3:	Unidades utilizadas en conductimetría.....	30
Cuadro 4:	Índice de grano por cada día de fermentación.....	53
Cuadro 5:	Variación de las dimensiones y relación largo/espesor del grano de cacao por cada día de fermentación.....	55
Cuadro 6:	Densidad real de los granos de cacao por cada día de fermentación.....	56
Cuadro 7:	Variación del pH del cotiledón de los granos de cacao por cada día de fermentación.....	57
Cuadro 8:	Variación de la acidez titulable expresada en porcentaje de ácido acético de los granos de cacao por cada día de fermentación.....	58
Cuadro 9:	Variación del índice de fermentación de los granos de cacao por cada día de fermentación.....	60
Cuadro 10:	Composición proximal de los granos de cacao con diferentes días de fermentación.....	65
Cuadro 11:	Variación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados por cada día de fermentación....	67
Cuadro 12:	Variación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados de acuerdo al número de granos utilizados.....	68
Cuadro 13:	Variación en el pH del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados por cada día de fermentación.....	69
Cuadro 14:	Variación en el pH del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados de acuerdo al número de granos utilizados.....	70

Cuadro 15:	Variación en el porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados por cada día de fermentación.....	71
Cuadro 16:	Variación en el porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados de acuerdo al número de granos utilizados.....	71
Cuadro 17:	Modelos lineales de la correlación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación, número y lote de granos.....	74
Cuadro 18:	Modelos finales de la correlación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos.....	75
Cuadro 19:	Modelos lineales de la correlación del pH del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación, número y lote de granos.....	79
Cuadro 20:	Modelos finales de la correlación del pH del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos.....	80
Cuadro 21:	Modelos lineales de la correlación del porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación, número y lote de granos.....	83
Cuadro 22:	Modelos finales de la correlación del porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Árbol de cacao.....	3
Figura 2:	Localización de los diez grupos de cacao por su germoplasma.....	6
Figura 3:	Mazorcas de cacao recién cosechadas.....	12
Figura 4:	Granos de cacao frescos listos para ser fermentados.....	13
Figura 5:	Inicio del proceso de fermentación de los granos de cacao frescos..	14
Figura 6:	Sucesión microbiana en la fermentación del cacao.....	16
Figura 7:	Cajones de fermentación en disposición escalonada.....	18
Figura 8:	Secado al sol de los granos de cacao.....	18
Figura 9:	Granos de cacao secos envasados en saco de yute.....	20
Figura 10:	Granos de cacao pizarrosos.....	25
Figura 11:	Grano de cacao violeta o violáceo.....	26
Figura 12:	Grano de cacao múltiple.....	27
Figura 13:	Grano de cacao bien fermentado.....	27
Figura 14:	Conductividad de semillas de <i>Picea abies</i> remojada en agua a tres temperaturas diferentes (5, 22 y 40 °C).....	31
Figura 15:	Curva de conductividad eléctrica de tres lotes de semillas <i>Picea abies</i> remojadas en agua.....	32
Figura 16:	Flujo de operaciones para la obtención de granos de cacao seco fermentados por diferentes días del Fundo Terra Nostra.....	49
Figura 17:	Etapas de la evaluación de los granos de cacao con diferente grado de fermentación.....	52
Figura 18:	Variación del pH y acidez titulable (% ácido acético) del cotiledón de los granos de cacao por cada día de fermentación.....	59

Figura 19:	Perfil de temperatura durante la fermentación de los granos de cacao.....	61
Figura 20:	Cambios en la proporción de granos pizarrosos, violetas y marrones con el incremento del tiempo de fermentación de los granos de cacao.....	62
Figura 21:	Modelos finales de la correlación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos.....	76
Figura 22:	Modelos finales de la correlación del pH del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación para 15, 20 y 25 granos enteros.....	81
Figura 23:	Modelos finales de la correlación del porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación para 25 granos enteros y 15, 20 y 25 granos cortados.	85

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	103
ANEXO 2:	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA LONGITUD DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	104
ANEXO 3:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ANCHO DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	105
ANEXO 4:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ESPESOR DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	106
ANEXO 5:	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RELACIÓN LARGO/ESPESOR DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )..	107
ANEXO 6:	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DENSIDAD REAL DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	108
ANEXO 7:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL pH DEL COTILEDÓN DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )..	109
ANEXO 8:	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ACIDEZ TITULABLE DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )..	110

ANEXO 9:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )..	111
ANEXO 10:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )..	112
ANEXO 11:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	113
ANEXO 12:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE GRASA, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	114
ANEXO 13:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CENIZAS, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	115
ANEXO 14:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE FIBRA CRUDA, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	116
ANEXO 15:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	117

ANEXO 16:	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO ENTEROS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	118
ANEXO 17:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PH DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO ENTEROS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	120
ANEXO 18:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO ENTEROS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	122
ANEXO 19:	ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO CORTADOS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	124
ANEXO 20:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO CORTADOS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	126
ANEXO 21:	ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO CORTADOS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	128

ANEXO 22:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	130
ANEXO 23:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	131
ANEXO 24:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	132
ANEXO 25:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	133
ANEXO 26:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	134
ANEXO 27:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE	

	CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	135
ANEXO 28:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	136
ANEXO 29:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	137
ANEXO 30:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	138
ANEXO 31:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	139
ANEXO 32:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL	

	SEGUNDO LOTE (DE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	140
ANEXO 33:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	141
ANEXO 34:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	142
ANEXO 35:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	143
ANEXO 36:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	144
ANEXO 37:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	145

ANEXO 38:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	146
ANEXO 39:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	147
ANEXO 40:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	148
ANEXO 41:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	149
ANEXO 42:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	150

ANEXO 43:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	151
ANEXO 44:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	152
ANEXO 45:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	153
ANEXO 46:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	154
ANEXO 47:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	155

ANEXO 48:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	156
ANEXO 49:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	157
ANEXO 50:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	158
ANEXO 51:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	159
ANEXO 52:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	160

ANEXO 53:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	161
ANEXO 54:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	162
ANEXO 55:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	163
ANEXO 56:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	164
ANEXO 57:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	165
ANEXO 58:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON	

	VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	166
ANEXO 59:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	167
ANEXO 60:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	168
ANEXO 61:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	169
ANEXO 62:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	170
ANEXO 63:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS	

	DEL PRIMER LOTE (UC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	171
ANEXO 64:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	172
ANEXO 65:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	173
ANEXO 66:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	174
ANEXO 67:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	175
ANEXO 68:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS	

	SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	176
ANEXO 69:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	177
ANEXO 70:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	178
ANEXO 71:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	179
ANEXO 72:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	180
ANEXO 73:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	

	DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS (E25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	181
ANEXO 74:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	182
ANEXO 75:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	183
ANEXO 76:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS (E25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	184
ANEXO 77:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	185
ANEXO 78:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	186
ANEXO 79:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS	

	SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS (E25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	187
ANEXO 80:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	188
ANEXO 81:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	189
ANEXO 82:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS (C25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	190
ANEXO 83:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	191
ANEXO 84:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	192

ANEXO 85:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS (C25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	193
ANEXO 86:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	194
ANEXO 87:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	195
ANEXO 88:	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS (C25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ ).....	196
ANEXO 89:	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO DEL LOTE 1 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN...	197

ANEXO 90:	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO DEL LOTE 2 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN...	198
ANEXO 91:	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO DEL LOTE 3 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN...	199
ANEXO 92:	TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN Y TIEMPO DE SECADO NATURAL PARA CADA LOTE ANALIZADO.....	200
ANEXO 93:	PRUEBA DE CORTE REALIZADA A LOS GRANOS DE CACAO.....	201

## RESUMEN

Con el objetivo de establecer la relación entre la conductividad eléctrica del medio acuoso con el índice de fermentación del grano de cacao inmerso en él, se realizaron ensayos teniendo como variables controladas: días de fermentación del grano (0,1, 2, 3, 4, 5 y 6 días), presentación del grano (entero o cortado) y número de granos (15, 20 y 25). Se utilizaron muestras de granos de cacao CCN – 51 provenientes de Uchiza (San Martín) secadas al sol hasta alcanzar una humedad menor a ocho por ciento (5 a 6 días). Se determinó el contenido de humedad, ceniza, grasas, proteína, fibra cruda, carbohidratos, dimensiones, densidad real, pH, acidez titulable (porcentaje de ácido acético), índice de fermentación, índice de grano, así como el pH, porcentaje de sólidos solubles y la conductividad eléctrica del medio acuoso (agua desionizada) que contuvo el grano para cada día de fermentación. Finalmente se encontró la relación ( $p < 0,05$ ) entre la conductividad eléctrica, pH y porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao (enteros o cortados) con el índice de fermentación, siendo el grado de relación con la conductividad eléctrica mayor que el del pH y del porcentaje de sólidos solubles.

**Palabras clave:** modelo de correlación, calidad del grano de cacao, modelo matemático, fermentación del cacao, conductividad eléctrica.

## **ABSTRACT**

In order to establish a relationship between the electrical conductivity of the aqueous medium with the fermentation index of the cocoa bean immersed in it, tests were carried out having as controlled variables: days of fermentation of the bean (0.1, 2, 3, 4, 5 and 6 days), bean presentation (whole or cut) and number of beans (15, 20 and 25). Samples of CCN – 51 cocoa beans from Uchiza (San Martín) dried in the sun were used to reach a humidity less than eight percent (5 to 6 days). The content of moisture, ash, crude fat, crude protein, crude fiber, carbohydrate, dimensions, real density, pH, titratable acidity (percentage of acetic acid), fermentation index, and bean index, as well as pH, percentage of total soluble solids and the electrical conductivity of the aqueous medium (deionized water) which contained the grain for each day of fermentation. Finally, the relationship ( $p < 0, 05$ ) between the electrical conductivity, pH and percentage of soluble solids of the aqueous medium with cocoa beans (whole or cut) and the fermentation index was found, being the degree of relation with the electrical conductivity higher than that of the pH and the percentage of total soluble solids.

**Key words:** correlation model, cocoa bean quality, mathematical model, cocoa fermentation, electrical conductivity.

## I. INTRODUCCIÓN

El proceso de beneficio del grano de cacao inicia con la cosecha de las mazorcas y culmina con el secado de los granos fermentados. Durante este proceso el grano de cacao es sometido a una fermentación donde adquiere características físicas, químicas y sensoriales que en conjunto lo harán un producto con potencial de obtener chocolates de calidad. Como todo proceso, es importante conocer su eficiencia porque será de vital importancia para la clasificación de los granos, para establecer su precio, en su comercialización y para optimizaciones futuras del proceso mismo.

Para determinar la eficiencia de la fermentación, en el caso del cacao, se emplea la prueba de corte y posteriormente se calcula el índice de fermentación. El índice de fermentación, representa la proporción de granos adecuadamente fermentados con respecto a un total de granos analizados de una muestra tomada al azar. Es importante aclarar que un grano de cacao bien fermentado se caracteriza por poseer una coloración que va desde el marrón claro al oscuro y por poseer unas hendiduras internas. A pesar de que este método es usado ampliamente en el mundo posee la desventaja de ser una medida subjetiva por sustentarse en la simple observación del grano.

Con la intención de desarrollar posteriormente un método objetivo de evaluación del índice de fermentación (I.F), la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar si existe relación entre los valores de conductividad eléctrica del medio acuoso donde están inmersos granos de cacao con el índice de fermentación (I.F.) de estos. Los granos de cacao ensayados son de la variedad CCN-51 procedentes de Uchiza, provincia de Tocache, región San Martín.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CACAO

Según Enríquez (1985) y Durán (2010), el cacao es una planta de origen americano cuyo centro de origen está localizado en la región comprendida entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo:tributarios del río Amazonas. Pound y Cheesman (1934), citados por Batista (2009), mencionan que el cacao es originario de América del Sur comprendiendo países como Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, donde se han encontrado alta variabilidad. Sin embargo, para García, citado por MINAGRI *et al.* (2016) la existencia de poblaciones silvestres y nativas dispersas en la región central y sur de la Amazonía alta, apoyaría la hipótesis de que el lugar de origen incluiría la región centro y suoriental del Perú, las cuencas de los ríos Huallaga, Ucayali y Urubamba.

#### 2.1.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

El cacao pertenece a la familia de las esterculiáceas. Su nombre científico *Theobroma cacao* L. le fue impuesto en 1758 por el botánico Carlos Linneo, que significa en griego “alimentos de los dioses”. La primera clasificación de las plantas familiarizadas con el cacao fue realizada en Guatemala, en 1869, por el botánico suizo Gustavo Bernouille. En 1964 el biólogo español José Cuatrecasas Arumi clasificó un total de 22 especies de *Theobromas*. A la fecha, el género *Theobroma* agrupa un total de 24 especies botánicas. No obstante, el *Theobroma cacao* L. es cultivado únicamente para producir chocolate (MINAGRI *et al.* 2016).

### 2.1.2 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

El árbol del cacao puede crecer hasta alcanzar una altura de 8 a 10 metros cuando está a la sombra de altos árboles forestales (Figura 1). Puede florecer durante todo el año, siempre que en su curso no haya períodos de sequía o variaciones de temperatura muy marcadas. Las flores aparecen al principio de la época de lluvia y son polinizadas por insectos, sobre todo por los de las familias *Forcipomyia* y *Lasioshelea*. Las mazorcas, que brotan del tronco principal y de las ramas de la copa, se desarrollan en 5 o 6 meses. La forma de la mazorca del cacao es similar a la del pepino, tiene aproximadamente entre 15 a 25 cm de largo, 8 a 10 cm de diámetro, una cáscara carnosa de 20 mm de grosor y pesa entre 300 a 400 g. La mazorca contiene entre 25 y 50 semillas cubiertas de una pulpa gelatinosa y agridulce, denominada mucilago, que contiene un alto grado de azúcar. Las semillas, que son de sabor amargo se convierten en el grano del cacao después de ser fermentadas y secadas (FEDECACAO 2004 y MINAGRI *et al.* 2016).



**Figura 1: Árbol de cacao.**

### 2.1.3 VARIEDADES DE CACAO

De acuerdo a diferencias marcadas en su fenotipo y genotipo, se ha clasificado a las variedades de cacao en tres grandes grupos:

- **Criollo:** Son árboles débiles, de lento crecimiento, bajo rendimiento, más susceptibles a enfermedades y plagas que otras variedades. Produce mazorcas cilíndricas con diez surcos profundos simples, con cáscara (pericarpio) verrugosa, delgada o gruesa, con una capa lignificada en el centro del pericarpio, con o sin depresión en el cuello, puntas agudas en cinco ángulos, rectas o curvadas. El color de su mazorca puede variar del verde al rojo. Las semillas son blancas o ligeramente pigmentadas, de formas cilíndricas u ovals (Enríquez 1978 y Durán 2010). El fruto del cacao criollo se caracteriza por ser dulce y producir un chocolate de menor amargor y de mejor calidad. Su sabor es delicado, suave y complejo, y su aroma es intenso, lo hacen un tipo de cacao exclusivo y demandado en los mercados más exigentes del mundo, MINAGRI *et al.* (2016).
- **Forastero:** Poseen mazorcas ovoides, amelonadas, con diez surcos superficiales o poco profundos, cáscaras lisas o ligeramente verrugosas, delgadas o gruesas con una capa lignificada en el centro del pericarpio, y los dos extremos redondos. Las mazorcas son en general de color verde, con tonos blanquecinos o rosados tenues. Sus semillas son moradas, triangulares en corte transversal, aplanadas y pequeñas (Enríquez 1978). En base a la cata, este tipo de cacao es fuerte y amargo, ligeramente ácido; con mucho tanino y astringencia. Tiene una gran potencia aromática, pero sin finura ni diversidad de sabores por lo que es usado para mezclar y dar cuerpo al chocolate. Sin embargo, tienen un excelente rendimiento, cosecha precoz, árbol vigoroso y resistente a las enfermedades, MINAGRI *et al.* (2016).
- **Trinitario:** Constituyen las poblaciones de híbridos de cruzamientos espontáneos de criollos y forastero tienen características de mazorcas y semillas casi similares o en la mayor parte intermedias a los dos grupos que le dieron origen siendo más aromático que el forastero y más resistente que el criollo (Enríquez 1978 y Morales *et al.* 2015). Según ICCO, citado por Morales *et al.* (2015), entre las variedades híbridas podemos clasificar un promedio de 50 tipos entre las que sobresalen las variedades Guayaquil, Ceilán, Patastillo, Lagarto, Blanco Marfil, Uranga, Porcelana, Matina, Pajarito, Sánchez, entre otras.

Otra clasificación de los grupos de cacao (Cuadro 1) fue propuesta por Lachenaud en 1997 quien mediante estudios moleculares y argumentos paleoclimáticos, paleogeográficos y etnobotánicos estableció 4 grupos o complejos germoplásmicos naturales, a la que se suma el grupo de los Trinitarios, que se originó de un cruce entre una variedad amelonada de las Guyanas (Forastero del Bajo Amazonas), y una variedad Criollo de Venezuela, MINAGRI *et al.* (2016).

**Cuadro 1: Grupos de cacao y su distribución geográfica**

<b>Grupo de cacao</b>	<b>Distribución geográfica</b>
Criollo	América Latina, Colombia y Venezuela
Amazonas o Forastero del Alto Amazonas	Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Brasil
Guyanas o Forastero del Bajo Amazonas	Guyanas, Venezuela, Surinam, Guyana Francesa y Brasil.
Nacional	Ecuador (zona costera)
Trinitario	Cruce de Forastero Bajo Amazonas y Criollo de Venezuela (Diseminados África Occidental)

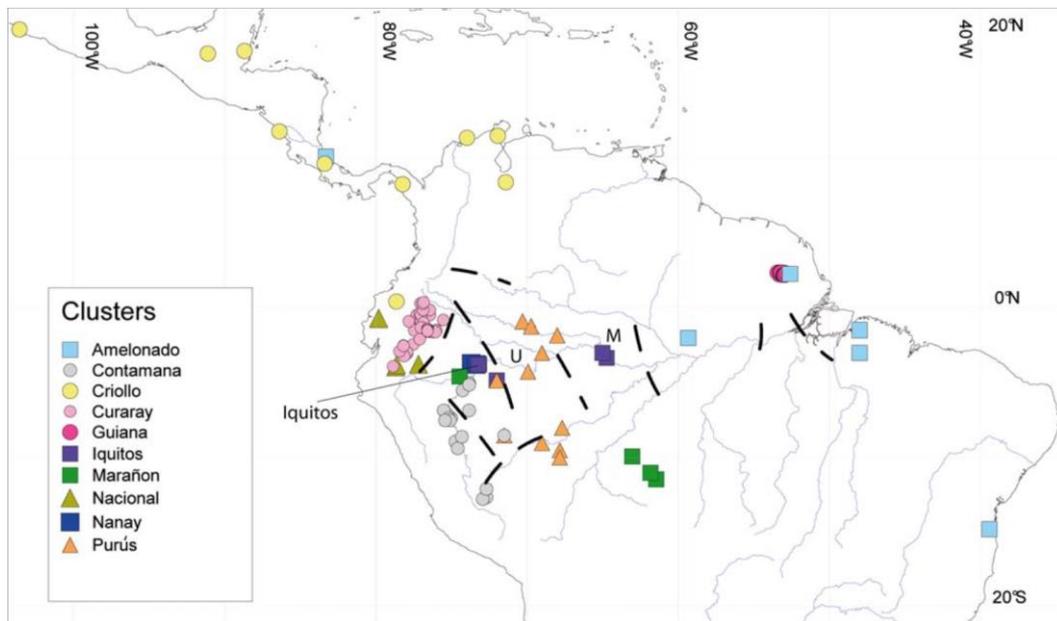
**FUENTE:** Lachenaud (1997).

Estudios recientes, en la Amazonía sudamericana, han permitido presentar una nueva clasificación de germoplasma de cacao en diez grandes grupos (Marañón, Curaray, Criollo, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Purús, Nacional y Guyana) que reflejan con mayor precisión la diversidad genética (Figura 2). Esta clasificación exacta es más utilizable para fitomejoramiento respecto a la clasificación tradicional de criollo, forastero o trinitario (Motamayor *et al.* 2008).

#### **2.1.4 GRANO DE CACAO**

Los granos de cacao son el resultado de la cosecha y el beneficio del fruto del cacao. Dicho beneficio consta de procesos post-cosecha como son el despulpado, la fermentación, el secado, el embolsado y su almacenamiento. Para las industrias procesadoras, el cacao de calidad es aquel que después de ser debidamente beneficiado, desarrolla plenamente el sabor

y aroma característicos del chocolate al ser tostado y procesado. A parte de estas características organolépticas, también es de importancia la uniformidad y el tamaño del grano o grano, el porcentaje de cáscara, el contenido de grasa, el contenido de humedad y la materia extraña (FEDECACAO 2004 y CAOBISCO *et al.* 2015).



**Figura 2: Localización de los diez grupos de cacao por su germoplasma.**

FUENTE: Motamayor *et al.* (2008).

Además de la variedad elegida y el tratamiento poscosecha algunas características físicas de los granos de cacao son influenciadas por el clima durante el desarrollo de la vaina, éstas incluyen tamaños más pequeños del grano, menos materia grasa en la estación seca y manteca de cacao más suave en condiciones templadas (Wood y Lass 1985).

### **a. Uniformidad**

Es muy importante asegurar la calidad uniforme del cacao, tanto entre distintos sacos dentro de un mismo lote como entre distintos lotes de la misma marca. La uniformidad se refiere no solo a la proporción de granos defectuosos, sino también al tamaño de los granos y al grado de fermentación (CAOBISCO *et al.* 2015). Si se carece de un apropiado tratamiento poscosecha, la calidad y uniformidad intrínseca del grano comercial se ve afectada

negativamente y en consecuencia, el precio y prestigio en los mercados (Graziani *et al.* 2003).

Hasta cierto punto, la uniformidad se puede conseguir mezclando los granos, pero todo el cacao que se mezcle debe ser de la misma clasificación. No es aconsejable mezclar cacao de calidad mediocre con cacao de buena calidad con el fin de obtener un cacao que solo cumple con las especificaciones para el cacao de calidad mínima. Aunque de esta forma se aumenta el valor del cacao mediocre, al mismo tiempo se reduce el valor del cacao bueno, y la demanda futura de dicho cacao ira disminuyendo. Debe evitarse la mezcla en origen de cacaos de diferentes grados (CAOBISCO *et al.* 2015).

#### **b. Tamaño de grano**

Un grano de cacao debe pesar al menos 1,0 g. Los granos más pequeños tienen un mayor contenido de cáscara y, por lo tanto, un grano descortezado de menor tamaño que, a su vez, puede contener un menor porcentaje de grasa. Los granos pequeños se pueden emplear (siempre que el lote sea homogéneo), pero requieren un ajuste de los procesos de fabricación, que resulta inconveniente y costoso, mermando el rendimiento de la fábrica (CAOBISCO *et al.* 2015). Según INACAL (2016b) el tamaño de los granos está definido por el conteo del grano y está usualmente expresado en número de granos por 100 g tal como se muestra en la Cuadro 2.

#### **c. Porcentaje de cáscara**

Los fabricantes requieren que la cáscara este lo suficientemente suelta como para retirarse fácilmente durante la elaboración, pero lo suficientemente fuerte como para mantenerse sin romper durante la manipulación normal. La cáscara no debe tener material adherente, tal como aglomeraciones de pulpa secada, que pueden dificultar el descortezado de los granos. La cáscara de los granos de cacao de la cosecha principal en África Occidental suele constituir un 11 – 12 % del peso total del grano; este peso se emplea como referencia para la evaluación de otros cacaos. Un porcentaje más elevado de cáscara significa menor cantidad de material comestible y, por lo tanto, un valor económico inferior, aunque al

mismo tiempo una cáscara más gruesa brindara una mayor protección al grano (CAOBISCO *et al.* 2015).

#### **Cuadro 2: Criterios para el tamaño de grano**

<b>Tamaño de grano</b>	<b>Número de granos en 100 gramos</b>
Grande	$\leq 100$
Mediano	101 – 120
Pequeño	$> 120$

FUENTE: INACAL (2016b).

#### **d. Contenido de grasa**

La manteca de cacao sigue siendo en general la parte más valiosa del grano, y el rendimiento potencial de manteca afecta al precio pagado por una marca o clase determinada de cacao en grano. El cacao de la cosecha principal en África Occidental suele contener alrededor de 55 – 58 % en el grano descortezado; el cacao en grano de Ghana suele contener un mayor porcentaje de grasa que el de Costa de Marfil o de Nigeria. Los porcentajes de grasa pueden variar de forma notable en función de factores de tipo climático (variaciones estacionales e interanuales), geográfico, genético y del método empleado para extraer la grasa (CAOBISCO *et al.* 2015).

#### **e. Contenido de humedad**

Los fabricantes requieren que el cacao en grano tenga un contenido de humedad de, aproximadamente, siete por ciento. Si supera el ocho por ciento, no sólo implica una pérdida de material comestible, sino también un mayor riesgo de crecimiento de mohos y bacterias, con consecuencias potencialmente graves para la seguridad alimentaria, el sabor y la calidad para la elaboración. Con un contenido de humedad inferior al 6,5 %, la cáscara será demasiado frágil y los granos se desintegrarán, dando lugar a una proporción elevada de granos rotos (CAOBISCO *et al.* 2015).

## **f. Materia extraña**

La presencia de materia extraña influye en el rendimiento de material comestible, reduciendo así el valor del cacao para el fabricante de chocolate; también puede afectar al sabor y actuar de fuente de contaminación del producto. En este caso, la materia extraña se puede dividir en dos tipos, uno sin valor comercial para el fabricante mientras y otro (conocido como “residuos de cacao”) con valor reducido (CAOBISCO *et al.* 2015).

## **2.2 CULTIVO DE CACAO EN EL PERÚ**

### **2.2.1 ZONAS DE CULTIVO**

En el Perú el cacao se cultiva en la parte baja de la vertiente oriental de la cordillera de los andes, entre los 200 y 900 m.s.n.m. (IICA 2009). Morales *et al.* (2015) destaca como las principales zonas productoras de cacao a los valles de La Convención (Cusco), del río Apurímac-Ene o VRAE (Ayacucho, Cusco y Junín), del Huallaga (Huánuco y San Martín), de Tambo (Junín) y del Marañón (Cajamarca y Amazonas). Sin embargo, existen plantaciones de cacao en las zonas costeras como Piura y Tumbes que cuentan con ecosistemas diferentes a los de la selva pero que, aparentemente, presentan condiciones favorables que vienen siendo ratificadas con nuevas siembras en los últimos años (IICA 2009).

### **2.2.2 PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL PERÚ**

MINAGRI *et al.* (2016) señalan que entre los años 2000 y 2008, la producción de cacao presentó un crecimiento anual (promedio) de cuatro por ciento; y en una segunda etapa, entre los años 2009 y 2015, muestra un incremento promedio anual de 15,5 por ciento. En efecto, en el año 2000 la producción de cacao en grano fue de 24,8 mil toneladas y al año 2008 se había elevado a solo 34 mil toneladas (37 % aumento entre ambos años). Sin embargo, a partir del 2009 se observa un fuerte crecimiento de la producción nacional, de manera que de 36,8 mil toneladas producidas en el 2009, se eleva en los siguientes años hasta las 87,3 mil toneladas en el 2015 (137,2 % de incremento entre ambos años). Además, las regiones

de San Martín con 43 %; Junín con 18 %, Cusco con 9 %, Ucayali con 8 % y Huánuco con 6 % representan el 84 % de toda la producción nacional de cacao en grano.

### **2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN LOCAL**

El MINAG (2007) expuso que las principales características de los productores de cacao son las que se presentan a continuación, algunas de las cuales están siendo fortalecidas:

- La mayoría de los productores de cacao son pequeños productores con menos de 5 ha.
- La mayoría de la producción se realiza de manera individual. La organización es débil.
- Se estima que un 70 % de productores no están organizados y el resto pertenece a algún tipo de organización. Está en proceso de fortalecimiento la Asociación Peruana de Productores de Cacao (APPCACAO).
- El manejo del cultivo se hace principalmente con tecnología tradicional, sin asistencia técnica.
- Los niveles de tecnología son heterogéneos y no corresponden en algunos casos a las condiciones naturales de la zona.
- La atomización y fragmentación de la propiedad no permite aprovechar economías de escala.
- En su mayoría, los productores no manejan costos de producción y no tienen conocimiento de estándares a cumplir.
- Asimismo, los productores tampoco tienen acceso a información sobre precios.
- La mayoría de productores no tiene acceso a crédito adecuado para el manejo de su unidad productiva.
- Presentan serias deficiencias en los procesos de poscosecha del cacao con inadecuadas prácticas de secado y fermentación, que influyen en la calidad del grano.

## **2.3 BENEFICIO DEL CACAO**

### **2.3.1 COSECHA**

La cosecha del cacao consiste en la recolección de las mazorcas sanas y maduras que se identifica por el cambio del color en la cáscara (Figura 3). Otra señal de madurez es el sonido que produce la mazorca al ser golpeada ligeramente, el cual es como si estuviera “hueco” en su interior. Las mazorcas demasiado maduras tienden a secarse y producen granos germinados, los cuales son muy susceptibles al ataque de los hongos. Tampoco es recomendable cosechar mazorcas pintonas (algo verdes), ya que las almendras no han alcanzado el desarrollo completo y la pulpa no contiene la cantidad de azúcares reductores para una fermentación eficiente. Como consecuencia, se encontrará muchos granos violetas en el producto final. Además se debe separar las mazorcas de acuerdo a su forma, color y tamaño para garantizar que los granos sean parejos, Díaz y Pinoargote (2012) y LWR (2013).

LWR (2013) recomienda la siguiente clasificación de mazorcas:

- Mazorcas enfermas, dañadas y sobremaduras: se deben cortar, eliminar y no juntar con el lote.
- Mazorcas inmaduras o verdes: no deben cortarse, caso contrario, hay que separarlas porque sus granos no tienen el azúcar necesario para fermentar y pueden afectar la calidad de todo el lote.
- Mazorcas pequeñas y sanas: miden menos de 15 centímetros de largo y producen granos pequeños, con poco peso. Se deben cosechar y quebrar aparte.
- Mazorcas de buena calidad híbridas acriolladas: requieren menos tiempo para fermentarse que las forasteras y tienen mejor calidad para el mercado de cacao fino. Las semillas de estas mazorcas son pequeñas y están en las puntas de las mazorcas por lo que hay que separarlas para fermentar por separado, especialmente para el mercado nacional.
- Mazorcas de buena calidad híbridas forasteras: son más lisas y redondeadas que las acriolladas, y sus granos requieren más tiempo para lograr un buen fermentado por eso es importante no mezclarlas.



**Figura 3: Mazorcas de cacao recién cosechadas.**

### **2.3.2 QUEBRADO DE MAZORCA Y DESGRANE**

Consiste en hacer un corte o “quebrado” a la mazorca. Se realiza con machetes sin filo o, a falta de ello, las mazorcas son quebradas golpeándose entre sí sosteniendo uno en cada mano (Isla y Andrade 2009). Sin embargo, Cubillos *et al.* (2008) y LWR (2013) no recomiendan el uso del machete porque además de representar un riesgo para el operario puede herir las semillas y, una vez heridos, los granos se dañan por hongos o por insectos. CAOBISCO *et al.* (2015) recomienda que durante el proceso de apertura, se deben retirar y eliminar las partes defectuosas de la mazorca del cacao, los granos mohosos, enfermos y dañados.

Para la extracción de granos hay que deslizar los dedos a lo largo de vena central de la mazorca y extraer los granos con la mano suavemente dejando pegada la vena central o el ombligo a la mazorca, LWR (2013). Luego, los granos son colocados en un recipiente de plástico. Se debe evitar mezclar la placenta con las semillas pues, aumenta la impureza del lote y por lo tanto disminuye su calidad, (Isla y Andrade 2009).

Se debe tomar en cuenta que el transporte de granos frescos/húmedos (Figura 4) desde el punto de apertura de la mazorca hasta el lugar de fermentación debe realizarse bajo condiciones que impidan la contaminación; por ejemplo, los granos que se hayan caído deben estar libres de tierra antes de ser fermentados (CAOBISCO *et al.* 2015).



**Figura 4: Granos de cacao frescos listos para ser fermentados.**

### **2.3.3 FERMENTACIÓN**

El proceso de fermentación inicia con la apertura de la mazorca, siendo los principales vectores de los microorganismos responsables las manos de los trabajadores, la superficie del fruto, los cuchillos, los contenedores usados en el transporte de los granos al lugar de la fermentación, los insectos que se posan en los granos y los recipientes de fermentación (Schwan y Wheals 2004 y Thompson *et al.* 2013). Es importante revolver, mezclar o voltear la masa de granos durante el proceso de fermentación con el propósito de facilitar la aireación, romper los granos adheridos (“bolas”), prevenir la formación de mohos y hacer más uniforme el proceso (Cubillos *et al.* 2008).

La fermentación del cacao es un proceso espontáneo que consiste en amontonar, colocar en sacos o depositar en cajones de madera (Figura 5), los granos durante varios días con el fin de que los microorganismos descompongan el mucílago (la pulpa blanca y azucarada que envuelve los granos), aumente la temperatura para producir la muerte del germen o embrión y se inicien los cambios bioquímicos y las reacciones enzimáticas en el interior de las almendras, que van a ser los responsables de la formación de los compuestos precursores del aroma y sabor a chocolate. Asimismo, este proceso facilita el secado de los granos (Contreras

*et al.* 2004, Cubillos *et al.* 2008, Batista 2009 y Ortiz *et al.* 2009b). Es entonces la fermentación lo que determina su calidad física y química (Rivera *et al.* 2012).



**Figura 5: Inicio del proceso de fermentación de los granos de cacao frescos.**

Según Teneda (2016) dentro de los factores que influyen en la fermentación de los granos de cacao destacan los microorganismos involucrados, la temperatura y el número de remociones.

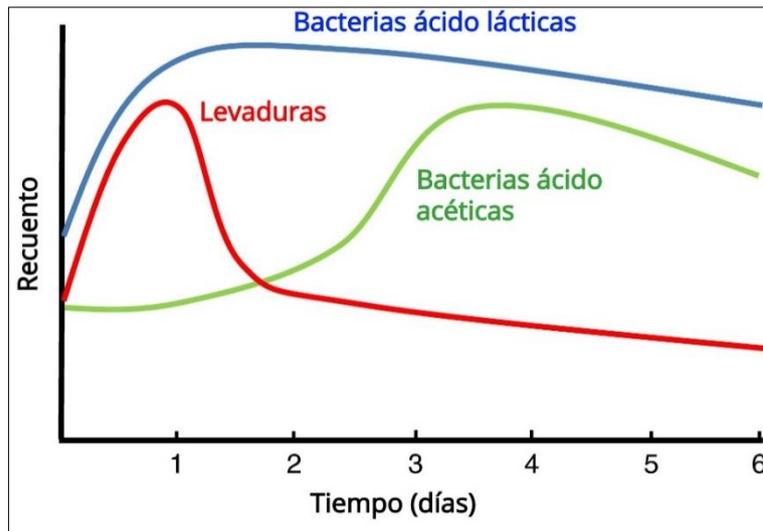
#### **a. Microorganismos**

La fermentación realiza una sucesión de microorganismos (levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias ácido acéticas), que comienza en condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno) y termina en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno) donde el ácido acético producido penetra dentro de la almendra produciendo cambios que originan sustancias que dan buen sabor y aroma al cacao (Cubillos *et al.* 2008 y LWR 2013). Teneda (2016) subdivide la fermentación en tres fases:

La fase inicial consiste en una fermentación alcohólica llevada a cabo por las levaduras, pertenecientes a los géneros *Candida*, *Kloeckera*, *Dedaryomyces*, *Hansenulaa*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Saccharomyces* spp., y *Torulopsis* (Teneda 2016). En este proceso el azúcar presente en el mucílago es transformado en alcohol, es decir, la glucosa es transformada en etanol por medio de levaduras que actúan durante las primeras 24 a 48 horas, debido a que predomina un pH ácido, de 3 a 4, y que la temperatura sube rápidamente de 30 a 40 °C. A medida que la concentración de alcohol aumenta a alrededor de un 12 %, producto del consumo total de todo el azúcar presente en el mucílago, empieza a penetrar oxígeno en la masa, sube el pH, y se produce la muerte de las levaduras, dando por terminado esta primera fase del proceso (Acebey y Rodríguez 2002).

En la segunda etapa las bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus*, *Bacillus*, *Pediococcus*) empiezan a proliferar cuando parte del mucilago ha sido drenado y las levaduras comienzan a declinar (García 2000). Estas bacterias predominan durante el segundo día de fermentación, y su población disminuye cuando las condiciones del medio se vuelven aerobias (Schwan y Wheals 2004), pues, por la necesidad de la presencia de oxígeno en la tercera etapa, se efectúa la primera remoción a las 48 horas. El punto crítico de la temperatura para cacao está alrededor de los 45 °C (Batista 2009).

En la tercera fase gracias a la remoción que oxigena el ambiente y el descenso del pH, las bacterias acéticas de los géneros *Acetobacter* y *Gluconobacter* pueden convertir el etanol en ácido acético, a través de la oxidación del alcohol, es decir, sucederá una fermentación oxidativa (Teneda 2016). Proceso que se prolonga por 48 horas más hasta cumplir 96 horas, que es cuando se efectúa la segunda remoción (Batista 2009). Este es un punto clave del proceso donde los microorganismos presentes en la fermentación originan ésteres del acetato a partir de ácido acético, que darán al chocolate su peculiar sabor (Teneda 2016). En la Figura 6 se muestra la sucesión microbiana implicada en la fermentación de los grano de cacao.



**Figura 6: Sucesión microbiana en la fermentación del cacao.**

**FUENTE:** De Vuyst y Weckx (2016).

Schwan y Wheals (2004) afirman que durante y después de la fermentación, las enzimas autolíticas internas son activadas por los metabolitos microbianos, como el ácido acético, iniciando reacciones químicas (proteólisis y ruptura de polisacáridos) que forman los precursores del sabor a chocolate.

El término de la fermentación se encuentra mediante seis métodos cualitativos para iniciar el proceso de secado: tiempo de calendarizado, pruebas de corte y criterio de color del cotiledón, color externo de las habas, olor de la masa fermentativa, descenso de la temperatura o hinchamiento de los granos. Sin embargo son muy inapropiados debido a que dependen de la capacidad de reconocimiento organoléptico de la persona encargada (Quesnel, citado por García 2000).

## **b. Temperatura**

Es importante llevar el control temperatura porque permite vigilar los procesos que ocurren en la masa de cacao. El calor se mide con un termómetro y se anota en un cuaderno para llevar un buen control (LWR 2013). Teneda (2016) recomienda que la fermentación debe realizarse en un sitio caliente que favorezca el aumento de la temperatura, lejos del recorrido del viento para evitar que la misma descienda y que las partículas que puedan venir en el

viento no contaminen los granos, asimismo, se debe evitar que la lluvia llegue a los recipientes fermentadores, dado que la temperatura descendería matando a los microorganismos responsables de los diferentes tipos de fermentación y proporcionaría además humedad innecesaria, ya que la misma es provista por el mucílago de los granos de cacao.

### **c. Remoción**

El proceso de volteo tiene el efecto inmediato de enfriamiento, liberación de CO<sub>2</sub> y aumento de la aireación y, por consiguiente, de la actividad de las bacterias acéticas. El fin de esta actividad es asegurar el grado de fermentación uniforme. El volteo debe empezar a las 48 horas de iniciada la fermentación, luego se lo hará cada 24 horas, es decir, una vez al día durante los 2 o 3 días restantes dependiendo del tipo cacao fermentado, pero siempre a la misma hora (Teneda 2016). La Figura 7 muestra una serie de cajones en disposición escalonada que facilita los volteos.

### **2.3.4 SECADO**

Después de la fermentación las semillas de cacao o las almendras pasan directamente al área de secado. Cuando llega al secado la semilla tiene alrededor de 55 por ciento de humedad; esta humedad debe reducirse al 6 – 7,5 por ciento, que es el nivel de humedad con la cual el cacao se almacena y comercializa, Isla y Andrade (2009) y LWR (2013). El contenido de humedad de los granos secos no debe ser mayor al ocho por ciento por la propensión de los granos a enmohecerse, tampoco debe estar por debajo del seis por ciento, porque los granos se vuelven frágiles y quebradizos, (Cubillos *et al.* 2008).

El secado favorece las reacciones de pardeamiento (Hii *et al.* 2012), el desarrollo de precursores de sabor, producidos por microorganismos durante la fermentación y las reacciones bioquímicas como oxidación de alcoholes (García-Alamilla *et al.* 2007 y Saltini *et al.* 2013). El secado se realiza mediante dos métodos: el natural (secado al sol) y el artificial (secadoras mecánicas).



**Figura 7: Cajones de fermentación en disposición escalonada.**

**a. Secado natural (secado al sol)**

Este método es el más aconsejable debido a la disminución de la acidez volátil del grano. La desventaja es que dependerá del clima, pudiendo completarse dentro de una o dos semanas (Díaz y Pinoargote, 2012). Para que el proceso de secado natural sea gradual y óptimo, los dos primeros días se colocan en capas de cinco centímetros de espesor, mientras que los siguientes días se reduce gradualmente con una remoción constante. Isla y Andrade (2009) asegura que el secado natural puede hacerse en pisos de cemento pulido, parihuelas de madera, en mantas de polipropileno, barbacoas, esteras y en tarimas (Figura 8).



**Figura 8: Secado al sol de los granos de cacao.**

## **b. Secado artificial (secado mecanizado)**

Según Díaz y Pinoargote (2012), el secado artificial es una operación muy rápida y eficiente para la obtención de un producto uniforme a bajo costo. Sin embargo, las altas temperaturas al que se somete incrementa la dureza de la cáscara, reteniendo los ácidos volátiles perjudicando el sabor y la calidad del mismo.

### **2.3.5 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN**

Después del secado, hay que someter los granos a una minuciosa limpieza eliminando todos los materiales extraños mezclados con ellos (pedazos de corteza, placenta, etc.), granos negros, mohosos, dañados por insectos, quebrados, arrugados, pegados, pedazos de cascarilla y polvo. Normalmente se emplean tamices que permiten hacer la separación y ventiladores para soplar el polvo y pedazos de cascarilla. La frecuencia de granos planos y muy pequeños en un lote de cacao varía de acuerdo con el material de siembra y las condiciones de crecimiento. Cuando sea necesario, el grano se pasa por zarandas o tamices específicos para separar el cacao de primera calidad de la “pasilla” (granos con menos del 50 por ciento de grano), Cubillos *et al.* (2008).

### **2.3.6 ENVASADO**

Los sacos empleados para almacenar el cacao deben llevar etiquetas que indican que son aptos para el contacto con alimentos, estar nuevos, sin utilizar, limpios y ser lo suficientemente fuertes y bien cerrados (Figura 9) como para resistir el transporte, el almacenamiento y para impedir la infestación por plagas (CAOBISCO *et al.* 2015).

### **2.3.7 ALMACENAMIENTO**

El almacenamiento de granos de cacao en las fincas tiene serios inconvenientes. En general, no se dispone de bodegas adecuadas y seguras. En el trópico el cacao soporta períodos de almacenamiento de 2 a 3 meses sin asumir riesgos en su calidad. Lo más aconsejable es

comercializar el grano inmediatamente después de su empaque en los mercados locales o en las agencias directas de los fabricantes (Cubillos *et al.* 2008). Para mantener la calidad del cacao seco se debe almacenar en un lugar seco y ventilado, donde no se contamine con olores a gasolina, kerosene, venenos agrícolas y otros tipos de materiales que afecten la calidad de cacao (LWR 2013).



**Figura 9: Granos de cacao secos envasados en saco de yute.**

## **2.4 CAMBIOS QUE OCURREN EN LA FERMENTACIÓN DEL CACAO**

### **2.4.1 CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA**

Según Thompson *et al.* (2013) los cambios químicos y enzimáticos tienen lugar dentro de los granos de cacao como resultado de la fermentación de la pulpa. El etanol, el ácido acético, el ácido láctico y el agua producidos migran del exterior al interior del grano produciendo la muerte del mismo. Después de ello, los componentes solubles del grano son lixiviados, a través de la testa, y perdidos en el escurrimiento.

Afoakwa *et al.* (2013) estudiaron los cambios en la composición de cacao producidos en Ghana después de la fermentación encontraron que el contenido de cenizas, proteína y grasa disminuyeron, mientras que el contenido de carbohidratos se incrementó. Además, se encontró que con la fermentación aumentaron la concentración de cobre, mientras que los contenidos de magnesio y potasio se redujeron. Asimismo, Rivera *et al.* (2012) reportan que

al final de la fermentación hay una reducción promedio de la cafeína y teobromina de 4,6 y 10 por ciento, respectivamente.

#### **2.4.2 CAMBIOS EN EL COLOR**

Al fermentar el cacao, el color del grano cambia a una tonalidad parda (Lemus *et al.* 2002). Este oscurecimiento de los granos durante el proceso fermentativo es producido por la hidrólisis de las antocianinas y la posterior oxidación de las agliconas resultantes a compuestos quinónicos, los cuales contribuyen al color pardo propio del cacao fermentado (Cros *et al.* 1982).

De acuerdo con Díaz y Pinoargote (2012), la polifenol oxidasa es la principal responsable de la coloración marrón de las almendras durante la fermentación. La presencia de oxígeno por la aireación de las almendras y las altas temperaturas producidas por la fermentación acética permiten las condiciones necesarias para la actividad de esta enzima. Su actividad continúa durante el secado hasta que la temperatura y la humedad lleguen a ser los factores de su inhibición.

Según Afoakwa *et al.* (2012b), los granos de cacao se vuelven más oscuros durante la fermentación, esto repercute en el valor de luminosidad ( $L^*$ ) de los granos partidos en un análisis de colorimetría. Del mismo modo, el cambio de coloración de violeta a pardo o marrón, se ve reflejado en la disminución del valor de ( $a^*$ ) debido a la hidrólisis progresiva de la antocianina a lo largo de la fermentación. Así mismo, el color amarillo, medido en el valor de ( $b^*$ ), aumenta progresivamente debido a la presencia de polifenoles oxidados como resultado de la oxidación enzimática por la polifenol oxidasa en los granos.

En el secado también varía el color del grano, debido a que se desarrollan pigmentos marrones (Jinap *et al.* 1994 y Cros y Jeanjean 1995) por las reacciones de condensación entre proteínas y quinonas que ocurren después de la oxidación enzimática de polifenoles como leucocianidinas y epicatequinas (Puziah *et al.* 1999 y Daud *et al.* 2007).

### **2.4.3 CAMBIOS EN LA TEMPERATURA**

Durante la fermentación, la temperatura se incrementa debido a la actividad microbiana. Según Ortiz *et al.* (2009a) y LWR (2013), el incremento es gradual desde 31 °C, alcanzando en el segundo día de fermentación una temperatura máxima de 45 a 50 °C, para luego disminuir y mantenerse constante a 33 °C. Por otro lado Portillo *et al.* (2005) menciona que la temperatura máxima durante la fermentación ocurre entre el segundo y tercer día, dependiendo del aguante o almacenamiento de la mazorca antes del beneficio. El rango de temperatura observado fluctúa entre 26 a 45 °C durante las primeras horas y posteriormente puede alcanzar valores mayores (García 2000).

### **2.4.4 CAMBIOS EN LA POROSIDAD**

Según Senanayake *et al.* (1997) los granos de cacao sufren un hinchamiento en el proceso fermentativo. Este hinchamiento se debe a la migración del exudado del mucilago hacia el interior del grano, provocando el aumento de su humedad. Según Ortiz *et al.* (2009a), la penetración del ácido acético destruye la semipermeabilidad de las membranas de las células, esto causa la separación del cotiledón de la testa, llenándose de un jugo color púrpura e hinchándose, modificándose especialmente el espesor de los granos. Por otro lado, según la investigación realizada por Ndukwu *et al.* (2012), el espesor de los granos de cacao es la dimensión más afectada en el secado artificial, presentando un hinchamiento significativo durante las primeras dos horas de secado.

Según Tunde-Akintunde y Akintunde (2007), la porosidad es una propiedad física de los granos que depende de la humedad de los mismos, disminuyendo su valor conforme aumenta la humedad del grano.

### **2.4.5 CAMBIOS EN LA ACIDEZ**

En cuanto a la acidez, esta incrementa con el tiempo desde el inicio de la fermentación. Esto se debe a la producción de ácidos orgánicos por parte de los microorganismos. Según Navia y Pazmiño (2012), la membrana o cascarilla de la semilla de cacao se permeabiliza, dejando

pasar muchas sustancias como el etanol, el ácido acético y los demás metabolitos hacia el cotiledón. Como consecuencia, la acidez de éste aumenta. Según García (2000) la acidez total de los granos de cacao en fermentación está conformada por el ácido láctico y el ácido acético, siendo este último el más predominante. La producción de ácido acético se debe a la actividad de las bacterias acéticas que oxidan el etanol en presencia de oxígeno por la aireación de la masa de en fermentación.

#### **2.4.6 CAMBIOS EN EL pH**

La evolución del pH a lo largo de la fermentación varía de acuerdo a las diferentes situaciones que se presentan en la fermentación, desde los procesos de degradación por acción microbiana, hasta los efectos del mezclado (Senanayake *et al.* 1997). Existen diferencias marcadas en el pH del mucilago y del cotiledón antes de la fermentación. Los ácidos láctico y acético producidos al inicio de la fermentación se difunden desde el mucilago hacia al interior del grano, provocando un descenso en el pH de 6,5 a 4,5 en el cacao (Rodríguez-Campos *et al.* 2011).

Afoakwa, *et al.* (2008), mencionan que el cacao fermentado con un pH entre 5,5 – 5,8 es considerado como pobremente fermentado mientras que el cacao con un pH entre 4,8 – 5,2 se considera que ha sido fermentado adecuadamente. A bajos valores de pH se indica que el cacao es de calidad inferior. Portillo *et al.* (2007) encontraron los granos de cacao con pH menor a 4,5 poseen bajo potencial aromático.

#### **2.5 PRUEBA DE CORTE**

INACAL (2016a) menciona en que la prueba consiste en hacer un corte longitudinal por la parte central de 300 granos, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones para examinar visualmente las dos mitades de cada grano a la luz diurna o bajo una iluminación artificial equivalente separando los granos defectuosos de aquellos que si cumplen con una fermentación adecuada. INACAL (2016b) define estos granos de la siguiente manera:

### **2.5.1 GRANO MOHOSO**

Grano en cuyas partes internas el hongo es visible a simple vista (INACAL 2016b). Según Cubillos *et al.* (2008), los granos con mohos internos constituyen uno de los defectos más graves, porque con solo pequeñas cantidades dan lugar a sabores indeseables en el chocolate. Algunos mohos pueden originar sustancias dañinas para la salud, como la ocratoxina A.

### **2.5.2 GRANO PIZARROSO (PASTOSO)**

Grano de cacao que muestra un color pizarroso en al menos la mitad de la superficie de los cotiledones expuestos por la prueba de corte (INACAL 2016b). Es un grano sin fermentar, que al ser cortado longitudinalmente, presenta en su interior un color gris negruzco o verdoso y de aspecto compacto, es decir, sin hendiduras internas (Figura 10). Según Cubillos *et al.* (2008) se reconocen por su característico color pizarra y textura de queso. El chocolate preparado con estos granos es de color gris oscuro, extremadamente ácido, astringente y ausente de sabor (Kattenberg y Kemmink 1993).

### **2.5.3 GRANO GERMINADO**

Grano de cacao en el que la cascarilla ha sido agujereada, abierta o rota por la germinación de la semilla (INACAL 2016b). Según Cubillos *et al.* (2008) los granos germinados provienen de mazorcas sobremaduras y germinan en el proceso de fermentación. El germen del grano se desprende dejando un hueco en la testa o cascarilla, volviéndolo susceptible a la invasión de hongos o al ataque de insectos.

### **2.5.4 GRANO DAÑADO POR INSECTOS**

Grano que en la parte interna contiene insectos en cualquier estado de desarrollo, o que ha sido atacado por insectos que han causado daño visible a simple vista (INACAL 2016b). Según Schilling y Regalado (2009), la presencia de granos dañados por insectos se debe a un mal almacenamiento de los granos en el almacenamiento, como el apilamiento de sacos

en el piso, la presencia de otro tipo de granos en el almacén y la falta de control de insectos y plagas.



**Figura 10: Granos de cacao pizarrosos.**

### **2.5.5 GRANO PLANO**

Es un grano tan delgado que no es posible obtener una superficie completa de los cotiledones por corte (INACAL 2016b y CAOBISCO *et al.* 2015). Según Cubillos *et al.* (2008) su presencia merma el rendimiento y es necesario separarlos mediante zarandas o maquinas clasificadoras. Schilling y Regalado (2009) mencionan que la presencia de estos granos se debe a la cosecha de mazorcas inmaduras o al secado acelerado de los granos.

### **2.5.6 GRANO VIOLETA O VIOLÁCEO**

Grano de cacao que muestra un color violáceo o morado en al menos la mitad de la superficie de los cotiledones expuestos en la prueba de corte (INACAL 2016b). Grano cuyos cotiledones presentan un color violeta intenso (Figura 11), debido al mal manejo en la cosecha o fermentación del cacao. Su forma es aplanada, de bajo espesor, la cascara es difícil de separar del grano y es compacta, es decir, no es quebradiza. Según Schilling y Regalado (2009) la presencia de estos granos se debe, principalmente, a los siguientes factores:

- Fermentación de semillas provenientes de mazorcas pintonas o inmaduras, ya que no poseen la cantidad de azúcares necesarios para su adecuada fermentación.
- Baja temperatura de fermentación.
- Mala remoción de granos, dificultando la penetración de exudado y la aireación de los mismos.
- Contaminación por microorganismos antagónicos.



**Figura 11: Grano de cacao violeta o violáceo.**

### **2.5.7 GRANO ROTO**

Grano de cacao que ha perdido un fragmento, la parte perdida equivale a menos de la mitad del grano (INACAL 2016b). Según Schilling y Regalado (2009) los granos quebrados se producen por un secado excesivo y un apilamiento inadecuado de los sacos de producto final.

### **2.5.8 GRANO MÚLTIPLE**

Son dos o más granos unidos íntimamente por una de sus caras con restos de mucílago (Figura 12). Esta impureza se debe a la mala separación de las semillas durante el quebrado de mazorca, ya que el proceso implica una separación de las semillas para evitar que estos se peguen entre sí (Schilling y Regalado 2009).



**Figura 12: Grano de cacao múltiple.**

### **2.5.9 GRANO ADECUADAMENTE FERMENTADO**

Un grano de cacao con adecuada fermentación se caracteriza por tener los cotiledones de una coloración marrón o marrón rojiza y presentar estrías profundas (Figura 13), diferenciándose de los granos violeta y pizarras. Según Schilling y Regalado (2009) los granos adecuadamente fermentados se obtienen de mazorcas maduras, un adecuado tratamiento poscosecha y por último, buenas condiciones de almacenamiento. La semilla se caracteriza por ser de forma arriñonada, hinchada y gruesa, color café oscuro o blanquecino, naturaleza quebradiza, cáscara fácil de separar y tener sabor y aroma característico del cacao.



**Figura 13: Grano de cacao bien fermentado.**

## 2.6 ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

El índice de fermentación es un índice físico, el cual evalúa las características físicas de los cotiledones del grano partido por la prueba de corte. Una de las características a evaluar en el grano partido es la coloración, la cual debe ser marrón uniforme. Su intensidad puede variar de acuerdo a la variedad de cacao. Otra característica de los granos bien fermentados es la presencia de estrías profundas en los cotiledones producidas en la fermentación al sufrir un hinchamiento, (Gutiérrez 2009).

Las transformaciones bioquímicas que ocurren en el interior de los cotiledones ocasionan una hinchazón de los granos. Esta hinchazón de los granos permite inferir visualmente como se está llevando a cabo la fermentación, estando directamente relacionado el ÍH (Índice de Hinchamiento) con el proceso fermentativo, Ortiz *et al.* (2009b).

Por otro lado, Contreras *et al.* (2004), en su investigación acerca de la influencia del tipo de fermentador sobre el índice de fermentación y características químicas del grano de cacao, realizaron un seguimiento de la variación del índice de fermentación al cero, segundo y cuarto día, durante los cuales fue aumentando en el tiempo. Entre los tres tipos de fermentadores evaluados (saco de yute, caja de plástico, caja de madera) no se encontró diferencias significativas. Sin embargo, por las características químicas obtenidas en el cacao y por razones de uso práctico y de manejo, el cajón de madera fue considerado como el tipo de fermentador más adecuado.

Si bien el índice de fermentación aumenta durante la fermentación, este valor también se ve afectado durante el secado. Nogales *et al.* (2006), al investigar la evolución del índice de fermentación durante la fermentación y secado, encontró que este índice aumenta con el tiempo de secado. Este fenómeno ocurre debido al apilamiento o al reposo de los granos después de cada seis horas expuesto al sol (tiempo de secado diario de acuerdo a su metodología empleada). Al finalizar las horas de secado diario los granos quedan en reposo hasta esperar el siguiente día. Durante este lapso de tiempo la fermentación interna de los granos continúa. El porcentaje de granos que culminan su fermentación durante el secado es

entre cinco y seis por ciento. La fermentación en el secado cesa cuando los granos llegan a un nivel de humedad bajo entre el tercer y cuarto día de secado.

## **2.7 ALTERNATIVAS AL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN**

El método alternativo al índice de fermentación más conocido y usado por diferentes autores se basa en el uso de espectrofotometría (Afoakwa *et al.* 2012 e Ilangantileke *et al.* 1991). Sin embargo, en los últimos años diversos autores han propuesto metodologías para determinar el nivel de fermentación de los granos de cacao como la aplicación de H NMR (resonancia magnética nuclear de protones) en conjunto con quimiometría (Caligiani *et al.*, 2014); el uso de FT NIRS (espectroscopia de infrarrojo cercano transformada de Fourier) y quimiometría (Teye *et al.* 2015); determinación del contenido de amoníaco mediante espectroscopia de infrarrojo cercano o NIRS (Hue *et al.* 2014); índice de calidad de cacao (CQI) adaptado del índice de calidad de suelos (Karlen y Stott citado por Araujo *et al.* 2014).

## **2.8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

La conducción de una corriente eléctrica a través de una disolución iónica se realiza por medio del movimiento de los iones en la disolución. Una forma de conocer la capacidad conductora de la disolución es poner dos electrodos en una disolución y medir su resistencia, que depende del área de la superficie de los electrodos, la forma de los electrodos, la posición de los electrodos entre sí en la disolución, el tipo de especies en la disolución, la concentración de las especies y la temperatura. Al respecto, las unidades usadas para las medidas analíticas tienen en cuenta las diferencias de la geometría y del área de los electrodos. La resistencia se convierte en unidades como si la medida se hubiera llevado a cabo en una célula de 1 cm<sup>3</sup> de volumen, entre dos placas de electrodos, cada una de 1 cm<sup>2</sup>, que estén en paralelo y a 1 cm de separación. La medida de la resistencia en una geometría específica se llama resistividad y su inversa se llama conductividad o conductancia específica (Rubinson y Rubinson 2000). Las unidades para cada tipo de medida vienen indicadas en la Cuadro 3.

**Cuadro 3: Unidades utilizadas en conductimetría**

Denominación	Nombre de las Unidades	Símbolo de las Unidades
Resistencia (R)	Ohmio	$\Omega$
Conductancia	$\text{ohmio}^{-1} = \text{mho} = \text{siemens}^*$	$\Omega^{-1} = \Omega^{-1} = \text{S}$
Resistividad ( $\rho$ )	ohmio cm	$\Omega \text{ cm}$
Conductividad ( $\kappa$ )	$\text{mho cm}^{-1} = \text{siemens cm}^{-1}$	$\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1} = \text{S cm}^{-1}$
*Siemens es una unidad del sistema internacional		

FUENTE: Rubinson y Rubinson (2000).

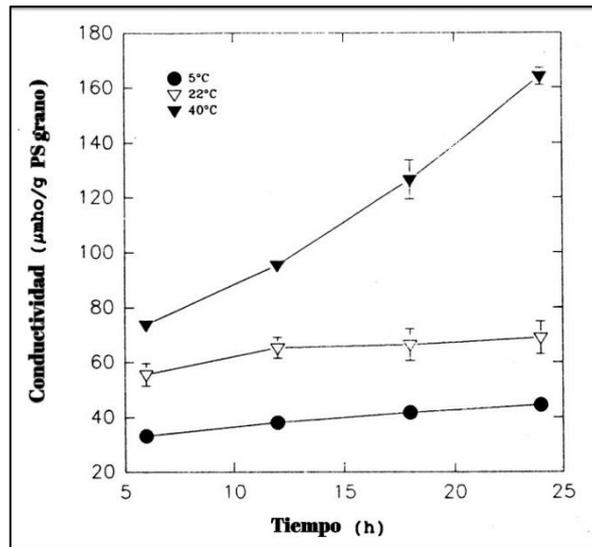
## 2.9 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO

### 2.9.1 HUMEDAD DE LA SEMILLA

El contenido de humedad influirá en la velocidad de fuga de los compuestos en la semilla y por lo tanto en la conductividad eléctrica. Entonces, es importante investigar su relación, y encontrar un nivel en el que pequeños cambios en el contenido de humedad no tiene un efecto significativo en la conductividad eléctrica (Sørensen *et al.* 1996).

### 2.9.2 TEMPERATURA DE REMOJO

La temperatura influye en gran medida en la cantidad de solutos lixiviados a partir de las semillas que fueron sumergidos en agua. La Figura 14 muestra la evolución en el tiempo de la conductividad en el agua de remojo de semillas de *Picea abies* a tres temperaturas diferentes. La fuga de solutos se incrementa con la temperatura. Una posible causa puede ser el cambio en la viscosidad del agua de remojo (Murphy y Noland 1982, citados por Sørensen *et al.* 1996).



**Figura 14: Conductividad de semillas de *Picea abies* remojada en agua a tres temperaturas diferentes (5, 22 y 40 °C).**

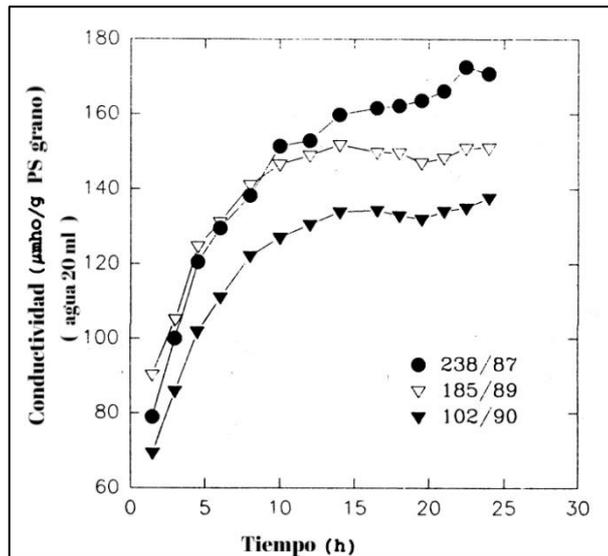
FUENTE: Sørensen, citado por Sørensen *et al.* (1996).

### 2.9.3 TIEMPO DE REMOJO

Las fugas de las semillas, al inicio, aumentarán rápidamente y luego se estabilizará. La Figura 15 muestra la evolución de la conductividad de tres lotes diferentes de semillas *Picea abies* en el tiempo. Cuando se utilizan las mediciones de conductividad como una prueba, se hace por lo general sólo una determinación de la conductividad. Por tanto, es importante medir la conductividad en la parte horizontal de la curva. Al menos cuatro a seis lotes de semillas diferentes deben ser usados para hacer estas curvas en la que se determina período de remojo. El período será típicamente 16 - 24 horas (Sørensen *et al.* 1996).

### 2.9.4 PRESENCIA DE SEMILLAS VACÍAS O DAÑADAS

Las semillas vacías pueden alterar los resultados. Las fugas de semillas vacías son bajas. La eliminación de impurezas pequeñas, fungicidas e insecticidas pueden causar variación en las mediciones de conductividad por lo que un lavado preliminar estándar en agua destilada puede ser necesario. Es importante que el lavado ha sido estandarizada y se utiliza en todo el lote de semillas, ya que se escapará solutos durante el proceso (Sørensen *et al.* 1996).



**Figura 15:** Curva de conductividad eléctrica de tres lotes de semillas *Picea abies* remojadas en agua.

FUENTE: Sørensen, citado por Sørensen *et al.* (1996).

### 2.9.5 DAÑOS MECÁNICOS

Cuando se sumergen en agua semillas con lesiones mecánicas, las fugas serán altas. La presencia de unos pocos granos con lesiones mecánicas en un lote de provocará un mayor nivel de conductividad. Sin embargo, la eliminación de las semillas lesionadas de la prueba no es recomendada como la selección pues, sería muy subjetivo (Sørensen *et al.* 1996).

### 2.10 MODELOS MATEMÁTICOS

Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica. Para concretarse denomina modelo a la representación matemática o grafica de la realidad que es utilizada para plantear un problema, normalmente de manera simplificada en términos relativos y planteados desde un punto de vista matemático, aunque también puede tratarse de un modelo físico. Es una representación conceptual o física a escala de un proceso o sistema (fenómeno), con el fin de analizar su naturaleza, desarrollar o comprobar hipótesis

o supuestos y permitir una mejor comprensión del fenómeno real al cual el modelo representa (Ríos 1995).

Regalado *et al.* (2008) menciona que una de las razones para obtener un modelo es la adecuación del cálculo del supuesto comportamiento de un proceso para determinadas condiciones, el cálculo depende de la aplicación. De esta forma podemos mostrar que la importancia de los modelos matemáticos radica en que:

- Nos revela a veces relaciones que no son evidentes a primera vista.
- Una vez construido el modelo, es posible extraer de él propiedades y características de las relaciones que de otra forma permanecerían ocultas.
- En aquellas situaciones del mundo real en las que no es posible experimentar con la realidad, ofrecen un marco teórico para evaluar la toma de decisiones así como sus consecuencias.

### **2.10.1 METODOLOGÍA PARA OBTENER MODELOS MATEMÁTICOS**

#### **a. Fundamental**

Usa la teoría aceptada de la ciencia fundamental para obtener ecuaciones. En este caso, las teorías que se aceptan son los axiomas básicos en el proceso lógico de construcción de un modelo (Regalado *et al.* 2008).

#### **b. Empírica**

Los modelos empíricos son modelos en los que los datos experimentales se usan directamente para cuantificar relaciones y se basan en un único nivel. El modelamiento empírico se relaciona con el uso de modelos para describir datos contabilizando su variación inherente entre estos. Por lo tanto, un modelo empírico se establece principalmente para describir, y se basa en la observación y en la experimentación. El enfoque deriva de la

filosofía del empirismo y se adhiere a la metodología de la estadística. Los modelos empíricos son a menudo ejercicios de ajuste de curvas (Dijkstra *et al.*, 2005)

### **c. Analogía**

Usar las ecuaciones que describen a un sistema análogo, con variables identificadas por analogía en una base uno a uno (Regalado *et al.* 2008).

## **2.10.2 MODELOS MATEMÁTICOS SEGÚN EL TIEMPO**

Los modelos pueden ser estáticos o dinámicos, en un modelo estático, la variable tiempo no desempeña un papel relevante, por el contrario en un modelo dinámico, ya que alguno(s) de los elementos que intervienen en la modelización no permanecen constantes, sino que se consideran como funciones del tiempo, describiendo trayectorias temporales. El análisis de un modelo dinámico tiene por objeto el estudio de la trayectoria temporal específica de alguno(s) de sus elementos (Regalado *et al.* 2008)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente trabajo de investigación se realizó en las siguientes instalaciones:

- Fundo Terra Nostra ubicado en Uchiza provincia de Tocache departamento de San Martín (proceso poscosecha de cacao).
- Laboratorio de Físicoquímica de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Laboratorio de Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **3.2 MATERIA PRIMA**

Se utilizó mazorcas maduras y sanas de cacao de la variedad CCN-51 (Colección Castro Naranjal), proveniente del distrito de Uchiza, provincia de Tocache, región San Martín. Las mazorcas fueron transportadas y procesadas en las instalaciones del fundo Terra Nostra hasta obtener el grano de cacao seco con diferente grado de fermentación. Las muestras fueron empacadas en bolsas de polietileno y embaladas en sacos de rafia para ser transportadas a Lima.

#### **3.3 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS**

##### **3.3.1 MATERIALES**

- Agua destilada.

- Baguetas.
- Barras de agitación magnética.
- Bolsas dilaminadas de 1 kg.
- Botellas de plástico de 500 y 250 ml con tapa.
- Buretas de 25 ml.
- Campanas de desecación.
- Crisol de porcelana.
- Dedal de celulosa.
- Embudo de plástico con rejilla desmontable.
- Embudo de vidrio.
- Hojas de bisturí descartable 22.
- Mango de bisturí N4.
- Mortero con pilón.
- Papel filtro de 8 - 12 $\mu$ m.
- Papel tissue.
- Perlas de vidrio.
- Pipetas graduadas de 10 ml.
- Placas con tapa.
- Probetas graduadas de 10, 150 y 250 ml.
- Tubo de digestión.
- Vasos precipitados de 50, 150, 250, 300 y 500 ml.
- Vidrio de reloj.

### **3.3.2 EQUIPOS**

- Agitador magnético CAT M6.1.

- Aire acondicionado Carrier®.
- Balanza Analítica Adventurer®, modelo AR 2140.
- Balanza eléctrica (ADAM EQUIPEMET modelo CBW-12aH®) sensibilidad (0,1 g).
- Conductímetro inolab Cond Level 2 p.
- Destilador Kjeldahl.
- Digestor Kjeldahl.
- Equipo de filtración al vacío.
- Estufa Mermnert.
- Molino de cuchillas Molinex®.
- Porosímetro de Day, modificado por Ureña 1990.
- Potenciómetro SCHOTT, Handylab D-55014 Mainz®.
- Refractómetro de mano Atago® N-50E.
- Vernier Stainless Hardened® 10-2 mm.

### **3.3.3 REACTIVOS**

- Ácido sulfúrico concentrado.
- Alcohol isoamílico (antiespumante).
- Éter de petróleo.
- Fenolftaleína concentrada.
- Indicador mixto N° 5.
- Solución buffer de pH 4,01 y de pH 7,01
- Solución de ácido bórico al 3 % (p/v).
- Solución de ácido clorhídrico 0,1 N y 8 M.
- Solución de ácido sulfúrico al 1,25 % (p/v).
- Solución de hidróxido de sodio 0,1 N.

- Solución de hidróxido de sodio 1,25 y 32 % (p/v).
- Tableta de Catalizador Wieninger.

### **3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS**

#### **3.4.1 ÍNDICE DE GRANO**

El índice de grano se determinó según la metodología del APPCACAO (2012). Se cuantificó 100 granos de cacao y se les pesó, luego se dividió entre 100, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de grano} = \frac{\text{Peso de 100 granos (g)}}{100}$$

#### **3.4.2 DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPESOR DEL GRANO**

La medición de las dimensiones de los granos de cacao se realizó por medio de un vernier electrónico en el orden de: largo, ancho y espesor siguiendo la metodología empleada por Chire *et al.* (2014). Se registró las dimensiones de 60 granos de cacao secos. Luego se determinó la relación L/e (largo/espesor) para cada grano mediante la fórmula que se presenta a continuación:

$$\text{Relación L/e} = \frac{\text{Largo de grano (mm)}}{\text{Espesor de grano (mm)}}$$

#### **3.4.3 DENSIDAD REAL DEL GRANO**

La densidad real se determinó aplicando el método de Day modificado por Ureña (1990). La variante es que, en lugar de insuflar aire dentro del recipiente que contiene la muestra, se le extrae y se le produce un vacío parcial. El método se basa en determinar el volumen de

huecos del material al inducir un fenómeno de compensación de presiones entre dos recipientes aislados del medio ambiente.

La presión es la ejercida por el gas, en este caso aire, cuyo número de moles es constante en el sistema y es el resultante de la suma de los que quedan en el recipiente, en el que previamente se hizo el vacío, y de los que se encuentran ocupando el resto del volumen del envase que contiene las partículas de muestra.

Después del fenómeno de transferencia másica desde el recipiente con mayor presión hacia el que se le hizo el vacío, el número de moles queda distribuido en el sistema, estableciéndose así la presión final de equilibrio. Luego se aplica la siguiente ecuación:

$$n = n_1 + n_2$$

Entonces:

$$\frac{P \times V}{R \times T} = \frac{P_1 \times V_1}{R_1 \times T_1} + \frac{P_2 \times V_2}{R_2 \times T_2}$$

Donde  $n_1$  y  $n_2$  son las moles del aire que están en los recipientes 1 y 2. “n” es el número de moles después de la transferencia másica que se encuentra en una presión de equilibrio “P”. “R” es la constante universal de los gases y “T” es la temperatura del ambiente.

Si asumimos que:

$$R \times T = R_1 \times T_1 = R_2 \times T_2$$

Se tiene que:

$$P \times V = P_1 \times V_1 + P_2 \times V_2$$

Si  $P_2$  es la presión atmosférica y V es la suma de los volúmenes  $V_1$  y  $V_2$ , en términos de presiones manométricas se obtiene.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{(P_1 - P)}{P}$$

Donde la fracción volumétrica es la porosidad ( $\epsilon$ ) que presenta el material estudiado. La siguiente expresión es válida si los dos volúmenes son iguales, pero como no siempre se da esto, por error intrínseco del material y de construcción del equipo, se hace necesario introducir en la ecuación un factor de corrección ( $F_c$ ) que se determinó experimentalmente.

$$\epsilon = F_c \times \frac{(P_1 - P)}{P}$$

Donde:

$$F_c = \frac{V_1}{V_{\text{rec2}}}$$

$V_{\text{rec2}}$  = Volumen del recipiente 2

El factor de corrección se determina con una curva de calibración con agua, utilizando la misma metodología. Y para ello, la ecuación se convierte en:

$$\frac{V_{\text{rec}} - V_a}{V_1} = \frac{(P_1 - P)}{P}$$

Donde “ $V_{\text{rec}}$ ” es el volumen total del recipiente 2 y “ $V_a$ ” es el volumen de agua añadida. El término  $(1/V_1)$  es igual a la pendiente de la curva de calibrado, con lo que se determina el valor de  $V_1$  y, de la ordenada en el origen, el volumen del recipiente 2 ( $V_{\text{rec2}}$ ).

Para iniciar el análisis se vertió un volumen conocido de agua (60 ml) en el recipiente 2, se cerró el sistema y se procedió con la extracción del aire del recipiente 1 abriendo la válvula 1. Al lograr el máximo vacío posible se cerró la válvula 1 y se procedió a leer la presión de vacío del vacuómetro digital, teniendo así “ $P_1$ ”. Luego se abre la válvula 2, para expandir el aire atrapado del recipiente 2 hacia todo el sistema hasta llegar al equilibrio, obteniendo “ $P_{\text{eq}}$ ”. Luego se procede a abrir las válvulas 1 y 2 para la entrada de aire al sistema para

proceder a realizar la siguiente medición añadiendo 40 ml de agua al recipiente 2 repitiendo el procedimiento antes indicado hasta un volumen de 340 ml. Este proceso análisis se realizó por triplicada constituyendo los puntos de la curva. Se elaboró una curva de calibración de agua por lote.

Para la determinación de la densidad real de los granos de cacao se utilizó los mismos pasos sustituyéndose el agua por los granos de cacao. De esta forma se obtiene una representación gráfica de la relación entre la fracción de poros y la masa del material. De la función que representa a la curva se obtuvo el valor de la densidad real haciendo cero el valor de la porosidad y dividiendo el valor obtenido entre el  $V_{rec2}$  que fue hallado al determinar el factor de corrección.

#### **3.4.4 pH**

La determinación del pH se realizó utilizando el método AOAC (2016) 970.21. En un vaso de precipitado de 250 ml se pesó 5 g de almendras trituradas. Seguido de ello, se añadió 45 ml de agua destilada hirviendo, se dejó enfriar. La mezcla fría se filtró al vacío con papel filtro. El electrodo, previamente calibrado, se sumergió en el sobrenadante y se esperó hasta que la lectura sea estable.

#### **3.4.5 ACIDEZ TITULABLE**

Se utilizó como referencia el método AOAC (2016) 942.15 el cual es una titulación potenciométrica. Realizado el método descrito en el punto anterior, se procedió a titular el sobrenadante con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 M previamente normalizado, hasta llegar a pH 8,2. Durante la titulación la muestra fue homogenizada con un agitador magnético. Al llegar al punto final se anotó el volumen de gasto. El cálculo de la acidez titulable se realizó reemplazando el volumen gastado del valorante en la siguiente ecuación:

$$\% \text{ác. Acético} = \frac{V_g \times N \times F. D. \times F. E.}{m} \times 100\%$$

Donde:

%ác. Acético: Acidez titulable (%ác. Acético)

Vg: Volumen de gasto de Hidróxido de sodio (mL)

N: Normalidad de la solución (eq/L)

F.D.: Factor de Dilución de la muestra.

F.E.: meq ácido acético.

m: Peso de la muestra (g).

### **3.4.6 ÍNDICE DE FERMENTACIÓN**

El índice de fermentación fue determinado con la prueba de corte según INACAL (2016a) en la Norma Técnica Peruana NTP – ISO 1114:2011. El valor del grado o índice de fermentación fue calculado mediante la relación de granos bien fermentados con respecto al total de granos analizados en la prueba de corte. El cálculo del índice de fermentación determinó mediante la siguiente ecuación:

$$IF = \frac{\text{Granos fermentados}}{300 \text{ granos}} \times 100$$

### **3.4.7 COMPOSICIÓN PROXIMAL**

#### **a. Humedad**

La determinación de humedad de los granos de cacao se realizó con la metodología AOAC (2016) 931.04. Se tomó una muestra de 10 g a partir de reducciones sucesivas. La muestra fue triturada a partículas finas en un mortero y se colocó 2 g en las placas. Las placas fueron llevadas a la estufa y secadas por 16 horas a 103 °C. La humedad fue calculada por diferencia de pesos utilizando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_1 - W_0)} \times 100\%$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad en base húmeda (%).

W<sub>0</sub>: Peso de la placa con tapa (g).

W<sub>1</sub>: Peso de la placa Petri con tapa y muestra húmeda (g).

W<sub>2</sub>: Peso de la placa Petri con tapa y muestra seca (g).

### **b. Proteína**

La determinación de proteína se efectuó siguiendo la metodología AOAC (2016) 970.22 el cual se basa en el método Kjeldahl –Gunning - Arnold. Se pesó 0,5 g de muestra, se colocó en un tubo Kjeldahl, añadiéndose una tableta de catalizador y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla se llevó al digestor y se calentó alrededor de dos horas. Se sabe que la digestión ha terminado porque la disolución adquiere un color verde esmeralda claro. Se adicionó 50 ml de agua destilada y 10 ml de NaOH 30 % y se llevó al destilador, haciéndose una destilación por arrastre con vapor. El hidróxido de amonio generado se recibió en 50 ml de ácido bórico conteniendo tres gotas de indicador mixto hasta tener un volumen de destilado de 200 ml. El destilado se tituló con HCl 0,1N. El porcentaje de nitrógeno se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\%N = \frac{V_g \times N \times 14 \times 100}{1000 \times W}$$

Y finalmente el contenido de proteína fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\%P = \%N_{\text{Total}} \times 6,25$$

Donde:

%N: Porcentaje de Nitrógeno.

V<sub>g</sub>: Volumen de Ácido Clorhídrico (HCl) gastado.

N: Normalidad de ácido clorhídrico.

W: peso de la muestra (g)

%P: Porcentaje de proteína cruda.

### **c. Grasa**

Se empleó el método AOAC (2016) 963.15 como referencia (Soxhlet). Se pesó alrededor de 5 g de muestra seca y fue colocada en el dedal de extracción de grasa envuelta en su papel filtro. Se colocó el dedal dentro del aparato Soxhlet. Se colocó 150 ml de éter de petróleo a cada uno de los matraces de extracción que contiene perlas de vidrio, previamente secados y pesados. Se procedió a utilizar el equipo de acuerdo a los protocolos del fabricante. Concluida la extracción de grasa, se evaporó el solvente utilizando el equipo de destilación, a fin de recuperar el solvente. Se retiró la capsula de extracción y el vaso con la grasa extraída se trasladó a una estufa a 100 °C para eliminar residuos de reactivos. Se anotó el peso de la grasa cuando su valor fue constante.

$$\%G = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100\%$$

Donde:

%G: Porcentaje de grasa en base húmeda

M<sub>0</sub>: Peso del balón vacío.

M<sub>1</sub>: Peso del balón con grasa.

M<sub>2</sub>: Peso inicial de la muestra.

### **d. Cenizas**

Para la determinación de cenizas se utilizó la metodología AOAC (2016) 972.15. Se pesó 2 g de muestra seca en un crisol de porcelana seco y de peso conocido. Se llevó a una mufla a 600 °C por cuatro horas, dejó enfriar en un desecador y se pesó. El cálculo del porcentaje de

cenizas se realizó a partir de la diferencia de pesos inicial y final mediante la siguiente ecuación:

$$\%C = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_1 - W_0)} \times 100\%$$

Donde:

%C: Porcentaje de Cenizas (%).

W<sub>0</sub>: Peso del crisol (g)

W<sub>1</sub>: Peso del crisol y muestra (g)

W<sub>2</sub>: Peso del crisol y ceniza (g)

#### **e. Fibra Cruda**

La determinación de fibra cruda se realizó mediante la metodología AOAC (2016) 930.20. Se trabajó a partir de la muestra desgrasada, colocándolo en un vaso de digestión de 500 ml al cual se le adicionaron 100 ml de ácido sulfúrico al 1,25 por ciento y cinco gotas de alcohol isoamílico (antiespumante) para dejarse hervir por 30 minutos. Luego se filtró al vacío y se lavó con agua destilada caliente hasta pH neutro. Se regresó el residuo obtenido al vaso de digestión y se adicionaron 100 ml de NaOH al 1,25 por ciento y cinco gotas de antiespumante. Se dejó hervir por 30 minutos y se filtró en papel filtro cuantitativo previamente pesado. Se lavó hasta pH neutro y se llevó a una estufa por dos horas, se dejó enfriar y se pesó (Peso A). El residuo se calcino a 600 °C durante cuatro horas, se dejó enfriar y se pesó (Peso B). El porcentaje de fibra cruda se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$\%FC = \frac{(W_A - W_B)}{W_0} \times 100\%$$

Donde:

%FC = Porcentaje de Fibra cruda (%)

W<sub>A</sub> = Peso del Residuo A seco.

$W_B$  = Peso del Residuo B calcinado.

$W_0$  = Peso inicial de la muestra.

## f. Carbohidratos

La proporción de carbohidratos se realizó restando al 100 por ciento el porcentaje de los demás componentes anteriormente determinados.

### 3.4.8 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS

El ensayo de conductividad eléctrica, adaptado de Sørensen *et al.* (1996), se llevó a cabo para dos presentaciones (entero y cortado) y tres cantidades (15, 20 y 25) de grano. Se tomó una muestra de granos y se pesaron en una balanza electrónica (0,1 g). Los granos se enjuagaron por diez segundos con agua desionizada y se colocaron en botellas de plástico de 500 ml, con 400 ml de agua desionizada por un período de 24 horas, a 25 °C. En el caso de los granos cortados antes de ser embebidos se les hizo un corte longitudinal con el bisturí a fin de exponer la máxima superficie de los cotiledones. Además un blanco con 400 ml de agua desionizada acompañó a cada batería. Las botellas se mantuvieron cerradas durante el periodo de 24 horas para evitar la evaporación y contaminación del agua desionizada. Después del período de imbibición, el medio acuoso se homogeneizó agitándolo dos veces y decantó en botellas de plástico de una capacidad de 250 ml para medir, con el conductímetro inolab Cond Level 2 p, el valor de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). Finalmente, el valor de conductividad eléctrica del medio acuoso con granos enteros o cortados ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ), según correspondió, se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Conductividad eléctrica } (\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}) = \frac{CE_{MA} - CE_B}{m}$$

Donde:

$CE_{MA}$ : Conductividad eléctrica del medio acuoso ( $\mu\text{S/cm}$ ).

$CE_B$ : Conductividad eléctrica del blanco ( $\mu\text{S/cm}$ ).

m: peso de la muestra (g).

### **3.4.9 pH DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS**

La determinación del pH del medio acuoso obtenido se realizó mediante un potenciómetro cuyo electrodo, previamente calibrado, se sumergió en el medio acuoso y se esperó hasta que la lectura sea estable.

### **3.4.10 PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS**

El porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso se determinó según la metodología AOAC (2016) 983.17 donde se colocó 1 - 2 gotas del medio acuoso en el prisma del refractómetro, cerrándose la tapa evitando la formación de burbujas. Luego, se sostuvo el refractómetro bajo la luz solar, y se observó la escala a través del ocular. El valor, expresado en grados Brix, se pudo leer entre el límite claro / oscuro. Girándose el ocular para ajustar / precisar la escala.

### **3.5 OBTENCIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO SECO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN**

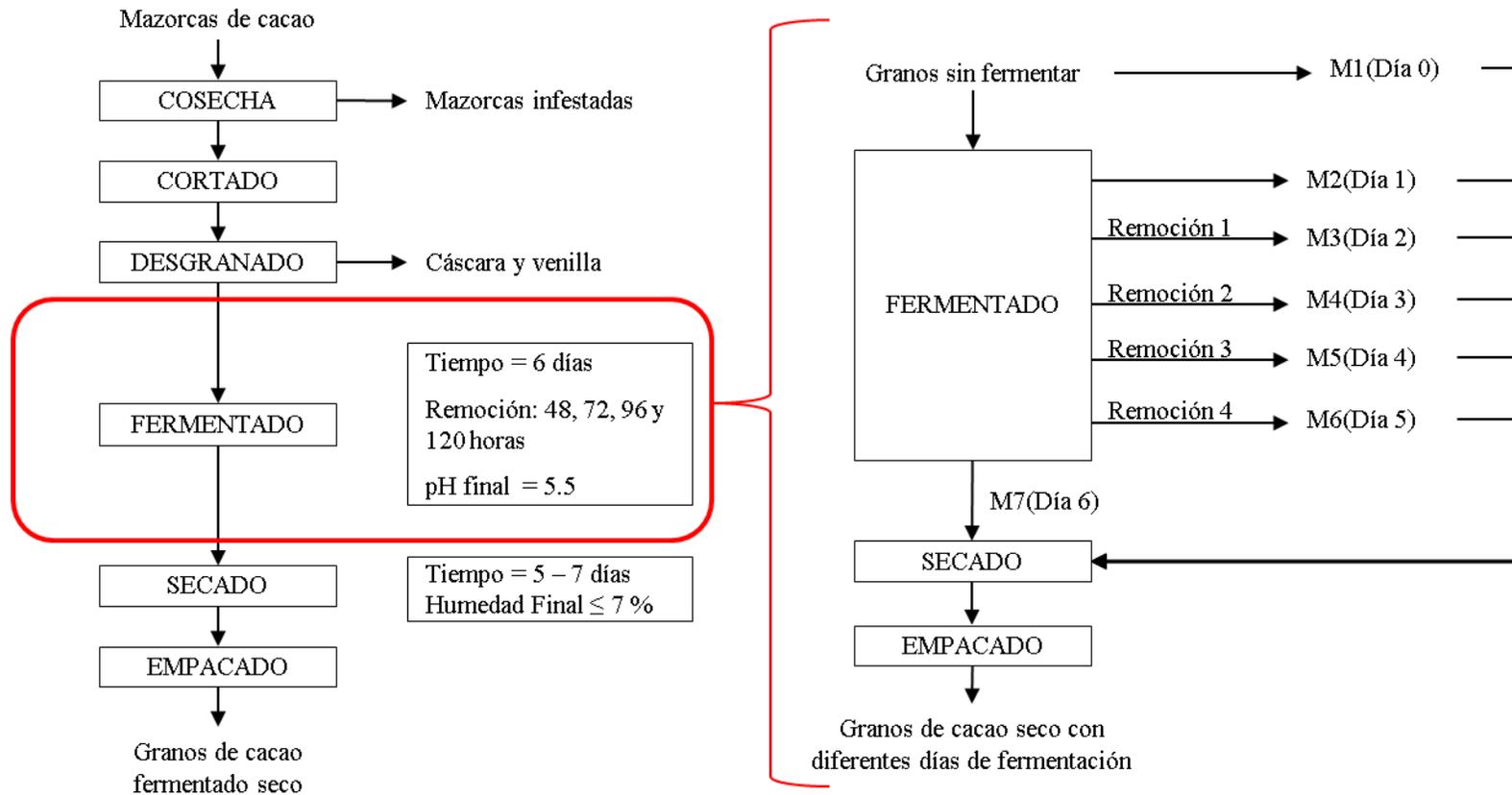
El proceso de obtención de los granos de cacao seco se realizó mediante la metodología utilizada por el Fundo Terra Nostra para obtener granos de cacao fermentado de calidad. El flujo de operaciones se muestra en la Figura 16.

- **Cosecha:** Se cosecharon mazorcas de cacao maduras de la variedad CCN-51, apartándolas de las infestadas para garantizar la adecuada fermentación.
- **Cortado:** Las mazorcas maduras fueron cortadas por un machete, evitando dañar los granos de cacao.

- **Desgranado:** Las mazorcas cortadas fueron desgranadas y depositados en contenedores de plástico. Los granos de cacao en baba fueron transportados a los cajones fermentadores tapándolos a fin de evitar los contaminantes externos (polvo, tierra, hojas, insectos, etc.)
- **Fermentado:** La fermentación de los granos de cacao CCN-51 se realizó, por triplicado para cada lote, en cajones de fermentación por seis días. El peso inicial del cacao en baba fue de 300 kg, a partir del cual se tomaron muestras de 2 kg por cada día de fermentación. Se hicieron remociones después de 48, 72, 96 y 120 horas. Se controló la temperatura de fermentación colocando un termómetro a diez centímetros de profundidad de la masa de cacao. El término de la fermentación fue determinado mediante la medición del pH de la grano ( $\text{pH}_f = 5,5$ ) que sumado al descenso de la temperatura de fermentación para el último día de proceso, indicaron el término del proceso, según García (2000) y Portillo *et al.* (2011).
- **Secado:** Luego de la extracción, las muestras de grano de cacao con 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 días de fermentación fueron secados al sol utilizando tarimas o bastidores de madera con cubierta de polipropileno para evitar el contacto directo con los rayos solares. El espesor de la capa de cacao fue de cinco centímetros y fue removido o rastrillado con un rastrillo de madera una vez por cada hora de secado, hasta alcanzar la humedad final entre seis y siete por ciento.
- **Empacado:** Las muestras del grano de cacao seco CCN-51 con 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 días de fermentación que fueron obtenidas a partir muestreos diarios durante el proceso de fermentación y luego de ser sometido a un secado natural fueron empacados en bolsas de polietileno y rotulados con indicando la temperatura de fermentación, tiempo de fermentación, tiempo de secado y la humedad final.

### 3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

Como se muestra en la Figura 17, se realizó una caracterización por índice de grano, medición de dimensiones y relación Longitud/espesor (L/e) del grano, densidad real del grano, índice de fermentación (I.F.), pH y acidez titulable (porcentaje de ácido acético) para cada día de fermentación. Además, se caracterizó el grano mediante un análisis proximal.



**Figura 16: Flujo de operaciones para la obtención de granos de cacao seco fermentados por diferentes días del Fundo Terra Nostra.**

Posteriormente, se evaluó el efecto del tiempo de fermentación del grano de cacao sobre las propiedades del medio acuoso generadas al contenerlos por 24 horas, siendo estas: la conductividad eléctrica, el porcentaje de sólidos solubles y el pH, para determinar la relación de estas propiedades con el tiempo de fermentación de los granos. Finalmente, se correlacionaron ( $p < 0,05$ ) las propiedades del medio acuoso seleccionadas con el Índice de fermentación (I.F.).

### **3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics® Centurion XVII. En la primera etapa, se evaluó el efecto del tiempo de fermentación en las siguientes características físicas y químicas de los granos de cacao y en el medio acuoso con los granos inmersos en él:

- Índice de grano.
- Dimensiones (largo, ancho y espesor) y relación L/e del grano.
- Índice de fermentación (I.F.)
- Densidad real del grano.
- pH y acidez titulable (como ácido acético) del cotiledón.
- Conductividad eléctrica del medio acuoso con granos.
- pH del medio acuoso con granos.
- Porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos.
- Análisis proximal.

Para los ensayos de índice de grano, dimensiones y relación L/e del grano, I.F., densidad real del grano, pH y acidez titulable, se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) usando un valor  $p < 0,05$  donde cada lote de producción (1, 2 y 3) representó un bloque, el factor de estudio fue el tiempo de fermentación (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 días) y se realizaron tres repeticiones. Los datos se sometieron a la prueba de Tukey para la comparación de medias entre los días de fermentación.

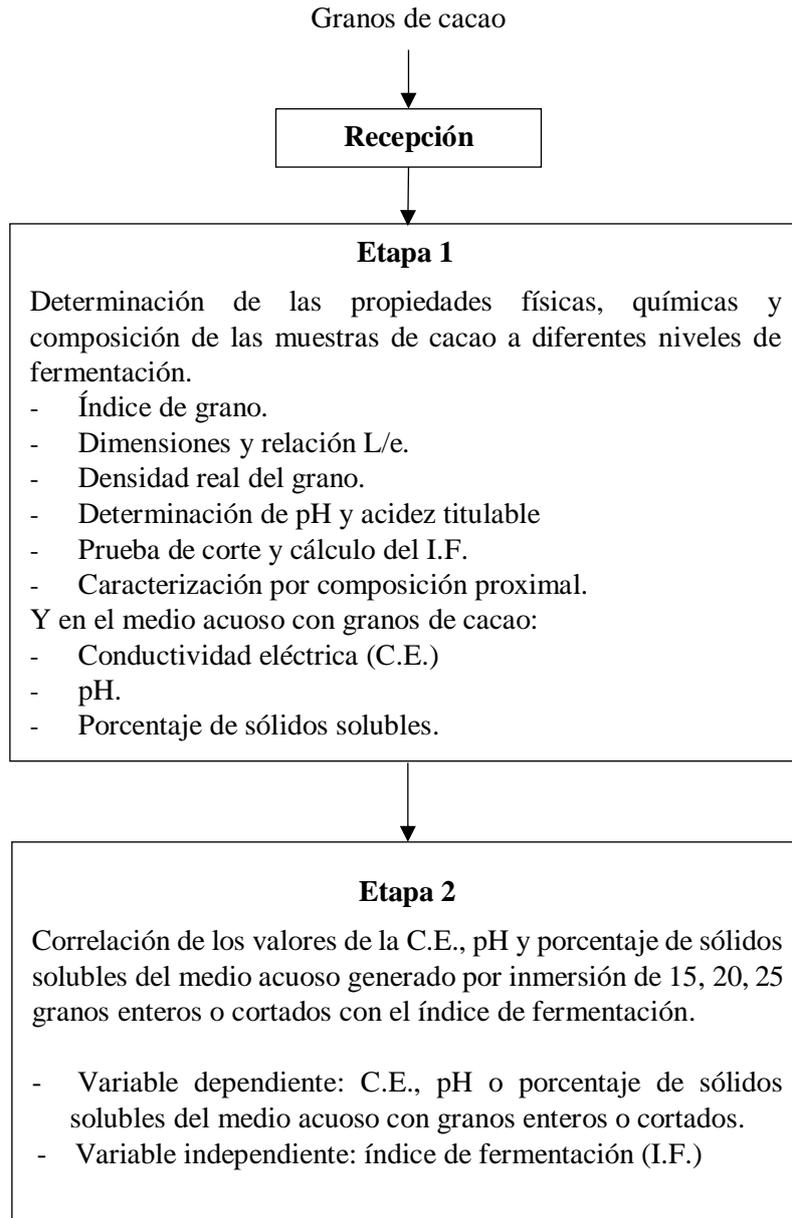
Para el caso del análisis proximal se realizó un composito de las tres repeticiones de cada lote por cada día de fermentación (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 días) y se usó un diseño completamente al azar (DCA) con un valor  $p < 0,05$  donde el factor en estudio fue el tiempo de fermentación y se realizaron tres repeticiones. Los datos se sometieron a la prueba de Tukey para la comparación de medias entre los días de fermentación.

En la determinación de la conductividad eléctrica, pH y porcentaje de solidos solubles del medio acuoso con granos, se empleó un diseño factorial de  $3 \times 7 \times 3$  para cada presentación de grano (entero y cortado) usando un valor  $p < 0,05$  donde los factores de estudio fueron el número de granos (15, 20 y 25), los días de fermentación (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6) y los lotes de producción (1, 2, 3). Se realizaron tres repeticiones. Los datos se sometieron a la prueba de Tukey para la comparación de medias entre el número de granos, los días de fermentación y lotes de producción.

En la segunda parte de esta investigación, se procedió a correlacionar los valores encontrados de conductividad eléctrica, pH y porcentaje de solidos solubles del medio acuoso con grano, generados por la inmersión de 15, 20 y 25 granos de cacao en dos presentaciones (entero y cortado), con el índice de fermentación de cada día de fermentación para cada lote. Para ello, se definió las variables en estudio:

- Variable independiente: Índice de fermentación.
- Variable dependiente: conductividad eléctrica, pH y porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos enteros o cortados.

Los valores de conductividad eléctrica, pH y porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos, obtenido usando granos enteros y cortados, fueron sometidos a un análisis de varianza a fin de comprobar la existencia de una relación estadísticamente significativa con el índice de fermentación, usando un valor  $p < 0,05$ .



**Figura 17: Etapas de la evaluación de los granos de cacao con diferente grado de fermentación.**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ÍNDICE DE GRANO

En el Cuadro 4 se muestra el índice de grano encontrado para cada día de fermentación del grano de cacao seco. Mediante el análisis de varianza se encontró que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el índice de grano con los días de fermentación. Se reportan valores de índice de grano entre 1,39 y 1,50 g/grano que corresponden a los granos sin fermentar y a los fermentados por tres días, respectivamente. De acuerdo a la clasificación de Soria y Enríquez (1981) los granos de cacao estudiados son de tamaño intermedio pues su índice de grano oscile entre valores de 1,0 – 1,5 g/grano. Al respecto, FEDECACAO (2004) reportó que el índice de grano de la variedad CCN-51 varía entre 1,58 – 1,73 g/grano. Sin embargo, autores como García (2012) y Boza *et al.* (2014) reportaron valores de 1,4 y 1,54 g/grano que se encuentran por debajo del rango antes mencionado.

**Cuadro 4: Índice de grano por cada día de fermentación**

Días	Índice de Grano (g/grano)			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio
0	1,26 ± 0,01	1,38 ± 0,01	1,52 ± 0,03	1,39 ± 0,12 <sup>a</sup>
1	1,34 ± 0,06	1,48 ± 0,01	1,59 ± 0,01	1,47 ± 0,11 <sup>b</sup>
2	1,30 ± 0,01	1,46 ± 0,03	1,63 ± 0,03	1,46 ± 0,15 <sup>b</sup>
3	1,32 ± 0,04	1,49 ± 0,02	1,68 ± 0,00	1,50 ± 0,16 <sup>b</sup>
4	1,31 ± 0,02	1,43 ± 0,04	1,66 ± 0,01	1,47 ± 0,16 <sup>b</sup>
5	1,29 ± 0,05	1,46 ± 0,03	1,66 ± 0,00	1,47 ± 0,17 <sup>b</sup>
6	1,31 ± 0,00	1,47 ± 0,02	1,65 ± 0,01	1,47 ± 0,15 <sup>b</sup>

(a y b) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones en tres lotes. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

Solo se observó un índice de grano menor en los granos sin fermentar (1,39 g/grano) mientras que en los granos con uno a seis días de fermentación no se les encontró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con la prueba Tukey. El menor valor de índice de grano podría de-

berse a una diferencia en el contenido de humedad con los otros granos (Álvarez *et al.* 2010) pues como se observa en el Cuadro 10 los granos sin fermentar presentaron un bajo contenido de humedad.

## 4.2 DIMENSIONES Y RELACIÓN LARGO/ESPESOR DEL GRANO

El Cuadro 5 muestra los resultados de la medición de las dimensiones del grano de cacao seco por cada día de fermentación. Al respecto, Enríquez (1989) citado por Álvarez *et al.* (2010) mencionan que el largo, ancho, espesor de los granos son características altamente heredables y gobernados por genes dominantes.

A pesar que en el día uno de fermentación aumento un poco su valor, el largo del grano no cambio conforme avanzaba la fermentación. En el caso del ancho del grano se aprecia tres etapas que van de la mano con el desarrollo de la fermentación donde el grano pasa de un estado inicial (cero días de fermentación), un incremento en el día uno y una reducción al final del proceso de fermentación (días 5 y 6) alcanzando un punto intermedio. El espesor del grano durante los diferentes días de fermentación tuvo variaciones, sin embargo, de manera global hubo un incremento respecto al valor inicial que corresponde a los granos sin fermentar siendo el ancho y espesor las dimensiones del grano afectadas con la fermentación. A pesar de mostrar un incremento, el aumento en el espesor de los granos durante la fermentación no pudo ser corroborado mediante la relación L/e pues no hubo diferencias entre el valor inicial y al final del proceso. Al respecto Ortiz *et al.* (2009b) evaluaron la relación L/e de granos de cacao con 0, 2 y 5 días de fermentación encontrando un descenso de 2,64 a 2,48 y finalmente a 2,26, respectivamente y atribuyo esta variación al aumento del espesor del grano por la absorción de líquidos durante el proceso fermentativo. Tunde-Akintunde y Akintunde (2007) reportaron que el largo y espesor de los granos se ve afectada por su contenido de humedad, por consiguiente, al aumentar su humedad las dimensiones antes mencionadas también aumentarían.

Las variaciones en las dimensiones del grano también pueden verse afectada, adicionalmente, a otros factores como su proceso de secado. Asimismo, Ndukwu *et al.* (2012) reportaron que durante el proceso de secado el volumen y área superficial de los

granos de cacao son afectados de manera significativa, siendo el espesor del grano la dimensión lineal más vulnerable al cambio. No obstante, Koua *et al.* (2017) evaluaron el efecto del secado solar indirecto determinando que el grado de contracción del grano de cacao disminuyó a medida que disminuía su contenido de humedad. De este modo el espesor del grano es la dimensión más afectada lo cual coincide con los resultados obtenidos pues además de variar durante todo el proceso fermentativo el espesor del grano fue la dimensión con mayor cambio en relación a su valor en el grano sin fermentar.

**Cuadro 5: Variación de las dimensiones y relación largo/espesor del grano de cacao por cada día de fermentación**

Días	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Relación L/e
<b>0</b>	23,74 ± 1,90 <sup>a</sup>	13,27 ± 0,90 <sup>a</sup>	9,09 ± 1,33 <sup>ab</sup>	2,67 ± 0,45 <sup>bc</sup>
<b>1</b>	24,12 ± 1,98 <sup>b</sup>	13,53 ± 1,05 <sup>b</sup>	9,49 ± 1,31 <sup>d</sup>	2,59 ± 0,42 <sup>a</sup>
<b>2</b>	23,72 ± 2,02 <sup>a</sup>	13,44 ± 1,02 <sup>b</sup>	9,32 ± 1,36 <sup>bcd</sup>	2,60 ± 0,45 <sup>ab</sup>
<b>3</b>	24,01 ± 2,02 <sup>ab</sup>	13,54 ± 1,03 <sup>b</sup>	9,13 ± 1,34 <sup>abc</sup>	2,69 ± 0,47 <sup>c</sup>
<b>4</b>	23,93 ± 1,93 <sup>ab</sup>	13,47 ± 0,97 <sup>b</sup>	9,04 ± 1,40 <sup>a</sup>	2,71 ± 0,49 <sup>c</sup>
<b>5</b>	23,84 ± 2,04 <sup>ab</sup>	13,43 ± 0,95 <sup>ab</sup>	9,40 ± 1,30 <sup>d</sup>	2,58 ± 0,41 <sup>a</sup>
<b>6</b>	23,80 ± 2,00 <sup>ab</sup>	13,40 ± 0,98 <sup>ab</sup>	9,32 ± 1,28 <sup>cd</sup>	2,60 ± 0,44 <sup>ab</sup>

(a, b, c y d) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones con 60 granos cada en tres lotes. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

### 4.3 DENSIDAD REAL DEL GRANO

En el Cuadro 6 se observa los valores de densidad real del grano de cacao seco por cada día de fermentación. Respecto a esta variable no se encontró alguna diferencia significativa a medida se incrementaba el tiempo de fermentación. Koua *et al.* (2017) estudiaron la influencia del contenido de humedad en la densidad real encontrando que a medida que se reducía el contenido de humedad del grano también lo hacía su densidad real. La variación puede deberse a una mayor disminución en la masa del grano de cacao en comparación con su disminución volumétrica a medida que disminuye el contenido de humedad del grano de cacao. Ndukwu *et al.* (2012) reportaron que esta variación de la densidad real se da porque la masa de la materia seca se mantiene constante ya que se elimina la humedad. Esto significa que el aire y la humedad libre causaron el aumento de volumen que resultó en la disminución de la densidad del grano. De este modo y con los resultados encontrados se corrobora que

más la densidad real de los granos de cacao se ve influida en mayor grado por la humedad del grano que por el proceso de fermentación.

**Cuadro 6: Densidad real de los granos de cacao por cada día de fermentación**

Días	Densidad Real (kg/l)			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio
<b>0</b>	1130 ± 30	1099 ± 2	1213 ± 20	1148 ± 54 <sup>a</sup>
<b>1</b>	1049 ± 35	960 ± 31	1217 ± 4	1075 ± 116 <sup>a</sup>
<b>2</b>	1072 ± 32	970 ± 12	1073 ± 16	1038 ± 55 <sup>a</sup>
<b>3</b>	1094 ± 35	993 ± 2	1320 ± 12	1136 ± 146 <sup>a</sup>
<b>4</b>	1104 ± 27	916 ± 12	1188 ± 26	1069 ± 122 <sup>a</sup>
<b>5</b>	1043 ± 19	908 ± 15	1495 ± 15	1149 ± 267 <sup>a</sup>
<b>6</b>	1087 ± 26	926 ± 21	1208 ± 15	1073 ± 124 <sup>a</sup>

(a) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones en cada día de fermentación de tres lotes. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

#### 4.4 pH Y ACIDEZ TITULABLE

El Cuadro 7 muestra los valores de pH del cotiledón de los granos de cacao a medida que avanzan los días de fermentación. Afoakwa *et al.* (2014), destacaron que el pH de los granos de cacao es una propiedad fisicoquímica muy importante ya que indica el nivel de acidificación del grano después de la fermentación. Asimismo, en el Cuadro 7, se aprecia como el pH del cotiledón disminuye hasta el cuarto día de fermentación y en los dos últimos días asciende. De manera que el pH inicial fue 6,5, al cuarto día se redujo hasta 4,6 y al sexto día de fermentación alcanzó un valor de 5,2. Portillo *et al.* (2011) evaluaron el pH durante la fermentación de los granos de cacao criollo venezolano encontrando que en líneas generales los valores de pH oscilaron entre 6,18 para un cacao sin fermentar y 4,88 para los del cacao fermentado cuatro días. Estudios realizados a una mezcla de granos híbridos de cacao de Malasia por Nazaruddin *et al.* (2006) reportaron que el pH del grano al día cero es de 6,5, luego decrece lentamente por 3 o 4 días hasta que el pH llega a 4,4 finalmente al quinto día de fermentación el pH aumenta hasta un valor de 5,31. Ardhana y Fleet (2003), determinaron que al final de la fermentación el pH de los granos de cacao, forastero y trinitario, descienden de 6,3 a 5,0 y de 6,5 a 5,1, respectivamente.

**Cuadro 7: Variación del pH del cotiledón de los granos de cacao por cada día de fermentación**

Días	pH			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio
0	6,48 ± 0,01	6,59 ± 0,03	6,50 ± 0,03	6,52 ± 0,06 <sup>e</sup>
1	6,25 ± 0,02	5,91 ± 0,01	5,84 ± 0,02	6,00 ± 0,19 <sup>d</sup>
2	5,82 ± 0,06	4,76 ± 0,02	4,73 ± 0,01	5,10 ± 0,54 <sup>bc</sup>
3	5,15 ± 0,01	4,35 ± 0,01	4,73 ± 0,01	4,75 ± 0,35 <sup>ab</sup>
4	4,60 ± 0,04	4,49 ± 0,01	4,58 ± 0,02	4,55 ± 0,05 <sup>a</sup>
5	4,80 ± 0,02	4,55 ± 0,01	5,31 ± 0,01	4,89 ± 1,58 <sup>abc</sup>
6	5,24 ± 0,02	4,86 ± 0,01	5,54 ± 0,01	5,21 ± 0,29 <sup>c</sup>

(a, b, c, d y e) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones de tres lotes. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

Los valores de acidez titulable del grano de cacao son presentados en el Cuadro 8. Puede apreciarse que existe una diferencia entre los valores obtenidos por cada día de fermentación. Siendo su valor inicial 0,50 sufre un ascenso hasta el cuarto día cuando alcanzó el valor de 2,38 y los dos últimos días desciende a 1,44 % de ácido acético. Nazaruddin *et al.* (2006), reportaron que la acidez titulable de los granos de cacao aumenta de 0,03 a 0,33 mM NaOH/100 g los primeros cuatro días de fermentación y sufre un descenso hasta 0,11 mM NaOH/100 g al final de esta (quinto día). Ganeswari *et al.* (2015) reportaron que la acidez titulable de granos de cacao fermentados 0, 48 y 120 horas es 1,78; 2,8; 1,34 moles de NaOH/100 g, respectivamente. Portillo *et al.* (2011) reportaron en grano de cacao criollo valores de acidez total de 2,92 y 5,63 % para granos de cacao sin fermentar y con cuatro días de fermentación, respectivamente.

La fermentación se caracteriza por el metabolismo de la microflora fuera de los granos de cacao. En las primeras etapas de la fermentación (12 – 48 h) de los granos de cacao, las levaduras son predominantes y su alta actividad microbiana (fermentación alcohólica) conducen a una producción de cantidades significativas de etanol. Luego las bacterias ácido acéticas oxidan el etanol del tejido mucilaginoso produciendo ácido acético. La lenta difusión del ácido en los cotiledones reduce el pH. El incremento de la temperatura durante la fermentación contribuye a la evaporación y la pérdida de una fracción de ácidos volátiles. Asimismo, las bacterias ácido lácticas cumplen un rol tanto en el aumento como en la posterior reducción de la acidez del cotiledón ya que producen ácido cítrico a partir de la

glucosa que luego metabolizan causando una caída de la acidez y aumento en el pH (Ardhana y Fleet, 2003; Brillouet y Hue, 2017; Schwan y Wheals 2004, García, 2000).

**Cuadro 8: Variación de la acidez titulable expresada en porcentaje de ácido acético de los granos de cacao por cada día de fermentación**

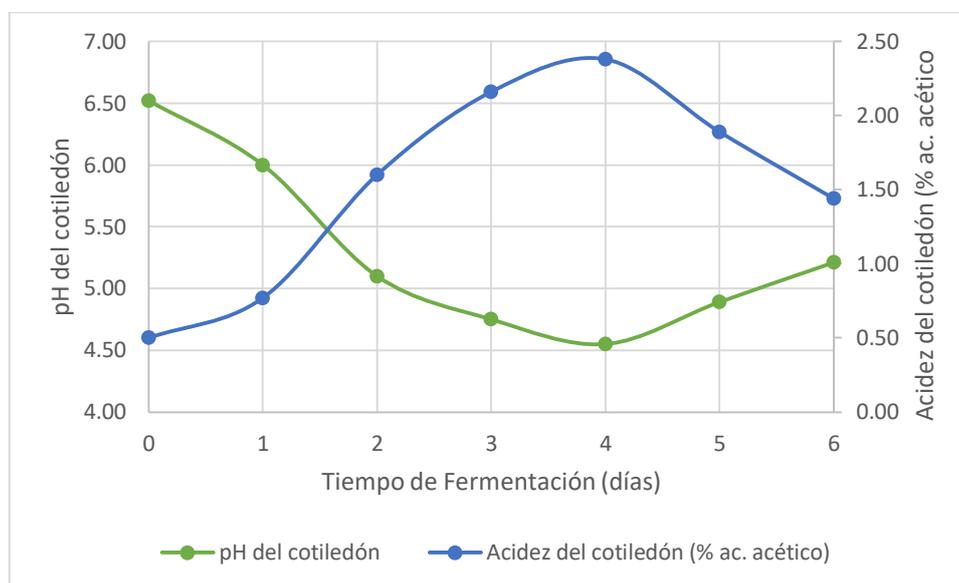
Días	Acidez Titulable (porcentaje de ácido acético)			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio
0	0,54 ± 0,02	0,49 ± 0,01	0,47 ± 0,03	0,50 ± 0,03 <sup>a</sup>
1	0,91 ± 0,01	0,69 ± 0,02	0,71 ± 0,03	0,77 ± 0,11 <sup>a</sup>
2	0,99 ± 0,03	1,84 ± 0,03	1,96 ± 0,07	1,60 ± 0,46 <sup>bc</sup>
3	1,64 ± 0,03	2,87 ± 0,02	1,96 ± 0,07	2,16 ± 0,56 <sup>de</sup>
4	2,16 ± 0,02	2,72 ± 0,03	2,24 ± 0,04	2,38 ± 0,27 <sup>e</sup>
5	1,98 ± 0,02	2,37 ± 0,02	1,31 ± 0,02	1,89 ± 0,74 <sup>cd</sup>
6	1,39 ± 0,04	1,83 ± 0,02	1,11 ± 0,03	1,44 ± 0,32 <sup>b</sup>

(a, b, c, d y e) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones de tres lotes. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

La tendencia de los valores de ambas variables (pH y acidez titulable) coincide con lo descrito por los autores antes mencionados y se ven reflejados de manera más clara en la Figura 18 donde los primeros cuatro días la actividad de las levaduras y bacterias ácido acéticas causaron la reducción paulatina del pH. Luego, la acción de las bacterias ácido lácticas y las altas temperaturas causó el aumento de pH y reducción de acidez. El proceso de secado también ocasiona una pérdida de ácido acético por volatilización pues se ha observado que en el luego de ser secados granos de cacao su pH aumento de 4,6 a 5,1 (Zambrano *et. al* 2010).

La evolución el pH y acidez del grano de cacao durante la fermentación es muy importante pues, tiene una gran repercusión en su calidad ya que respecto a los ácidos orgánicos que se difunden lentamente en los cotiledones, el tiempo de entrada inicial, la duración del período de pH óptimo de las enzimas y el pH final, son cruciales para el desarrollo óptimo del sabor (Camu *et al.* 2008). En un estudio realizado por Jinap *et al.* (1995) quienes elaboraron chocolates con granos de cacao de bajo (4,75 – 5,19), intermedio (5,20 – 5,49) y alto pH (5,50 – 5,80) y luego evaluaron su sabor encontraron que solo el chocolate elaborado con granos de cacao de pH intermedio obtuvo un alto puntaje en sabor a chocolate mientras que los granos de pH bajo y alto tuvieron un bajo puntaje en sabor a chocolate y alto en sabores

desagradables, respectivamente. Por lo tanto, se espera que los granos de cacao evaluados sean de buena calidad para la elaboración de chocolates.



**Figura 18: Variación del pH y acidez titulable (% ácido acético) del cotiledón de los granos de cacao por cada día de fermentación.**

#### 4.5 ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

Los valores de índice de fermentación de los granos de cacao secos por día de fermentación son presentados en el Cuadro 9. Los granos fermentados seis días alcanzaron un índice de fermentación de 89,70 %. Sotelo (2012) reportó un índice de fermentación de 76,89 % en granos de cacao CCN-51 fermentados por siete días que es menor al hallado en esta investigación. La cantidad de masa de fermentación (400 kg) usada por este autor podría haber influenciado en esta diferencia, pues es un factor influyente en la fermentación (Puziah *et al.* 1998). En cambio, Díaz y Pinoargote (2012) reportaron un índice de fermentación de 79,3 % en granos fermentados por cinco días que es cercano al encontrado en esta investigación (75,74 %) en los granos fermentados por el mismo tiempo que en el estudio antes mencionado. Es importante tomar en cuenta que todos los índices de fermentación que han sido reportados corresponden a granos de buena calidad, pues el grado de fermentación (% de granos marrones) debe ser mayor al 60 % para un correcto desarrollo del sabor de los

granos (Barel 1987 y Afoakwa *et al.* 2012) de lo contrario, los productos elaborados con dichos granos serán amargos, astringentes, sin sabor a chocolate (Jalil e Ismail 2008).

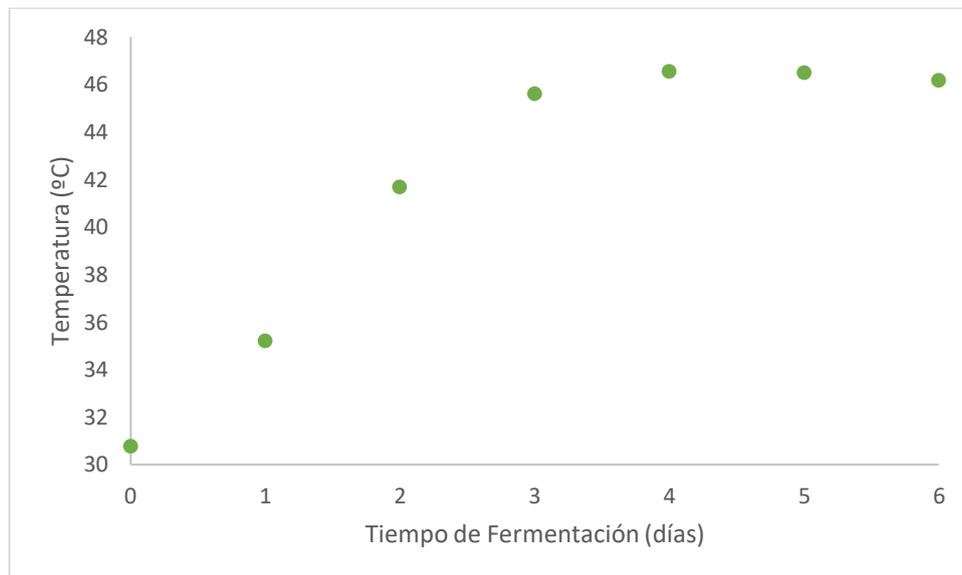
**Cuadro 9: Variación del índice de fermentación de los granos de cacao por cada día de fermentación**

Días	Índice de Fermentación (%)			
	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Promedio
0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00 <sup>a</sup>
1	18,78 ± 1,64	23,33 ± 1,45	25,22 ± 1,84	22,44 ± 3,21 <sup>b</sup>
2	45,78 ± 0,51	48,44 ± 0,51	44,89 ± 0,51	46,37 ± 1,66 <sup>c</sup>
3	54,44 ± 3,47	56,82 ± 2,19	54,22 ± 1,39	55,16 ± 2,50 <sup>d</sup>
4	64,89 ± 1,84	67,00 ± 1,33	63,56 ± 0,51	65,15 ± 1,90 <sup>e</sup>
5	74,33 ± 1,20	78,78 ± 0,69	74,11 ± 1,26	75,74 ± 2,47 <sup>f</sup>
6	88,00 ± 3,21	91,11 ± 0,51	90,00 ± 0,88	89,70 ± 2,17 <sup>g</sup>

(a, b, c, d, e, f y g) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones de tres lotes. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

En el Cuadro 9 se aprecia que el incremento del índice de fermentación tiene dos etapas. La primera, destaca por su rápido incremento hasta un índice de fermentación de 46,37 % en los fermentados por dos días, posiblemente porque los primeros 2 a 3 días de la fermentación se caracteriza por el crecimiento sucesivo de diversos microorganismos (Ardhana y Fleet 2003) cuya intensa actividad metabólica provoca reacciones bioquímicas causando un incremento considerable en el porcentaje de granos fermentados (Rivera *et al.* 2012). El rápido incremento de la temperatura durante la fermentación es prueba de lo antes mencionado. La Figura 19 muestra que la temperatura se incrementó rápidamente hasta 45,63 °C el tercer día de fermentación como consecuencia de la generación de calor durante la producción de ácido acético (Camu *et al.* 2007 y Khairul 2014). Asimismo, Efraim *et al.* (2010) y Cruz *et al.* (2013) reportaron que entre las 48 y 72 horas se alcanza la máxima temperatura de fermentación. A diferencia de los autores antes mencionados en esta investigación la máxima temperatura (46,5 °C) se alcanzó al cuarto día (96 horas) de fermentación.

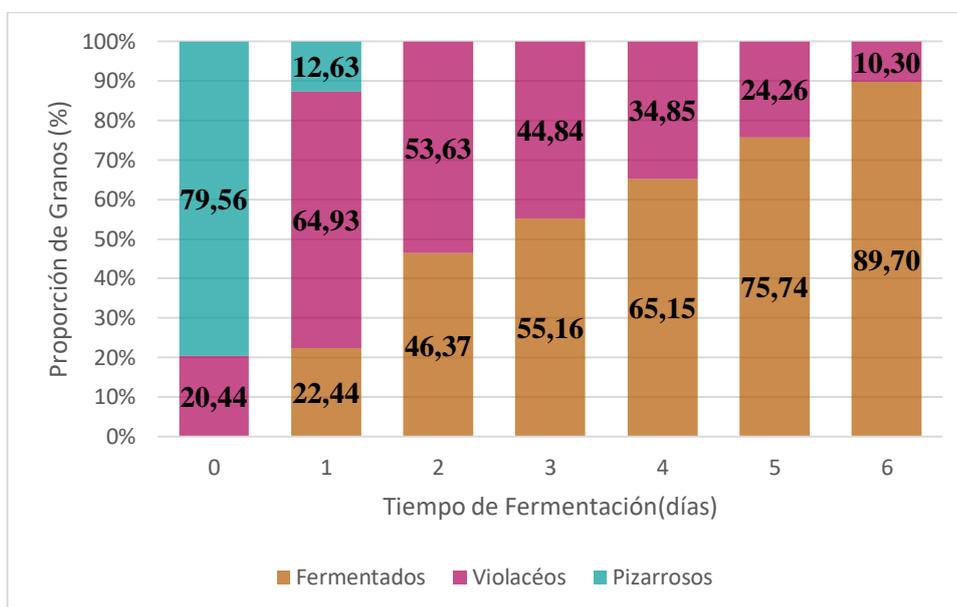
La segunda etapa de la fermentación, como se observa en el Cuadro 9, inicia cuando los granos son fermentados por dos días (IF = 46,37 %) y termina con los granos fermentados por seis días (IF = 89,70 %). Esta etapa se caracterizó por un crecimiento lento del índice de fermentación a medida que avanzaban los días. Además, como se muestra en la Figura 19, se observó un elevado incremento de temperatura hasta el tercer día del proceso fermentativo (de 41,7 a 45,63 °C). Según Schwan y Wheals (2004) al tercer día de fermentación las altas temperaturas alcanzada por la masa de cacao causa la inhibición de las bacterias ácido acéticas resultando en una disminución en la actividad microbiana que se manifiesta en una reducción de temperatura al término de la fermentación (Portillo *et al.* 2005). Conforme a lo afirmado por los autores antes mencionados, durante la fermentación, la temperatura se incrementó hasta el cuarto día y luego disminuyó (Figura 19).



**Figura 19: Perfil de temperatura durante la fermentación de los granos de cacao.**

La Figura 20 muestra el porcentaje de granos marrones (índice de fermentación), violetas y pizarrosos identificados mediante la prueba de corte realizada a los granos fermentados y secos. Se encontró presencia de granos pizarrosos en los granos sin fermentar (79,56 %) y en los fermentados un día (12,63 %). Los granos pizarrosos tienen más del 50 % del cotiledón gris, son gomosos, resistentes al corte y son producto del secado de granos que no fueron fermentados (Khairul y Tajul 2015) por lo que son indicativos de fallas en el proceso de fermentación, como volteos inapropiados de la masa donde no reciben el oxígeno necesario para la fermentación acética (Cruz *et al.* 2013) por lo que su reducción hasta su desaparición

en los granos fermentados por tres días es un indicativo que la fermentación procedió de manera apropiada.



**Figura 20: Cambios en la proporción de granos pizarrosos, violetas y marrones con el incremento del tiempo de fermentación de los granos de cacao.**

La proporción de granos violetas en los granos sin fermentar fue 20,44 %, se incrementó en los granos fermentados un día (64,93 %) y luego descendió a medida que se incrementó el tiempo de fermentación siendo 10,30 % en los granos fermentados seis días. Asimismo, la reducción en el porcentaje de granos violetas fue equivalente al aumento en el porcentaje de granos marrones que paso de ser 22,44 %, en los granos fermentados por un día, a 89,70 % en los fermentados por seis días. Rivera *et al.* (2012) también observaron este comportamiento que se origina por la hidrólisis de las antocianinas, durante la fermentación, dando como resultado el blanqueamiento de los cotiledones (Hansen *et al.* 1998). Luego, las agliconas resultantes son oxidadas a compuestos quinónicos que contribuyen a la formación del color pardo característico del grano fermentado (Ortiz *et al.* 2009b). Dicho de otra manera, Las transformaciones de las antocianinas causan el cambio de color de los granos pizarrosos a púrpura y luego a marrón (Afoakwa *et al.* 2012a).

Durante el secado también se desarrollan pigmentos marrones (Cros y Jeanjean 1995 y Jinap *et al.* 1994) ya que la oxidación enzimática de los polifenoles continua y los productos de

esta reacción participan en reacciones de condensación con proteínas (Puziah *et al.* 1999 y Daud *et al.* 2007). Además, las reacciones bioquímicas, ocurridas principalmente durante la fermentación, producen numerosos compuestos como azúcares reductores, péptidos y aminoácidos a lo largo del secado son modificados por la reacción de Maillard (Hansen *et al.* 1998, Misnawi *et al.* 2003, Crafacck *et al.* 2014) dando una mayor tonalidad marrón al grano de cacao.

Además del tiempo de fermentación, una serie de factores influyen en el grado de fermentación del grano de cacao como el tipo de fermentador (Contreras *et al.* 2004), la realización de remociones (Ganeswari *et al.* 2015), la masa de fermentación (Hii *et al.* 2006), entre otros. Finalmente, Camu *et al.* (2008) destaca que incluso cuando las fermentaciones se realizan en la misma granja, con el mismo cultivar de cacao y las mismas condiciones de fermentación se pueden obtener granos de cacao fermentados secos con diferentes características de sabor debido a la variabilidad microbiana, la dinámica de la población y la cinética del metabolito.

#### **4.6 COMPOSICIÓN PROXIMAL**

Se determinó la variación en el contenido de humedad, proteínas, grasas, cenizas, fibra cruda y carbohidratos de los granos secos fermentados por cero a seis días (Cuadro 10). Respecto a la humedad, Reyes y De Reyes (2000) afirma que los granos de cacao secos con valores de humedad por debajo del 6 % son quebradizas mientras que con un valor de humedad mayor al 8 % se incrementará la tendencia de los granos a adquirir malos olores y de ser atacados por hongos y daños por insectos. Los granos de cacao fermentados por cero, uno, cuatro y seis días alcanzaron una humedad por debajo a la recomendada por el autor antes mencionado. A pesar de ser sometidos a un mismo periodo de secado las variaciones en la humedad final del grano se debe a que el valor de humedad varía significativamente a medida que transcurren los días de fermentación (Contreras *et al.* 2004). Por otro lado, Hii *et al.* (2012) asegura que la cáscara del grano de cacao es una zona de tránsito de la humedad que migra del cotiledón fue mayor al del cotiledón acumulándose en esta capa y que gradualmente se elimina de su superficie por convección.

El porcentaje de proteína en los granos sin fermentar fue 14,82 % y al ser fermentado por seis días disminuyó hasta 14,19 %. Afoakwa *et al.* (2013) reportó una reducción contenido de proteínas de 21,6 % en el grano no fermentado a 18,8 % luego de la fermentación de granos híbridos de Ghana. Según, Rohan y Stewart (1967) la reducción en el porcentaje de proteínas se debe en gran medida a la proteólisis y una parte de los productos de degradación se pierde por difusión durante la fermentación. Por el contrario, Ortiz *et al.* (2009a) comparó el contenido de proteínas de granos de cacao fresco, fermentado y seco hallando que la reducción en el contenido de proteínas se dio luego del secado de los granos de cacao. Se observó un incremento significativo en el contenido de proteínas al segundo día de fermentación posiblemente originado por el aumento de la masa microbiana (Aremu *et al.* 1995). A partir del tercer día de fermentación se observó una tendencia como la descrita por Lercetau *et al.* (1999) quien encontró que la hidrólisis de proteínas comenzaba después de 2 días de fermentación, pero era más notable al tercer día.

El porcentaje de cenizas se incrementó de 3,36 %, en los granos sin fermentar, a 3,74 %, en los fermentados por seis días. Contrario a lo reportado en esta investigación, Afoakwa *et al.* (2013) reportaron que el contenido de cenizas se reduce significativamente concluida la fermentación de 3,5 a 2,8 %. Asimismo, Alvarez *et al.* (2010) encontraron que el número e intervalos entre los que se realiza la remoción, durante la fermentación, influyen en el contenido de ceniza variando en un rango de 2,83 a 3,34 % (b.s.).

El porcentaje de grasa de los granos fermentados seis días fue 51,32 % valor menor al de los granos sin fermentar 53,79 %. Afoakwa *et al.* (2013) aseguraron que el contenido de granos de cacao sin fermentar es 55,21 % mientras que el del fermentado es 53,35 %. Aremu *et al.* (1995) reportaron una reducción de 62,9 % a 55,7 % al sexto día de fermentación.

Respecto al porcentaje de fibra cruda en los granos sin fermentar fue de 3,42 % y los fermentados seis días 5,09 %. Los resultados obtenidos por Aremu *et al.* (1995) difieren a los obtenidos y muestran una reducción en el contenido de fibra después del tercer día de fermentación de 5,6 a 3,3 % (b.s.), respectivamente. Perea *et al.* (2011) reportaron un valor de fibra cruda en granos de cacao CCN-51 secos fermentados de 2,2 %.

**Cuadro 10: Composición proximal de los granos de cacao con diferentes días de fermentación**

<b>Días</b>	<b>%Humedad</b>	<b>% Proteína (base seca)</b>	<b>% Grasa (base seca)</b>	<b>%Ceniza (base seca)</b>	<b>%Fibra Cruda (base seca)</b>	<b>%Carbohidratos (base seca)</b>
<b>0</b>	5,30 ± 0,01 <sup>a</sup>	14,8 ± 0,06 <sup>d</sup>	53,79 ± 0,06 <sup>d</sup>	3,37 ± 0,03 <sup>a</sup>	3,42 ± 0,13 <sup>a</sup>	28,05 ± 0,07 <sup>b</sup>
<b>1</b>	5,53 ± 0,02 <sup>b</sup>	13,89 ± 0,04 <sup>a</sup>	52,12 ± 0,08 <sup>b</sup>	3,39 ± 0,03 <sup>a</sup>	4,76 ± 0,18 <sup>c</sup>	30,61 ± 0,02 <sup>d</sup>
<b>2</b>	6,25 ± 0,02 <sup>c</sup>	15,06 ± 0,03 <sup>e</sup>	53,84 ± 0,21 <sup>d</sup>	3,76 ± 0,05 <sup>c</sup>	3,91 ± 0,18 <sup>b</sup>	27,33 ± 0,20 <sup>a</sup>
<b>3</b>	6,23 ± 0,02 <sup>c</sup>	14,27 ± 0,04 <sup>bc</sup>	52,92 ± 0,20 <sup>c</sup>	3,61 ± 0,03 <sup>b</sup>	5,20 ± 0,11 <sup>d</sup>	29,21 ± 0,24 <sup>c</sup>
<b>4</b>	5,58 ± 0,13 <sup>b</sup>	14,33 ± 0,04 <sup>c</sup>	51,35 ± 0,29 <sup>a</sup>	3,66 ± 0,02 <sup>b</sup>	5,18 ± 0,06 <sup>d</sup>	30,67 ± 0,23 <sup>d</sup>
<b>5</b>	6,51 ± 0,01 <sup>d</sup>	14,20 ± 0,04 <sup>b</sup>	51,35 ± 0,10 <sup>a</sup>	3,69 ± 0,03 <sup>bc</sup>	5,14 ± 0,16 <sup>c</sup>	30,76 ± 0,09 <sup>d</sup>
<b>6</b>	5,39 ± 0,01 <sup>a</sup>	14,17 ± 0,04 <sup>b</sup>	51,32 ± 0,10 <sup>a</sup>	3,76 ± 0,04 <sup>c</sup>	5,09 ± 0,13 <sup>cd</sup>	30,75 ± 0,09 <sup>d</sup>

(a, b, c, d) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones de cada día de fermentación de un composito de los tres lotes. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

En el caso de los carbohidratos se observó un incremento de 28,05 a 30,75 % después de la fermentación. Afoakwa *et al.* (2013) reportó un incremento mayor en el contenido de carbohidratos siendo en las muestras fermentadas (21 %) y en las no fermentadas (15,5 %).

#### **4.7 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS**

Se evaluó el efecto de los días de fermentación en el valor de conductividad eléctrica del medio acuoso conteniendo granos de cacao, ya sea entero o cortado. Como se observa en el Cuadro 11, la conductividad eléctrica del medio acuoso con grano de cacao mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según el factor días de fermentación. Con granos enteros, el mayor valor de conductividad eléctrica ( $42,73 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ) se obtuvo con los granos fermentados por seis días, mientras que con el grano seco sin fermentar se obtuvo el menor promedio ( $6,86 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ).

Con granos cortados el valor de conductividad eléctrica del medio acuoso se incrementó de  $38,45 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  (sin fermentar) hasta  $63,16 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  (seis días de fermentación), lo que evidencia la extensión del daño causado a las membranas celulares como resultado del deterioro de los granos medido indirectamente con la conductividad eléctrica (Abreu *et al.* 2011). A medida que las semillas absorben agua durante la imbibición hay un desprendimiento rápido en el medio circundante de solutos tales como azúcares, ácidos orgánicos, iones, aminoácidos y proteínas (Ouyang *et al.* 2002 y Fessel *et al.* 2006). En tal sentido, la cantidad de iones lixiviados es inversamente proporcional a la integridad de las membranas celulares del grano (Arámendiz *et al.* 2017).

En ambas presentaciones de grano, se observa una relación directamente proporcional entre la conductividad eléctrica y los días de fermentación. Durante la fermentación los componentes tisulares, que se encuentran compartimentalizados, se ven comprometidos con la notable hinchazón de los granos y cambios claves en sus membranas que facilita la movilización de enzimas y sustratos (Afoakwa *et al.* 2008). Luego, en el secado de los granos los poros, previamente ocupados por agua, o bien son reemplazados por aire, o son comprimidos como resultado de la contracción (Zabalaga *et al.* 2016) ocasionando un incremento en el número de células dañadas (De Brito *et al.* 2000). De hecho, se ha evaluado

el efecto del secado en la porosidad de granos de cacao fermentados encontrándose que con la disminución del contenido de humedad la porosidad del grano de cacao aumento de 15,82 a 24,67 % posiblemente porque el volumen de agua extraída fue mayor que la reducción del volumen del grano de cacao durante el secado (Koua *et al.* 2017). Todo esto parece confirmar que el aumento del valor de conductividad eléctrica de los granos de cacao se debe, en gran medida, a la ruptura de las paredes celulares del cotiledón a medida que avanza la fermentación que se consolida con el aumento de la porosidad en el secado, pues como lo reportan Zambrano *et al.* (2010) sin importar si se trata de un grano de cacao criollo, trinitario o forastero, si está bien fermentado tendrá el cotiledón agrietado reflejando el aumento de su permeabilidad y por tanto de la cantidad de electrolitos lixiviados (Dos Santos y De Paula, 2005).

**Cuadro 11: Variación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados por cada día de fermentación**

Días	Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )	
	Grano Entero	Grano Cortado
<b>0</b>	6,86 $\pm$ 1,25 <sup>a</sup>	38,45 $\pm$ 3,85 <sup>a</sup>
<b>1</b>	14,66 $\pm$ 1,55 <sup>b</sup>	49,04 $\pm$ 1,99 <sup>b</sup>
<b>2</b>	28,20 $\pm$ 5,37 <sup>c</sup>	57,09 $\pm$ 3,84 <sup>c</sup>
<b>3</b>	32,74 $\pm$ 3,30 <sup>d</sup>	57,69 $\pm$ 5,18 <sup>c</sup>
<b>4</b>	36,65 $\pm$ 2,39 <sup>e</sup>	60,58 $\pm$ 3,74 <sup>d</sup>
<b>5</b>	37,93 $\pm$ 2,73 <sup>e</sup>	60,17 $\pm$ 2,23 <sup>d</sup>
<b>6</b>	42,73 $\pm$ 2,45 <sup>f</sup>	63,16 $\pm$ 2,54 <sup>e</sup>

(a, b, c, d, e, f) Los resultados se expresan como el promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres lotes con tres cantidades de grano (15, 20, 25) por lote y tres repeticiones para cada cantidad de grano por cada día de fermentación. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

Lo mencionado en párrafos anteriores también explica la diferencia en los valores de conductividad eléctrica obtenidos al utilizar granos cortados respecto a usar granos enteros, ya que los primeros exhiben una mayor alteración de la integridad del cotiledón. Este resultado coincide con lo descrito por Bruggink *et al.* (1991) quienes encontraron que al usar granos de maíz partidos por la mitad se obtenía valores de conductividad eléctrica extremadamente altas (219,1  $\mu\text{A}$ /objeto) en comparación con usar granos intactos (57,9  $\mu\text{A}$ /objeto). Además, partir los granos de cacao por la mitad implica la ruptura de su cáscara que tiene un rol fundamental pues su microestructura, espesor, número de poros influyen en la tasa de imbibición y por lo tanto en el valor de conductividad eléctrica (Borji *et al.* 2007).

El efecto del número de granos utilizados en la determinación de su conductividad eléctrica también fue evaluado. Como se muestra en el Cuadro 12 se demostró, mediante el análisis de varianza, que existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre utilizar 15, 20 y 25 granos de cacao secos enteros o cortados. Según los resultados obtenidos en esta investigación existe una relación inversa entre el número de granos y el valor de conductividad eléctrica. Al respecto, Brouwer y Mulder (1982) asegura que en la prueba de conductividad convencional el grano se encuentra rodeado por otros granos lixiviantes incrementándose la concentración local del lixiviado a niveles altos, lo que ralentiza el proceso de lixiviación.

Araujo *et al.* (2011) no encontró una tendencia específica al evaluar la conductividad eléctrica del lixiviado de 100, 75 y 50 semillas a diferentes tiempos de imbibición (3, 6, 9, 12 y 15 horas). Por otro lado, Artola y Carrillo-Castañeda (2005) evaluaron el efecto del número de semillas de trébol en el valor de conductividad eléctrica encontrando que al aumentar de 50 a 100 semillas había un incremento, sin embargo, al incrementar el número de semillas a 200 y 1000 el valor de conductividad eléctrica se reducía. A propósito, mediante la prueba de Tukey HSD se determinó que con la inmersión de 20 granos enteros se obtienen valores de conductividad eléctrica estadísticamente iguales ( $p < 0,05$ ) que al utilizar 15 o 25 granos. En el caso de los granos cortados no se encontró diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre utilizar 20 y 25 granos.

**Cuadro 12: Variación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados de acuerdo al número de granos utilizados**

Número de Granos	Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ )	
	Grano Entero	Grano Cortado
15	29,33 $\pm$ 12,75 <sup>b</sup>	57,11 $\pm$ 8,47 <sup>b</sup>
20	28,51 $\pm$ 12,78 <sup>ab</sup>	54,72 $\pm$ 9,10 <sup>a</sup>
25	27,77 $\pm$ 12,25 <sup>a</sup>	53,67 $\pm$ 8,30 <sup>a</sup>

(a, b) Los resultados se expresan como el promedio  $\pm$  la desviación estándar de siete días de fermentación (0-6) de tres lotes con tres repeticiones para cada uno. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

#### 4.8 pH DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS

En el caso del pH del medio acuoso conteniendo granos de cacao el Cuadro 13 muestra que existen diferencias significativas entre los valores correspondientes a los días de fermentación. Entre los solutos lixiviados, durante el remojo del grano, hay ácidos orgánicos e iones entre los que se encuentra  $H^+$ , que contribuyen a la acidificación provocando una disminución de pH en el medio acuoso que será mayor en los granos más deteriorados (Rech *et al.* 1999). La evolución del pH fue diferente de acuerdo a la presentación de grano. Al usar granos enteros se observó un incremento gradual del pH diferenciándose tres etapas.

**Cuadro 13: Variación en el pH del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados por cada día de fermentación**

Días	pH	
	Grano Entero	Grano Cortado
0	3,99 ± 0,46 <sup>a</sup>	4,87 ± 0,22 <sup>c</sup>
1	3,79 ± 0,58 <sup>a</sup>	4,59 ± 0,41 <sup>a</sup>
2	4,54 ± 0,24 <sup>b</sup>	4,68 ± 0,11 <sup>ab</sup>
3	4,46 ± 0,29 <sup>b</sup>	4,62 ± 0,22 <sup>a</sup>
4	4,36 ± 0,11 <sup>b</sup>	4,57 ± 0,07 <sup>a</sup>
5	4,52 ± 0,38 <sup>b</sup>	4,58 ± 0,14 <sup>a</sup>
6	4,98 ± 0,33 <sup>c</sup>	4,78 ± 0,20 <sup>bc</sup>

(a, b, c) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres lotes con tres cantidades de grano (15, 20, 25) por lote y tres repeticiones para cada cantidad de grano por cada día de fermentación. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

Por otro lado, al usar granos cortados se observó una reducción y luego un incremento del valor de pH al primer y sexto día de fermentación, respectivamente. Además, el valor de pH del medio acuoso de los granos enteros fluctuó entre 3,99 a 4,98; mientras que en el caso de los granos cortados dichos valores fluctuaron entre 4,57 y 4,87 con lo cual es más difícil establecer una relación con otras variables por tratarse de rangos muy estrechos (Viloria y Méndez 2011).

Al evaluar el efecto del número de granos enteros y de granos cortados en el valor de pH del medio acuoso, con el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre estos valores obtenidos (Cuadro 14). Es decir, no hay diferencia significativa

entre valores de pH correspondientes a la inmersión de 15, 20 y 25 granos enteros en el medio acuoso, así como también no lo hay en el caso de inmersión de granos cortados.

**Cuadro 14: Variación en el pH del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados de acuerdo al número de granos utilizados**

Número de Granos	Ph	
	Grano Entero	Grano Cortado
15	4,42 ± 0,52 <sup>a</sup>	4,69 ± 0,24 <sup>a</sup>
20	4,37 ± 0,51 <sup>a</sup>	4,66 ± 0,25 <sup>a</sup>
25	4,34 ± 0,51 <sup>a</sup>	4,65 ± 0,24 <sup>a</sup>

(a) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de siete días de fermentación (0 - 6) de tres lotes con tres repeticiones para cada uno. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

#### 4.9 PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS

El factor días de fermentación también influyó en el porcentaje de sólidos solubles, expresado en grados Brix, del medio acuoso (Cuadro 15). Se observó un incremento de este porcentaje hasta el segundo día, para luego mantenerse constante para el caso de granos enteros y cortados. Durante la fermentación, la concentración de sólidos solubles en la testa disminuye, como consecuencia de la degradación de los azúcares como glucosa y fructosa por las invertasas después de que muere el embrión (Puziah *et al.* 1998).

Además, la disminución de los sólidos solubles totales se debe a que en el proceso de secado continua la degradación enzimática de sacarosa, esta reacción permanece hasta que la enzima invertasa es inactivada por el aumento de la temperatura y la pérdida de humedad (Beckett, 2008). Además, inician reacciones de Maillard y con ellas la formación de las sustancias volátiles de origen térmico como son pirazinas y aldehídos (Afoakwa *et al.* 2009).

En el caso del número de granos inmersos en el medio acuoso se encontró que hay un incremento en el valor de los grados Brix al incrementarse el número de granos inmersos (Cuadro 16); sin embargo, cuando el grano esta entero este incremento es más lento en comparación del grano cortado. Este fenómeno se aprecia al realizar la prueba de

comparación de medias donde en el caso del grano entero al usar 20 granos se obtiene un valor de grados Brix que no es significativamente diferente a usar 15 o 25 granos, pero en el caso de los granos cortados si existió diferencias significativas entre las medias de 15, 20 y 25 granos. Esto pudo deberse a que al haber una mayor cantidad de granos el medio acuoso estuvo más saturada y por consiguiente el contenido de sólidos solubles medido también fue mayor.

**Cuadro 15: Variación en el porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados por cada día de fermentación**

Días	Porcentaje de Sólidos Solubles (°Brix)	
	Grano Entero	Grano Cortado
0	0,39 ± 0,21 <sup>a</sup>	0,65 ± 0,23 <sup>a</sup>
1	0,50 ± 0,00 <sup>ab</sup>	0,80 ± 0,25 <sup>ab</sup>
2	0,61 ± 0,21 <sup>bc</sup>	0,87 ± 0,22 <sup>bc</sup>
3	0,67 ± 0,24 <sup>c</sup>	1,00 ± 0,31 <sup>c</sup>
4	0,56 ± 0,21 <sup>bc</sup>	0,96 ± 0,19 <sup>c</sup>
5	0,54 ± 0,13 <sup>bc</sup>	1,00 ± 0,24 <sup>c</sup>
6	0,56 ± 0,16 <sup>bc</sup>	0,98 ± 0,22 <sup>c</sup>

(a, b, c) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres lotes con tres cantidades de grano (15, 20, 25) por lote y tres repeticiones para cada cantidad de grano por cada día de fermentación. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

**Cuadro 16: Variación en el porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao enteros y cortados de acuerdo al número de granos utilizados**

Número de Granos	Porcentaje de Sólidos Solubles (°Brix)	
	Grano Entero	Grano Cortado
15	0,49 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,76 ± 0,25 <sup>a</sup>
20	0,54 ± 0,21 <sup>ab</sup>	0,87 ± 0,22 <sup>b</sup>
25	0,60 ± 0,26 <sup>b</sup>	1,05 ± 0,25 <sup>c</sup>

(a, b, c) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de siete días de fermentación (0 - 6) de tres lotes con tres repeticiones para cada uno. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de menor a mayor en orden alfabético.

#### 4.10 CORRELACIONES

Demostrado que el factor tiempo de fermentación influye significativamente tanto en la conductividad eléctrica del grano de cacao y las propiedades del medio acuoso (pH y

porcentaje de sólidos solubles), en ambas presentaciones (grano entero y/o cortado), se procedió a determinar la existencia de una relación entre las variables antes mencionadas y el índice de fermentación.

#### **4.10.1 CORRELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN**

En el Cuadro 17 se muestra 18 ecuaciones que relacionan el índice de fermentación con la conductividad eléctrica del medio acuoso que contiene el grano de cacao de acuerdo a su presentación (entero o cortado), cantidad de granos (15, 20, 25 granos) y el lote de procedencia. La relación entre la conductividad eléctrica e índice de fermentación fue significativa en todos los casos ( $p < 0,05$ ). Los coeficientes de correlación ( $r$ ) de la relación entre la conductividad eléctrica e índice de fermentación se caracterizó por ser positiva fuerte ( $0,8 \leq r < 1$ ) según la clasificación establecida por Nieves y Domínguez (2009); sin embargo, con granos enteros se obtuvo coeficientes de correlación mayores a los de granos cortados.

El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) revela que los modelos de conductividad eléctrica – índice de fermentación, en granos enteros y cortados (Cuadro 17), poseen un alto porcentaje de explicación. El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) brinda la proporción de la variación en la variable de respuesta ( $y$ ) que puede explicarse por medio de la correlación lineal entre  $x$  e  $y$  (Triola 2009). Además, en todos los casos el coeficiente de determinación es mayor en los modelos obtenidos con grano entero que con grano cortado posiblemente porque, como se mencionó antes, la cáscara del grano influye en la lixiviación de las sustancias durante el remojo de los granos, haciendo que la migración de solutos del grano hacia el medio acuoso sea menos uniforme en el caso de estar cortado, obteniéndose mayor variabilidad de valores de conductividad eléctrica.

Con el objetivo de obtener un modelo general para cada presentación (entero o cortado) y cantidad de granos (15, 20 y 25) se integró los valores reportados de los tres lotes. Los modelos obtenidos, para granos enteros y cortados, se presentan en el Cuadro 18. La integración de los datos permitió evidenciar que sin importar la presentación ni la cantidad de granos utilizados una correlación positiva fuerte (Nieves y Domínguez 2009). Para cada cantidad, en el caso de granos enteros, se obtuvo modelos con un coeficiente de

determinación mayor a comparación de los obtenidos para granos cortados. En la Figura 21 se muestra, de forma gráfica, los modelos finales de la correlación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos.

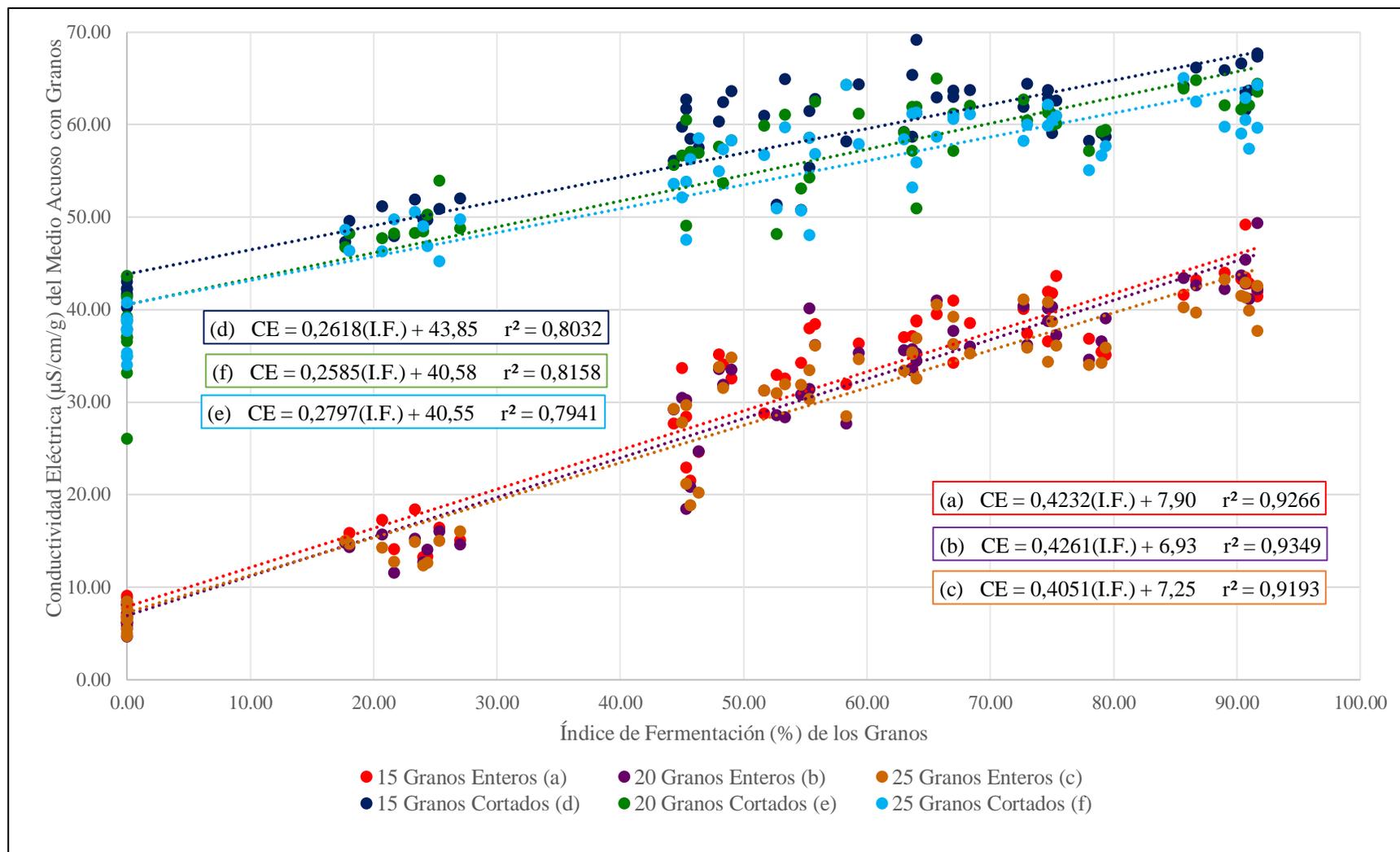
En cuanto al error estadístico estándar obtenido para cada modelo, definido para cada presentación y número de granos (Cuadro 18), se observa que es mayor para granos enteros (3,29 – 3,51), siendo de rango mayor en el caso de los granos cortados; tal error expresado en valores de límite superior e inferior, indica la desviación que puede tener la conductividad eléctrica para un valor de índice de fermentación. Cabe mencionar que la variabilidad no explicada por los modelos de regresión se debe al azar o a la existencia de variables ocultas que influyen en la variable respuesta (Nieves y Domínguez 2009). En esta investigación, la diferencia en la proporción de granos pizarrosos y violetas a un mismo índice de fermentación, así como, la diferencia en el grado de fermentación de cada grano, podrían ser algunas de estas variables ocultas.

**Cuadro 17: Modelos lineales de la correlación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación, número y lote de granos**

<b>Presentación del Grano</b>	<b>Número de Granos</b>	<b>Lote</b>	<b>Intercepto (a)</b>	<b>Pendiente (b)</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup> (%)</b>	<b>Significancia (p &lt; 0,05)</b>
<b>Entero</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	8,30	0,3978	0,9787	95,79	*
		<b>2</b>	8,29	0,4157	0,9369	87,78	*
		<b>3</b>	7,04	0,4571	0,9829	96,61	*
	<b>20</b>	<b>1</b>	7,18	0,4017	0,9786	95,77	*
		<b>2</b>	6,85	0,4406	0,9492	90,09	*
		<b>3</b>	6,86	0,4330	0,9839	96,80	*
	<b>25</b>	<b>1</b>	7,69	0,3767	0,9643	92,99	*
		<b>2</b>	6,98	0,4142	0,9387	88,12	*
		<b>3</b>	7,08	0,4235	0,9848	96,98	*
<b>Cortado</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	43,90	0,2883	0,9384	88,07	*
		<b>2</b>	45,18	0,2387	0,8811	77,64	*
		<b>3</b>	42,45	0,2603	0,8961	80,29	*
	<b>20</b>	<b>1</b>	39,73	0,3196	0,9035	81,62	*
		<b>2</b>	43,26	0,2387	0,9082	82,48	*
		<b>3</b>	38,69	0,2826	0,9074	82,33	*
	<b>25</b>	<b>1</b>	41,11	0,2905	0,9557	91,34	*
		<b>2</b>	42,83	0,2149	0,8897	79,16	*
		<b>3</b>	37,66	0,2750	0,9331	87,07	*

**Cuadro 18: Modelos finales de la correlación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos**

<b>Presentación de Grano</b>	<b>Número de Granos</b>	<b>Intercepto (a)</b>	<b>Pendiente (b)</b>	<b>Error estándar</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup> (%)</b>	<b>Significancia (p &lt; 0,05)</b>
<b>Entero</b>	<b>15</b>	7,90	0,4232	3,48	0,9626	92,66	*
	<b>20</b>	6,93	0,4261	3,29	0,9669	93,49	*
	<b>25</b>	7,25	0,4051	3,51	0,9588	91,93	*
<b>Cortado</b>	<b>15</b>	43,85	0,2618	3,79	0,8962	80,32	*
	<b>20</b>	40,55	0,2797	4,16	0,8911	79,41	*
	<b>25</b>	40,58	0,2585	3,59	0,9032	81,58	*



**Figura 21: Modelos finales de la correlación de la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos.**

#### **4.10.2 CORRELACIÓN ENTRE EL pH DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN**

En el Cuadro 19 se muestran los 18 modelos que relacionan el índice de fermentación con el pH del medio acuoso conteniendo granos de cacao, definidos para lote, cantidad (15, 20, 25) y presentación (entero y cortado) de grano, no siendo significativa la relación lineal ( $p < 0,05$ ) en algunos casos para granos cortados.

De acuerdo a la clasificación establecida por Nieves y Dominguez (2009), los coeficientes de correlación ( $r$ ) de la relación pH del medio acuoso con granos enteros – índice de fermentación, presentaron correlaciones positivas débiles ( $0 < r \leq 0,5$ ), moderadas ( $0,5 < r < 0,8$ ) y fuertes ( $r \geq 0,8$ ); para el caso de la relación pH del medio acuoso con granos cortados – índice de fermentación se presentaron casos de correlaciones moderadas; sin embargo, predominó las correlaciones positivas débiles y negativas débiles ( $- 0,5 < r < 0$ ) siendo solo las segundas significativas.

El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) revela que los modelos de pH del medio acuoso con granos – índice de fermentación pueden explicar la variación del pH en un 66,11 % por el índice de fermentación usando granos enteros y en un 44,50 % en el caso de granos cortados. Sin embargo, la existencia de casos donde la relación pH del medio acuoso con granos – índice de fermentación fue no significativa reduce la confianza en el uso del pH como un parámetro ligado al índice de fermentación.

Con el objetivo de obtener un modelo general para cada presentación (entero o cortado) y cantidad de granos (15, 20, 25) se integró los valores reportados de los tres lotes. Los modelos obtenidos se presentan en el Cuadro 20 para granos enteros y cortados. La integración de los datos permitió evidenciar que la relación pH del medio acuoso con granos – índice de fermentación, en granos enteros fue significativa con un coeficiente de correlación moderado a diferencia en granos cortados cuya correlación fue no significativa. En la Figura 22 se muestra, de forma gráfica, los modelos finales de la correlación del pH del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación para 15, 20 y 25 granos enteros.

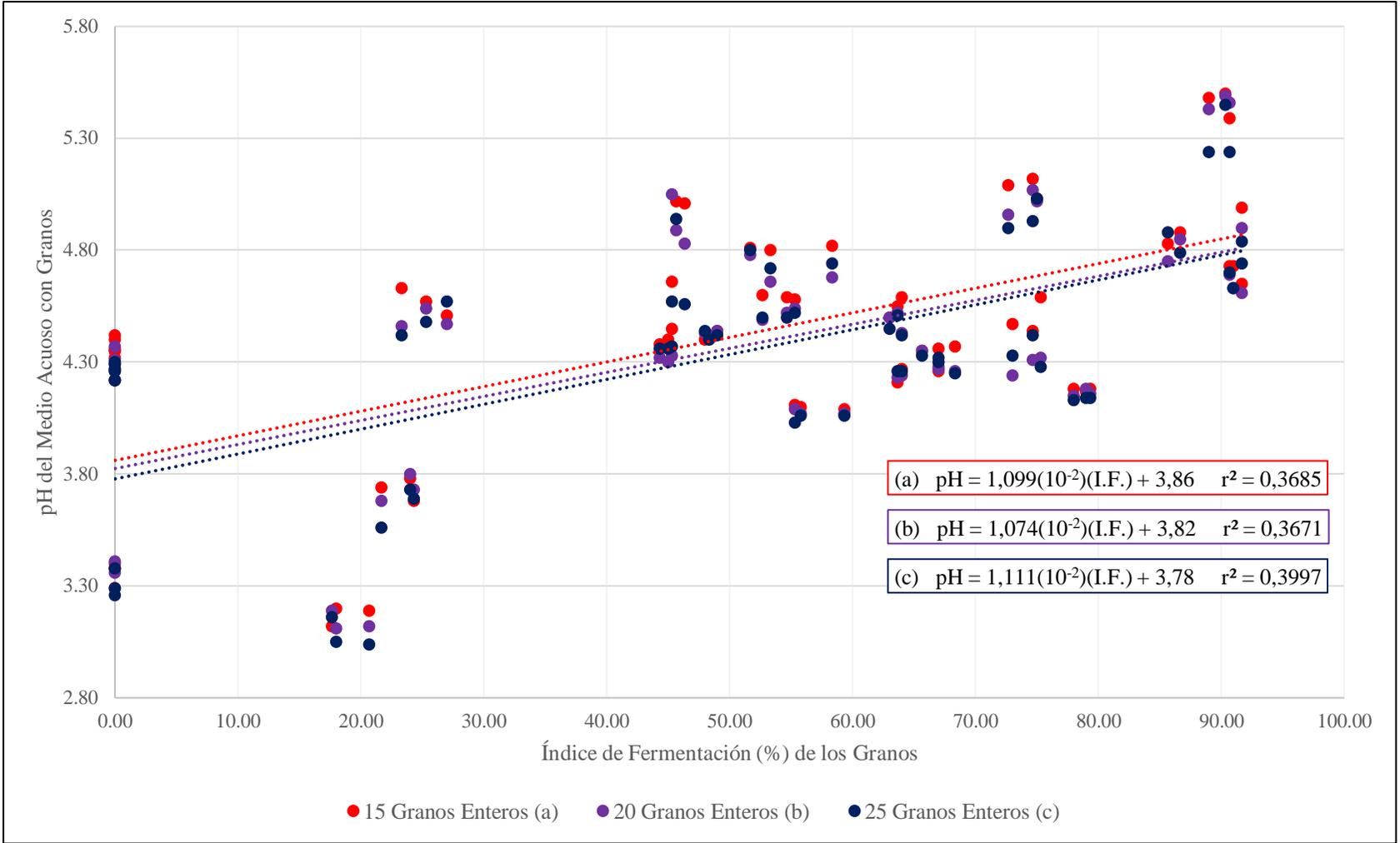
El error estadístico estándar para los modelos de grano entero se encuentran entre 0,40 – 0,42 y representa la variabilidad no explicada por los modelos de regresión debido al azar o a la existencia de variables ocultas que influyen en la variable respuesta (Nieves y Domínguez 2009). La diferencia en la proporción de granos pizarrosos y violetas a un mismo índice de fermentación, así como, la diferencia en el grado de fermentación de cada grano podrían ser algunas de las variables ocultas descritas por Nieves y Domínguez (2009) en relación a la fermentación del grano.

**Cuadro 19: Modelos lineales de la correlación del pH del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación, número y lote de granos**

Presentación de Grano	Número de Granos	Lote	Intercepto (a)	Pendiente (b)	r	r <sup>2</sup> (%)	Significancia (p < 0,05)
Entero	15	1	3,33	$1,888 \times 10^{-2}$	0,8004	64,06	*
		2	4,07	$3,876 \times 10^{-3}$	0,4016	16,13	n.s.
		3	4,17	$1,076 \times 10^{-2}$	0,8038	64,61	*
	20	1	3,36	$1,732 \times 10^{-2}$	0,7610	57,91	*
		2	4,02	$4,120 \times 10^{-3}$	0,4549	20,69	*
		3	4,08	$1,130 \times 10^{-2}$	0,7952	63,23	*
	25	1	3,26	$1,874 \times 10^{-2}$	0,8152	66,46	*
		2	3,96	$4,843 \times 10^{-3}$	0,4748	22,54	*
		3	4,11	$1,016 \times 10^{-2}$	0,8131	66,11	*
Cortado	15	1	4,68	$-4,220 \times 10^{-4}$	$-4,766 \times 10^{-2}$	$2,272 \times 10^{-1}$	n.s.
		2	4,57	$7,305 \times 10^{-4}$	0,1080	1,166	n.s.
		3	4,99	$-3,187 \times 10^{-3}$	-0,4723	22,31	*
	20	1	4,52	$1,024 \times 10^{-3}$	0,1272	1,618	n.s.
		2	4,58	$9,523 \times 10^{-5}$	$1,441 \times 10^{-2}$	$2,077 \times 10^{-2}$	n.s.
		3	5,08	$-4,991 \times 10^{-3}$	-0,6497	42,21	*
	25	1	4,51	$1,357 \times 10^{-3}$	0,1579	2,492	n.s.
		2	4,61	$-4,009 \times 10^{-4}$	$-5,805 \times 10^{-2}$	$3,370 \times 10^{-1}$	n.s.
		3	5,03	$-4,613 \times 10^{-3}$	-0,6671	44,50	*

**Cuadro 20: Modelos finales de la correlación del pH del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos**

<b>Presentación de Granos</b>	<b>Número de Granos</b>	<b>Intercepto (a)</b>	<b>Pendiente (b)</b>	<b>Error estándar</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup> (%)</b>	<b>Significancia (p &lt; 0,05)</b>
<b>Entero</b>	<b>15</b>	3,86	$1,099 \times 10^{-2}$	0,42	0,6071	36,85	*
	<b>20</b>	3,82	$1,074 \times 10^{-2}$	0,41	0,6059	36,71	*
	<b>25</b>	3,78	$1,111 \times 10^{-2}$	0,40	0,6322	39,97	*
<b>Cortado</b>	<b>15</b>	4,74	$-9,456 \times 10^{-4}$	0,24	-0,1146	1,314	n.s.
	<b>20</b>	4,73	$-1,241 \times 10^{-3}$	0,25	-0,1459	2,129	n.s.
	<b>25</b>	4,71	$-1,179 \times 10^{-3}$	0,24	-0,1419	2,012	n.s.



**Figura 22: Modelos finales de la correlación del pH del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación para 15, 20 y 25 granos enteros.**

#### **4.10.3 CORRELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES DEL MEDIO ACUOSO CON GRANOS Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN**

En el Cuadro 21 se muestran los modelos que relacionan el índice de fermentación con el porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos, expresado en grados Brix, para cada lote, presentación y número de granos. Con un  $p < 0,05$  los modelos obtenidos presentaron la particularidad de tener casos donde no era posible establecer una relación entre las variables (la mayoría para granos enteros), además de casos donde no existía una relación significativa con el ajuste lineal como otros donde si era significativa.

Según los coeficientes de correlación ( $r$ ), que se muestra en el Cuadro 21, en la relación porcentaje de sólidos solubles – índice de fermentación en granos enteros, se caracterizaron por una correlación positiva débil, asimismo, se presentó un caso de correlación negativa débil no significativa. No obstante, en la mayoría de los casos no era aplicable el concepto de correlación. Un caso similar al antes mencionado se presentó en el caso de los granos cortados donde predominó una correlación positiva moderada, aunque hubo casos de correlaciones débiles y fuertes de acuerdo a la clasificación establecida por Nieves y Domínguez (2009). El coeficiente de determinación ( $r^2$ ) revela que la correlación lineal entre el índice de fermentación y el porcentaje de sólidos solubles fue, en la mayoría de los casos, menor al cincuenta por ciento reflejando la poca variación en la proporción del porcentaje de sólidos solubles cuando lo hace el índice de fermentación (Triola 2009).

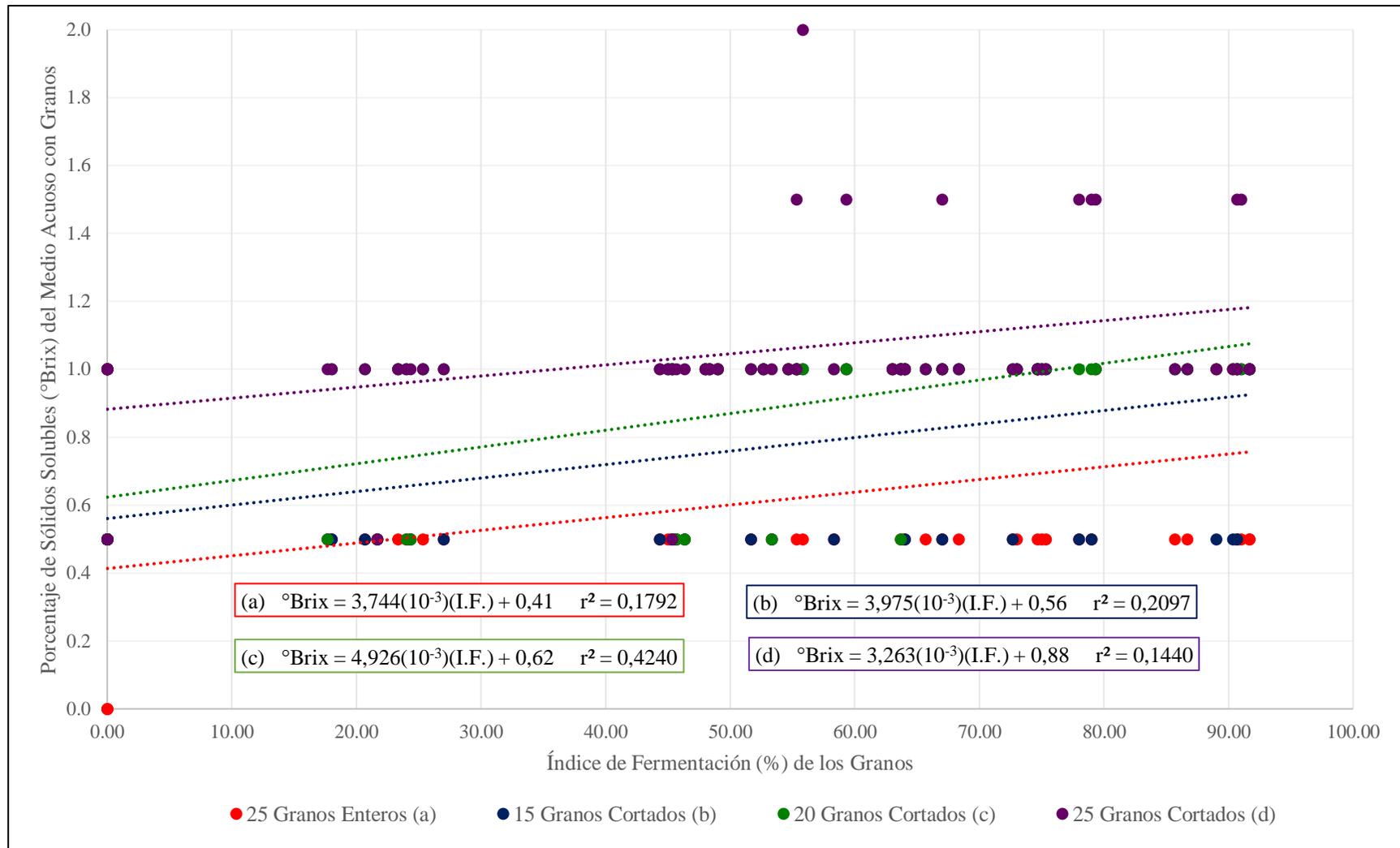
Con el objetivo de obtener un modelo general para cada metodología de acuerdo a la presentación (entero o cortado) y cantidad de granos (15, 20 y 25) se integró los valores reportados de los tres lotes. Los modelos obtenidos se presentan en el Cuadros 22 para granos enteros y cortados. La integración de los datos permitió evidenciar que la relación entre el porcentaje de sólidos solubles y el índice de fermentación con 15 y 20 granos enteros no fueron significativas, sin embargo, en el caso de 25 granos enteros y en todos los casos de granos cortados la correlación entre ambas variables fue débil. En la Figura 23 se muestra, de forma gráfica, los modelos finales de la correlación del porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación para 25 granos enteros y 15, 20 y 25 granos cortados.

**Cuadro 21: Modelos lineales de la correlación del porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación, número y lote de granos**

Presentación de Grano	Número de Granos	Lote	Intercepto (a)	Pendiente (b)	r	r <sup>2</sup> (%)	Significancia (p < 0,05)
Entero	15	1	0,50	$-5,050 \times 10^{-4}$	-0,1364	1,86	n.s.
		2	---	---	---	---	---
		3	---	---	---	---	---
	20	1	---	---	---	---	---
		2	0,31	$4,499 \times 10^{-3}$	0,4334	18,79	*
		3	0,57	$4,440 \times 10^{-5}$	$0,7132 \times 10^{-2}$	$5,09 \times 10^{-3}$	n.s.
	25	1	---	---	---	---	---
		2	0,29	$5,363 \times 10^{-3}$	0,4932	24,32	*
		3	0,44	$5,884 \times 10^{-3}$	0,6621	43,84	*
Cortado	15	1	0,38	$5,887 \times 10^{-3}$	0,7182	51,58	*
		2	0,60	$4,484 \times 10^{-3}$	0,5588	31,23	*
		3	0,73	$1,163 \times 10^{-3}$	0,1321	1,744	n.s.
	20	1	0,57	$4,867 \times 10^{-3}$	0,5763	33,22	*
		2	0,51	$6,713 \times 10^{-3}$	0,8730	76,22	*
		3	0,80	$3,032 \times 10^{-3}$	0,5806	33,70	*
	25	1	0,78	$2,967 \times 10^{-3}$	0,4877	23,78	*
		2	0,90	$6,063 \times 10^{-3}$	0,5398	29,14	*
		3	---	---	---	---	---

**Cuadro 22: Modelos finales de la correlación del porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación por cada presentación y número de granos**

<b>Presentación de Grano</b>	<b>Número de Granos</b>	<b>Intercepto (a)</b>	<b>Pendiente (b)</b>	<b>Error estándar</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup> (%)</b>	<b>Significancia (p &lt; 0,05)</b>
<b>Entero</b>	<b>15</b>	0,50	$-1,567 \times 10^{-4}$	0,063	-0,07216	0,52	n.s.
	<b>20</b>	0,46	$1,597 \times 10^{-3}$	0,20	0,2239	5,01	n.s.
	<b>25</b>	0,41	$3,744 \times 10^{-3}$	0,23	0,4233	17,92	*
<b>Cortado</b>	<b>15</b>	0,56	$3,975 \times 10^{-3}$	0,23	0,4580	20,97	*
	<b>20</b>	0,62	$4,926 \times 10^{-3}$	0,17	0,6512	42,40	*
	<b>25</b>	0,88	$3,263 \times 10^{-3}$	0,23	0,3794	14,40	*



**Figura 23: Modelos finales de la correlación del porcentaje de sólidos solubles del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación para 25 granos enteros y 15, 20 y 25 granos cortados.**

## V. CONCLUSIONES

- Existe relación directamente proporcional entre la conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao y el índice de fermentación, siendo mayor para granos enteros con coeficientes de correlación ( $r$ ) promedio de 0,96; 0,97 y 0,96 y coeficientes de determinación ( $r^2$ ) promedio de 92,66; 93,49 y 91,93 por ciento para 15, 20 y 25 granos inmersos, respectivamente.
- No existe diferencias significativas en la conductividad eléctrica del medio acuoso al introducir 15, 20 o 25 granos enteros. No existen diferencias significativas en la conductividad eléctrica del medio acuoso al introducir 20 o 25 granos cortados pero sí al introducir 15.
- Existe relación directamente proporcional entre el pH del medio acuoso con granos de cacao enteros y el índice de fermentación, con coeficientes de correlación ( $r$ ) promedio de 0,61; 0,61 y 0,63 y coeficientes de determinación ( $r^2$ ) promedio de 36,85; 36,71 y 39,97 por ciento para 15, 20 y 25 granos inmersos, respectivamente. No se encontró una relación directamente proporcional significativa entre el pH del medio acuoso con granos cortados para 15, 20 y 25 granos inmersos, respectivamente.
- El factor número de granos inmersos no influyó en el pH del medio acuoso con granos enteros o cortados.
- Existe relación directamente proporcional entre el porcentaje de sólidos solubles, expresado en grados Brix, del medio acuoso con 25 granos de cacao entero y el índice de fermentación, con coeficiente de correlación ( $r$ ) promedio de 0,42 y coeficiente de determinación ( $r^2$ ) promedio de 17,92 por ciento, y existe relación directamente proporcional entre el porcentaje de sólidos solubles, expresado en grados Brix, del medio acuoso con granos cortados, con coeficientes de correlación ( $r$ ) promedio de 0,46; 0,65 y 0,38 y coeficientes de determinación ( $r^2$ ) promedio de 20,97; 42,40 y 14,40 por ciento, para 15, 20 y 25 granos inmersos, respectivamente.

- No existen diferencias significativas en el porcentaje de sólidos solubles, expresado en grados Brix, del medio acuoso por la inmersión de 15, 20 o 25 granos enteros. El porcentaje de sólidos solubles, expresado en grados Brix, se incrementó a medida que lo hace el número de granos cortados inmersos.
- El índice de grano se incrementó el primer día de fermentación y luego se mantuvo constante.
- La densidad real de los granos no se vio afectada por el tiempo de fermentación.
- La dimensión lineal de los granos más afectada por la fermentación fue el espesor, que se incrementó significativamente. La relación Longitud/espesor (L/e) se incrementó significativamente hasta el tercer día de fermentación y disminuyó al quinto día como consecuencia del aumento de espesor de los granos de cacao.
- El pH de los granos de cacao disminuyó desde 6,52 hasta 4,55 al cuarto día de fermentación y luego se incrementó hasta 5,21.
- La acidez total, expresada en porcentaje de ácido acético de los granos de cacao se incrementó con la fermentación de 0,50 hasta 2,38 por ciento al cuarto día de fermentación y luego disminuyó hasta 1,44 por ciento.
- El índice de fermentación se incrementó gradualmente con el tiempo de fermentación desde 0,0 a 89,7 por ciento al sexto día de fermentación.
- El valor de conductividad eléctrica del medio acuoso con granos de cacao enteros se incrementó con el tiempo de fermentación de 6,86 a 42,73  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ . La conductividad eléctrica de los granos de cacao cortados se incrementó con el tiempo de fermentación de 38,45 a 63,16  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ .
- El pH del medio acuoso con granos de cacao enteros se incrementó con el tiempo de fermentación de 3,99 a 4,98 y con granos cortados disminuyó de 4,99 a 4,78.
- El porcentaje de sólidos solubles, expresado en grados Brix, del medio acuoso con granos de cacao enteros se incrementó con el tiempo de fermentación de 0,39 a 0,56, y con granos cortados de 0,65 a 0,98.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Determinar la correlación de los electrolitos lixiviados en la obtención del índice de fermentación por conductimetría de los granos de cacao CCN 51.
- Para reducir los errores de medición de las propiedades del medio acuoso homogeneizar el medio acuoso por agitación antes de realizar la medición.
- Evaluar la posibilidad de reducir el tiempo de inmersión de los granos para obtener un método rápido, objetivo de medición del índice de fermentación de los granos cacao que además emplea una cantidad menor de muestra.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, LAS; De Carvalho, MLM; Pinto, CAG; Kataoka, VY. 2011. Teste de condutividade elétrica na avaliação de sementes de girassol armazenadas sob diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Sementes* 33(4): 635 - 642.
- Acebey, G; Rodríguez, A. 2002. Manual sobre el manejo de post cosecha del cacao. Santo Domingo, República Dominicana, CONACADO. 47 p.
- Afoakwa, EO; Budu, AS; Mensah-Brown, H; Takrama, JF; Akomanyi, E. 2014. Changes in biochemical and physico-chemical qualities during drying of pulp preconditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of Nutritional Health & Food Science* 2(3): 1 – 8. <http://dx.doi.org/10.15226/jnhfs.2014.00121>.
- Afoakwa, EO; Paterson, A; Fowler, M; Ryan, A. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48(9): 840 – 857. DOI: 10.1080/10408390701719272.
- Afoakwa, EO; Paterson, A; Fowler, M; Ryan, A. 2009. Matrix effects on flavour volatiles release in dark chocolates varying in particle size distribution and fat content using GC–mass spectrometry and GC–olfactometry. *Food Chemistry* 113(1): 208 – 215.
- Afoakwa, EO; Quao, J; Budu, AS; Jemmy, ST; Saalia, FK. 2012b. Influence of pulp-preconditioning and fermentation on fermentative quality and appearance of Ghanaian cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal* 19(1): 127 - 133.
- Afoakwa, EO; Quao, J; Budu, AS; Takrama, J; Saalia, FK. 2011. Effect of pulp preconditioning on acidification, proteolysis, sugars and free fatty acids concentration during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 62(7): 755 – 764. DOI: 10.3109/09637486.2011.581224.

- Afoakwa, EO; Quao, J; Takrama, FS; Budu, AS; Saalia, FK. 2012a. Changes in total polyphenols, o-diphenols and anthocyanin concentrations during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal* 19(3): 1071 – 1077.
- Afoakwa, EO; Quao, J; Takrama, J; Simpson, A; Kwesi, F. 2013. Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food and Science Technology* 50(6): 1097-1105. DOI: 10.1007/s13197-011-0446-5.
- Álvarez, C; Tovar, L; García, H; Morillo, F; Sánchez, P; Girón, C; De Farias, A. 2010. Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) usando dos tipos de fermentadores. *Revista Científica UDO Agrícola* 10(1): 76 – 87.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist, Estados Unidos). 2016. Official Methods of Analysis of Association of AOAC International. 20 ed. Latimer, GW (eds). Maryland, USA. 3100 p.
- APPCACAO. 2012. Manual de control de calidad del cacao. Primera Edición. Lima, Perú. 52 p.
- Arámendiz, H; Cardona, C; Alzate, K. 2017. Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena L.*). *Scientia Agropecuaria* 8 (3): 225 – 231. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2017.03.05.
- Araujo, QR; Fernandes, CAF; Ribeiro, DO; Efraim P; Steinmacher, D; Lieberei, R; Bastide, P; Araujo TG. 2014. Cocoa Quality Index - A proposal. *Food Control* 46: 49-54. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.05.003.
- Araujo, RF; Zonta, JB; Araujo, EF; Heberle, E; Zonta, FMG. 2011. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. *Revista Brasileira de Sementes* 33(1): 123 – 130. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222011000100014>.
- Ardhana, MM; Fleet, GH. 2003. The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology* 86(1-2): 87 – 99. DOI: 10.1016/S0168-1605(03)00081-3.

- Artola, A; Carrillo-Castañeda, G. 2005. The bulk conductivity test for birdsfoot trefoil seed. *Seed Science and Technology* 33(1): 231 – 236. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2005.33.1.23>.
- Batista, L. 2009. Guía técnica el Cultivo de Cacao. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF. 250 p.
- Beckett, ST. 2008. The science of chocolate. 2 ed. Cambridge, United Kingdom, Royal Society of Chemistry. 234 p.
- Borji, M; Ghorbanli, M; Sarlak, M. 2007. Some seed traits and their relationships to seed germination, emergence rate electrical conductivity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Asian Journal Plant Sciences* 6(5): 781 – 787. DOI: 10.3923/ajps.2007.781.787.
- Boza, EJ; Motamayor, JC; Amores, FM; Cedeño-Amador, S; Tondo, CL; Livingstone, SD; Schnell, RJ; Gutiérrez, OA. 2014. Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: Its impact and significance on global cacao improvement and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 139(2): 219 – 229.
- Brillouet, J-M; Hue, C. 2017. Fate of proanthocyanidins and anthocyanins along fermentation of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 90(2017): 141 – 146. DOI:10.5073/JABFQ.2017.090.017.
- Bruggink, H; Kraak, HL; Dijkema, MHGE; Bekendam, J. 1991. Some factors influencing electrolyte leakage from maize (*Zea mays* L.) kernels. *Seed Science Research* 1(1): 15 – 20. DOI: 10.1017/S0960258500000581.
- Caligiani, A; Palla, L; Acquotti, D; Marseglia, A; Palla, G. 2014. Application of <sup>1</sup>H NMR for the characterisation of cocoa beans of different geographical origins and fermentation levels. *Food Chemistry* 157: 94 - 99. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.01.116.
- Camu, N; De Winter, T; Addo, SK; Takrama, JS; Bernaert, H; De Vuyst, L. 2008. Fermentation of cocoa beans: influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88(13): 2288 – 2297. DOI: 10.1002/jsfa.3349.

- Camu, N; De Winter, T; Verbrugghe, K; Cleenwerck, I; Vandamme, P; Takrama, JS; Vancanneyt, M; De Vuyst, L. 2007. Dynamics and Biodiversity of Populations of Lactic Acid Bacteria and Acetic Acid Bacteria Involved in Spontaneous Heap Fermentations of Cocoa Beans in Ghana. *Applied and Environmental Microbiology* 73(6): 1809 – 1824. DOI: 10.1128/AEM.02189-06.
- CAOBISCO (Chocolate, Biscuits & Confectionery of Europe, Bélgica); ECA (European Cocoa Association, Bélgica); FCC (Federation of Cocoa Commerce, Inglaterra). 2015. Cacao en Grano: Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao (en línea). Bruselas, Bélgica. 109 p. Consultado 13 ago. 2017. Disponible en: [http://www.cocoaquality.eu/data/Cacao%20en%20Grano%20Requisitos%20de%20Calidad%20de%20la%20Industria%20Apr%202016\\_es.pdf](http://www.cocoaquality.eu/data/Cacao%20en%20Grano%20Requisitos%20de%20Calidad%20de%20la%20Industria%20Apr%202016_es.pdf).
- Chire, G; Orosco, P; Valdivia, R; Ureña M. 2014. Determinación de las propiedades físicas, químicas y termofísicas de diferentes granos de cacao del Perú. CIBIA, Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. 3(9): 545-551.
- Contreras, C; Ortiz, L; Graziani, L; Parra, P. 2004. Fermentadores para Cacao Usados por los Productores de la Localidad de Cumboto, Venezuela. *Revista Agronomía Tropical* 54(2): 219 - 232.
- Crafack, M; Keul, H; Eskildsen, CE; Petersen, MA; Saerens, S; Blennow, A; Skovmand-Larsen, M; Swiegers, JH; Petersen, GB; Heimdal, H; Nielsen, DS. 2014. Impact of starter cultures and fermentation techniques on the volatile aroma and sensory profile of chocolate. *Food Research International* 63: 306 – 316. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.04.032.
- Cros, E; Jeanjean, N. 1995. Cocoa quality: effect of fermentation and drying. *Plantations, recherche, développement* 24: 25-27.
- Cros, E; Villeneuve, F; Vincet, J. 1982. Recherche d'un índice de fermentation du cacao. Evolution des tanins et des phénols totaux de la fève. *The Café Cacao*. 26(2):104-114.
- Cruz, JFM; Leite, PB; Soares, SE; Bispo, ES. 2013. Assessment of the fermentative process from different cocoa cultivars produced in Southern Bahia, Brazil. *African Journal of Biotechnology* 12(33): 5218 – 5225. DOI: 10.5897/AJB2013.12122.

- Cubillos, G; Merizalde, GJ; Correa, E. 2008. Manual del Beneficio del Cacao 2008 para: técnicos, profesionales del sector agropecuario y productores. Medellín, Colombia, Secretaria de Agricultura de Antioquía. 29 p.
- Daud, WRW; Talib, MZM; Kyi, TM. 2005. Drying with Chemical Reaction in Cocoa Beans. *Drying Technology an International Journal* 25(5): 867 – 875. DOI: 10.1080/07373930701370241.
- De Brito, ES; Pezoa, NH; Gallão, MI; Cortelazzo, AL; Fevereiro, PS; Braga, MR. 2000. Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao* L) during fermentation, drying and roasting. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81(2): 281 – 288. DOI: 10.1002/1097-0010(20010115)81:2<281::AID-JSFA808>3.0.CO;2-B.
- De Vuyst, L; Weckx, S. 2016. The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology* 121 (1): 5-17.
- Dias, DCFS; Marcos-Filho, J; Carmello, QAC. 1997. Potassium leakage test for the evaluation of vigour in soybean seeds. *Seed Science and Technology* 25(1): 7 - 18.
- Díaz, S; Pinoargote, M. 2012. Análisis de las Características Organolépticas del Chocolate a partir de Cacao CCN-51 Tratado Enzimáticamente y Tostado a Diferentes Temperaturas. Tesis Ing. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 130 p.
- Dijkstra, J; Forbes, JM; France, J. 2005. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. 2 ed. London, United Kingdom, CAB. 734 p.
- Dos Santos, SR; De Paula, RC. 2005. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Sebastiania commersoniana* (bail) Smith & Downs –Euphorbiaceae. *Revista Brasileira de Sementes*, 27(2): 136 – 145.
- Durán, F. 2010. Cultivo y Explotación del Cacao. Bogotá, Colombia, Latino. 424 p.
- Efrain, P; Pezoa-García, NH; Jardim, DCP; Nishikawa, A; Haddad, R; Eberlin, MN. 2010. Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 30(1): 142 – 150. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612010000500022>.
- Enríquez, G. 1978. Notas sobre el cultivo de cacao. Turrialba, Costa Rica, IICA. 54 p.

- Enríquez, G. 1985. Curso sobre el Cultivo del Cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 239p. (Serie Materiales de Enseñanza N°22).
- FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros, Colombia). 2004. Beneficio y Características Físico Químicas del Cacao. Bogotá, Colombia, Produmedios. 30 p.
- Fessel, SA; Vieira, RD; Da Cruz, MCP; De Paula, RC; Panobianco, M. 2006. Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(10): 1551 – 1559. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000013>.
- Ganeswari, I; Khairul, S, Amizi, MA; Sim, KY. 2015. Effects of different fermentation approaches on the microbiological and physicochemical changes during cocoa bean fermentation. *International Food Research Journal* 22(1): 70 – 76.
- García, LF. 2012. Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Lima, Perú, Ministerio de Agricultura y Riego. 108 p.
- García, P. 2000. Caracterización Microbiana, Bioquímica y Cinética del Proceso de Fermentación Tradicional Durante el Beneficio de Cacao. Tesis Mg Sc. México DF, México, Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. 87 p.
- García-Alamilla, P; Salgado-Cervantes, MA; Barel, M; Berthomieu, G; Rodríguez-Jimenes, GC; García-Alvarado, MA. 2007. Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying. *Journal of Food Engineering*, 79(4): 1159 - 1165. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2006.04.005
- Graziani, L; Ortiz, L; Álvarez N; Trujillo, A. 2003. Fermentación del Cacao en Dos Diseños de Cajas de Madera. *Agronomía Tropical*, 53(2): 175 - 187.
- Guehi, TS; Dadie, AT; Koffi, KPB; Dabonne, S; Ban-Koffi, L; Kedjebo1, KD; Nemlin, GJ. 2010. Performance of different fermentation methods and the effect of their duration on the quality of raw cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology* 45: 2508 – 2514. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2010.02424.x.
- Gutiérrez S. 2009. Guía de gestión de calidad en Centro de Acopio, Secado y Fermentación de Cacao. Lima, Perú, MINAG. 21p.

- Hansen, C; del Olmo, M; Burri, C. 1998. Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 77(2): 273 – 281. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199806)77:2<273::AID-JSFA40>3.0.CO;2-M.
- Hii, CL; Law, CL; Suzannah, S. 2012. Drying kinetics of the individual layer of cocoa beans during heat pump drying. *Journal of Food Engineering* 108(2): 276 - 282. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.017
- Hii, CL; Rahman, RA; Jinap, S; Man, YC. 2006. Quality of cocoa beans dried using a direct solar dryer at different loadings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 86(8): 1237 – 1243. DOI: 10.1002/jsfa.2475.
- Hue, C; Gunata, Z; Bergounhou, A; Assemat, S; Boulanger, R.; Sauvage, FX; Davrieux, F. 2014. Near infrared spectroscopy as a new tool to determine cocoa fermentation levels through ammonia nitrogen quantification. *Food Chemistry* 148: 240-245. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.10.005.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2009. Situación y perspectivas de la cadena de cacao y chocolate del Perú. Lima, Perú. 52 p.
- Ilangantileke, SG; Wahyudi, T; Bailon, MAG. 1991. Assessment Methodology to Predict Quality of Cocoa Beans for Export. *Journal of Food Quality* 14(6): 481 - 496. DOI: 10.1111/j.1745-4557.1991.tb00088.x.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad, Perú), 2016a. Granos de cacao. Prueba de corte. Norma NTP – ISO 1114:2016. 4 ed. Lima, Perú. 10 oct. 2 p.
- INACAL (Instituto Nacional de Calidad, Perú). 2016b. Granos de cacao. Especificaciones. Norma NTP – ISO 2451.2016. 4 ed. Lima, Perú. 25 may. 19 p.
- Isla, E; Andrade, B. 2009. Manual para la producción de cacao orgánico en las comunidades nativas de la cordillera del cóndor. Proyecto de Paz y Conservación Binacional en la Cordillera del Cóndor, Ecuador-Perú Fase II. Lima, Perú, Lettera Gráfica. 87 p.
- Jalil, AMM; Ismail, A. 2008. Polyphenols in cocoa and cocoa products: Is there a link between antioxidant properties and health? *Molecules* 13(9): 2190 – 2219. DOI: 10.3390/molecules13092190.

- Jinap, S; Dimick, PS. 1990. Acidic characteristics of fermented and dried cocoa beans from different countries of origin. *Journal of Food Science* 55(2): 547 – 550. doi:10.1111/j.1365-2621.1990.tb06806.x.
- Jinap, S; Dimick, PS; Hollender, R. 1995. Flavour evaluation of chocolate formulated from cocoa beans from different countries. *Food Control* 6(2): 105 – 110. doi.org/10.1016/0956-7135(95)98914-M.
- Jinap, S; Thien, JM; Yap, TN. 1994. Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 65(1): 67–75. DOI: 10.1002/jsfa.2740650111.
- Kattenberg, HR; Kemmink, A. 1993. The Flavor of Cocoa in Relation to the Origin and Processing of the Cocoa Beans. *Development in Food Science* 32: 1 – 22.
- Khairul, S. 2014. Impact of Fermentation Duration on the Quality of Malaysian Cocoa Beans Using Shallow Box. *KKU Research Journal* 19: 74 – 80.
- Khairul, S; Tajul, AY. 2015. Color Characteristics of Dried Cocoa Using Shallow Box Fermentation Technique. *International Journal of Nutrition and Food Engineering* 9(12): 1286 – 1290. DAI: 10.1999/1307-6892/10003295.
- Koua, BK; Ekoun, PM; Gbaha, P. 2017. Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2017). <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.002>.
- Kurozawa, LE; Hubinger, MD; Park, KJ. 2012. Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying. *Journal of Food Engineering* 108(1): 43 – 50. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.07.033.
- Lachenaud, P. 1997. Genetic/taxonomic structuring of the *Theobroma cacao* L. species. Fresh hypotheses. *Ingenic Newsletter* (3): 10 – 11.
- Lemus, M; Graziani, L; Ortiz, L; Trujillo, A. 2002. Efecto del Mezclado de Cacaos tipos Criollo y Forastero de la Localidad de Cumboto sobre algunas Características Físicas de los Granos durante la Fermentación. *Agronomía Tropical* 52(1): 45 - 48.
- Lerceteau, E ; Rogers, J ; Pétiard, V; Crouzillat, D. 1999. Evolution of cacao bean proteins during fermentation: a study by two-dimensional electrophoresis. *Journal of the*

Science of Food and Agriculture 79(4): 619 – 625. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(19990315)79:4<619::AID-JSFA230>3.0.CO;2-O.

LWR (Lutheran World Relief, Estados Unidos de America). 2013. Guía 8: Aprendiendo e Innovando sobre la Cosecha, Fermentación y Secado del Cacao. Managua, Nicaragua. 39 p.

Matthews, S; Rogerson, NE. 1976. The influence of embryo condition on the leaching of solutes from pea seeds. Journal of Experimental Botany 27(5): 119 - 125. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/27.5.961>.

MINAG (Ministerio de Agricultura, Perú). 2007. Plan estratégico: Cadena Agroproductiva de Cacao. Lima, Perú, IICA-CICDA-GTZ. 95p.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú); DGPA (Dirección General de Políticas Agrarias, Perú); DEEIA (Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria, Perú). 2016. Estudio del Cacao en el Perú y el Mundo: situación actual y perspectivas en el mercado nacional e internacional al 2015. Lima, Perú. 89 p.

Misnawi, S; Jamilah, B; Nazamid, S. 2003. Effects of incubation and polyphenol oxidase enrichment on colour, fermentation index, procyanidins and astringency of unfermented and partly fermented cocoa beans. International Journal of Food Science and Technology 38(3): 285 – 295. DOI: 10.1046/j.1365-2621.2003.00674.x.

Morales, O; Borda, A; Argandoña, A; Farach, R; García, L; Lazo, K. 2015. La Alianza Cacao Perú y la Cadena Productiva del Cacao Fino de Aroma. Lima, Perú, Universidad ESAN. 182 p. (Serie Gerencia para el Desarrollo, 49).

Motamayor, JC; Lachenaud P; da Silva, JW; Llor, R; Kuhn, DN; Brown, JS; Schnell, RJ. 2008. Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L.). PLoS ONE 3(10): 1 - 8.

Navia, AA; Pazmiño, NV. 2012. Mejoramiento de las Características Sensoriales del Cacao CCN-51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación. Tesis Ing. Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral. 117 p.

Nazaruddin, R; Seng, LK; Hassan, O; Said, M. 2006. Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma Cacao*) during fermentation.

Industrial Crops and Products 24(2006): 87 – 94.  
Doi:10.1016/j.indcrop.2006.03.013.

Ndukwu, MC; Simonyan, KJ; Ndirika, VIO. 2012. Investigation of the structural changes of cocoa bean (with and without seed coat) during convective drying. International Journal of Agricultural Biological Engineering 5(3): 75-82. DOI: 10.3965/j.ijabe.20120503.009.

Nieves, A; Domínguez, F. 2009. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. Un enfoque moderno. México, México D.F. McGraw Hill Latinoamérica. 548 p.

Nogales, J; Graziani, L; Ortiz, L. 2006. Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. Agronomía Tropical 56(1): 5 – 20.

Ortiz, L; Graziani, L; Rovedas, G. 2009(a). Influencia de Varios Factores sobre Características del Grano de cacao fermentado y secado al sol. Agronomía. Tropical 56(2): 119 – 127.

Ortiz, L; Rovedas, G; Graziani, L. 2009(b). Influencia de Varios Factores sobre Índices Físicos del Grano de Cacao en Fermentación. Agronomía Tropical. 59(1): 81 - 88.

Ouyang, X; Van Voorthuysen, T; Toorop, PE; Hilhorst, HWM. 2002. Seed vigor, aging, and osmopriming affect anion and sugar leakage during imbibition of maize (*Zea mays* L.) caryopses. International Journal of Plant Sciences 163(1): 107 - 112. DOI: 10.1086/324550.

Pascualidades, AL; Ateca, NS. 2013. Germinación y vigor de morfotipos de semillas de *Crotalaria juncea* L. (Fabaceae). Revista Internacional de Botánica Experimental Phytion 8(2): 313 – 319.

Perea, JA; Ramirez, OL; Villamizar, AR. 2011. Caracterización Físicoquímica de Materiales Regionales de Cacao Colombiano. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 9(1): 35 – 42.

Portillo, E; Graziani, L; Betancourt, E. 2005. Efecto de los Tratamientos post-cosecha sobre la Temperatura y el Índice de Fermentación en la calidad del cacao criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo. Revista Facultad de Agronomía 22(4): 388 – 399.

- Portillo, E; Graziani, L; Betancourt, E. 2007. Análisis Químico del Cacao Criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo. Revista de la Facultad Agronomía 24(3): 522 – 546.
- Portillo, E; Labarca, M; Graziani, L; Cros, E; Assemat, S; Davrieux, F; Boulager, R. 2011. Influencia de las Condiciones del Tratamiento Poscosecha sobre la Temperatura y Acidez en Granos de Cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.). Revista de la Facultad de Agronomía 28(1): 646 - 660.
- Powell, AA. 1986. Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. Journal of Seed Technology 10(2): 81 – 100. DOI: <http://www.jstor.org/stable/23432796>.
- Puziah, H; Selamat, J; Muhammad, SKS; Ali, A. 1998. Effect of mass and turning time on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentration during cocoa fermentation. Journal of the Science of Food and Agriculture 78(4): 543 – 550. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199812)78:4<543::AID-JSFA152>3.0.CO;2-2.
- Puziah, H; Selamat, J; Muhammad, SKS; Ali, A. 1999. Effect of drying time, bean depth and temperature on free amino acid, peptide-N, sugar and pyrazine concentrations of Malaysian cocoa beans. Journal of the Science of Food and Agriculture 79(7): 987 - 994. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(19990515)79:7<987::AID-JSFA314>3.0.CO;2-H.
- Rech, EG; Villela, FA; Tillmann, MÂA. 1999. Avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes de ervilha. Revista Brasileira de Sementes 21(2): 1 – 9. <http://dx.doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v21n2p1-9>.
- Regalado, A; Peralta, E; Gonzales, C. 2008. Cómo hacer un modelo matemático. Temas de Ciencia y Tecnología 12(35): 9-18.
- Reyes, H; De Reyes, CL. 2000. El cacao en Venezuela. Moderna Tecnología para su cultivo. Caracas, Venezuela, Chocolates El Rey. 270 p.
- Ríos, S. 1995. Modelización. Madrid, España, Alianza. 336 p.
- Rivera, RD; Mecías, FW; Guzmán, AM; Peña, MM; Medina, HN; Casanova, LM; Barrera, AE; Nivelá, PE. 2012. Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física

y química del cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional. Revista Ciencia y Tecnología 5(1): 7 - 12.

Rodriguez-Campos, J; Escalona-Buendía, HB; Orozco-Avila, I; Lugo-Cervantes, E; Jaramillo-Flores, ME. 2011. Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principals components analysis. Food Research International. 44(1): 250 - 258. DOI: 10.1016/j.foodres.2010.10.028.

Rubinson, KA; Rubinson, JF. 2000. Análisis instrumental. Madrid, España, Prentice Hall. 872 p.

Saltini, R; Akkerman, R; Frosch, S. 2013. Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. Food Control. 29(1): 167 - 187. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.05.054.

Schilling, R; Regalado, L. 2009. Manual para el manejo de cosecha, poscosecha y clasificación de cacao; para cacao tipo trinitario y forastero, Fermentación en Cajas Rohan y Secado en secadora solar y secadora mecánica. Tegucigalpa, Honduras, Prografip. 13 p.

Schwan, RF; Wheals, AE. 2004. The Microbiology of Cocoa Fermentation and its Role in Chocolate Quality. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 44(4): 205–221. DOI: 10.1080/10408690490464104.

Senanayake, M; Jansz, ER; Buckle, KA. 1997. Effect of Different Mixing Intervals on the Fermentation of Cocoa Beans. Journal of the Science of Food and Agriculture 74(1): 42 – 48. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199705)74:1<42::AID-JSFA768>3.0.CO;2-U.

Sharma, P; Mishra, M; Singh, NI; Chauhan, JS. 2011. Determination of integrity of seed membrane systems and mineral ions leakage in horse gram. World Journal of Agricultural Sciences 7(4): 476 – 479.

Sørensen, A; Brask, E; Thomsen, K. 1996. Electrical Conductivity Test. Danida Forest Seed Centre Technical Notes. 45(45): 1 - 19.

Soria, J; Enríquez, GA. 1981. Internartional Cacao Cultivar Catalogue. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 156 p. (Tehcnical Bulletin no.6)

- Sotelo, VV. 2012. Efecto del Tiempo de Ecurrimiento del Mucilago en la Fermentación, Calidad Física y Organoléptica del Cacao clon CCN-51 (*Theobroma cacao* L.). Tesis Ing. Tingo María, Perú, Universidad Nacional Agraria De La Selva. 100 p.
- Tajbakhsh, M. 2000. Relationships between electrical conductivity of imbibed seeds leachate and subsequent seedling growth (viability and vigour) in omid wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology* 1(2): 67 – 71.
- Tanaka, Y; Sasaki, N; Ohmiya, A. 2008. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The plant Journal* 54(4): 733 – 749. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03447.x.
- Teneda, WF. 2016. Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao (*Theobroma cacao* L.): Variedad Nacional y Variedad CCN51. Sevilla, España, Universidad Internacional de Andalucía. 138 p.
- Teye, E; Huang, X; Sam-Amoah, LK; Takrama, J; Boison, D; Botchway, F; Kumi, F. 2015. Estimating cocoa bean parameters by FT-NIRS and chemometrics analysis. *Food Chemistry* 176(1): 403 – 410. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.12.042.
- Thompson, SS; Miller, KB; Lopez, AS, Camu, N. 2013. Cocoa and coffee. *In* Doyle, MP; Buchanan, RL; Montville, TJ (eds.). *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. 4 ed. Washington DC, Estados Unidos de America, ASM Press. p. 881 - 900.
- Triola, MF. 2009. Estadística. 10 ed. Mexico, Mexico D.F., Pearson Education. 904 p.
- Tunde-Akintunde, TY; Akintunde, BO. 2007. Effect of Moisture Content and Variety on Selected Physical Properties of Beniseed. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* 9: 1 - 14.
- Ureña, M. 1990. Obtención de Alimentos Modelo a partir de Mezclas Bentonita, Glicerol y Agua para Estudios de Tratamientos Térmicos. Tesis Dr. Valencia, España, Universidad Politécnica de Valencia. 260 p.
- Viloria, H; Méndez, JR. 2011. Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mayz* L.) bajo dos condiciones experimentales. *Scientia Agropecuaria* 2(4): 213 – 228.

Wood, GAR; Lass, RA. 1985. Cocoa. 4 ed. Gran Bretaña, Reino Unido, MPG Books. 620 p.

Zabalaga, RF; La Fuente, CIA; Tadini, CC. 2016. Experimental determination of thermophysical properties of unripe banana slices (*Musa Cavendishii*) during convective drying. *Journal of Food Engineering* 187: 62 – 69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.020>.

Zambrano, A; Gómez, A; Ramos, G; Romero, C; Lacruz, C; Rivas, E. Caracterización de parámetros físicos de calidad en almendras de cacao criollo, trinitario y forastero durante el proceso de secado. *Agronomía Tropical* 60(4): 389 – 396.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

#### Analizar Experimento - Índice de Grano (g/grano)

Variable dependiente: Índice de Grano (g/grano)

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 63

#### Análisis de Varianza para Índice de Grano (g/grano) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	0.0614381	6	0.0102397	9.46	0.0000
B:BLOQUE (Lote)	1.10927	2	0.554633	512.26	0.0000
RESIDUOS	0.0584667	54	0.00108272		
TOTAL (CORREGIDO)	1.22917	62			

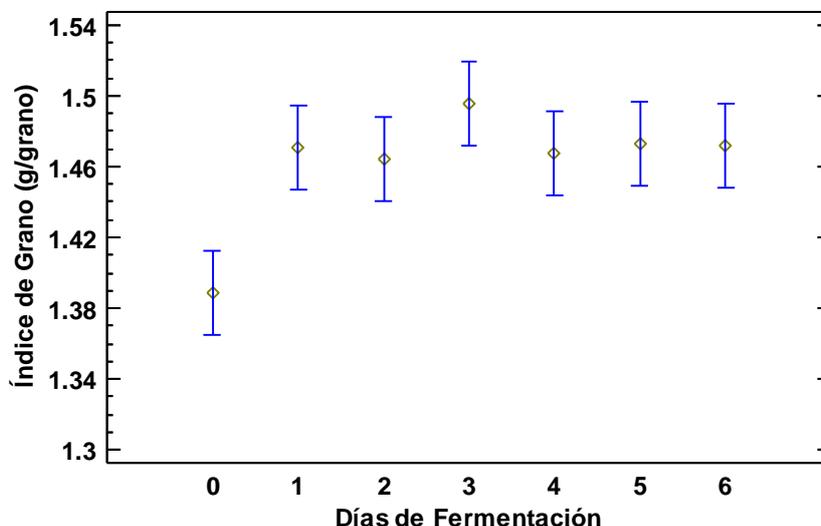
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de Grano (g/grano) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	1.38889	0.0109682	X
2	9	1.46444	0.0109682	X
4	9	1.46778	0.0109682	X
1	9	1.47111	0.0109682	X
6	9	1.47222	0.0109682	X
5	9	1.47333	0.0109682	X
3	9	1.49556	0.0109682	X

#### Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 2: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA LONGITUD DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Multifactorial - Longitud de Grano (mm)

Variable dependiente: Longitud de Grano (mm)

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 3780

#### Análisis de Varianza para Longitud de Grano (mm) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	70.1212	6	11.6869	3.40	0.0024
B:BLOQUE (Lote)	1882.42	2	941.209	273.91	0.0000
RESIDUOS	12958.0	3771	3.43622		
TOTAL (CORREGIDO)	14910.5	3779			

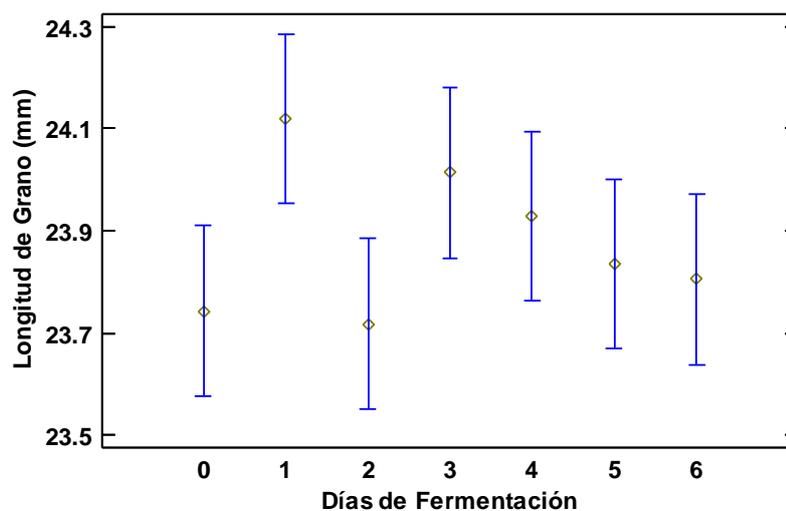
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Longitud de Grano (mm) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	540	23.718	0.0797707	X
0	540	23.7432	0.0797707	X
6	540	23.8047	0.0797707	XX
5	540	23.8359	0.0797707	XX
4	540	23.9287	0.0797707	XX
3	540	24.0134	0.0797707	XX
1	540	24.119	0.0797707	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



### ANEXO 3: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ANCHO DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

#### ANOVA Multifactorial - Ancho de Grano (mm)

Variable dependiente: Ancho de Grano (mm)

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 3780

#### Análisis de Varianza para Ancho de Grano (mm) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	27.6388	6	4.60647	5.26	0.0000
B:BLOQUE (Lote)	370.779	2	185.39	211.87	0.0000
RESIDUOS	3299.62	3771	0.874999		
TOTAL (CORREGIDO)	3698.04	3779			

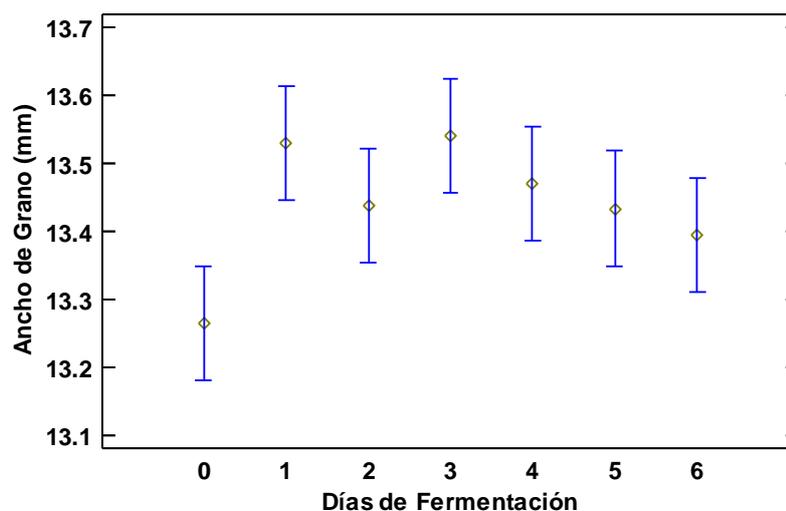
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Ancho de Grano (mm) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	540	13.2658	0.0402538	X
6	540	13.3956	0.0402538	XX
5	540	13.4337	0.0402538	XX
2	540	13.4382	0.0402538	X
4	540	13.4713	0.0402538	X
1	540	13.529	0.0402538	X
3	540	13.5397	0.0402538	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 4: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ESPESOR DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Multifactorial - Espesor de Grano (mm)

Variable dependiente: Espesor de Grano (mm)

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 3780

#### Análisis de Varianza para Espesor de Grano (mm) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	94.8387	6	15.8065	9.22	0.0000
B:BLOQUE (Lote)	216.659	2	108.329	63.17	0.0000
RESIDUOS	6466.94	3771	1.71491		
TOTAL (CORREGIDO)	6778.43	3779			

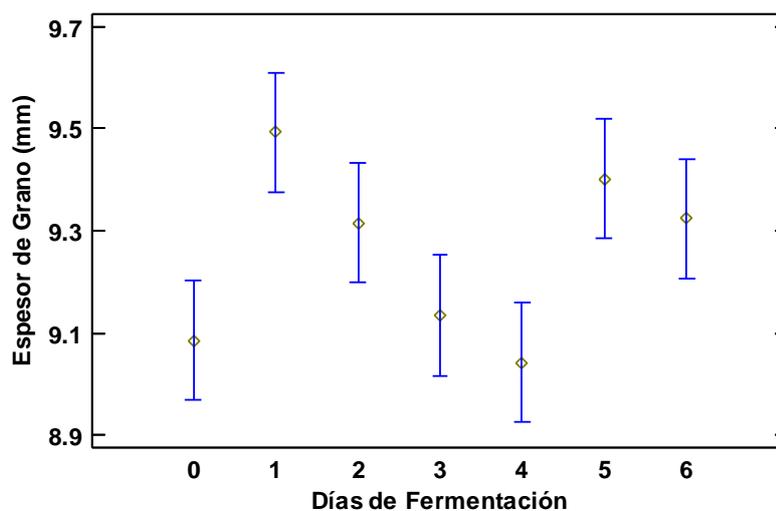
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Espesor de Grano (mm) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	540	9.04211	0.0563539	X
0	540	9.08546	0.0563539	XX
3	540	9.13391	0.0563539	XXX
2	540	9.31519	0.0563539	XXX
6	540	9.32359	0.0563539	XX
5	540	9.40185	0.0563539	X
1	540	9.4938	0.0563539	X

#### Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 5: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA RELACIÓN LARGO/ESPESOR DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Multifactorial - Relación Largo/Espesor de Grano

Variable dependiente: Relación Largo/Espesor de Grano

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 3780

#### Análisis de Varianza para Relación Largo/Espesor de Grano - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	9.10432	6	1.51739	7.82	0.0000
B:BLOQUE	19.8563	2	9.92815	51.14	0.0000
RESIDUOS	732.047	3771	0.194125		
TOTAL (CORREGIDO)	761.008	3779			

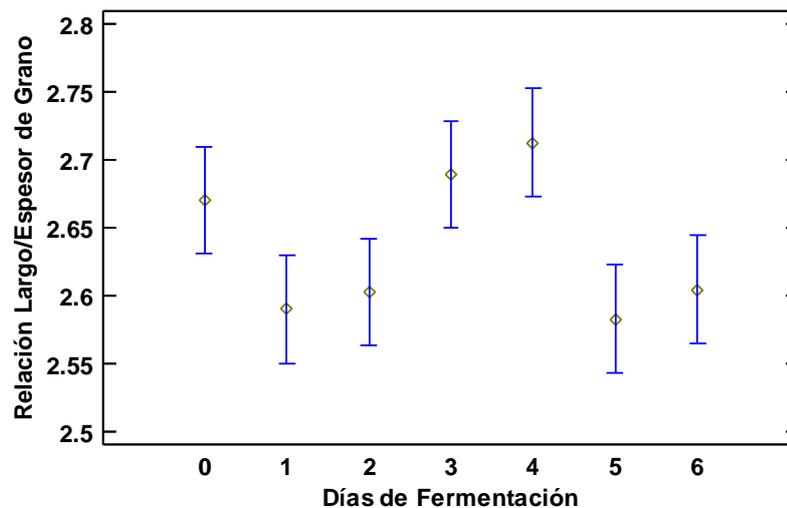
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Relación Largo/Espesor de Grano por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5	540	2.58298	0.0189603	X
1	540	2.59	0.0189603	X
2	540	2.60269	0.0189603	XX
6	540	2.60472	0.0189603	XX
0	540	2.67041	0.0189603	XX
3	540	2.68913	0.0189603	X
4	540	2.71241	0.0189603	X

#### Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 6: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DENSIDAD REAL DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento - Densidad Real ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Variable dependiente: Densidad Real ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 63

#### Análisis de Varianza para Densidad Real ( $\text{kg}/\text{l}$ ) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	107722.	6	17953.7	3.03	0.0127
B:BLOQUE (Lote)	816452.	2	408226.	68.80	0.0000
RESIDUOS	0.320419	54	5933.69		
TOTAL (CORREGIDO)	124459E6	62			

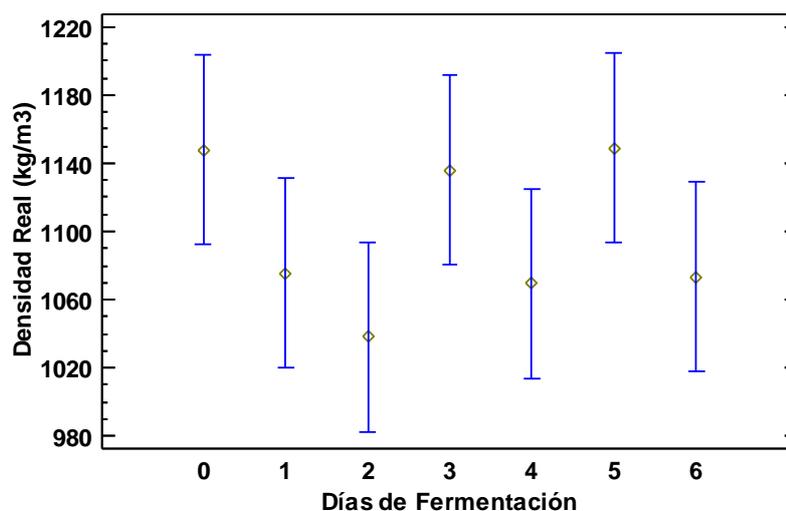
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Densidad Real ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	9	1038.22	25.6768	X
4	9	1069.44	25.6768	X
6	9	1073.44	25.6768	X
1	9	1075.44	25.6768	X
3	9	1135.89	25.6768	X
0	9	1147.56	25.6768	X
5	9	1148.78	25.6768	X

#### Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 7: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL pH DEL COTILEDÓN DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento - pH

Variable dependiente: pH

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 63

#### Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	27.6231	6	4.60384	71.45	0.0000
B:BLOQUE (Lote)	1.74106	2	0.870529	13.51	0.0000
RESIDUOS	3.47943	54	0.0644339		
TOTAL (CORREGIDO)	32.8435	62			

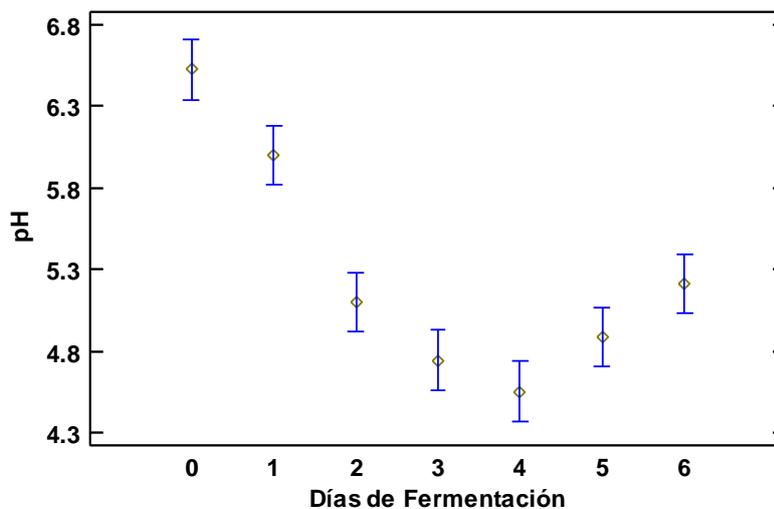
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	9	4.55333	0.0846128	X
3	9	4.74556	0.0846128	XX
5	9	4.88778	0.0846128	XXX
2	9	5.1	0.0846128	XX
6	9	5.21333	0.0846128	X
1	9	5.99889	0.0846128	X
0	9	6.52444	0.0846128	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA ACIDEZ TITULABLE DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento - Acidez Titulable (% ácido acético)

Variable dependiente: Acidez Titulable (% ácido acético)

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 63

#### Análisis de Varianza para Acidez Titulable (% ácido acético) – Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	25.9396	6	4.32327	51.29	0.0000
B:BLOQUE (Lote)	2.85162	2	1.42581	16.92	0.0000
RESIDUOS	4.55144	54	0.084286		
TOTAL (CORREGIDO)	33.3427	62			

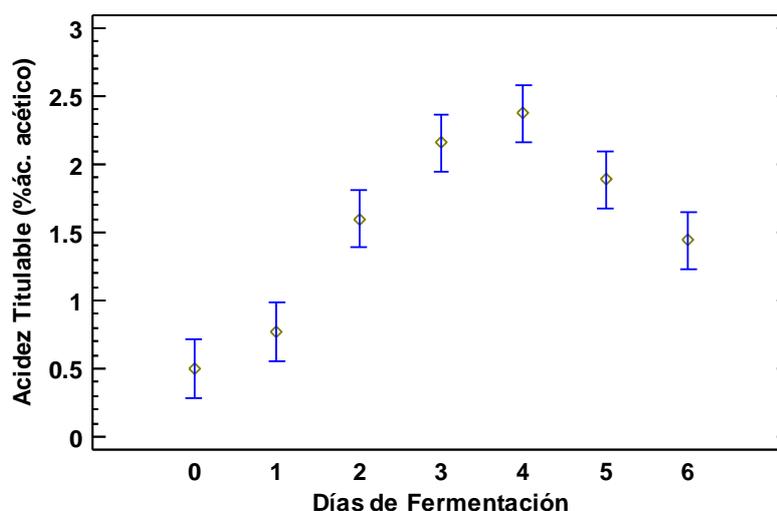
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Acidez Titulable (% ácido acético) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.501111	0.0967735	X
1	9	0.771111	0.0967735	X
6	9	1.44444	0.0967735	X
2	9	1.59889	0.0967735	XX
5	9	1.88778	0.0967735	XX
3	9	2.15667	0.0967735	XX
4	9	2.37556	0.0967735	X

#### Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento - Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: Índice de Fermentación (%)

Factores:

Días de Fermentación

BLOQUE (Lote)

Número de casos completos: 63

#### Análisis de Varianza para Índice de Fermentación (%) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Días de Fermentación	51883.1	6	8647.19	2518.04	0.0000
B:BLOQUE (Lote)	83.7696	2	41.8848	12.20	0.0000
RESIDUOS	185.441	54	3.4341		
TOTAL (CORREGIDO)	52152.3	62			

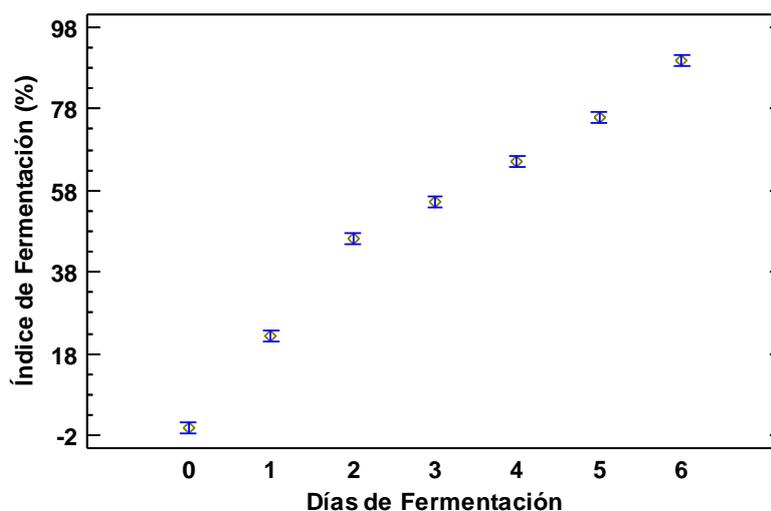
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de Fermentación (%) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0	0.617711	X
1	9	22.4444	0.617711	X
2	9	46.3689	0.617711	X
3	9	55.1633	0.617711	X
4	9	65.1489	0.617711	X
5	9	75.7411	0.617711	X
6	9	89.7056	0.617711	X

#### Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Simple - % Humedad por Días de Fermentación

Variable dependiente: % Humedad

Factor: Días de Fermentación

Número de observaciones: 21

Número de niveles: 7

**Tabla ANOVA para % Humedad por Días de Fermentación**

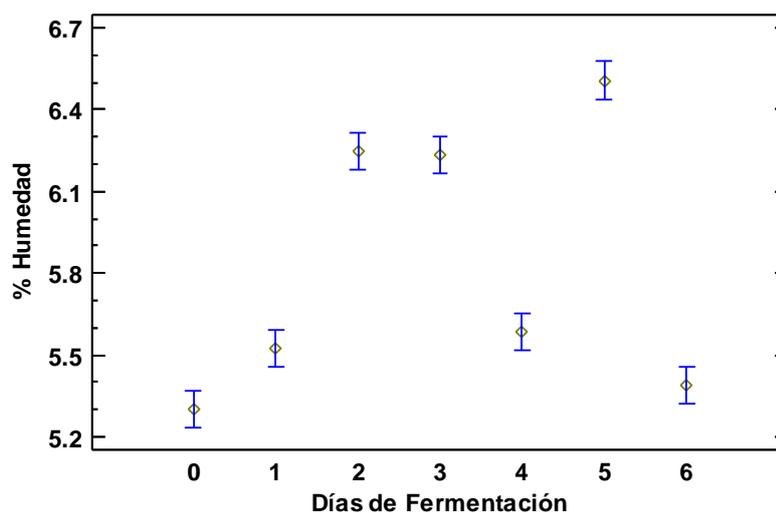
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.25383	6	0.708971	300.78	0.0000
Intra grupos	0.033	14	0.00235714		
Total (Corr.)	4.28683	20			

### Pruebas de Múltiple Rangos para % Humedad por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	5.30333	x
6	3	5.39	x
1	3	5.52667	x
4	3	5.58333	x
3	3	6.23333	x
2	3	6.24667	x
5	3	6.50667	x

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



## ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Simple - % Proteína (b.s) por Días de Fermentación

Variable dependiente: % Proteína (b.s)

Factor: Días de Fermentación

Número de observaciones: 21

Número de niveles: 7

**Tabla ANOVA para % Proteína (b.s) por Días de Fermentación**

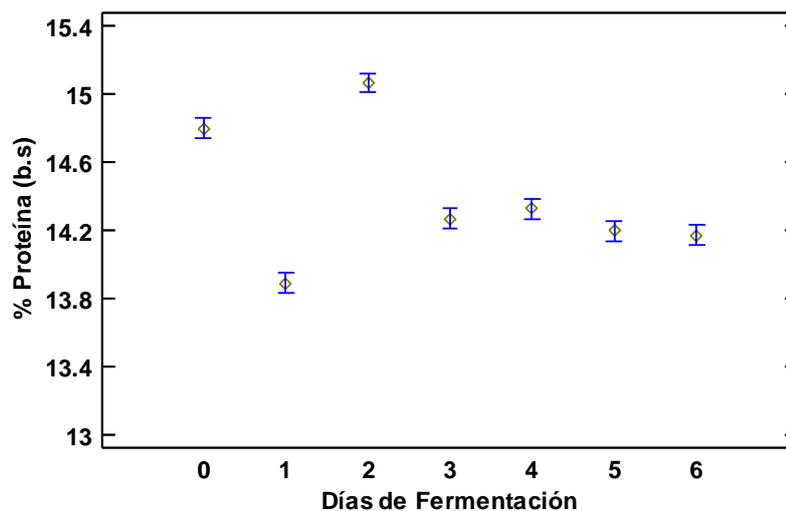
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.9211	6	0.486849	280.11	0.0000
Intra grupos	0.0243333	14	0.0017381		
Total (Corr.)	2.94543	20			

### Pruebas de Múltiple Rangos para % Proteína (b.s) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	3	13.89	X
6	3	14.17	X
5	3	14.1967	X
3	3	14.2667	XX
4	3	14.3267	X
0	3	14.7967	X
2	3	15.0633	X

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



**ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE GRASA, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN (p < 0,05)**

**ANOVA Simple - % Grasa (b.s.) por Días de Fermentación**

Variable dependiente: % Grasa (b.s.)

Factor: Días de Fermentación

Número de observaciones: 21

Número de niveles: 7

**Tabla ANOVA para % Grasa (b.s.) por Días de Fermentación**

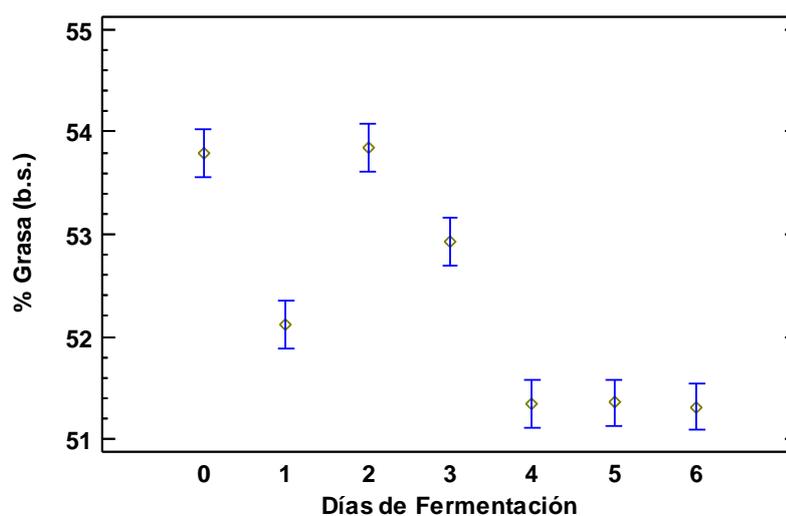
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	23.1796	6	3.86326	138.28	0.0000
Intra grupos	0.391133	14	0.0279381		
Total (Corr.)	23.5707	20			

**Pruebas de Múltiple Rangos para % Grasa (b.s.) por Días de Fermentación**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
6	3	51.3167	X
4	3	51.35	X
5	3	51.3533	X
1	3	52.1167	X
3	3	52.92	X
0	3	53.7867	X
2	3	53.8433	X

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



## ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CENIZAS, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Simple - % Ceniza (b.s.) por Días de Fermentación

Variable dependiente: % Ceniza (b.s.)

Factor: Días de Fermentación

Número de observaciones: 21

Número de niveles: 7

**Tabla ANOVA para % Ceniza (b.s.) por Días de Fermentación**

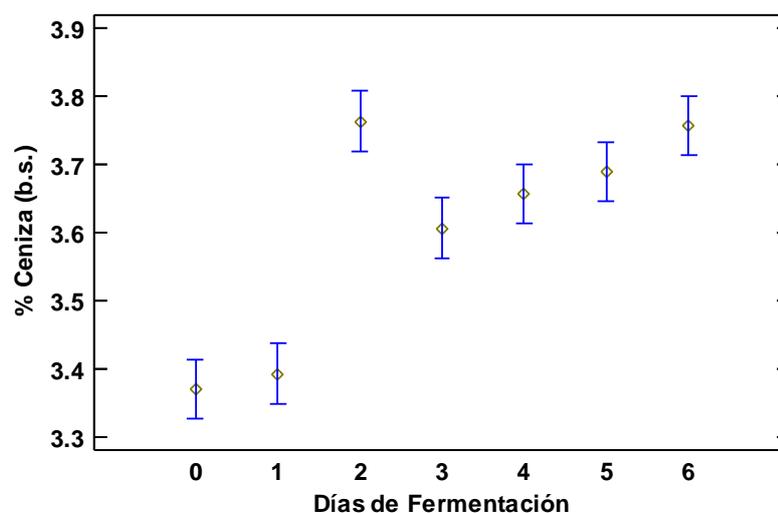
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.47399	6	0.0789984	81.72	0.0000
Intra grupos	0.0135333	14	0.000966667		
Total (Corr.)	0.487524	20			

### Pruebas de Múltiple Rangos para % Ceniza (b.s.) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	3.37	X
1	3	3.39333	X
3	3	3.60667	X
4	3	3.65667	X
5	3	3.69	XX
6	3	3.75667	X
2	3	3.76333	X

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



## ANEXO 14: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE FIBRA CRUDA, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Simple - % Fibra Cruda (b.s.) por Días de Fermentación

Variable dependiente: % Fibra Cruda (b.s.)

Factor: Días de Fermentación

Número de observaciones: 21

Número de niveles: 7

**Tabla ANOVA para % Fibra Cruda (b.s.) por Días de Fermentación**

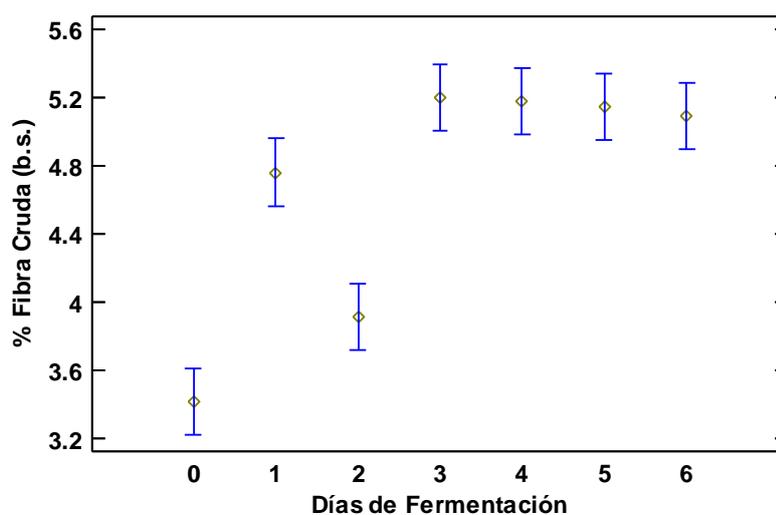
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9.27659	6	1.5461	77.99	0.0000
Intra grupos	0.277533	14	0.0198238		
Total (Corr.)	9.55412	20			

### Pruebas de Múltiple Rangos para % Fibra Cruda (b.s.) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	3	3.41667	X
2	3	3.91333	X
1	3	4.76	X
6	3	5.09333	XX
5	3	5.14333	XX
4	3	5.18	X
3	3	5.19667	X

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



## ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS, EN BASE SECA, DEL GRANO DE CACAO CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### ANOVA Simple - % Carbohidratos (b.s.) por Días de Fermentación

Variable dependiente: % Carbohidratos (b.s.)

Factor: Días de Fermentación

Número de observaciones: 21

Número de niveles: 7

**Tabla ANOVA para % Carbohidratos (b.s.) por Días de Fermentación**

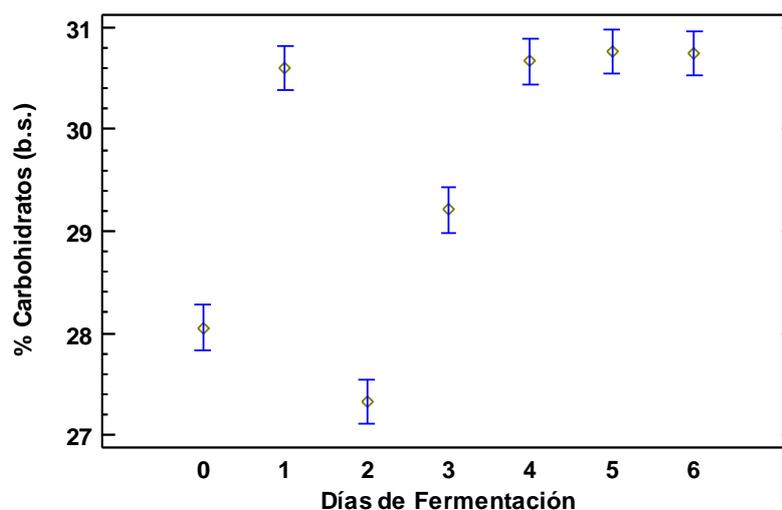
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	37.5586	6	6.25977	253.82	0.0000
Intra grupos	0.345267	14	0.0246619		
Total (Corr.)	37.9039	20			

### Pruebas de Múltiple Rangos para % Carbohidratos (b.s.) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	27.33	x
0	3	28.0533	x
3	3	29.21	x
1	3	30.6067	x
4	3	30.6667	x
6	3	30.75	x
5	3	30.7633	x

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



## ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO ENTEROS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento - CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable dependiente: CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Factores:

Número de Granos

Lote de Grano

Días de Fermentación

Número de casos completos: 189

### Análisis de Varianza para CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Número de Granos	77.4141	2	38.707	5.07	0.0072
B:Lote de Grano	198.593	2	99.2965	13.00	0.0000
C:Días de Fermentación	27958.9	6	4659.81	610.24	0.0000
RESIDUOS	1359.21	178	7.63603		
TOTAL (CORREGIDO)	29594.1	188			

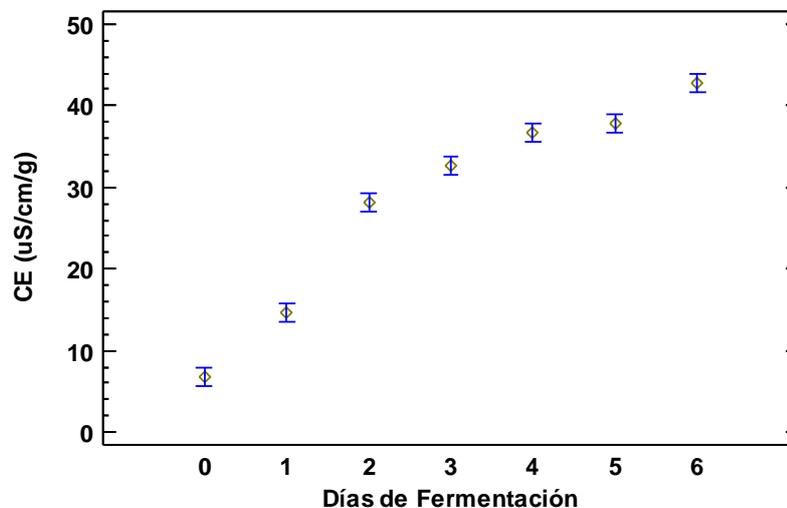
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	27	6.86222	0.531804	X
1	27	14.6611	0.531804	X
2	27	28.1989	0.531804	X
3	27	32.7407	0.531804	X
4	27	36.6467	0.531804	X
5	27	37.9281	0.531804	X
6	27	42.7296	0.531804	X

### Medias y 95.0% de Tukey HSD

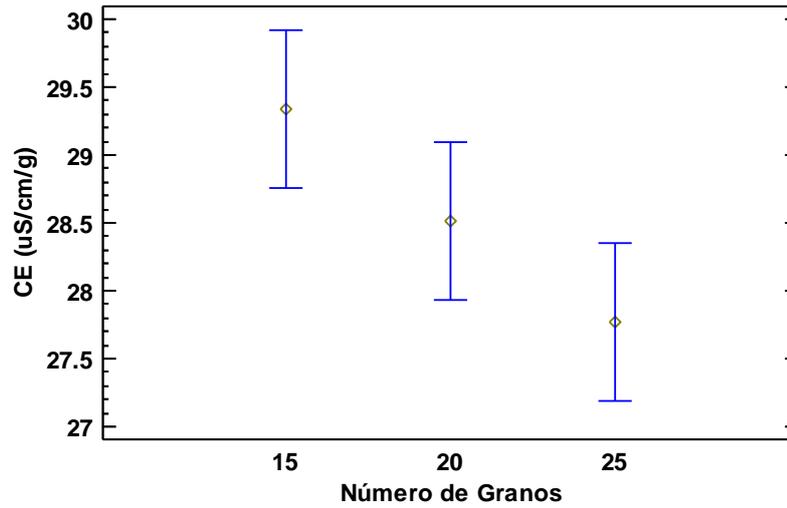


### Pruebas de Múltiple Rangos para CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ ) por Número de Granos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Número de Granos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	63	27.7681	0.348148	X
20	63	28.5114	0.348148	XX
15	63	29.3351	0.348148	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 17: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PH DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO ENTEROS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN (p < 0,05)

### Analizar Experimento – pH

Variable dependiente: pH

Factores:

Número de Granos

Lote de Grano

Días de Fermentación

Número de casos completos: 189

### Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Número de Granos	0.189277	2	0.0946386	0.99	0.3724
<b>B:Lote de Grano</b>	<b>7.76227</b>	2	<b>3.88114</b>	<b>40.74</b>	<b>0.0000</b>
<b>C:Días de Fermentación</b>	<b>24.8607</b>	6	<b>4.14345</b>	<b>43.49</b>	<b>0.0000</b>
RESIDUOS	16.9573	178	0.0952657		
TOTAL (CORREGIDO)	49.7695	188			

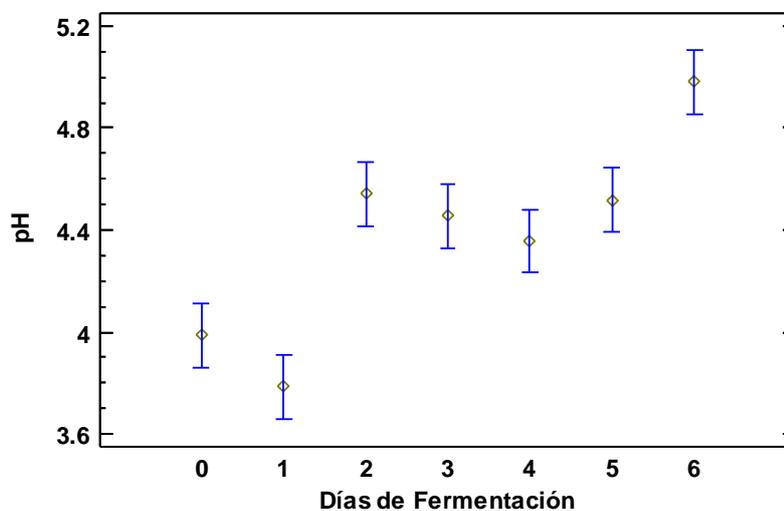
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
1	27	3.78593	0.0594	X
0	27	3.9863	0.0594	X
4	27	4.35704	0.0594	X
3	27	4.45667	0.0594	X
5	27	4.51778	0.0594	X
2	27	4.54074	0.0594	X
6	27	4.98148	0.0594	X

### Medias y 95.0% de Tukey HSD

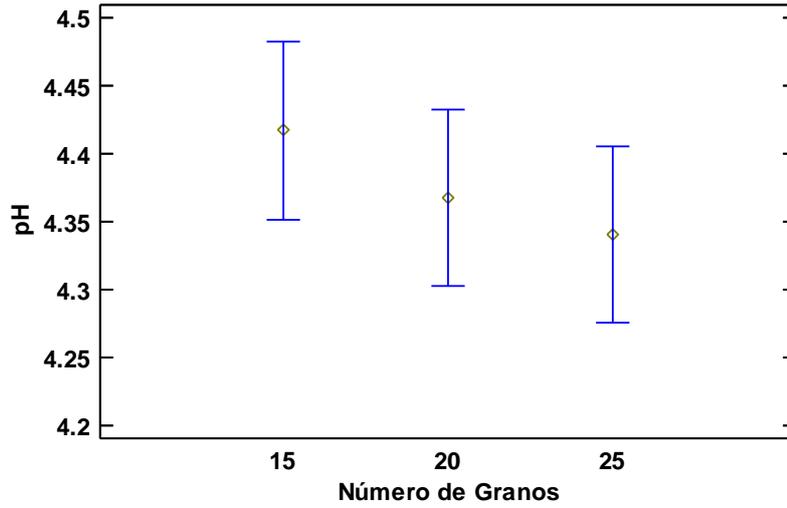


### Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Número de Granos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Número de Granos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	63	4.34048	0.0388864	X
20	63	4.36794	0.0388864	X
15	63	4.41698	0.0388864	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO ENTEROS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento –Grados Brix

Variable dependiente: Grados Brix

Factores:

Número de Granos

Lote de Grano

Días de Fermentación

Número de casos completos: 189

#### Análisis de Varianza para Grados Brix - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
<b>A:Número de Granos</b>	0.391534	2	0.195767	6.52	<b>0.0019</b>
<b>B:Lote de Grano</b>	0.391534	2	0.195767	6.52	<b>0.0019</b>
<b>C:Días de Fermentación</b>	1.2381	6	0.206349	6.87	<b>0.0000</b>
RESIDUOS	5.34656	178	0.0300369		
TOTAL (CORREGIDO)	7.36772	188			

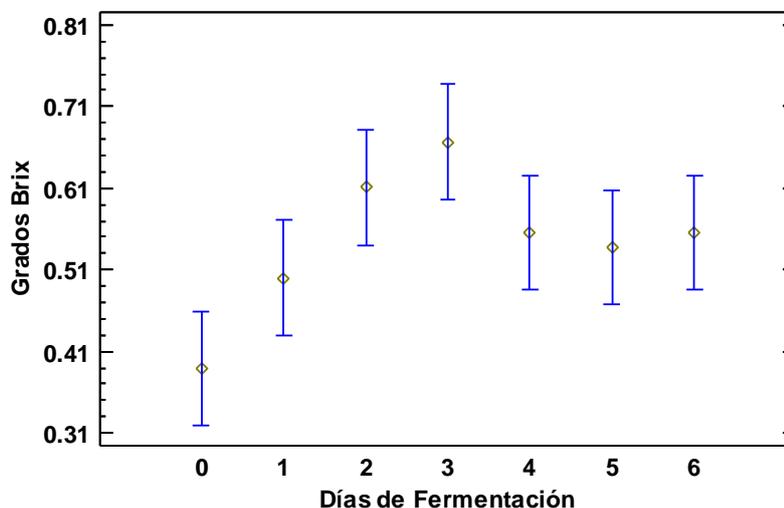
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

#### Pruebas de Múltiple Rangos para Grados Brix por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	27	0.388889	0.0333538	X
1	27	0.5	0.0333538	XX
5	27	0.537037	0.0333538	XX
6	27	0.555556	0.0333538	XX
4	27	0.555556	0.0333538	XX
2	27	0.611111	0.0333538	XX
3	27	0.666667	0.0333538	X

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**

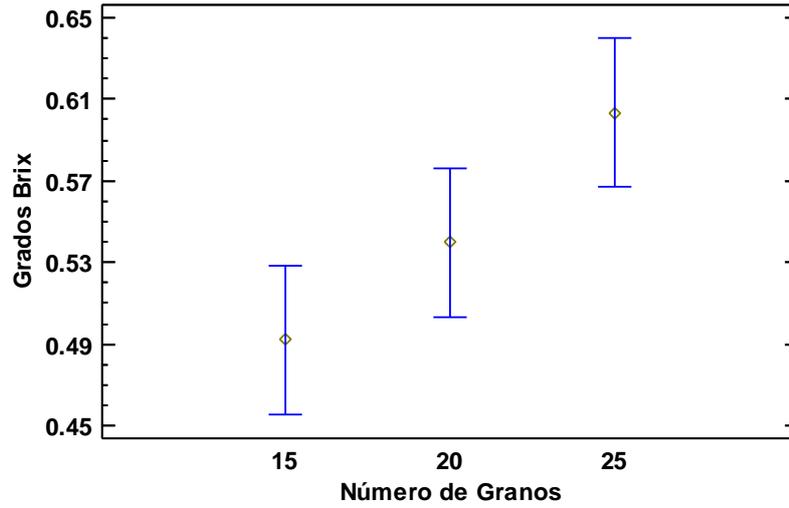


**Pruebas de Múltiple Rangos para Sólidos solubles por Número de Granos**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Número de Granos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
15	63	0.492063	0.0218352	X
20	63	0.539683	0.0218352	XX
25	63	0.603175	0.0218352	X

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**



## ANEXO 19: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO CORTADOS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento - CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable dependiente: CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Factores:

Número de Granos

Lote de Grano

Días de Fermentación

Número de casos completos: 189

### Análisis de Varianza para CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Número de Granos	392.899	2	196.45	23.33	0.0000
B:Lote de Grano	336.995	2	168.498	20.01	0.0000
C:Días de Fermentación	12024.1	6	2004.01	237.99	0.0000
RESIDUOS	1498.83	178	8.4204		
TOTAL (CORREGIDO)	14252.8	188			

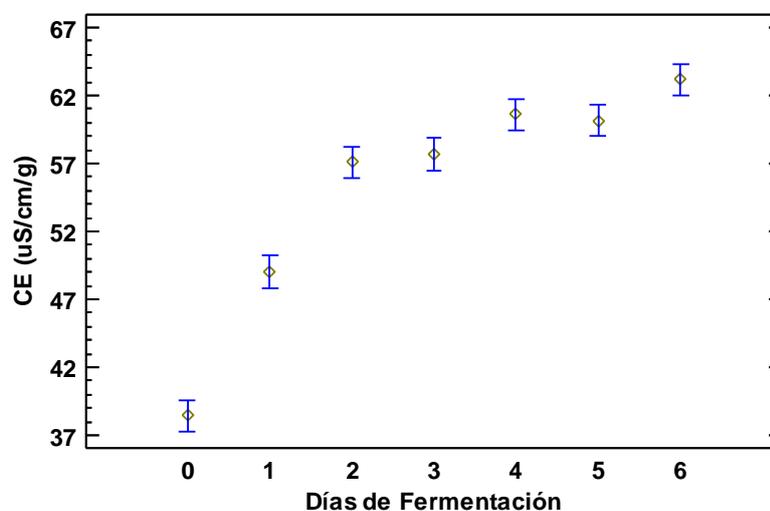
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para CE ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	27	38.4489	0.55845	X
1	27	49.037	0.55845	X
2	27	57.0885	0.55845	X
3	27	57.6922	0.55845	X
5	27	60.1674	0.55845	X
4	27	60.5796	0.55845	X
6	27	63.1604	0.55845	X

### Medias y 95.0% de Tukey HSD

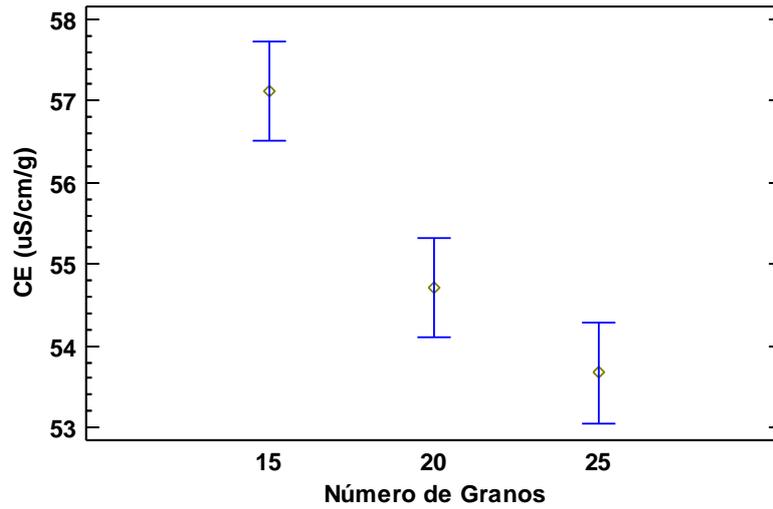


### Pruebas de Múltiple Rangos para CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ ) por Número de Granos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Número de Granos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	63	53.669	0.365592	X
20	63	54.7197	0.365592	X
15	63	57.1144	0.365592	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



## ANEXO 20: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO CORTADOS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Analizar Experimento - pH

Variable dependiente: pH

Factores:

Número de Granos

Lote de Grano

Días de Fermentación

Número de casos completos: 189

### Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Número de Granos	0.0475757	2	0.0237878	0.64	0.5301
<b>B:Lote de Grano</b>	2.11431	2	1.05715	28.31	<b>0.0000</b>
<b>C:Días de Fermentación</b>	2.16101	6	0.360169	9.65	<b>0.0000</b>
RESIDUOS	6.6467	178	0.037341		
TOTAL (CORREGIDO)	10.9696	188			

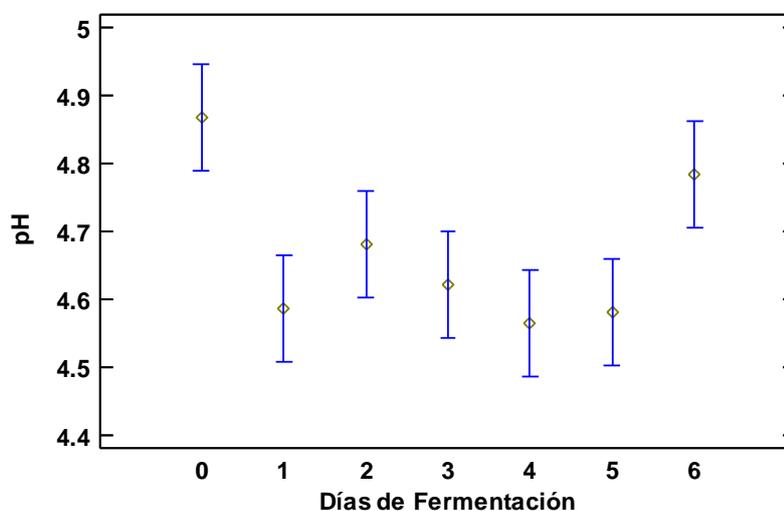
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Días de Fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	27	4.56519	0.0371887	X
5	27	4.58185	0.0371887	X
1	27	4.58741	0.0371887	X
3	27	4.62148	0.0371887	X
2	27	4.68111	0.0371887	XX
6	27	4.78407	0.0371887	XX
0	27	4.86741	0.0371887	X

### Medias y 95.0% de Tukey HSD

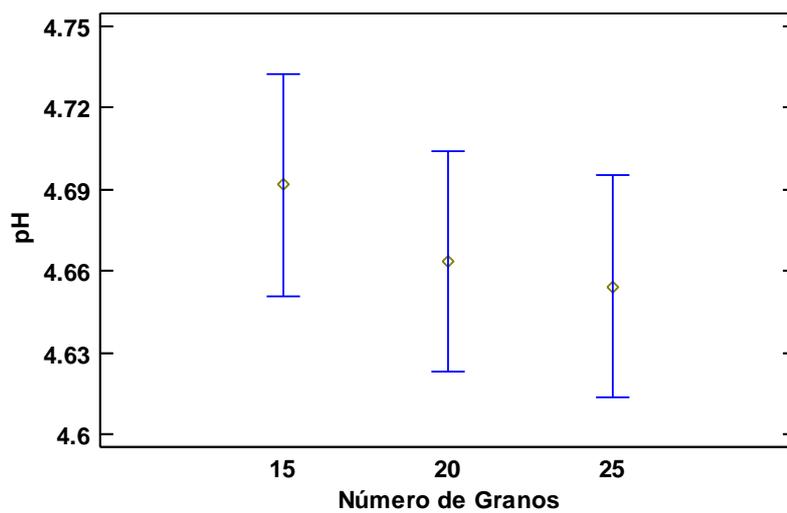


### Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Número de Granos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Número de Granos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
25	63	4.65429	0.0243457	X
20	63	4.66349	0.0243457	X
15	63	4.69159	0.0243457	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



**ANEXO 21: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON 15, 20 Y 25 GRANOS DE CACAO CORTADOS CON DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Analizar Experimento - Grados Brix**

Variable dependiente: Grados Brix

Factores:

Número de Granos

Lote de Grano

Días de Fermentación

Número de casos completos: 189

**Análisis de Varianza para Grados Brix - Suma de Cuadrados Tipo III**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Número de Granos	2.61376	2	1.30688	33.16	0.0000
B:Lote de Grano	0.907407	2	0.453704	11.51	0.0000
C:Días de Fermentación	2.84656	6	0.474427	12.04	0.0000
RESIDUOS	7.01587	178	0.039415		
TOTAL (CORREGIDO)	13.3836	188			

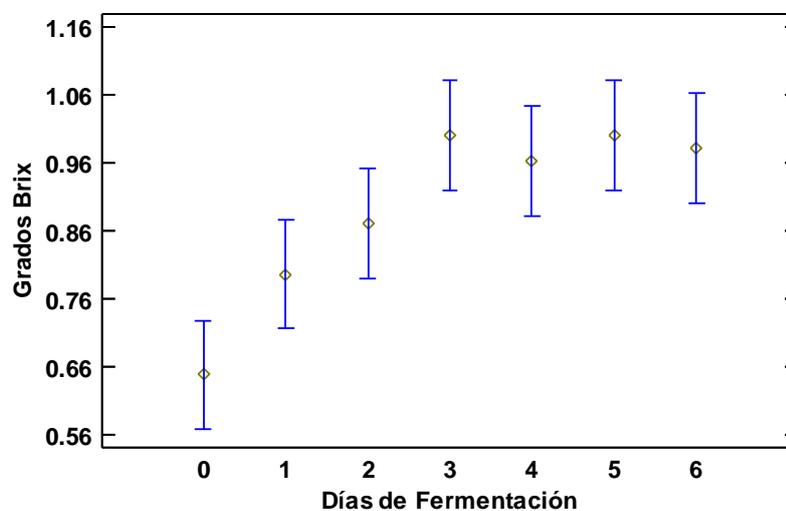
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Pruebas de Múltiple Rangos para Grados Brix por Días de Fermentación**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días de Fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	27	0.648148	0.0382075	x
1	27	0.796296	0.0382075	xx
2	27	0.87037	0.0382075	xx
4	27	0.962963	0.0382075	x
6	27	0.981481	0.0382075	x
5	27	1.0	0.0382075	x
3	27	1.0	0.0382075	x

**Medias y 95.0% de Tukey HSD**

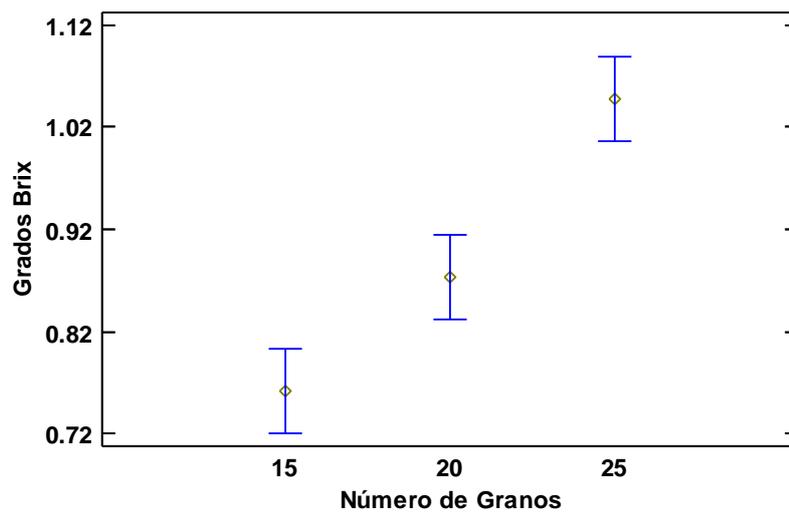


### Pruebas de Múltiple Rangos para Grados Brix por Número de Granos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Número de Granos	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
15	63	0.761905	0.0250127	X
20	63	0.873016	0.0250127	X
25	63	1.04762	0.0250127	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



**ANEXO 22: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE UE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE UE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	8.30315	1.09405	7.58933	0.0000
Pendiente	0.397788	0.0191226	20.802	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2747.78	1	2747.78	432.72	0.0000
Residuo	120.649	19	6.34997		
Total (Corr.)	2868.43	20			

Coefficiente de Correlación = 0.978744

R-cuadrada = 95.7939 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95.5725 por ciento

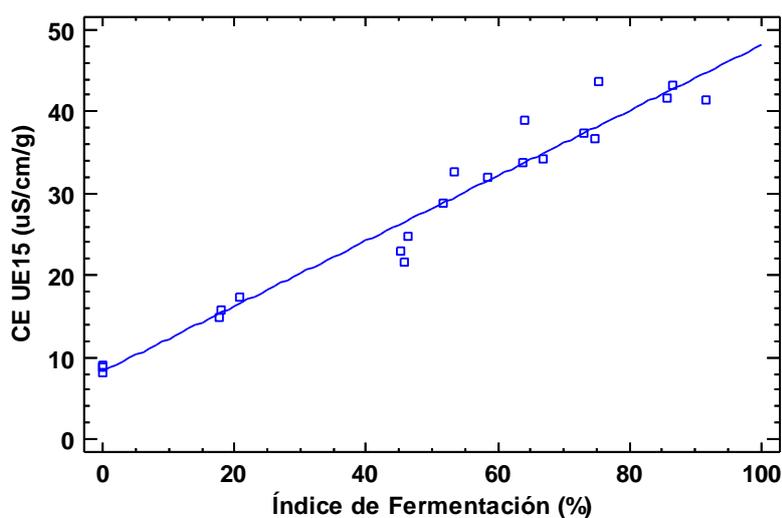
Error estándar del est. = 2.51991

Error absoluto medio = 1.64099

Estadístico Durbin-Watson = 1.60801 (P=0.1204)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.194881

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**CE UE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) = 8.30315 + 0.397788\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 23: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE DE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE DE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	8.29431	2.1315	3.89131	0.0010
Pendiente	0.415688	0.0355794	11.6834	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3130.89	1	3130.89	136.50	0.0000
Residuo	435.796	19	22.9366		
Total (Corr.)	3566.69	20			

Coefficiente de Correlación = 0.936918

R-cuadrada = 87.7815 por ciento

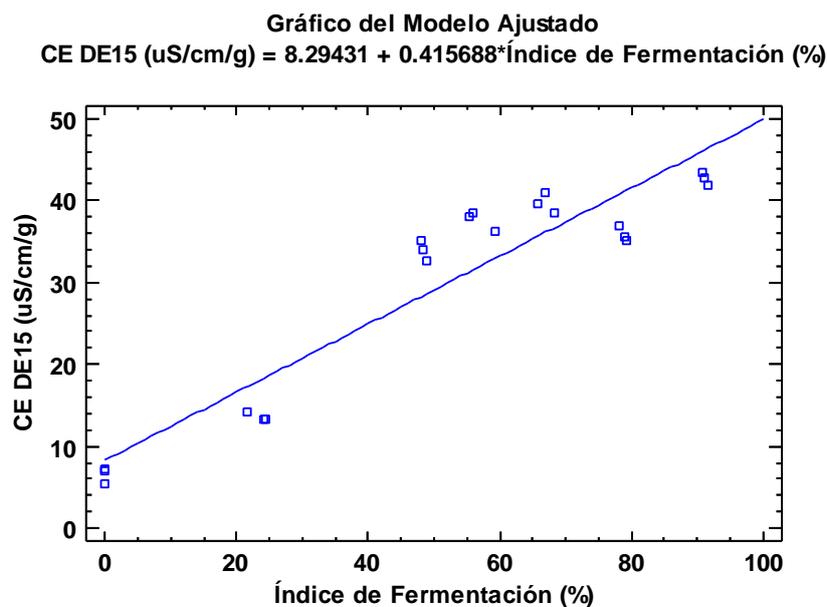
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 87.1384 por ciento

Error estándar del est. = 4.78922

Error absoluto medio = 4.21558

Estadístico Durbin-Watson = 0.422095 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.773216



**ANEXO 24: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE TE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE TE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	7.04277	1.13113	6.22634	0.0000
Pendiente	0.457104	0.0196357	23.2792	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3465.22	1	3465.22	541.92	0.0000
Residuo	121.492	19	6.39433		
Total (Corr.)	3586.71	20			

Coefficiente de Correlación = 0.982918

R-cuadrada = 96.6127 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 96.4344 por ciento

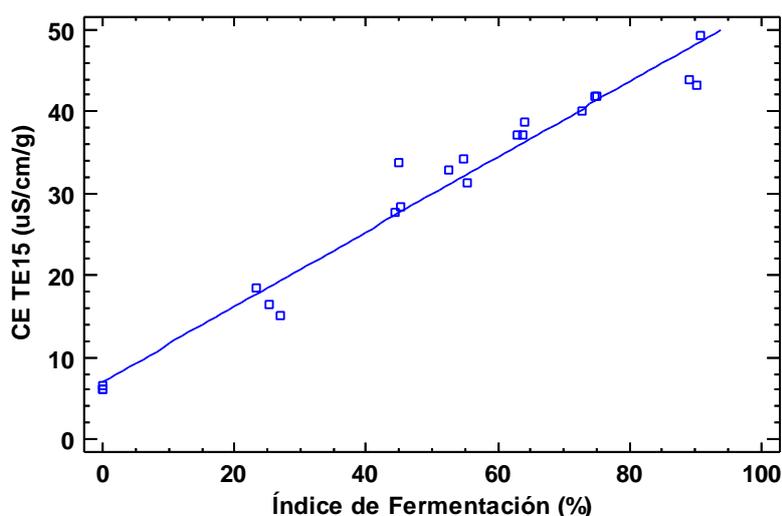
Error estándar del est. = 2.5287

Error absoluto medio = 1.77685

Estadístico Durbin-Watson = 1.41627 (P=0.0499)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.288644

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**CE TE15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) = 7.04277 + 0.457104\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 25: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE UE20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE UE20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	7.17984	1.10816	6.47905	0.0000
Pendiente	0.401715	0.0193691	20.7399	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2802.3	1	2802.3	430.15	0.0000
Residuo	123.781	19	6.51479		
Total (Corr.)	2926.09	20			

Coefficiente de Correlación = 0.97862

R-cuadrada = 95.7697 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95.5471 por ciento

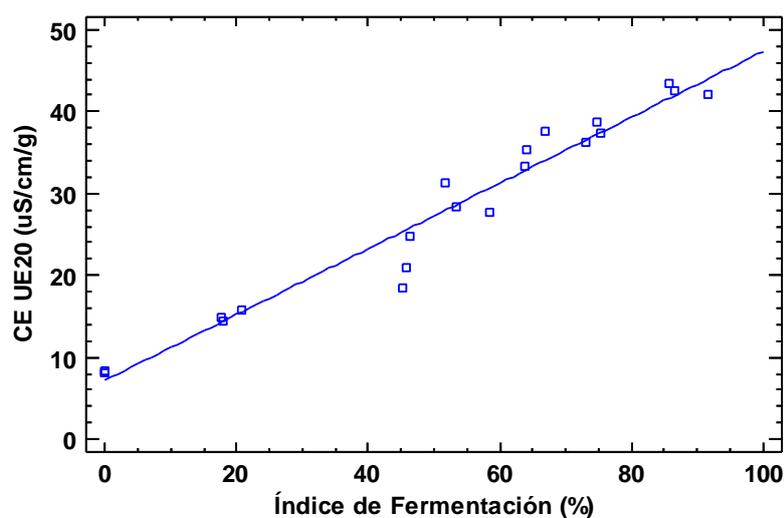
Error estándar del est. = 2.55241

Error absoluto medio = 1.72515

Estadístico Durbin-Watson = 2.14303 (P=0.5371)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0770446

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**CE UE20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) = 7.17984 + 0.401715 \* Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 26: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE DE20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE DE20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	6.8453	2.00829	3.40852	0.0029
Pendiente	0.44064	0.0335228	13.1445	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3518.04	1	3518.04	172.78	0.0000
Residuo	386.872	19	20.3617		
Total (Corr.)	3904.91	20			

Coefficiente de Correlación = 0.949172

R-cuadrada = 90.0927 por ciento

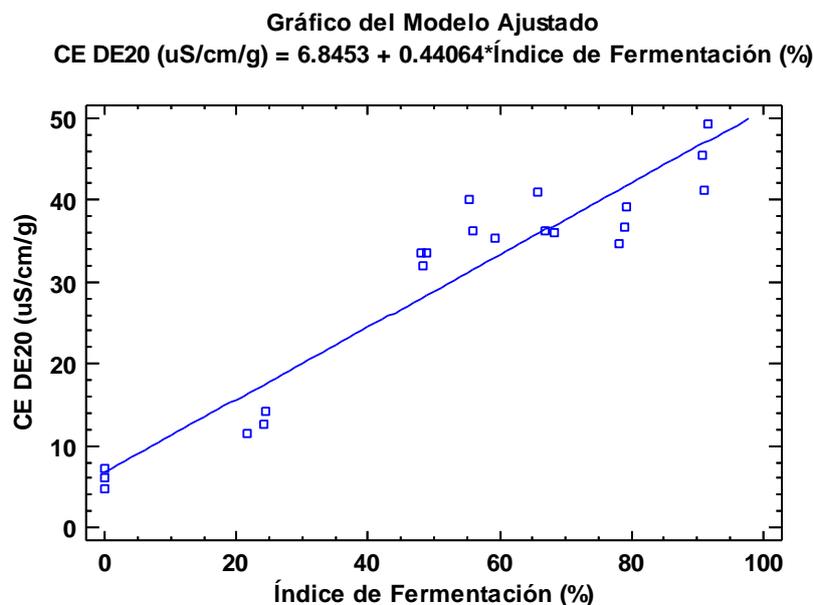
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 89.5712 por ciento

Error estándar del est. = 4.51239

Error absoluto medio = 3.64646

Estadístico Durbin-Watson = 1.10645 (P=0.0069)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.443907



## ANEXO 27: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE TE20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE TE20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) (20 granos enteros lote 3)

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	6.86062	1.04073	6.59215	0.0000
Pendiente	0.432971	0.0180664	23.9655	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3108.98	1	3108.98	574.34	0.0000
Residuo	102.849	19	5.41311		
Total (Corr.)	3211.83	20			

Coefficiente de Correlación = 0.983859

R-cuadrada = 96.7978 por ciento

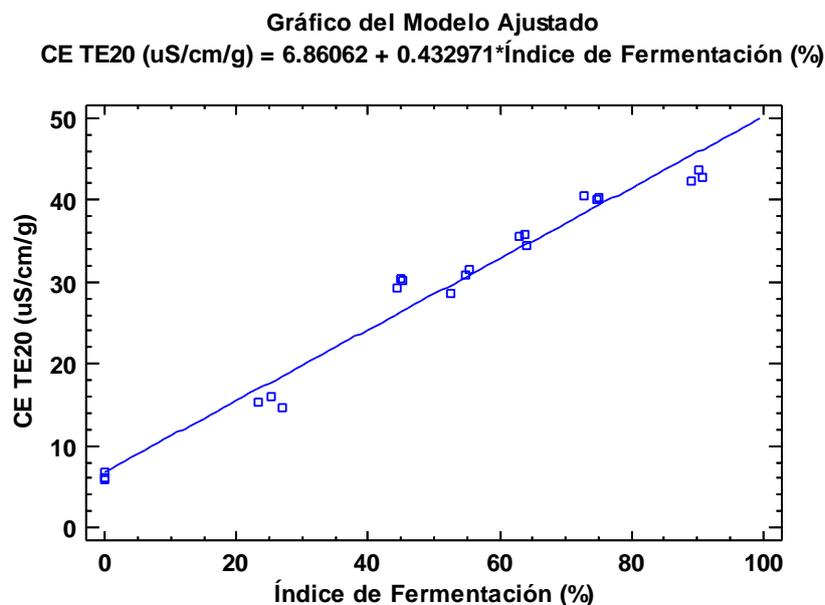
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 96.6293 por ciento

Error estándar del est. = 2.32661

Error absoluto medio = 1.80877

Estadístico Durbin-Watson = 0.716984 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.583043



**ANEXO 28: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE UE25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE UE25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	7.68673	1.35759	5.66204	0.0000
Pendiente	0.37666	0.0237288	15.8735	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2463.64	1	2463.64	251.97	0.0000
Residuo	185.774	19	9.77756		
Total (Corr.)	2649.41	20			

Coefficiente de Correlación = 0.964303

R-cuadrada = 92.9881 por ciento

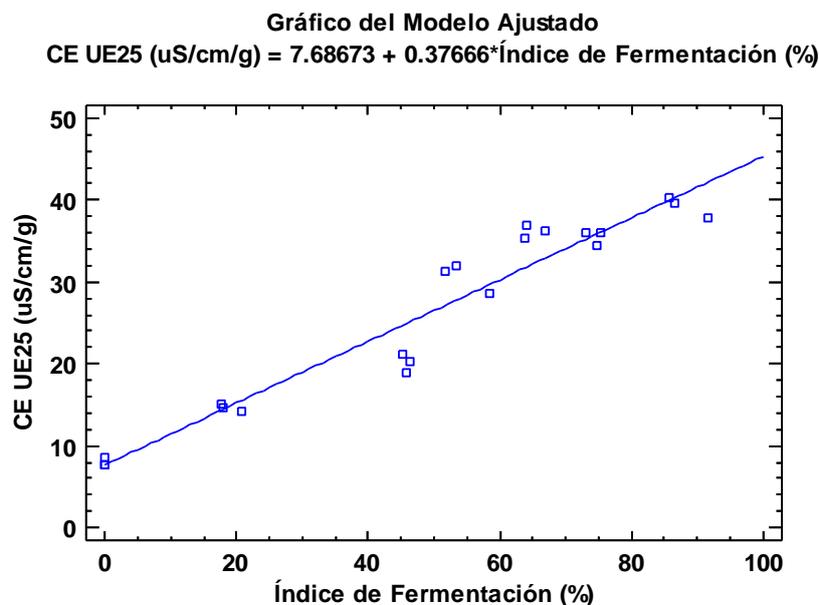
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 92.6191 por ciento

Error estándar del est. = 3.12691

Error absoluto medio = 2.22716

Estadístico Durbin-Watson = 1.3251 (P=0.0302)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.334749



## ANEXO 29: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE DE25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE DE25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	6.98309	2.09014	3.34097	0.0034
Pendiente	0.414207	0.0348891	11.8721	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3108.61	1	3108.61	140.95	0.0000
Residuo	419.05	19	22.0553		
Total (Corr.)	3527.66	20			

Coefficiente de Correlación = 0.938728

R-cuadrada = 88.121 por ciento

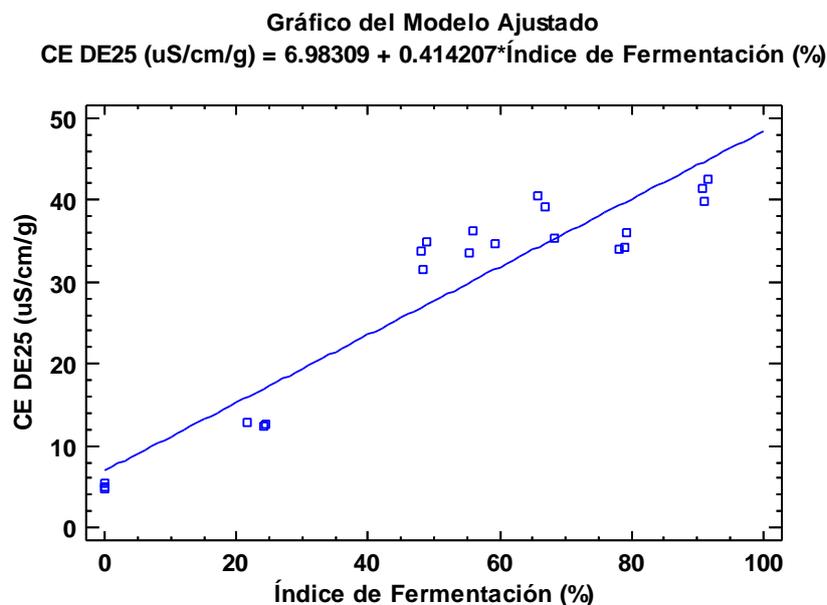
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 87.4958 por ciento

Error estándar del est. = 4.6963

Error absoluto medio = 4.07145

Estadístico Durbin-Watson = 0.600506 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.682947



**ANEXO 30: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE TE25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE TE25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	7.0824	0.988409	7.16545	0.0000
Pendiente	0.423484	0.0171583	24.6811	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2974.24	1	2974.24	609.16	0.0000
Residuo	92.7686	19	4.88256		
Total (Corr.)	3067.01	20			

Coefficiente de Correlación = 0.98476

R-cuadrada = 96.9753 por ciento

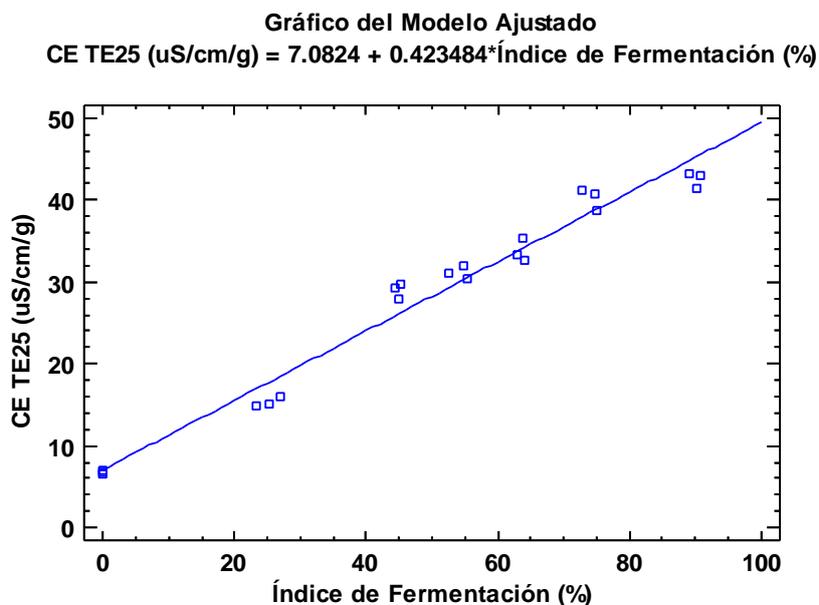
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 96.8161 por ciento

Error estándar del est. = 2.20965

Error absoluto medio = 1.75315

Estadístico Durbin-Watson = 1.24257 (P=0.0182)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.34233



## ANEXO 31: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH UE15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH UE15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	3.33491	0.185586	17.9696	0.0000
Pendiente	0.0188768	0.00324379	5.81937	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	6.18779	1	6.18779	33.87	0.0000
Residuo	3.47167	19	0.182719		
Total (Corr.)	9.65946	20			

Coefficiente de Correlación = 0.800371

R-cuadrada = 64.0594 por ciento

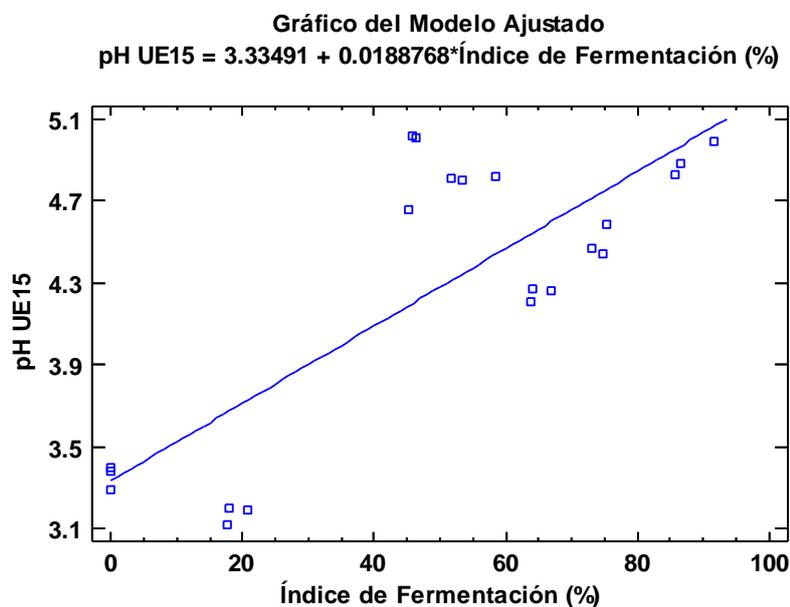
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 62.1678 por ciento

Error estándar del est. = 0.427457

Error absoluto medio = 0.337642

Estadístico Durbin-Watson = 0.581661 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.707368



## ANEXO 32: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH DE15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH DE15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.0667	0.121458	33.4822	0.0000
Pendiente	0.00387553	0.00202741	1.91157	0.0711

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.272141	1	0.272141	3.65	0.0711
Residuo	1.41504	19	0.0744758		
Total (Corr.)	1.68718	20			

Coefficiente de Correlación = 0.401621

R-cuadrada = 16.1299 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 11.7157 por ciento

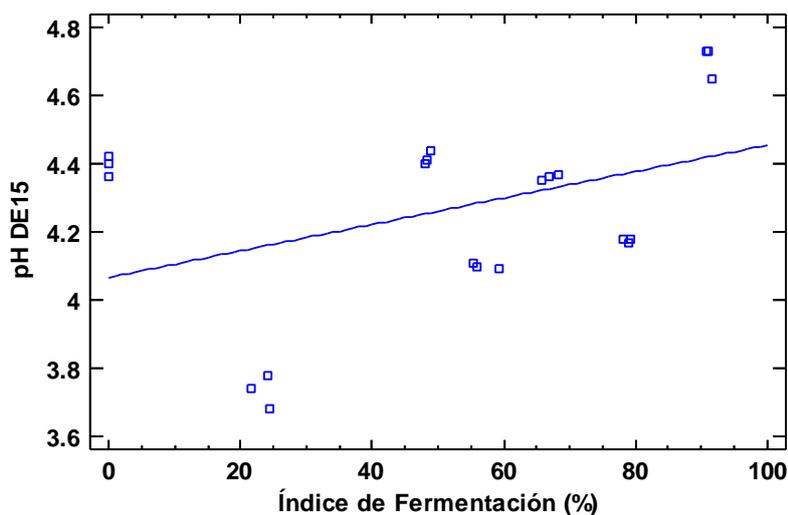
Error estándar del est. = 0.272902

Error absoluto medio = 0.230296

Estadístico Durbin-Watson = 0.924225 (P=0.0014)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.459405

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH DE15} = 4.0667 + 0.00387553 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



### ANEXO 33: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

#### Regresión Simple - pH TE15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH TE15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.1723	0.105239	39.646	0.0000
Pendiente	0.0107591	0.00182689	5.8893	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1.91979	1	1.91979	34.68	0.0000
Residuo	1.05167	19	0.0553512		
Total (Corr.)	2.97147	20			

Coefficiente de Correlación = 0.803789

R-cuadrada = 64.6076 por ciento

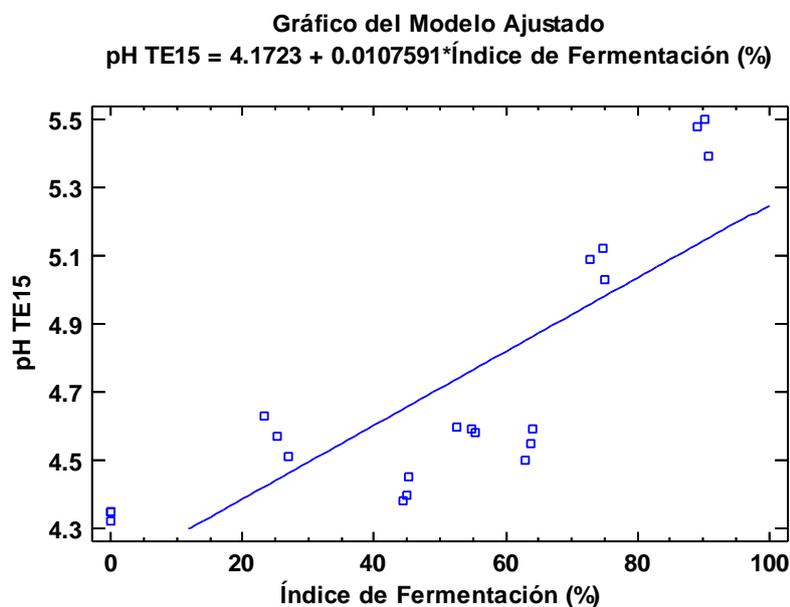
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 62.7449 por ciento

Error estándar del est. = 0.235268

Error absoluto medio = 0.205827

Estadístico Durbin-Watson = 0.491101 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.711555



## ANEXO 34: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH UE20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH UE20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	3.36142	0.193813	17.3436	0.0000
Pendiente	0.0173203	0.00338758	5.11288	0.0001

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	5.20944	1	5.20944	26.14	0.0001
Residuo	3.78628	19	0.199278		
Total (Corr.)	8.99572	20			

Coefficiente de Correlación = 0.760987

R-cuadrada = 57.9102 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 55.6949 por ciento

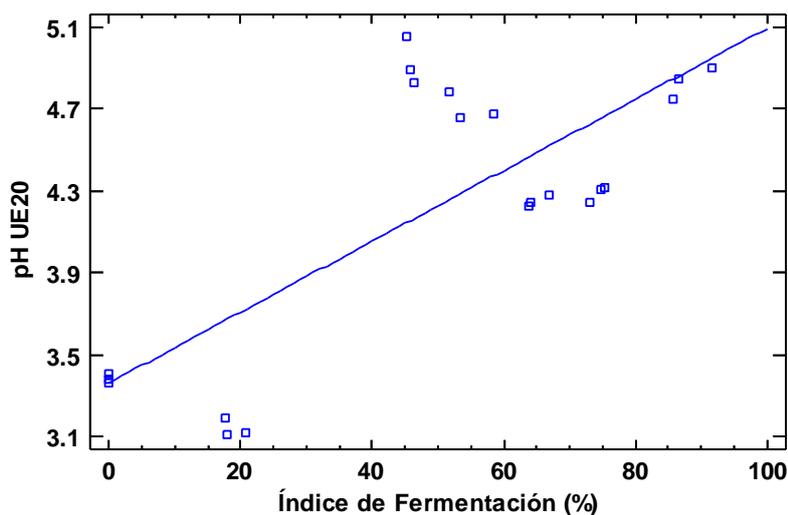
Error estándar del est. = 0.446406

Error absoluto medio = 0.341062

Estadístico Durbin-Watson = 0.786833 (P=0.0003)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.606562

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH UE20} = 3.36142 + 0.0173203 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



## ANEXO 35: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH DE20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH DE20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4.0182	0.11086	36.2458	0.0000
Pendiente	0.00412031	0.0018505	2.2266	0.0383

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.307605	1	0.307605	4.96	0.0383
Residuo	1.17886	19	0.0620454		
Total (Corr.)	1.48647	20			

Coefficiente de Correlación = 0.454903

R-cuadrada = 20.6937 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 16.5197 por ciento

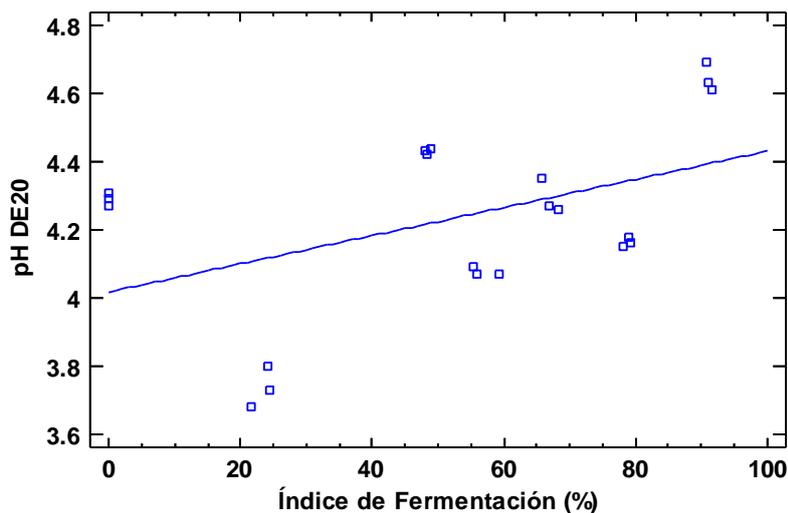
Error estándar del est. = 0.249089

Error absoluto medio = 0.215464

Estadístico Durbin-Watson = 0.966398 (P=0.0021)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.447749

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**pH DE20 = 4.0182 + 0.00412031\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 36: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH TE20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH TE20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.08394	0.113921	35.849	0.0000
Pendiente	0.0113042	0.0019776	5.7161	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	2.11923	1	2.11923	32.67	0.0000
Residuo	1.23235	19	0.0648604		
Total (Corr.)	3.35158	20			

Coefficiente de Correlación = 0.795178

R-cuadrada = 63.2308 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 61.2956 por ciento

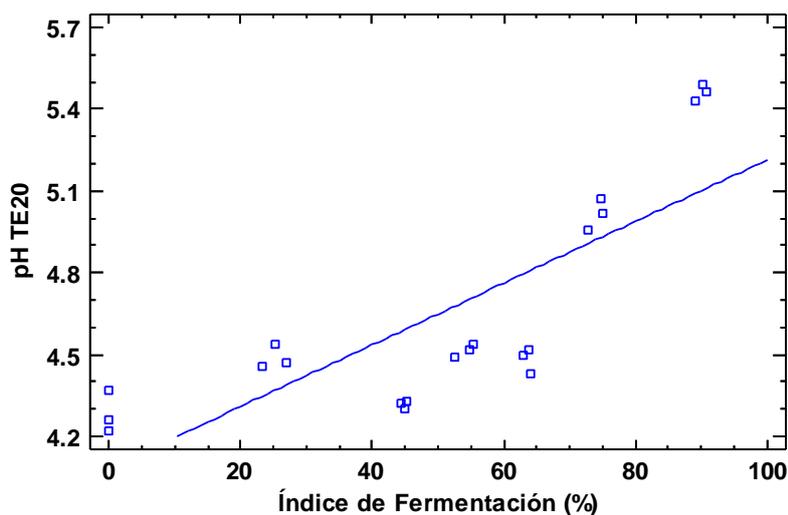
Error estándar del est. = 0.254677

Error absoluto medio = 0.221135

Estadístico Durbin-Watson = 0.504342 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.664611

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**pH TE20 = 4.08394 + 0.0113042\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 37: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH UE25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH UE25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	3.25823	0.174772	18.6427	0.0000
Pendiente	0.0187422	0.00305478	6.13536	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	6.09985	1	6.09985	37.64	0.0000
Residuo	3.07888	19	0.162046		
Total (Corr.)	9.17872	20			

Coefficiente de Correlación = 0.815208

R-cuadrada = 66.4564 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 64.6909 por ciento

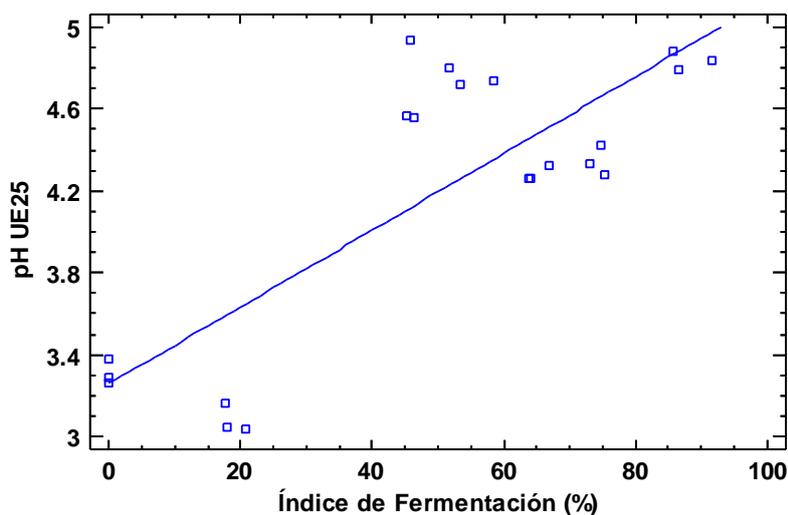
Error estándar del est. = 0.40255

Error absoluto medio = 0.315906

Estadístico Durbin-Watson = 0.6623 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.667456

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH UE25} = 3.25823 + 0.0187422 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



## ANEXO 38: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH DE25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH DE25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	3.96428	0.123376	32.1317	0.0000
Pendiente	0.00484284	0.00205942	2.35155	0.0296

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.424946	1	0.424946	5.53	0.0296
Residuo	1.46008	19	0.0768465		
Total (Corr.)	1.88503	20			

Coefficiente de Correlación = 0.474797

R-cuadrada = 22.5432 por ciento

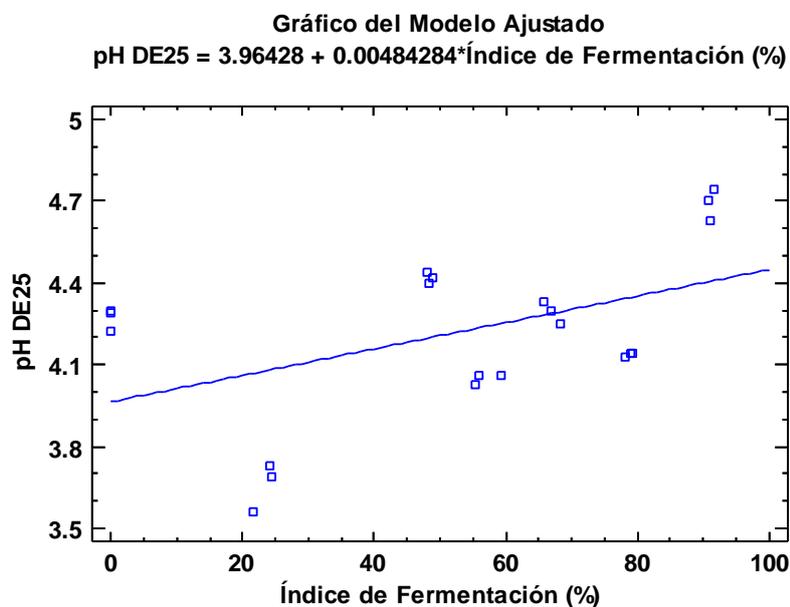
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 18.4665 por ciento

Error estándar del est. = 0.277212

Error absoluto medio = 0.237412

Estadístico Durbin-Watson = 1.01469 (P=0.0032)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.440135



## ANEXO 39: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH TE25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH TE25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.10792	0.0961867	42.7078	0.0000
Pendiente	0.0101645	0.00166975	6.08743	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1.71345	1	1.71345	37.06	0.0000
Residuo	0.878531	19	0.0462385		
Total (Corr.)	2.59198	20			

Coefficiente de Correlación = 0.813055

R-cuadrada = 66.1058 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 64.3219 por ciento

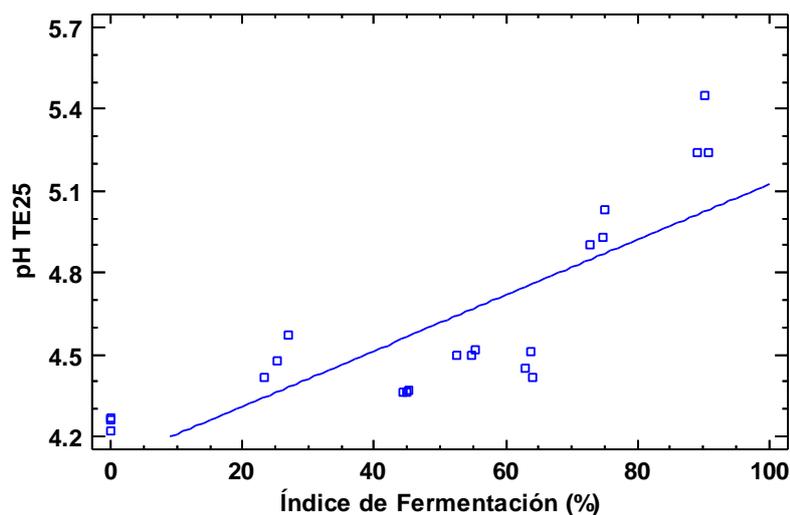
Error estándar del est. = 0.215031

Error absoluto medio = 0.184909

Estadístico Durbin-Watson = 0.476141 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.721768

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH TE25} = 4.10792 + 0.0101645 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



**ANEXO 40: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL PRIMER LOTE (UE15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix UE15 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix UE15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.501169	0.0481476	10.409	0.0000
Pendiente	-0.000505006	0.000841554	-0.600088	0.5555

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00442866	1	0.00442866	0.36	0.5555
Residuo	0.233667	19	0.0122982		
Total (Corr.)	0.238095	20			

Coefficiente de Correlación = -0.136383

R-cuadrada = 1.86004 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -3.30522 por ciento

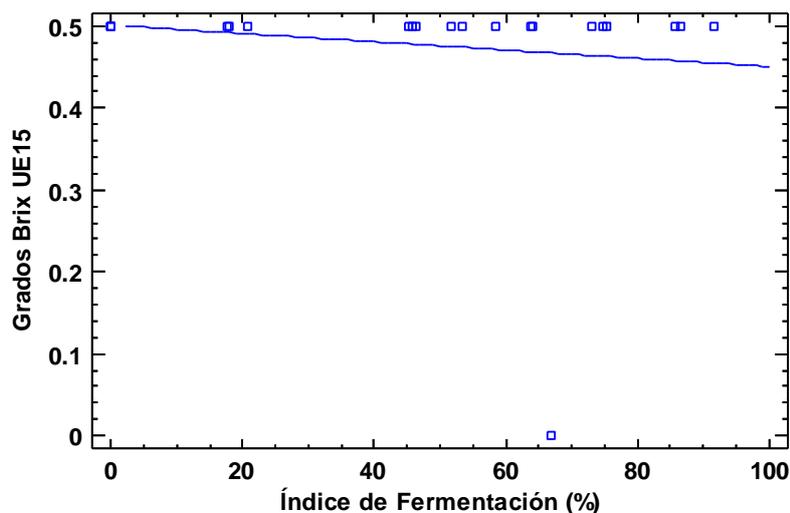
Error estándar del est. = 0.110897

Error absoluto medio = 0.0448418

Estadístico Durbin-Watson = 2.15234 (P=0.5458)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0800561

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix UE15 = 0.501169 - 0.000505006\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 41: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix DE20 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix DE20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.312699	0.12857	2.43214	0.0251
Pendiente	0.00449928	0.00214611	2.09648	0.0497

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.366791	1	0.366791	4.40	0.0497
Residuo	1.58559	19	0.0834521		
Total (Corr.)	1.95238	20			

Coefficiente de Correlación = 0.433438

R-cuadrada = 18.7869 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 14.5125 por ciento

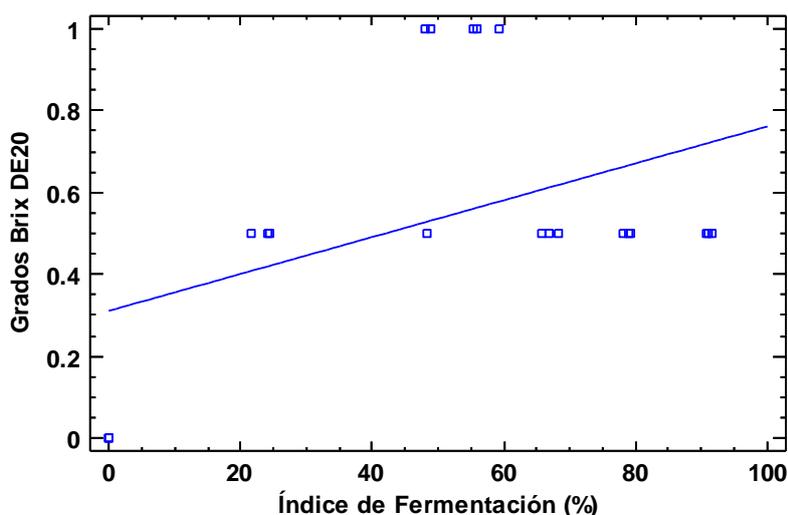
Error estándar del est. = 0.288881

Error absoluto medio = 0.236194

Estadístico Durbin-Watson = 0.688491 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.609568

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix DE20 = 0.312699 + 0.00449928\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 42: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix TE20 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix TE20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.569196	0.0822778	6.91798	0.0000
Pendiente	0.0000444048	0.0014283	0.0310893	0.9755

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0000327009	1	0.0000327009	0.00	0.9755
Residuo	0.642824	19	0.0338329		
Total (Corr.)	0.642857	20			

Coefficiente de Correlación = 0.00713219

R-cuadrada = 0.00508681 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -5.2578 por ciento

Error estándar del est. = 0.183937

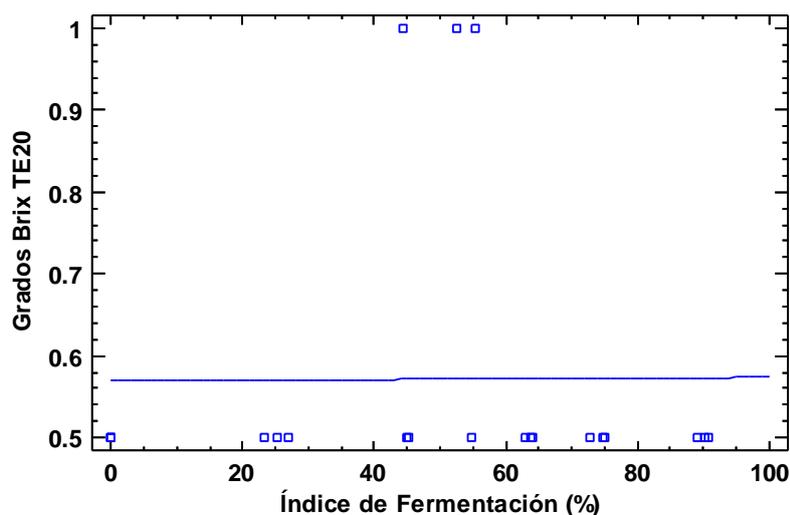
Error absoluto medio = 0.122443

Estadístico Durbin-Watson = 2.33235 (P=0.7061)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.17407

**Gráfico del Modelo Ajustado**

**Grados Brix TE20 = 0.569196 + 0.0000444048\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 43: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL SEGUNDO LOTE (DE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix DE25 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix DE25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.2914	0.130025	2.24111	0.0372
Pendiente	0.00536321	0.0021704	2.47107	0.0231

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.521174	1	0.521174	6.11	0.0231
Residuo	1.62168	19	0.0853517		
Total (Corr.)	2.14286	20			

Coefficiente de Correlación = 0.493168

R-cuadrada = 24.3215 por ciento

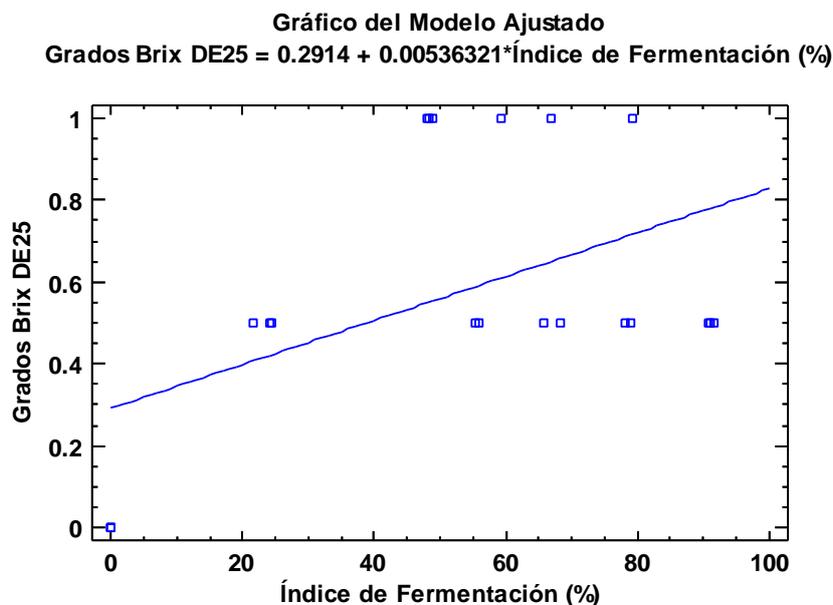
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 20.3384 por ciento

Error estándar del est. = 0.29215

Error absoluto medio = 0.24948

Estadístico Durbin-Watson = 1.25491 (P=0.0196)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.32259



**ANEXO 44: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS DEL TERCER LOTE (TE25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix TE25 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix TE25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.442234	0.0880045	5.02513	0.0001
Pendiente	0.00588361	0.00152771	3.85126	0.0011

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.574102	1	0.574102	14.83	0.0011
Residuo	0.735422	19	0.0387064		
Total (Corr.)	1.30952	20			

Coefficiente de Correlación = 0.662121

R-cuadrada = 43.8405 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 40.8847 por ciento

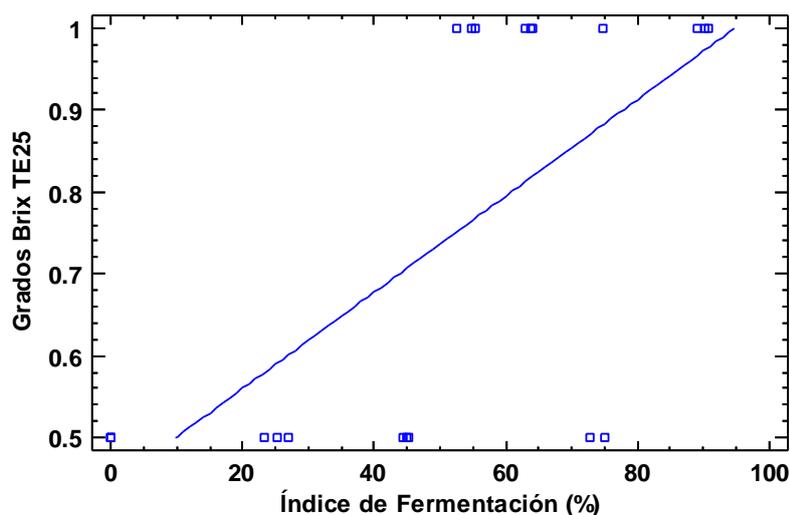
Error estándar del est. = 0.19674

Error absoluto medio = 0.156585

Estadístico Durbin-Watson = 0.872337 (P=0.0008)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.561161

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix TE25 = 0.442234 + 0.00588361\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 45: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE UC15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE UC15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	43.8989	1.39299	31.5141	0.0000
Pendiente	0.288312	0.0243475	11.8415	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1443.46	1	1443.46	140.22	0.0000
Residuo	195.588	19	10.2941		
Total (Corr.)	1639.05	20			

Coefficiente de Correlación = 0.93844

R-cuadrada = 88.067 por ciento

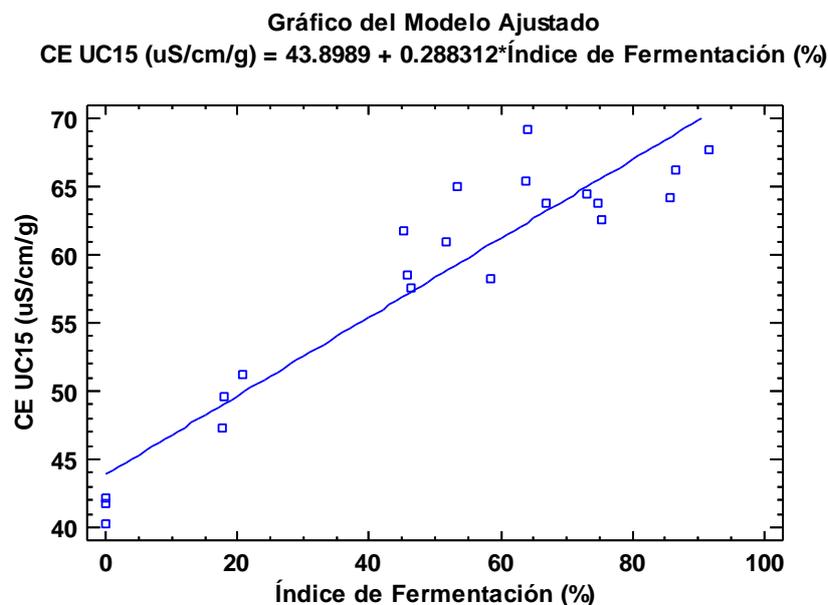
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 87.4389 por ciento

Error estándar del est. = 3.20844

Error absoluto medio = 2.53048

Estadístico Durbin-Watson = 1.36905 ( $P=0.0388$ )

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.262847



**ANEXO 46: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE DC15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE DC15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	45.1785	1.76081	25.6578	0.0000
Pendiente	0.238731	0.0293918	8.12237	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1032.65	1	1032.65	65.97	0.0000
Residuo	297.399	19	15.6526		
Total (Corr.)	1330.04	20			

Coefficiente de Correlación = 0.881135

R-cuadrada = 77.6399 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 76.4631 por ciento

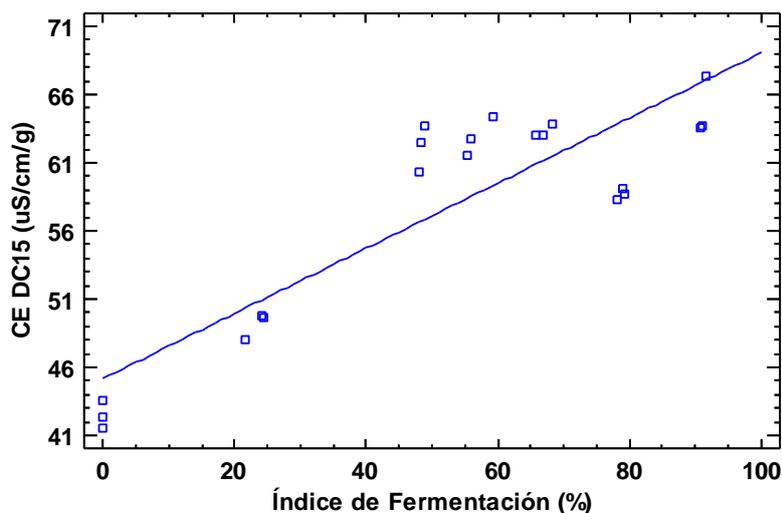
Error estándar del est. = 3.95633

Error absoluto medio = 3.35755

Estadístico Durbin-Watson = 0.642737 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.656091

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**CE DC15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) = 45.1785 + 0.238731\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 47: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE TC15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE TC15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) (15 granos cortados lote 3)

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	42.451	1.70434	24.9075	0.0000
Pendiente	0.260312	0.0295865	8.79835	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1123.8	1	1123.8	77.41	0.0000
Residuo	275.83	19	14.5174		
Total (Corr.)	1399.63	20			

Coefficiente de Correlación = 0.896062

R-cuadrada = 80.2927 por ciento

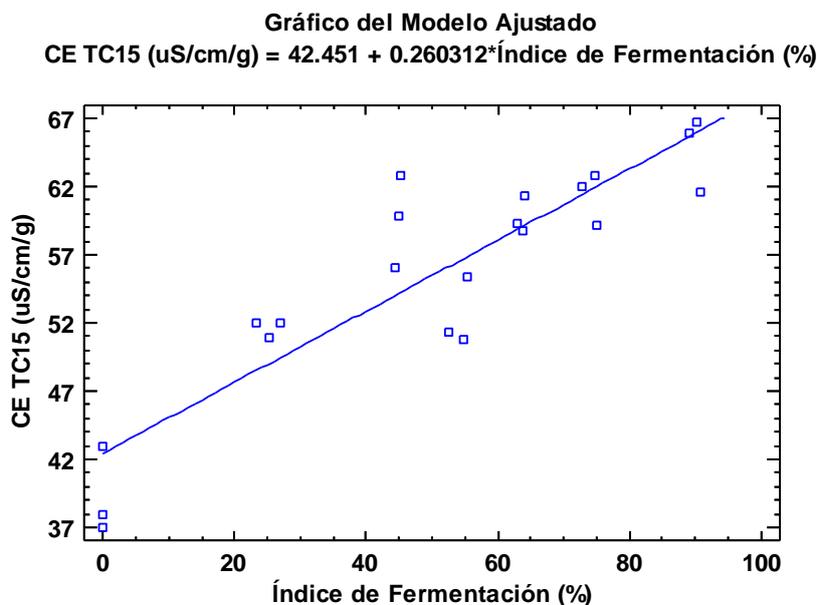
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.2555 por ciento

Error estándar del est. = 3.81017

Error absoluto medio = 2.83359

Estadístico Durbin-Watson = 1.16383 (P=0.0106)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.381385



**ANEXO 48: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE UC20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE UC20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	39.7296	1.9908	19.9566	0.0000
Pendiente	0.319587	0.0347965	9.18446	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1773.61	1	1773.61	84.35	0.0000
Residuo	399.488	19	21.0257		
Total (Corr.)	2173.09	20			

Coefficiente de Correlación = 0.903419

R-cuadrada = 81.6166 por ciento

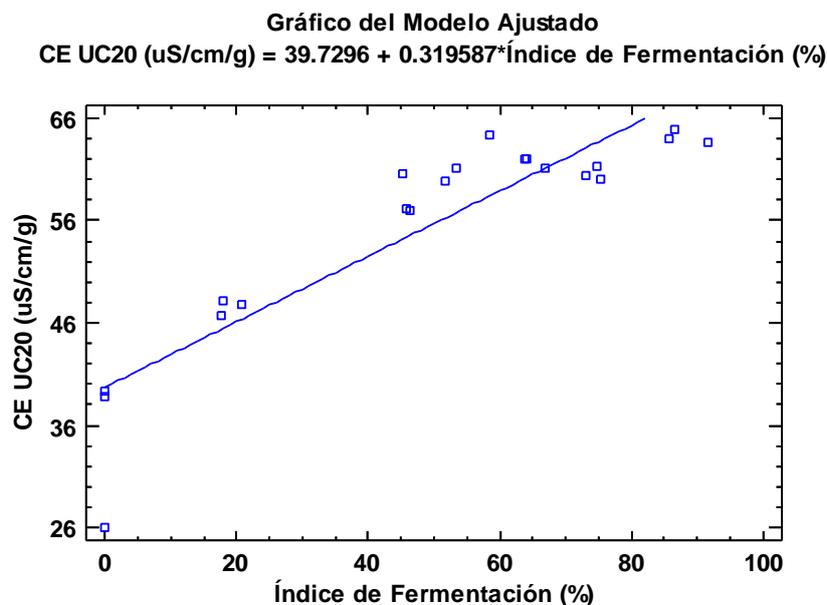
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.6491 por ciento

Error estándar del est. = 4.58538

Error absoluto medio = 3.31032

Estadístico Durbin-Watson = 1.1967 (P=0.0133)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.392808



## ANEXO 49: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE DC20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE DC20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	43.2605	1.51202	28.611	0.0000
Pendiente	0.23871	0.025239	9.45798	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1032.46	1	1032.46	89.45	0.0000
Residuo	219.296	19	11.5419		
Total (Corr.)	1251.76	20			

Coefficiente de Correlación = 0.90819

R-cuadrada = 82.481 por ciento

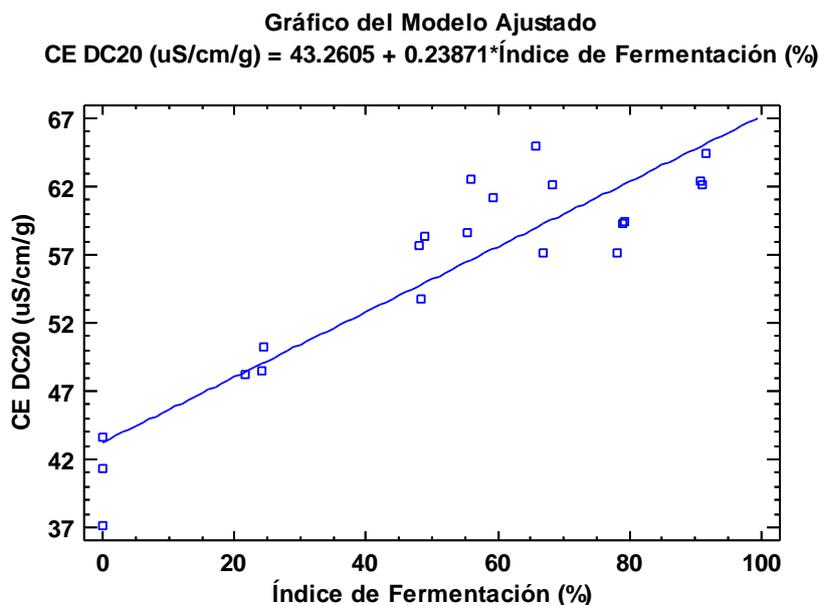
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.5589 por ciento

Error estándar del est. = 3.39734

Error absoluto medio = 2.70498

Estadístico Durbin-Watson = 1.57353 (P=0.1043)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.189977



## ANEXO 50: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE TC20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE TC20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	38.6859	1.73019	22.3593	0.0000
Pendiente	0.28263	0.0300352	9.40993	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1324.76	1	1324.76	88.55	0.0000
Residuo	284.261	19	14.9611		
Total (Corr.)	1609.02	20			

Coefficiente de Correlación = 0.907377

R-cuadrada = 82.3333 por ciento

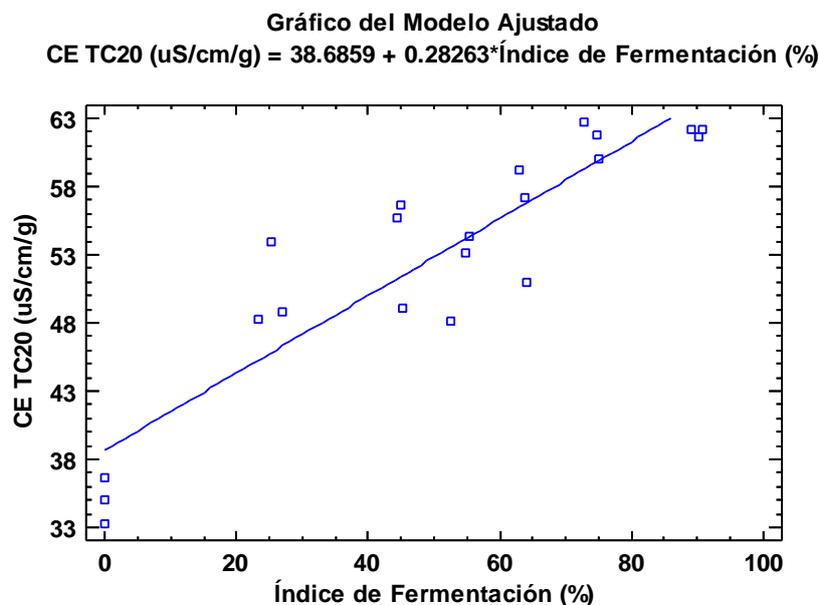
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.4035 por ciento

Error estándar del est. = 3.86796

Error absoluto medio = 3.0695

Estadístico Durbin-Watson = 1.42261 (P=0.0516)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.27342



## ANEXO 51: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE UC25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE UC25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	41.1066	1.17418	35.0089	0.0000
Pendiente	0.290456	0.020523	14.1527	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1465.01	1	1465.01	200.30	0.0000
Residuo	138.968	19	7.31411		
Total (Corr.)	1603.98	20			

Coefficiente de Correlación = 0.955699

R-cuadrada = 91.336 por ciento

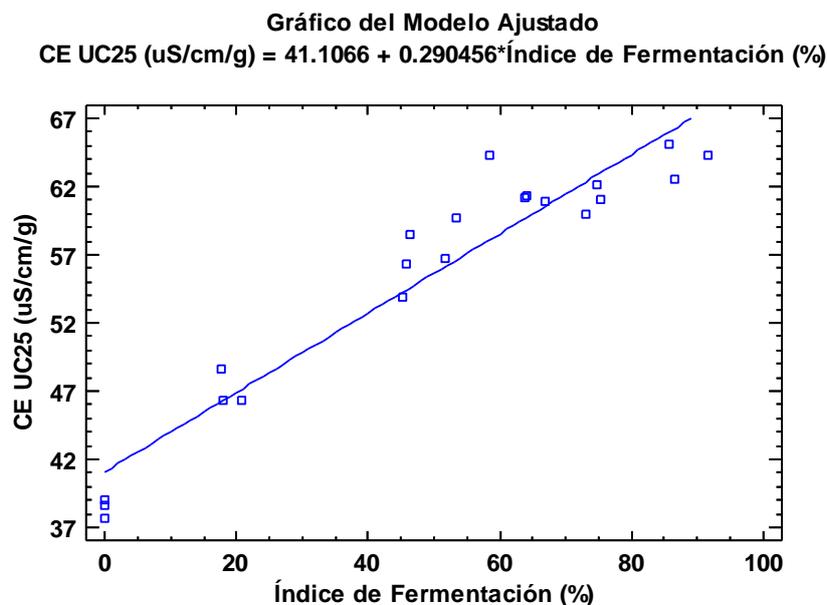
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 90.88 por ciento

Error estándar del est. = 2.70446

Error absoluto medio = 2.10171

Estadístico Durbin-Watson = 1.00882 (P=0.0031)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.430077



## ANEXO 52: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE DC25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE DC25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	42.8252	1.51534	28.2611	0.0000
Pendiente	0.214863	0.0252943	8.49452	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	836.484	1	836.484	72.16	0.0000
Residuo	220.259	19	11.5926		
Total (Corr.)	1056.74	20			

Coefficiente de Correlación = 0.889701

R-cuadrada = 79.1568 por ciento

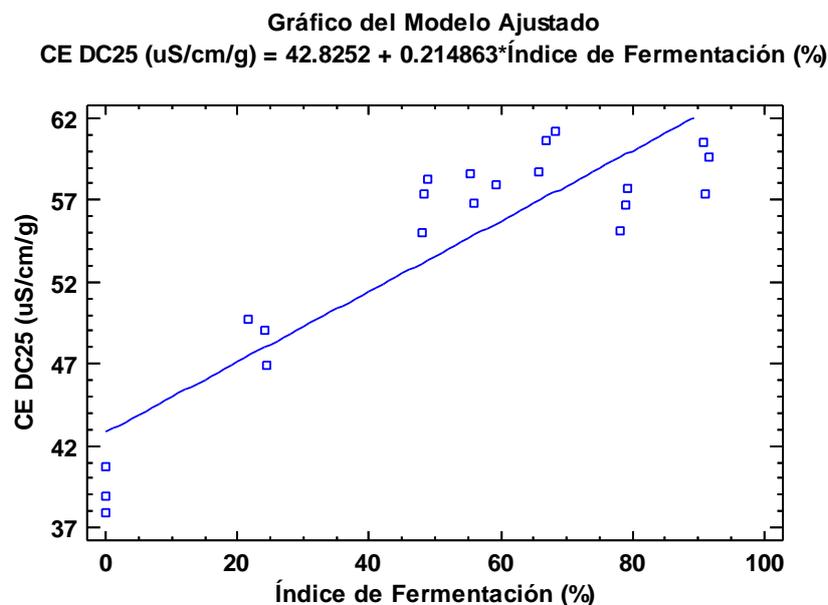
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.0598 por ciento

Error estándar del est. = 3.40479

Error absoluto medio = 2.99322

Estadístico Durbin-Watson = 0.856435 (P=0.0007)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.554772



**ANEXO 53: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE TC25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE TC25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	37.664	1.40003	26.9024	0.0000
Pendiente	0.274958	0.0243037	11.3134	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1253.82	1	1253.82	127.99	0.0000
Residuo	186.123	19	9.79594		
Total (Corr.)	1439.94	20			

Coefficiente de Correlación = 0.933136

R-cuadrada = 87.0742 por ciento

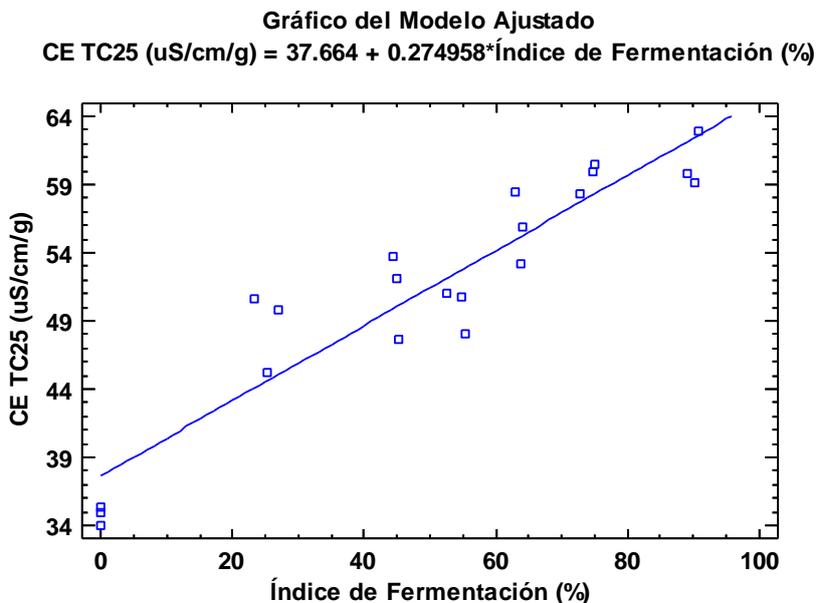
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86.3939 por ciento

Error estándar del est. = 3.12985

Error absoluto medio = 2.55202

Estadístico Durbin-Watson = 1.27705 (P=0.0226)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.326153



## ANEXO 54: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH UC15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH UC15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.65707	0.116089	40.1164	0.0000
Pendiente	-0.000422041	0.00202907	-0.207997	0.8374

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00309307	1	0.00309307	0.04	0.8374
Residuo	1.3584	19	0.0714949		
Total (Corr.)	1.3615	20			

Coefficiente de Correlación = -0.0476636

R-cuadrada = 0.227182 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -5.02402 por ciento

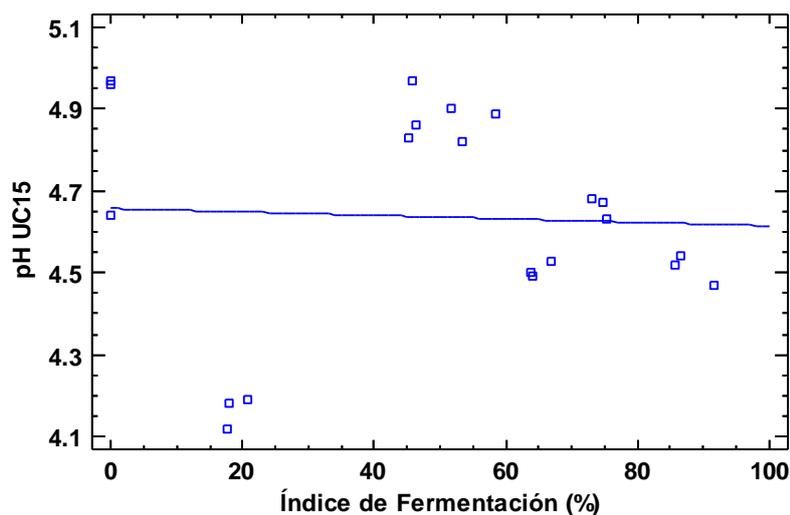
Error estándar del est. = 0.267385

Error absoluto medio = 0.20698

Estadístico Durbin-Watson = 1.18171 (P=0.0120)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.37298

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH UC15} = 4.65707 - 0.000422041 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



## ANEXO 55: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH DC15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH DC15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4.57138	0.0924268	49.4595	0.0000
Pendiente	0.000730503	0.00154281	0.473489	0.6413

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00966888	1	0.00966888	0.22	0.6413
Residuo	0.819426	19	0.0431277		
Total (Corr.)	0.829095	20			

Coefficiente de Correlación = 0.107991

R-cuadrada = 1.1662 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -4.03558 por ciento

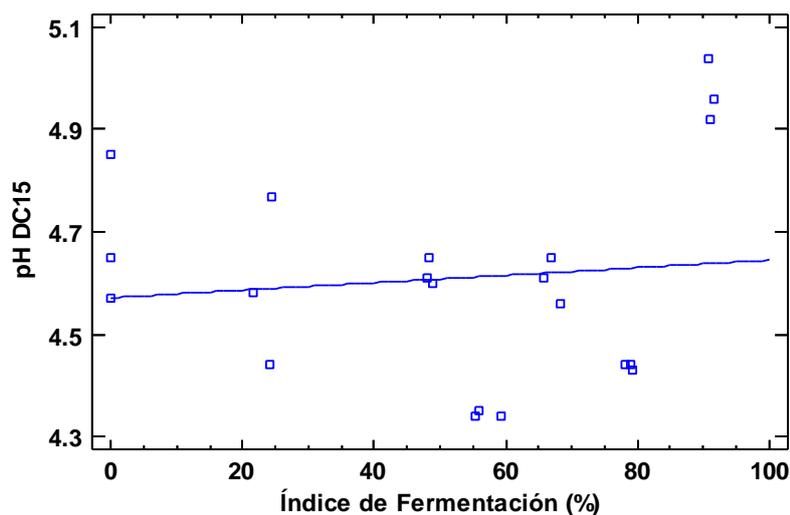
Error estándar del est. = 0.207672

Error absoluto medio = 0.154362

Estadístico Durbin-Watson = 0.898986 (P=0.0011)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.45171

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH DC15} = 4.57138 + 0.000730503 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



## ANEXO 56: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH TC15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH TC15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.98933	0.0786037	63.4745	0.0000
Pendiente	-0.00318735	0.00136452	-2.33588	0.0306

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.168485	1	0.168485	5.46	0.0306
Residuo	0.586696	19	0.0308787		
Total (Corr.)	0.755181	20			

Coefficiente de Correlación = -0.47234

R-cuadrada = 22.3105 por ciento

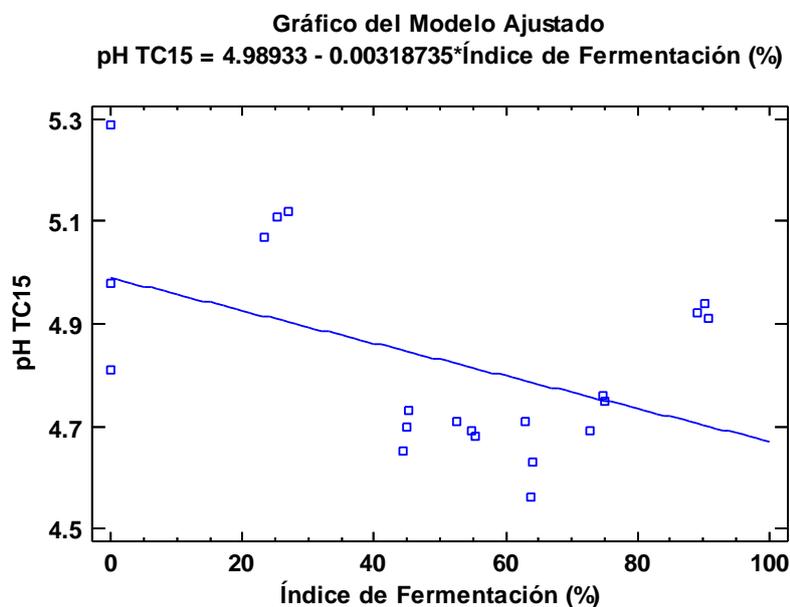
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 18.2216 por ciento

Error estándar del est. = 0.175723

Error absoluto medio = 0.147155

Estadístico Durbin-Watson = 1.12032 (P=0.0077)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.37497



## ANEXO 57: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH UC20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH UC20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4.52126	0.104784	43.1484	0.0000
Pendiente	0.00102389	0.00183148	0.559051	0.5827

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0182049	1	0.0182049	0.31	0.5827
Residuo	1.10672	19	0.0582484		
Total (Corr.)	1.12492	20			

Coefficiente de Correlación = 0.127213

R-cuadrada = 1.61832 por ciento

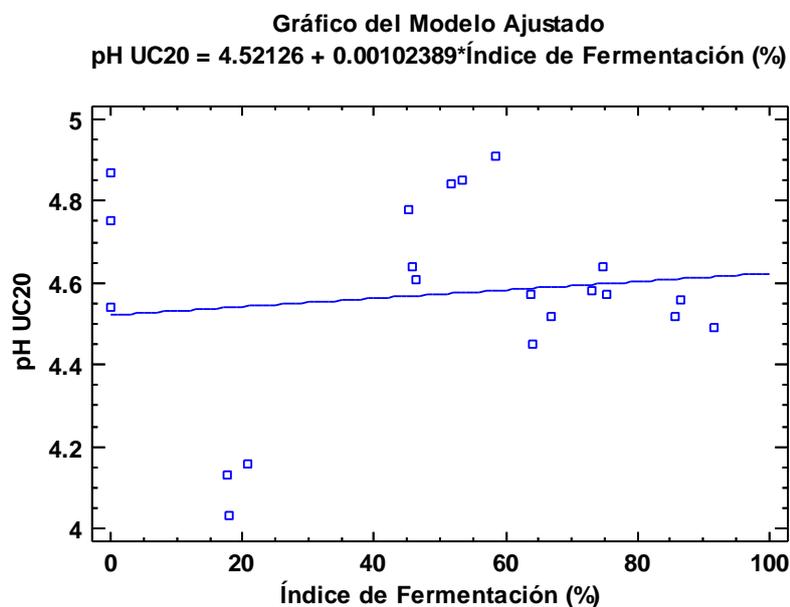
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -3.55966 por ciento

Error estándar del est. = 0.241347

Error absoluto medio = 0.174579

Estadístico Durbin-Watson = 1.0717 (P=0.0052)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.439381



## ANEXO 58: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH DC20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH DC20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4.5836	0.0908148	50.4719	0.0000
Pendiente	0.0000952311	0.0015159	0.0628215	0.9506

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00016432	1	0.00016432	0.00	0.9506
Residuo	0.791093	19	0.0416365		
Total (Corr.)	0.791257	20			

Coefficiente de Correlación = 0.0144107

R-cuadrada = 0.0207669 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -5.2413 por ciento

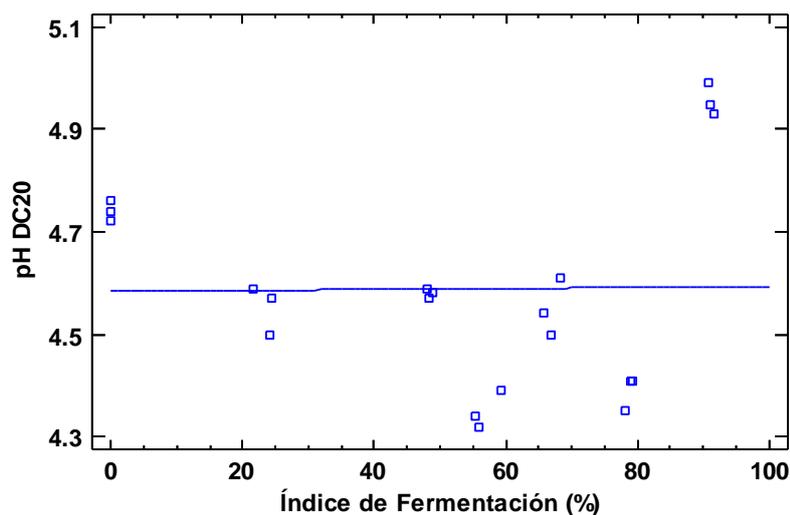
Error estándar del est. = 0.20405

Error absoluto medio = 0.15128

Estadístico Durbin-Watson = 0.641312 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.567585

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH DC20} = 4.5836 + 0.0000952311 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



## ANEXO 59: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH TC20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH TC20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	5.08098	0.0771831	65.8301	0.0000
Pendiente	-0.00499099	0.00133986	-3.72501	0.0014

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.413118	1	0.413118	13.88	0.0014
Residuo	0.565682	19	0.0297727		
Total (Corr.)	0.9788	20			

Coefficiente de Correlación = -0.649666

R-cuadrada = 42.2066 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 39.1648 por ciento

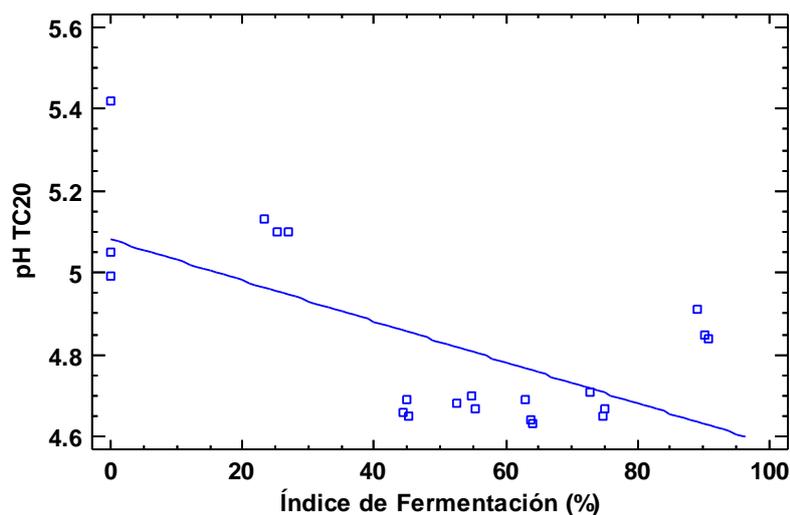
Error estándar del est. = 0.172548

Error absoluto medio = 0.143653

Estadístico Durbin-Watson = 0.681656 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.612297

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**pH TC20 = 5.08098 - 0.00499099\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 60: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - pH UC25 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: pH UC25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%) (Índice de Fermentación)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	4.50812	0.111412	40.4636	0.0000
Pendiente	0.00135692	0.00194732	0.696813	0.4944

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0319734	1	0.0319734	0.49	0.4944
Residuo	1.25115	19	0.06585		
Total (Corr.)	1.28312	20			

Coefficiente de Correlación = 0.157856

R-cuadrada = 2.49184 por ciento

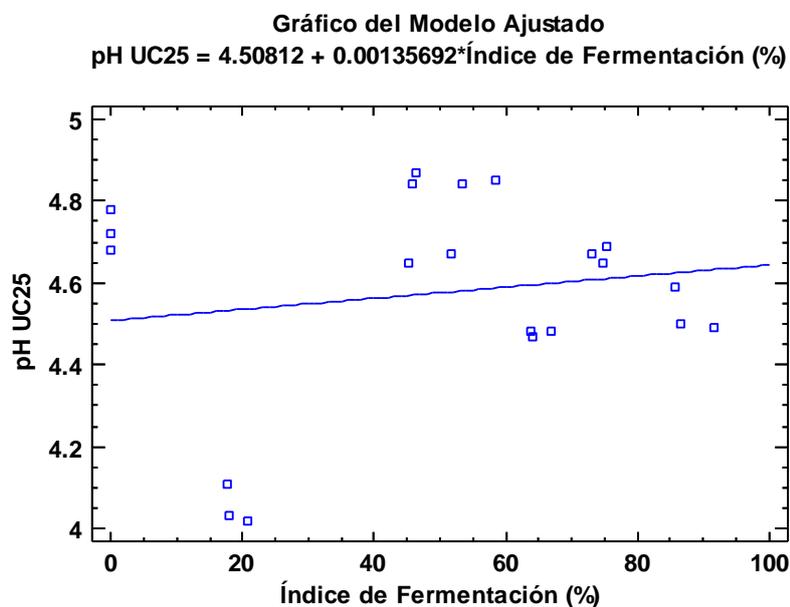
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -2.64017 por ciento

Error estándar del est. = 0.256613

Error absoluto medio = 0.200186

Estadístico Durbin-Watson = 0.954973 (P=0.0019)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.498256



## ANEXO 61: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH DC25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH DC25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.6095	0.0947614	48.6433	0.0000
Pendiente	-0.000400924	0.00158178	-0.253464	0.8026

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00291244	1	0.00291244	0.06	0.8026
Residuo	0.861345	19	0.0453339		
Total (Corr.)	0.864257	20			

Coefficiente de Correlación = -0.0580506

R-cuadrada = 0.336987 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -4.90843 por ciento

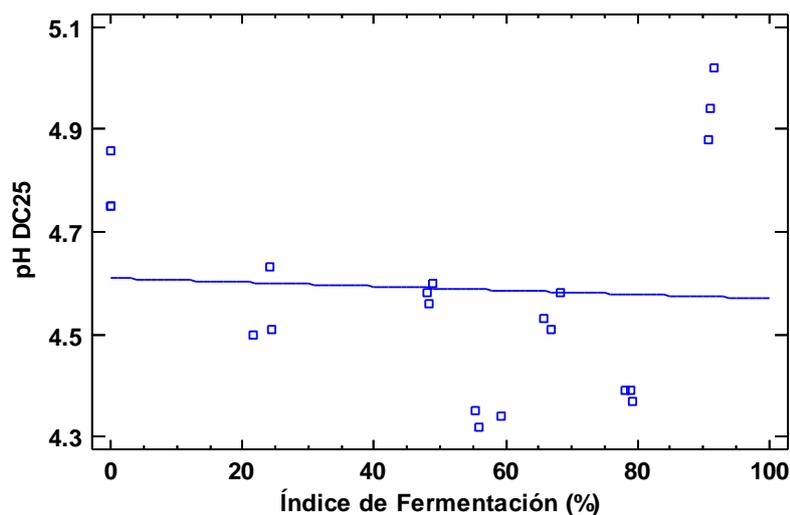
Error estándar del est. = 0.212918

Error absoluto medio = 0.161221

Estadístico Durbin-Watson = 0.72786 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.569956

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
 $\text{pH DC25} = 4.6095 - 0.000400924 \cdot \text{Índice de Fermentación (\%)}$



## ANEXO 62: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH TC25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH TC25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	5.03099	0.0680814	73.8967	0.0000
Pendiente	-0.00461257	0.00118186	-3.90281	0.0010

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.352847	1	0.352847	15.23	0.0010
Residuo	0.440134	19	0.0231649		
Total (Corr.)	0.792981	20			

Coefficiente de Correlación = -0.667055

R-cuadrada = 44.4963 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 41.575 por ciento

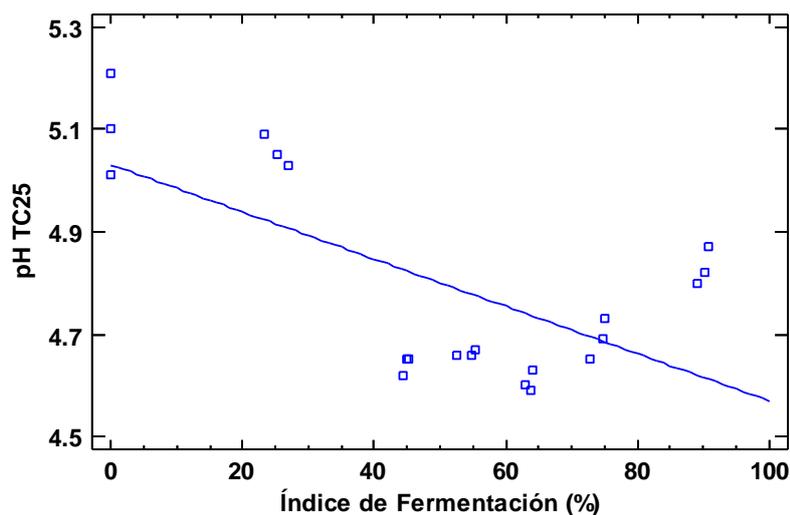
Error estándar del est. = 0.1522

Error absoluto medio = 0.129981

Estadístico Durbin-Watson = 0.52245 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.6582

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**pH TC25 = 5.03099 - 0.00461257\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 63: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brux UC15 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brux UC15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.375496	0.0748602	5.01597	0.0001
Pendiente	0.00588688	0.00130845	4.49911	0.0002

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.601796	1	0.601796	20.24	0.0002
Residuo	0.564871	19	0.0297301		
Total (Corr.)	1.16667	20			

Coefficiente de Correlación = 0.718209

R-cuadrada = 51.5825 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 49.0342 por ciento

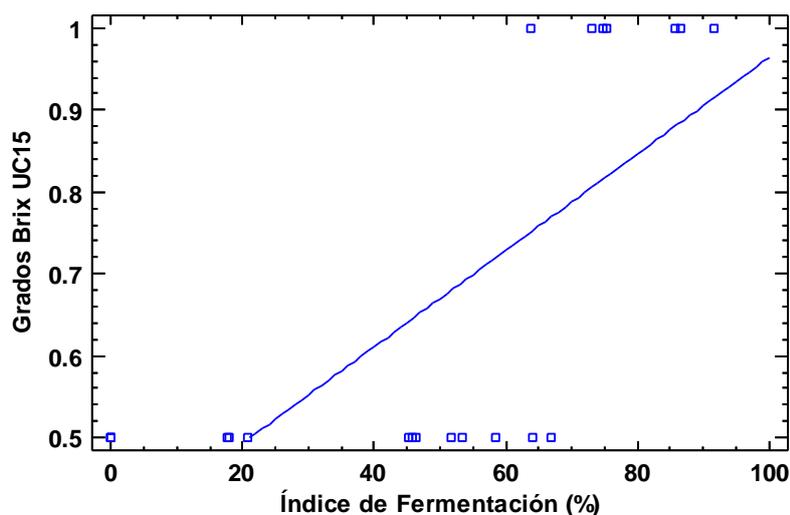
Error estándar del est. = 0.172424

Error absoluto medio = 0.147152

Estadístico Durbin-Watson = 1.37646 (P=0.0404)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.286488

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brux UC15 = 0.375496 + 0.00588688\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 64: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix DC15 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix DC15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.599212	0.0914595	6.55166	0.0000
Pendiente	0.00448398	0.00152666	2.93712	0.0085

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.364301	1	0.364301	8.63	0.0085
Residuo	0.802365	19	0.0422298		
Total (Corr.)	1.16667	20			

Coefficiente de Correlación = 0.558801

R-cuadrada = 31.2258 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 27.6061 por ciento

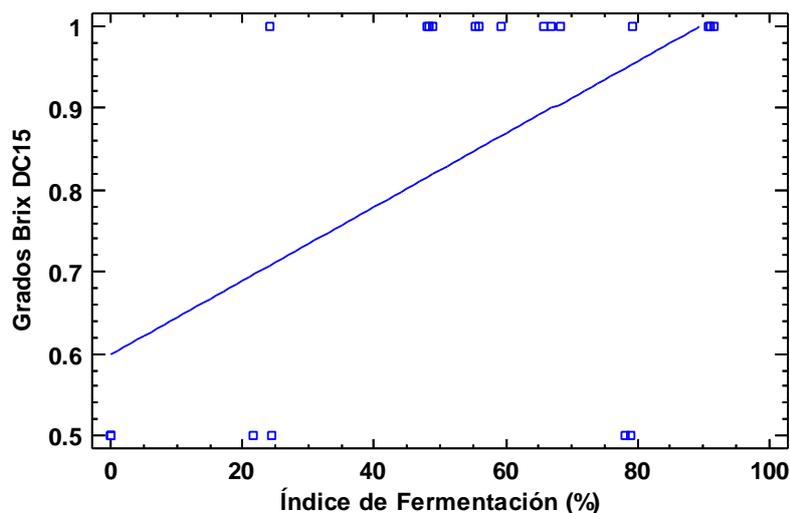
Error estándar del est. = 0.205499

Error absoluto medio = 0.155049

Estadístico Durbin-Watson = 1.02753 (P=0.0036)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.48008

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix DC15 = 0.599212 + 0.00448398\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 65: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAÓ CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brux TC15 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brux TC15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.727238	0.115342	6.30506	0.0000
Pendiente	0.00116288	0.00200227	0.580779	0.5682

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.022427	1	0.022427	0.34	0.5682
Residuo	1.26329	19	0.0664888		
Total (Corr.)	1.28571	20			

Coefficiente de Correlación = 0.132073

R-cuadrada = 1.74432 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -3.42703 por ciento

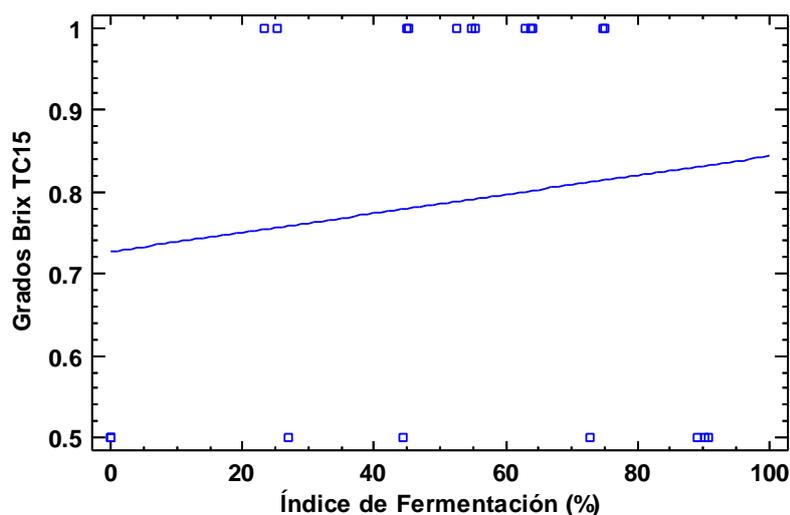
Error estándar del est. = 0.257854

Error absoluto medio = 0.240626

Estadístico Durbin-Watson = 1.59523 (P=0.1143)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.138145

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brux TC15 = 0.727238 + 0.00116288\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 66: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix UC20 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix UC20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.568819	0.0905699	6.28044	0.0000
Pendiente	0.00486657	0.00158304	3.0742	0.0062

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.411268	1	0.411268	9.45	0.0062
Residuo	0.826828	19	0.0435172		
Total (Corr.)	1.2381	20			

Coefficiente de Correlación = 0.576349

R-cuadrada = 33.2178 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 29.7029 por ciento

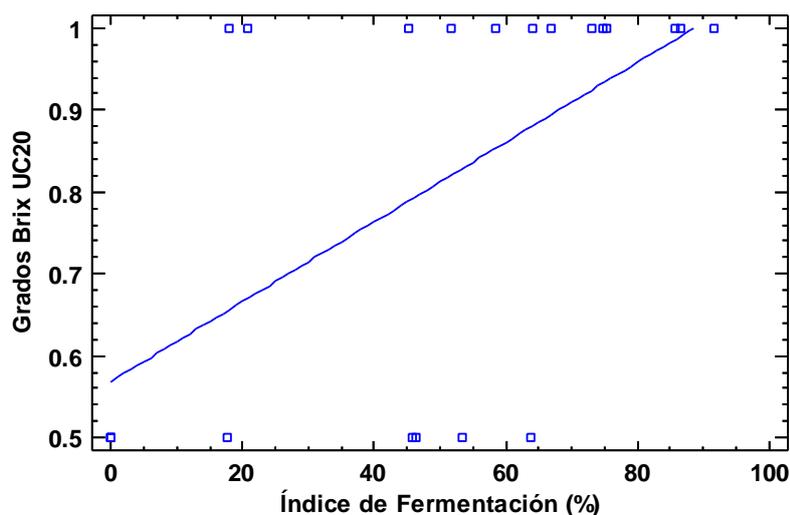
Error estándar del est. = 0.208608

Error absoluto medio = 0.158914

Estadístico Durbin-Watson = 2.07371 (P=0.4721)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0397705

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix UC20 = 0.568819 + 0.00486657\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 67: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix DC20 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix DC20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.50662	0.0515426	9.82916	0.0000
Pendiente	0.00671334	0.00086036	7.80295	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.816601	1	0.816601	60.89	0.0000
Residuo	0.254827	19	0.013412		
Total (Corr.)	1.07143	20			

Coefficiente de Correlación = 0.873018

R-cuadrada = 76.2161 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 74.9643 por ciento

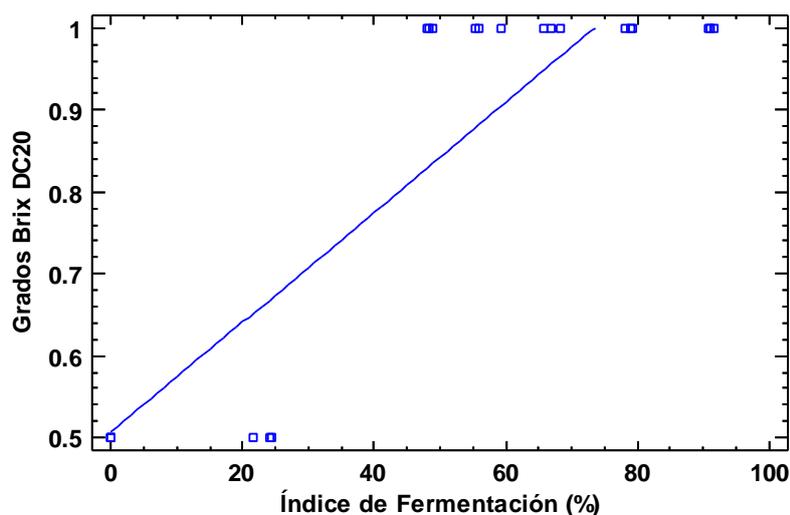
Error estándar del est. = 0.11581

Error absoluto medio = 0.0924728

Estadístico Durbin-Watson = 0.59597 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.675836

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix DC20 = 0.50662 + 0.00671334\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 68: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL TERCER LOTE (TC20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix TC20 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix TC20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.79991	0.0561994	14.2334	0.0000
Pendiente	0.0030321	0.000975591	3.10796	0.0058

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.152471	1	0.152471	9.66	0.0058
Residuo	0.29991	19	0.0157847		
Total (Corr.)	0.452381	20			

Coefficiente de Correlación = 0.580553

R-cuadrada = 33.7042 por ciento

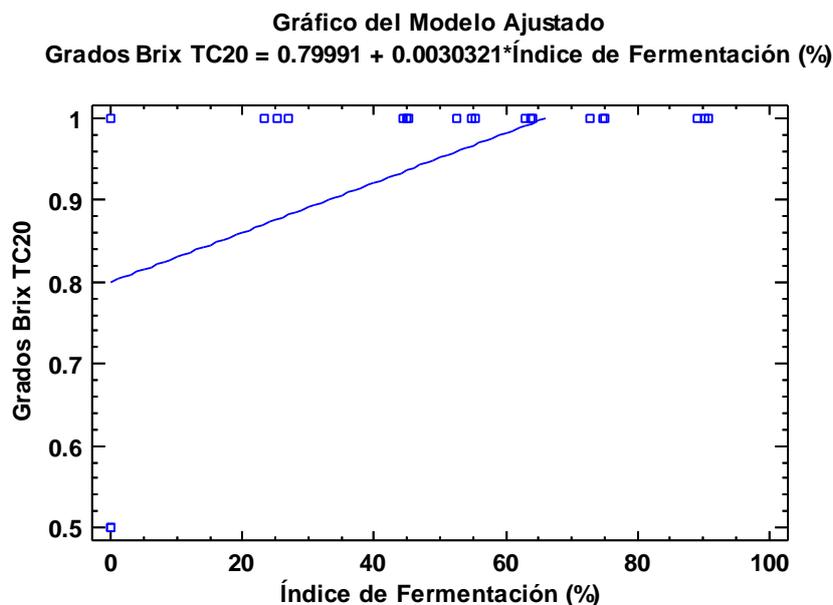
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 30.2149 por ciento

Error estándar del est. = 0.125637

Error absoluto medio = 0.084962

Estadístico Durbin-Watson = 2.31123 (P=0.6884)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.314905



**ANEXO 69: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL PRIMER LOTE (UC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix UC25 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix UC25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.78181	0.0697204	11.2135	0.0000
Pendiente	0.00296723	0.00121862	2.43492	0.0249

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.152891	1	0.152891	5.93	0.0249
Residuo	0.489967	19	0.0257877		
Total (Corr.)	0.642857	20			

Coefficiente de Correlación = 0.487678

R-cuadrada = 23.783 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 19.7716 por ciento

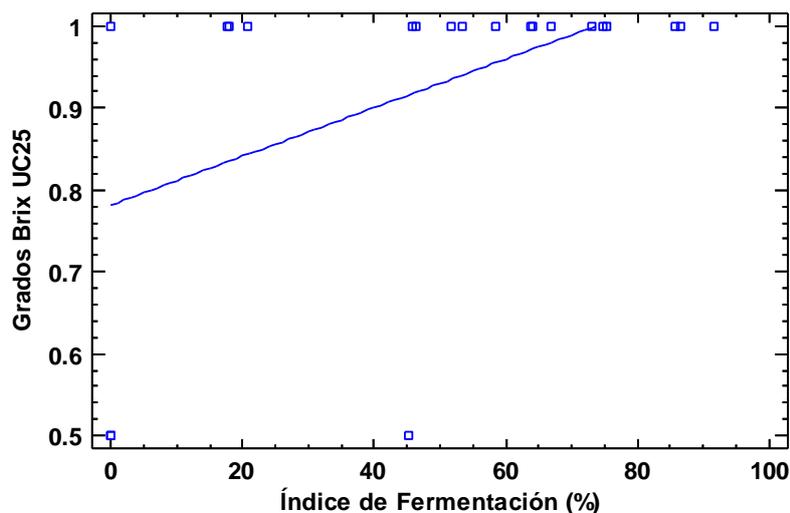
Error estándar del est. = 0.160586

Error absoluto medio = 0.106423

Estadístico Durbin-Watson = 1.7187 (P=0.1822)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.0580587

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix UC25 = 0.78181 + 0.00296723\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 70: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS DEL SEGUNDO LOTE (DC25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix DC25 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix DC25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 21

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.897742	0.129948	6.90849	0.0000
Pendiente	0.00606256	0.00216911	2.79495	0.0116

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.665955	1	0.665955	7.81	0.0116
Residuo	1.61976	19	0.0852505		
Total (Corr.)	2.28571	20			

Coefficiente de Correlación = 0.539773

R-cuadrada = 29.1355 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 25.4058 por ciento

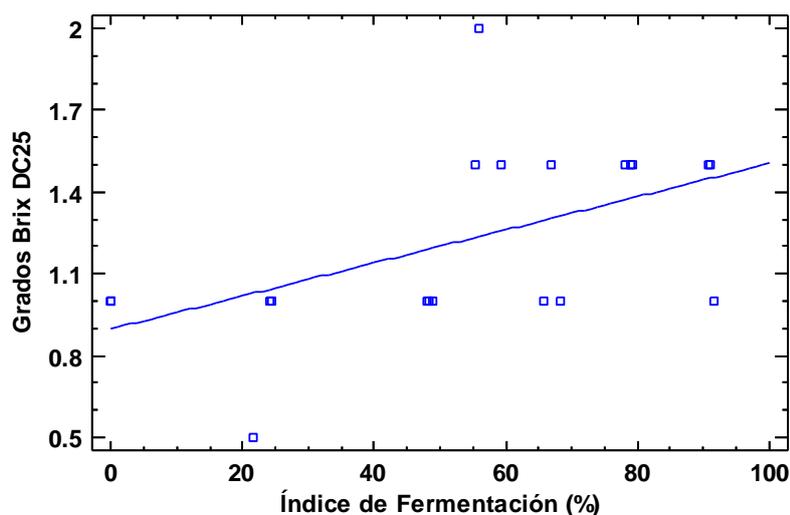
Error estándar del est. = 0.291977

Error absoluto medio = 0.214597

Estadístico Durbin-Watson = 1.48928 (P=0.0716)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.25128

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix DC25 = 0.897742 + 0.00606256\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 71: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE E15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE E15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	7.89887	0.888248	8.89263	0.0000
Pendiente	0.423196	0.0152478	27.7546	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	9340.21	1	9340.21	770.32	0.0000
Residuo	739.635	61	12.1252		
Total (Corr.)	10079.8	62			

Coefficiente de Correlación = 0.962612

R-cuadrada = 92.6622 por ciento

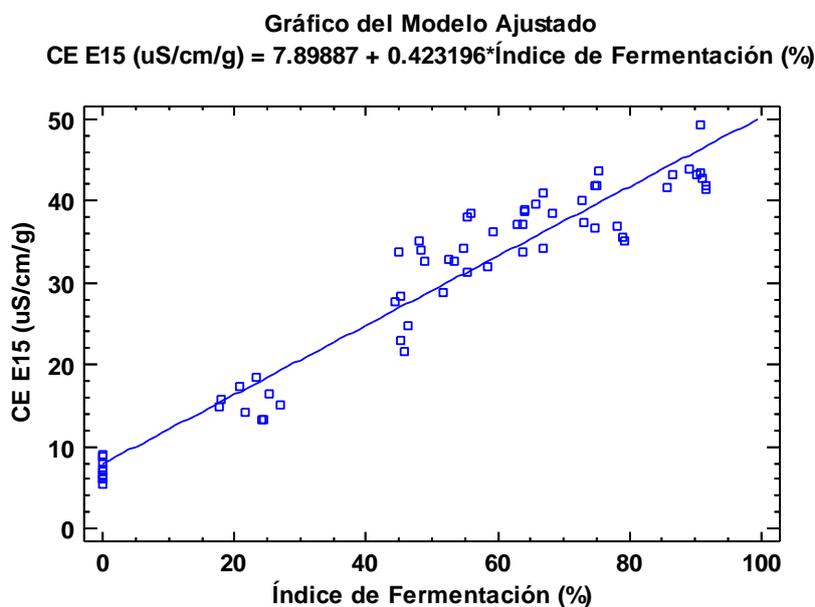
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 92.5419 por ciento

Error estándar del est. = 3.48212

Error absoluto medio = 2.87881

Estadístico Durbin-Watson = 0.748601 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.619765



## ANEXO 72: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE E20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE E20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	6.9302	0.838306	8.26691	0.0000
Pendiente	0.426059	0.0143905	29.607	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	9467.01	1	9467.01	876.58	0.0000
Residuo	658.799	61	10.8		
Total (Corr.)	10125.8	62			

Coefficiente de Correlación = 0.966922

R-cuadrada = 93.4939 por ciento

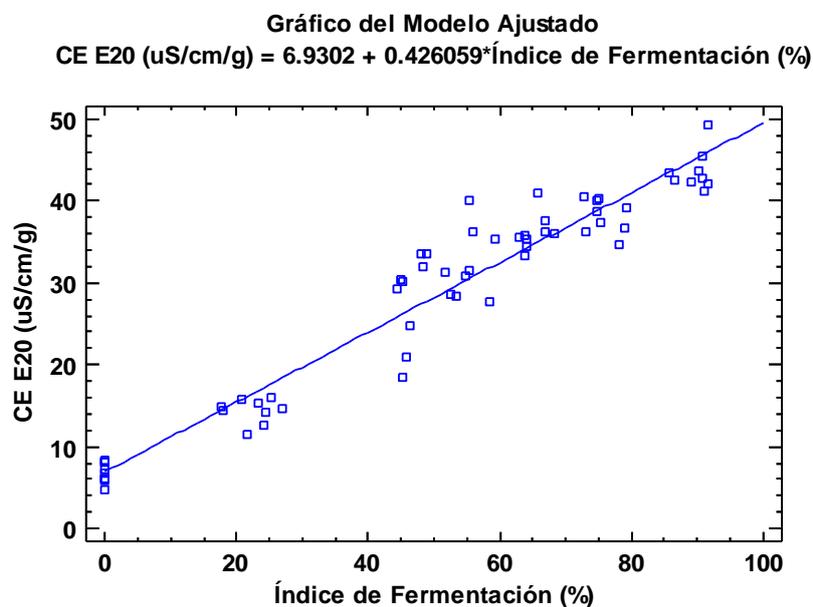
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 93.3872 por ciento

Error estándar del est. = 3.28633

Error absoluto medio = 2.47755

Estadístico Durbin-Watson = 1.1847 (P=0.0002)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.40074



**ANEXO 73: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS (E25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE E25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE E25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	7.24723	0.895313	8.09463	0.0000
Pendiente	0.405125	0.0153691	26.3598	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	8559.56	1	8559.56	694.84	0.0000
Residuo	751.447	61	12.3188		
Total (Corr.)	9311.01	62			

Coefficiente de Correlación = 0.958799

R-cuadrada = 91.9295 por ciento

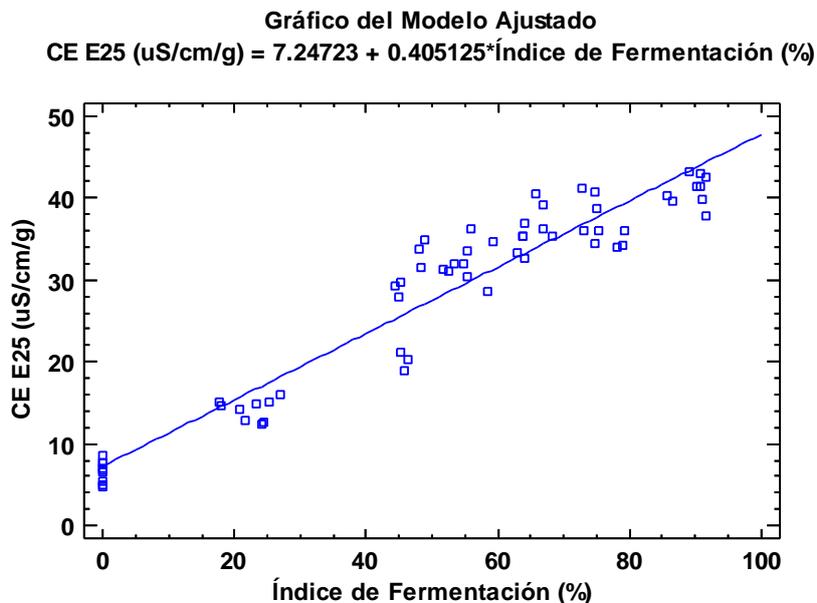
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 91.7972 por ciento

Error estándar del est. = 3.50982

Error absoluto medio = 2.85814

Estadístico Durbin-Watson = 0.837896 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.579335



## ANEXO 74: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH E15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH E15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	3.86042	0.107275	35.9861	0.0000
Pendiente	0.0109878	0.0018415	5.96674	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	6.29639	1	6.29639	35.60	0.0000
Residuo	10.7881	61	0.176855		
Total (Corr.)	17.0845	62			

Coefficiente de Correlación = 0.607078

R-cuadrada = 36.8543 por ciento

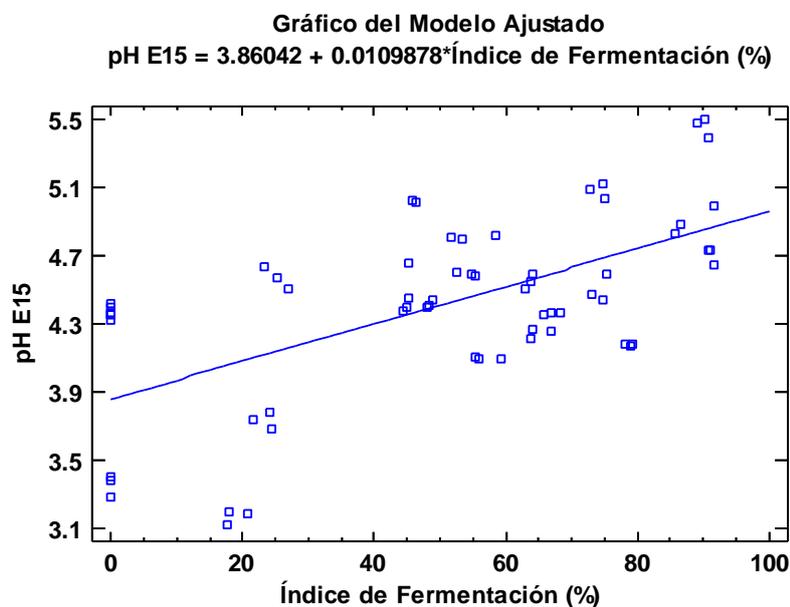
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 35.8192 por ciento

Error estándar del est. = 0.420541

Error absoluto medio = 0.34645

Estadístico Durbin-Watson = 0.449636 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.752174



## ANEXO 75: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH E20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH E20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	3.82399	0.105179	36.357	0.0000
Pendiente	0.0107387	0.00180552	5.94771	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	6.01417	1	6.01417	35.38	0.0000
Residuo	10.3707	61	0.170011		
Total (Corr.)	16.3848	62			

Coefficiente de Correlación = 0.605853

R-cuadrada = 36.7057 por ciento

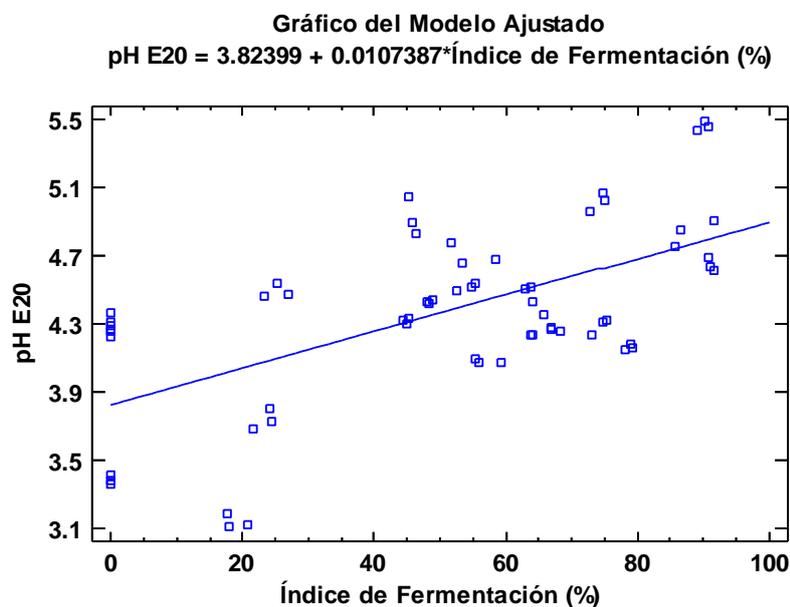
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 35.6681 por ciento

Error estándar del est. = 0.412324

Error absoluto medio = 0.34003

Estadístico Durbin-Watson = 0.561508 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.687716



**ANEXO 76: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS (E25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - pH E25 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: pH E25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	3.77766	0.101575	37.1907	0.0000
Pendiente	0.0111113	0.00174365	6.3724	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	6.43873	1	6.43873	40.61	0.0000
Residuo	9.67216	61	0.15856		
Total (Corr.)	16.1109	62			

Coefficiente de Correlación = 0.632179

R-cuadrada = 39.9651 por ciento

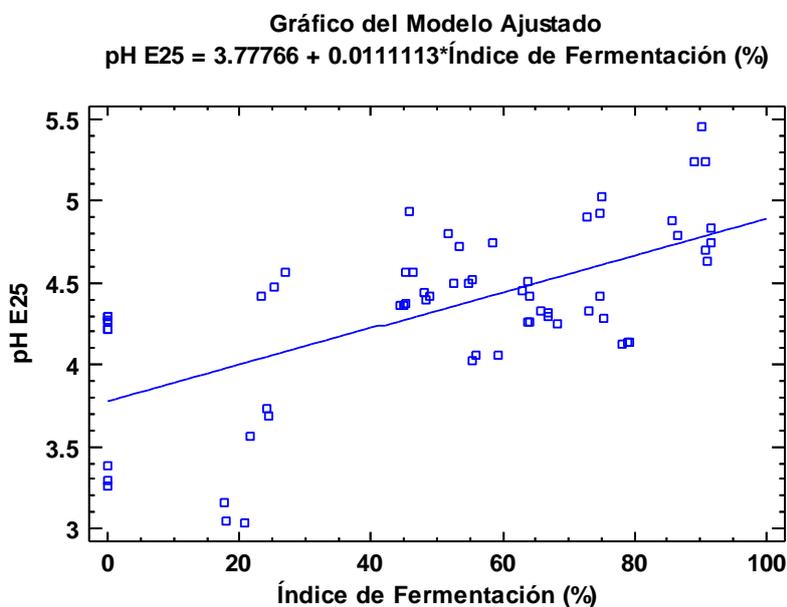
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 38.9809 por ciento

Error estándar del est. = 0.398196

Error absoluto medio = 0.329789

Estadístico Durbin-Watson = 0.491116 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.729893



**ANEXO 77: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados brux E15 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados brux E15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.500002	0.016158	30.9445	0.0000
Pendiente	-0.000156722	0.00027737	-0.565027	0.5741

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00128095	1	0.00128095	0.32	0.5741
Residuo	0.244751	61	0.00401231		
Total (Corr.)	0.246032	62			

Coefficiente de Correlación = -0.0721558

R-cuadrada = 0.520645 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -1.11016 por ciento

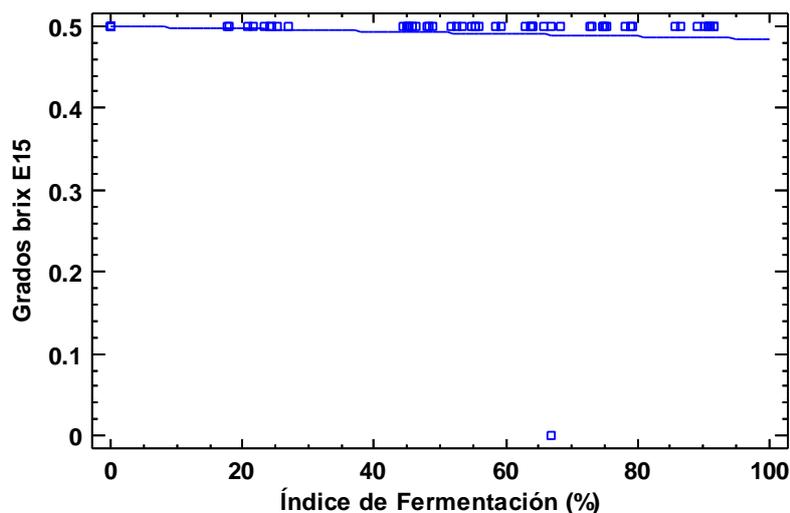
Error estándar del est. = 0.0633428

Error absoluto medio = 0.0155403

Estadístico Durbin-Watson = 2.04814 (P=0.5341)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0244829

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados brux E15 = 0.500002 - 0.000156722\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 78: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO ENTEROS (E20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix E20 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix E20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.458809	0.0518252	8.85302	0.0000
Pendiente	0.00159661	0.000889637	1.79468	0.0777

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.132945	1	0.132945	3.22	0.0777
Residuo	2.51785	61	0.0412762		
Total (Corr.)	2.65079	62			

Coefficiente de Correlación = 0.223949

R-cuadrada = 5.0153 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 3.45817 por ciento

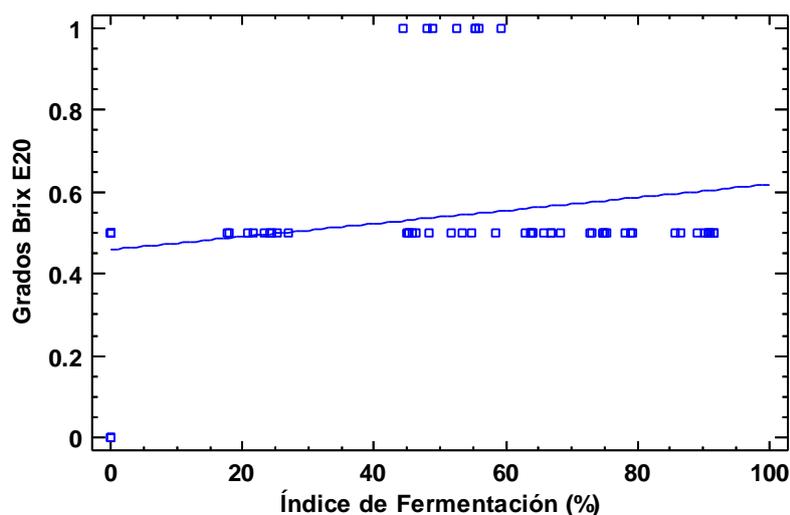
Error estándar del est. = 0.203165

Error absoluto medio = 0.125604

Estadístico Durbin-Watson = 1.1203 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.437383

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix E20 = 0.458809 + 0.00159661\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 79: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO ENTEROS (E25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - Grados Brix E25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: Grados Brix E25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.413533	0.0597642	6.91941	0.0000
Pendiente	0.00374392	0.00102592	3.64933	0.0005

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.731017	1	0.731017	13.32	0.0005
Residuo	3.34835	61	0.0548909		
Total (Corr.)	4.07937	62			

Coefficiente de Correlación = 0.423319

R-cuadrada = 17.9199 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 16.5743 por ciento

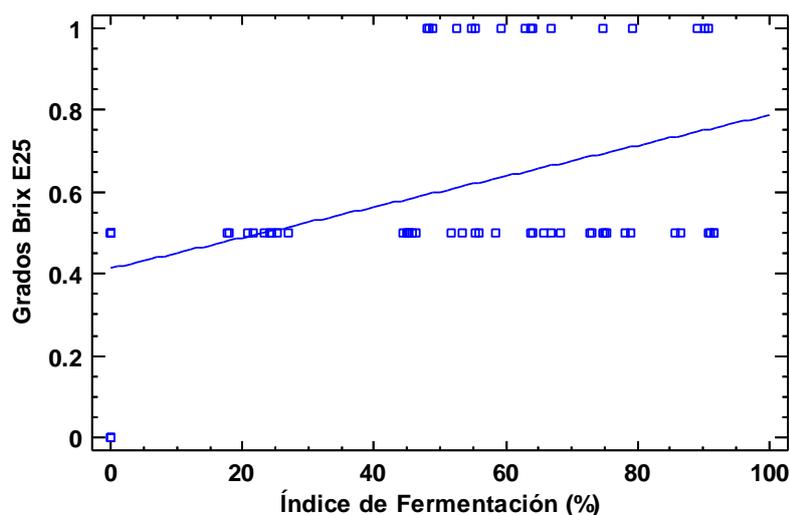
Error estándar del est. = 0.234288

Error absoluto medio = 0.191387

Estadístico Durbin-Watson = 0.874385 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.55258

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix E25 = 0.413533 + 0.00374392\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 80: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE C15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE C15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	43.8543	0.966389	45.3796	0.0000
Pendiente	0.261783	0.0165892	15.7804	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3574.02	1	3574.02	249.02	0.0000
Residuo	875.492	61	14.3523		
Total (Corr.)	4449.51	62			

Coefficiente de Correlación = 0.896236

R-cuadrada = 80.3239 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.0013 por ciento

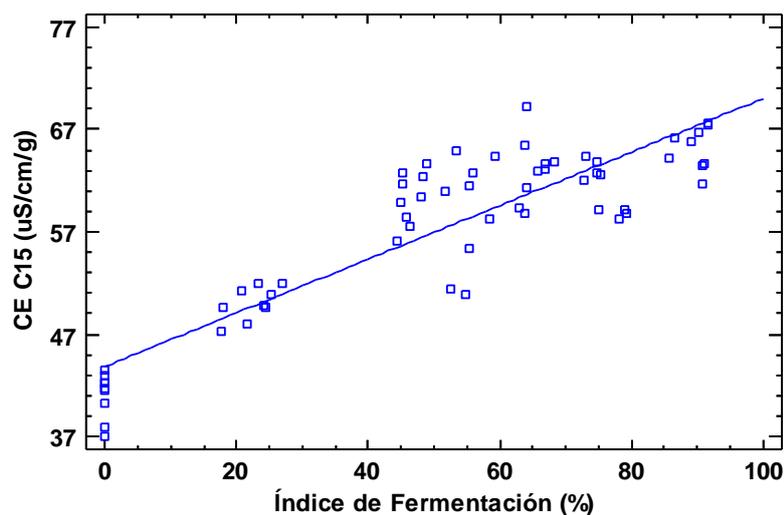
Error estándar del est. = 3.78845

Error absoluto medio = 2.93612

Estadístico Durbin-Watson = 0.903519 ( $P=0.0000$ )

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.52026

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**CE C15 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) = 43.8543 + 0.261783 \* Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 81: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - CE C20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: CE C20 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	40.5504	1.06229	38.1726	0.0000
Pendiente	0.279731	0.0182354	15.34	0.0000

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	4080.89	1	4080.89	235.32	0.0000
Residuo	1057.88	61	17.3422		
Total (Corr.)	5138.76	62			

Coefficiente de Correlación = 0.891144

R-cuadrada = 79.4138 por ciento

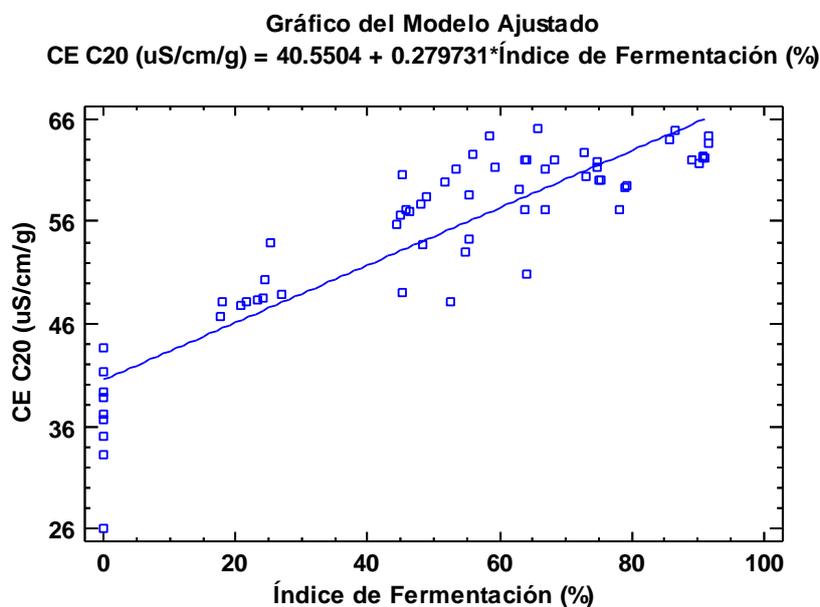
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.0763 por ciento

Error estándar del est. = 4.1644

Error absoluto medio = 3.291

Estadístico Durbin-Watson = 1.17947 ( $P=0.0002$ )

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.403041



**ANEXO 82: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS (C25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - CE C25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ ) vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: CE C25 ( $\mu\text{S/cm/g}$ )

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	40.5757	0.916209	44.2865	0.0000
Pendiente	0.25849	0.0157278	16.4353	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	3484.67	1	3484.67	270.12	0.0000
Residuo	786.932	61	12.9005		
Total (Corr.)	4271.6	62			

Coefficiente de Correlación = 0.903203

R-cuadrada = 81.5776 por ciento

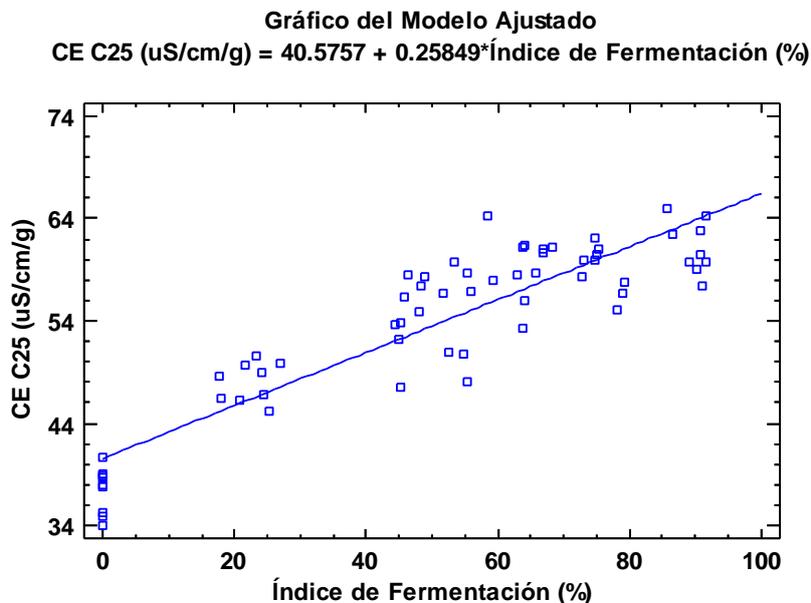
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 81.2756 por ciento

Error estándar del est. = 3.59173

Error absoluto medio = 2.95002

Estadístico Durbin-Watson = 0.729179 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.633207



## ANEXO 83: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH C15 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH C15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.73948	0.0611184	77.5459	0.0000
Pendiente	-0.000945596	0.00104917	-0.901283	0.3710

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0466321	1	0.0466321	0.81	0.3710
Residuo	3.50181	61	0.0574067		
Total (Corr.)	3.54844	62			

Coefficiente de Correlación = -0.114637

R-cuadrada = 1.31416 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = -0.303645 por ciento

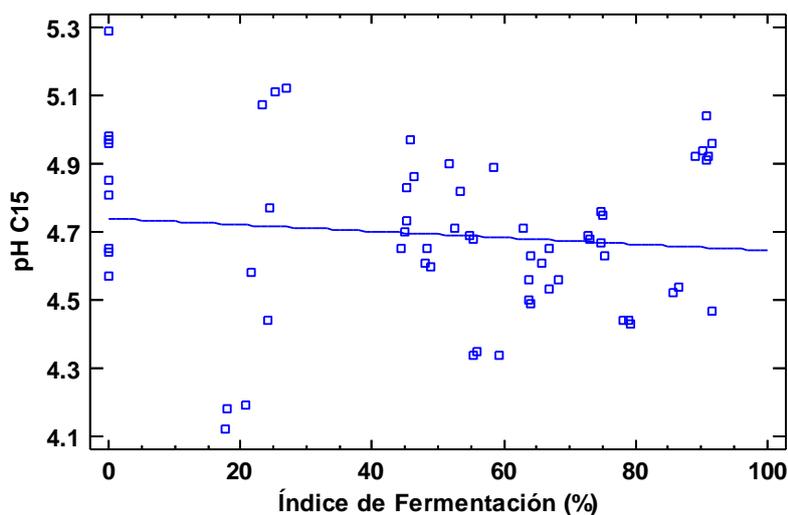
Error estándar del est. = 0.239597

Error absoluto medio = 0.184301

Estadístico Durbin-Watson = 0.895128 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.536117

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**pH C15 = 4.73948 - 0.000945596 \* Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 84: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH C20 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH C20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.72634	0.0627471	75.3237	0.0000
Pendiente	-0.00124085	0.00107713	-1.152	0.2538

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0802988	1	0.0802988	1.33	0.2538
Residuo	3.69093	61	0.0605071		
Total (Corr.)	3.77123	62			

Coefficiente de Correlación = -0.145919

R-cuadrada = 2.12925 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0.524808 por ciento

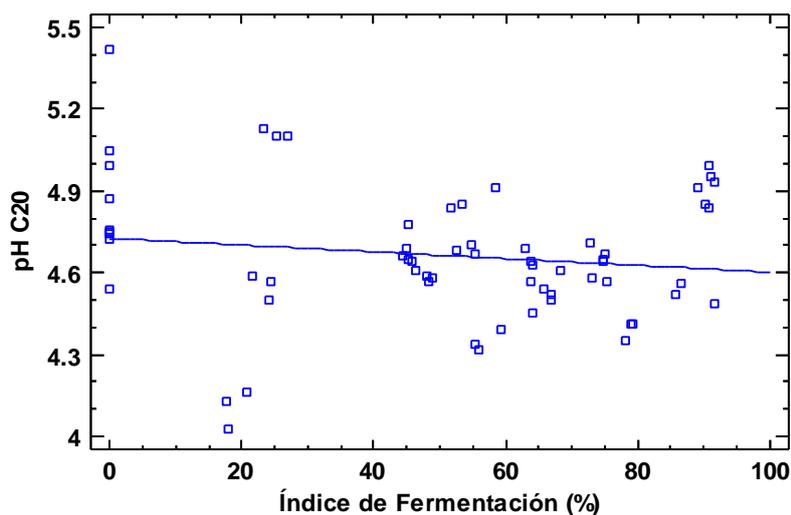
Error estándar del est. = 0.245982

Error absoluto medio = 0.175473

Estadístico Durbin-Watson = 0.599576 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.693207

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**pH C20 = 4.72634 - 0.00124085\*Índice de Fermentación (%)**



## ANEXO 85: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL pH DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS (C25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - pH C25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: pH C25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	4.71401	0.0613626	76.8221	0.0000
Pendiente	-0.00117901	0.00105336	-1.11929	0.2674

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0724957	1	0.0724957	1.25	0.2674
Residuo	3.52985	61	0.0578663		
Total (Corr.)	3.60234	62			

Coefficiente de Correlación = -0.141861

R-cuadrada = 2.01246 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0.406105 por ciento

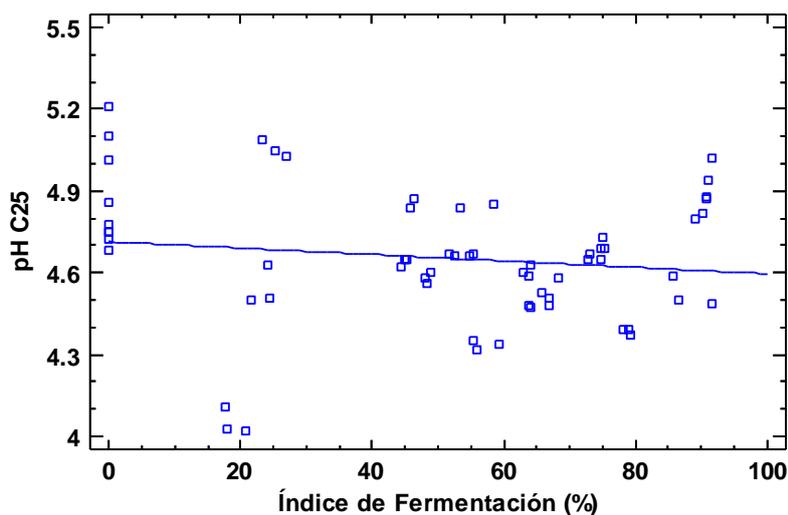
Error estándar del est. = 0.240554

Error absoluto medio = 0.172492

Estadístico Durbin-Watson = 0.600578 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.689916

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**pH C25 = 4.71401 - 0.00117901\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 86: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON QUINCE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C15) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix C15 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix C15

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.560566	0.0575478	9.74089	0.0000
Pendiente	0.00397485	0.000987872	4.02365	0.0002

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.823977	1	0.823977	16.19	0.0002
Residuo	3.10459	61	0.050895		
Total (Corr.)	3.92857	62			

Coefficiente de Correlación = 0.457973

R-cuadrada = 20.9739 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 19.6784 por ciento

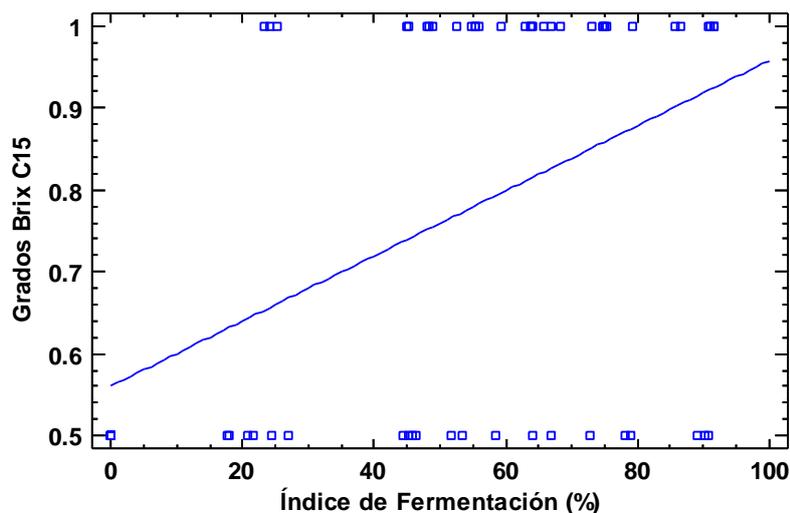
Error estándar del est. = 0.225599

Error absoluto medio = 0.197117

Estadístico Durbin-Watson = 1.18599 (P=0.0002)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.377874

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix C15 = 0.560566 + 0.00397485\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 87: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTE GRANOS DE CACAO CORTADOS (C20) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )**

**Regresión Simple - Grados Brix C20 vs. Índice de Fermentación (%)**

Variable dependiente: Grados Brix C20

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0.62351	0.0428185	14.5617	0.0000
Pendiente	0.00492577	0.000735028	6.70147	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1.26538	1	1.26538	44.91	0.0000
Residuo	1.71874	61	0.0281761		
Total (Corr.)	2.98413	62			

Coefficiente de Correlación = 0.651182

R-cuadrada = 42.4038 por ciento

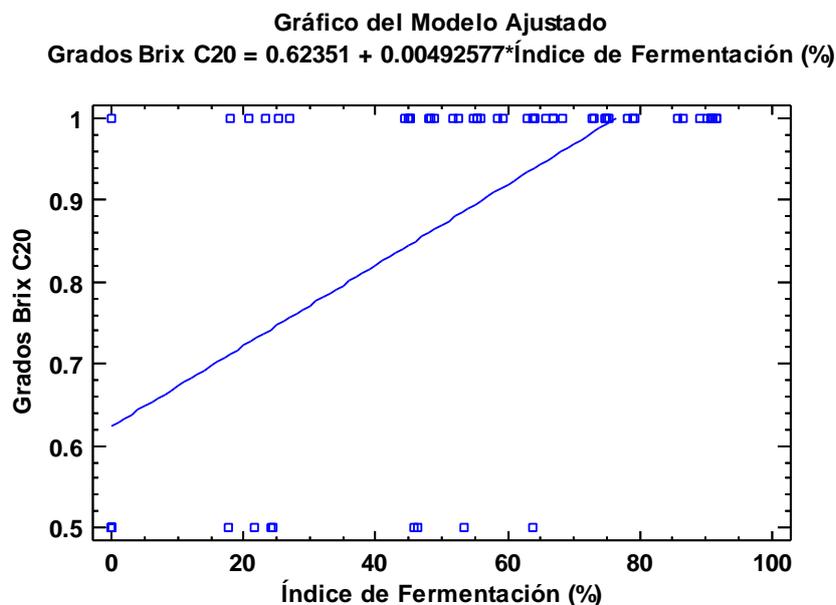
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 41.4596 por ciento

Error estándar del est. = 0.167857

Error absoluto medio = 0.128906

Estadístico Durbin-Watson = 1.48886 (P=0.0147)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.249703



## ANEXO 88: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA REGRESIÓN SIMPLE DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRUX) DEL MEDIO ACUOSO CON VEINTICINCO GRANOS DE CACAO CORTADOS (C25) CON SU ÍNDICE DE FERMENTACIÓN ( $p < 0,05$ )

### Regresión Simple - Grados Brix C25 vs. Índice de Fermentación (%)

Variable dependiente: Grados Brix C25

Variable independiente: Índice de Fermentación (%)

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Número de observaciones: 63

#### Coefficientes

	Mínimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.882331	0.0593475	14.8672	0.0000
Pendiente	0.00326314	0.00101877	3.20303	0.0022

#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.555323	1	0.555323	10.26	0.0022
Residuo	3.30182	61	0.0541282		
Total (Corr.)	3.85714	62			

Coefficiente de Correlación = 0.379437

R-cuadrada = 14.3973 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 12.9939 por ciento

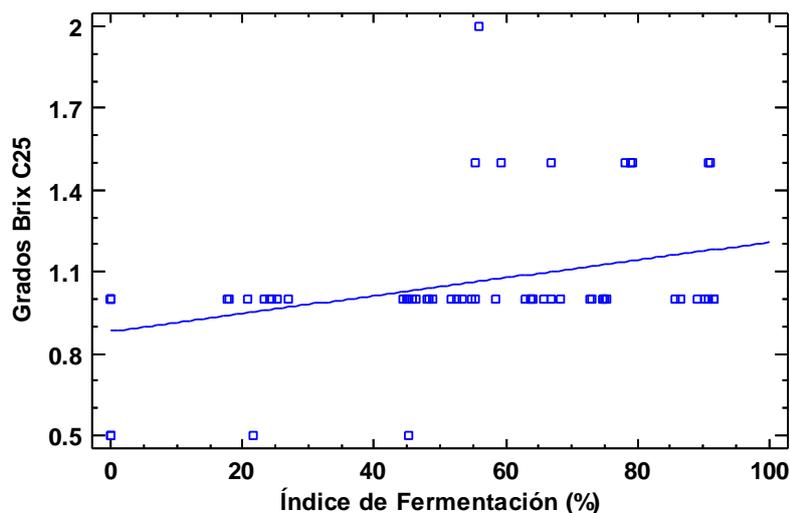
Error estándar del est. = 0.232655

Error absoluto medio = 0.161801

Estadístico Durbin-Watson = 1.00362 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.471243

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Grados Brix C25 = 0.882331 + 0.00326314\*Índice de Fermentación (%)**



**ANEXO 89: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO DEL LOTE 1 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN**

Clasificación de Granos (%)	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Mohosos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Pizarrosos	85.56 ± 1.68	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Germinados	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Insectados	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Planos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Rotos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Violáceos	14.44 ± 1.68	81.22 ± 1.64	54.22 ± 0.51	45.56 ± 3.47	35.11 ± 1.84	25.67 ± 1.20	12.00 ± 3.21
Fermentados	0.00 ± 0.00	18.78 ± 1.64	45.78 ± 0.51	54.44 ± 3.47	64.89 ± 1.84	74.33 ± 1.20	88.00 ± 3.21

**ANEXO 90: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO DEL LOTE 2 POR  
CADA DÍA DE FERMENTACIÓN**

Clasificación de Granos (%)	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Mohosos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Pizarrosos	87.22 ± 2.34	37.89 ± 15.87	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Germinados	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Insectados	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Planos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Rotos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Violáceos	12.78 ± 2.34	38.78 ± 17.29	51.56 ± 0.51	43.18 ± 2.19	33.00 ± 1.33	21.22 ± 0.69	8.89 ± 0.51
Fermentados	0.00 ± 0.00	23.33 ± 1.45	48.44 ± 0.51	56.82 ± 2.19	67.00 ± 1.33	78.78 ± 0.69	91.11 ± 0.51

**ANEXO 91: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO DEL LOTE 3 POR  
CADA DÍA DE FERMENTACIÓN**

Clasificación de Granos (%)	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Mohosos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Pizarrosos	65.89 ± 20.89	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Germinados	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Insectados	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Planos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Rotos	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Violáceos	34.11 ± 20.89	74.78 ± 1.84	55.11 ± 0.51	45.78 ± 1.39	36.44 ± 0.51	25.89 ± 1.26	10.00 ± 0.88
Fermentados	0.00 ± 0.00	25.22 ± 1.84	44.89 ± 0.51	54.22 ± 1.39	63.56 ± 0.51	74.11 ± 1.26	90.00 ± 0.88

**ANEXO 92: TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN Y TIEMPO DE SECADO NATURAL PARA CADA LOTE ANALIZADO**

Lote	Días de Fermentación	Temperatura de fermentación(°C)	Días de Secado
1	0	29.60	6
	1	34.70	6
	2	39.50	6
	3	45.20	5
	4	46.50	4
	5	46.10	6
	6	45.70	5
2	0	29.80	7
	1	33.80	6
	2	45.40	6
	3	49.00	6
	4	48.50	5
	5	46.40	5
	6	46.00	5
3	0	32.90	7
	1	37.10	6
	2	40.20	6
	3	42.70	5
	4	43.70	5
	5	47.00	6
	6	46.8	6

**ANEXO 93: PRUEBA DE CORTE REALIZADA A LOS GRANOS DE CACAO**

