

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“CORRELACIÓN DE LA POROSIDAD CON EL GRADO DE
FERMENTACIÓN DEL GRANO DE CACAO PERUANO (*Theobroma
cacao L.*)”**

Presentado por:

JOHAN CRISTIAN RIVERA GARCÍA

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima-Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“CORRELACIÓN DE LA POROSIDAD CON EL GRADO DE FERMENTACIÓN
DEL GRANO DE CACAO PERUANO”**

Presentado por:

JOHAN CRISTIAN RIVERA GARCÍA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dra. Carmen Eloísa Velezmore Sanchez

PRESIDENTE

Mg. Sc. Beatriz Hatta Sakoda

MIEMBRO

Mg. Sc. Laura Linares García

MIEMBRO

Dr. Milber Ureña Peralta

ASESOR

Mg. Sc. Gabriela Chire Fajardo

CO-ASESOR(A)

Lima-Perú

2018

DEDICATORIA

*A mis padres y hermanos,
cuyos consejos y acciones me motivan
a dar lo mejor de mí
en todo lo bueno que pueda hacer en el mundo
y en mi vida.*

AGRADECIMIENTO

AGRADEZCO A DIOS, POR LAS OPORTUNIDADES QUE ME DA.

A MIS PADRES, MARÍA Y LUIS, POR ENSEÑARME A ANDAR POR EL CAMINO CORRECTO Y POR SU APOYO INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO.

A MIS HERMANOS L. ENRIQUE Y JUNNELLY, POR SUS MEJORES CONSEJOS.

AL DR. MILBER UREÑA Y LA ING. GABRIELA CHIRE, POR SU PACIENCIA Y ASESORAMIENTO CONTINUO.

A MIS AMIGOS Y SERES QUERIDOS, QUE DE ALGUNA FORMA APORTARON Y ME AYUDARON EN ESTE LARGO CAMINO.

AL VICERRECTORADO DE INVESTIGACION Y AL CONCURSO DE FINANCIAMIENTO DE TESIS 2015, QUE ME BRINDARON EL APOYO ECONOMICO PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO.

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. CACAO	2
2.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS	2
2.1.2. VARIEDADES DE CACAO	2
2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CACAO FRESCO.	3
2.2. PRODUCCIÓN DE CACAO	5
2.2.1. PRODUCCIÓN NACIONAL DE CACAO	5
2.3. BENEFICIO DEL CACAO.....	9
2.3.1. COSECHA.....	9
2.3.2. QUEBRADO DE MAZORCAS... ..	9
2.3.3. FERMENTACIÓN.....	10
2.3.4. SECADO... ..	11
2.3.5. ENVASADO	13
2.3.6. ALMACENAMIENTO	13
2.4. CAMBIOS QUE OCURREN EN LA FERMENTACIÓN DEL CACAO	13
2.4.1. FERMENTACIÓN ANAEROBIA	15
2.4.2. FERMENTACIÓN AEROBIA	16
2.4.3. CAMBIOS EN LA TEMPERATURA.....	17
2.4.4. CAMBIOS EN EL PH.....	17
2.4.5. CAMBIOS EN LA ACIDEZ.....	18
2.4.6. CAMBIOS EN EL COLOR	19

2.4.7. CAMBIOS EN LA POROSIDAD	20
2.5. CACAO FERMENTADO Y SECO.....	20
2.5.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CACAO SECO FERMENTADO.....	20
2.6. PRUEBA DE CORTE	21
2.6.1. GRANO MOHOSO.....	21
2.6.2. GRANO PIZARROSO (PASTOSO)	22
2.6.3. GRANO GERMINADO.....	23
2.6.4. GRANO DAÑADO POR INSECTOS	23
2.6.5. GRANO PLANO.....	24
2.6.6. GRANO VIOLETA O VIOLÁCEO	24
2.6.7. GRANO ROTO	25
2.6.8. GRANO MÚLTIPLE	25
2.6.9. GRANO ADECUADAMENTE FERMENTADO	26
2.7. ÍNDICE DE FERMENTACIÓN	27
2.8. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GRANOS	28
2.8.1. DENSIDAD.....	28
2.8.2. POROSIDAD	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	32
3.2. MATERIA PRIMA	32
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS	33
3.3.1. MATERIALES.....	33
3.3.2. EQUIPOS	33
3.3.3. REACTIVOS Y SOLUCIONES	33
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS	34
3.4.1. ÍNDICE DE GRANO	34

3.4.2. DIMENSIONES	34
3.4.3. POROSIDAD	34
3.4.4. ÍNDICE DE FERMENTACIÓN	39
3.4.5. COLOR E ÍNDICE DE BLANCURA.	40
3.4.6. PH.....	40
3.4.7. ACIDEZ TITULABLE.....	40
3.4.8. COMPOSICIÓN PROXIMAL.....	41
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	45
3.5.1. OBTENCIÓN DE CACAO FERMENTADO SECO.	45
3.5.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA ETAPA POSCOSECHA.....	47
3.5.3. EVALUACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y CORRELACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	50
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	52
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	53
4.1. ÍNDICE DE GRANO.	53
4.2. MEDICIÓN DE DIMENSIONES Y RELACIÓN L/E.....	54
4.3. POROSIDAD DE LOS GRANOS DE CACAO.....	58
4.4. VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN.....	62
4.5. COLOR E INDICE DE BLANCURA (IB).....	66
4.6. PH Y ACIDEZ TOTAL.	71
4.7. CORRELACIÓN ENTRE LA POROSIDAD Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN.....	79
4.8. COMPOSICION PROXIMAL.....	86
V. CONCLUSIONES	88

VI. RECOMENDACIONES.....	90
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	91
VIII. ANEXOS	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Composición química del cotiledón y del mucílago del cacao fresco.....	4
Cuadro 2: Participación de las regiones en la producción nacional de cacao.....	6
Cuadro 3: Principales agroindustrias exportadoras de cacao y derivados.....	7
Cuadro 4: Organizaciones adscritas en la Asociación Peruana de Productores de Cacao.....	8
Cuadro 5: Producción, superficie cosechada, rendimiento de producción y precio de los granos de cacao en los últimos diez años.....	9
Cuadro 6: Características de las principales encimas activas durante el beneficio del grano de cacao.....	15
Cuadro 7: Composición de los granos de cacao fermentado y seco.....	21
Cuadro 8: Estándares nacionales de clasificación de granos de cacao.....	27
Cuadro 9: Índice de grano de las variedades CCN-51 e ICS-6.....	54
Cuadro 10: Variación de las dimensiones Largo, Ancho, Espesor y de la relación Largo/espesor (L/e) por cada día de fermentación del grano CCN-51.....	55
Cuadro 11: Variación de las dimensiones Largo, Ancho, Espesor y de la relación Largo/espesor (L/e) por cada día de fermentación del grano ICS-6.....	55
Cuadro 12: Variación de la porosidad de los granos <i>enteros</i> (S/C) y <i>cortados</i> (C/C) CCN-51 e ICS-6 a diferentes niveles de fermentación.....	58
Cuadro 13: Índice de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6.....	62
Cuadro 14: Variación del color durante la fermentación de los granos CCN-51.....	66
Cuadro 15: Variación del color durante la fermentación de los granos ICS-6.....	68
Cuadro 16: Evaluación del pH del cotiledon de los granos secos por cada día de fermentación.....	72

Cuadro 17: Variación de la acidez total en porcentaje de ácido acético de los granos de cacao secos por cada día de fermentación	75
Cuadro 18: Modelos lineales de la correlación de granos enteros y el índice de fermentación.....	82
Cuadro 19: Coeficiente de regresión y de determinación para la correlación de la porosidad y el grado de fermentación de los granos de cacao.....	83
Cuadro 20: Modelos finales de correlación entre la porosidad de granos <i>enteros</i> y <i>cortados</i> con el I.F.....	84
Cuadro 21: Composición proximal de los granos CCN-51 e ICS-6.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Quebrado de mazorcas con machete sin filo.....	15
Figura 2: Fermentador de cacao tipo caja de madera escalonada.....	16
Figura 3: Secado natural de cacao en tarimas.....	17
Figura 4: Almacenamiento de granos de cacao.....	18
Figura 5: Principales cambios en el grano de cacao durante la fermentación.....	19
Figura 6: Comparación de la evolución de los perfiles de pH y los principales productos durante la fermentación en el cotiledón.....	24
Figura 7: Grano de cacao seco con moho interno.....	27
Figura 8: Granos de cacao pizarrosos o pastosos.....	27
Figura 9: Granos de cacao germinados en el proceso fermentativo.....	28
Figura 10: Izquierda, grano de cacao plano entero. Derecha, grano de cacao infestado con insectos.....	29
Figura 11: Grano de cacao violeta o violáceo partido.....	30
Figura 12: Izquierda, grano múltiple de cacao. Derecha, grano quebrado.....	30
Figura 13: Granos de cacao adecuadamente fermentados.....	31
Figura 14: Tipos de poro en la partícula.....	35
Figura 15: Porosímetro de Day modificado por Ureña.....	40
Figura 16: Recta de calibración con agua para la primera repetición de fermentación.....	42
Figura 17: Recta de calibración con agua para la segunda repetición de fermentación.....	43
Figura 18: Recta de calibración con agua para la tercera repetición de fermentación.....	43

Figura 19: Flujo de operaciones para la obtención de cacao fermentado seco Terra Nostra.....	51
Figura 20: Flujo de operaciones para la elaboración de muestras del grano CCN-51 de diferentes niveles de fermentación.....	53
Figura 21: Flujo de operaciones para la elaboración de muestras del grano ICS-6 de diferentes niveles de fermentación.....	54
Figura 22: Etapas de la evaluación de granos de cacao fermentado para la correlación de la porosidad y el IF de los granos de cacao.....	56
Figura 23: Variación de la relación L/e para cada día de fermentación del grano CCN-51.....	61
Figura 24: Variación de la relación L/e para cada día de fermentación del grano ICS-6.....	61
Figura 25: Cambios en la porosidad de los granos de cacao enteros durante la fermentación.....	65
Figura 26: Variación de la porosidad de los granos de cacao cortados durante la fermentación.....	66
Figura 27: Evolución de la temperatura de la masa de cacao durante la fermentación.....	68
Figura 28: Variación del IF (%) durante la fermentación de los granos CCN-51.....	69
Figura 29: Variación del IF (%) durante la fermentación de los granos ICS-6.....	70
Figura 30: Variación del color durante la fermentación del grano CCN-51.....	71
Figura 31: Variación del color durante la fermentación del grano ICS6.....	73
Figura 32: Variación del IB por cada día de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6.....	74
Figura 33: Variación de la porosidad y el IB de los granos CCN-51 e ICS-6.....	75

Figura 34: Variación del pH del cotiledón por cada día de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6.....	76
Figura 35: Relación entre la porosidad y el pH de los granos CCN-51 e ICS-6 por cada día de fermentación.....	78
Figura 36: Acidez total (%ác. Acético) de los granos CCN-51.....	81
Figura 37: Acidez total (%ác. Acético) de los granos ICS-6.....	81
Figura 38: Variación de la acidez total (%ác. Acético) por cada día de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6.....	82
Figura 39: Relación entre la porosidad y la acidez total (%ác. Acético) de los granos CCN-51 e ICS-6 por cada día de fermentación.....	83
Figura 40: Correlación de la porosidad y el IF de los granos enteros CCN-51.....	84
Figura 41: Correlación de la porosidad y el IF de los granos enteros ICS-6.....	85
Figura 42: Correlación de la porosidad y el IF de los granos cortados CCN-51.....	85
Figura 43: Correlación de la porosidad y el IF de los granos cortados ICS-6.....	86
Figura 44: Correlación de la porosidad y el IF de los granos enteros CCN-51 e ICS-6.....	89
Figura 45: Correlación de la porosidad y el IF de los granos cortados CCN-51 e ICS-6.....	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: INDICE DE GRANO CCN-51 PARA LAS REPETICIONES DE FERMENTACIÓN.....	99
ANEXO 2: COMPARACIÓN DE LARGO DE GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN A UN $\alpha=0,05$	100
ANEXO 3: COMPARACIÓN DEL ANCHO DEL GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN A UN $\alpha=0,05$	100
ANEXO 4: COMPARACION DEL ESPESOR DE GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACION A UN $\alpha=0,05$	101
ANEXO 5: COMPARACION DE LA RELACION L/E DEL GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACION	102
ANEXO 6: COMPARACION DEL LARGO DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DIAS DE FERMENTACION	102
ANEXO 7: COMPARACION DEL ANCHO DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DIAS DE FERMENTACION.....	103
ANEXO 8: COMPARACION DEL ESPESOR DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACION.....	104
ANEXO 9: COMPARACION DE LA RELACION L/E DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DIAS DE FERMENTACION	105
ANEXO 10: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DE POROSIDAD DE LOS GRANOS ENTEROS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$).....	106
ANEXO 11: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA POROSIDAD DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 A DIFERENTES NOVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	107
ANEXO 12: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACION DE POROSIDAD DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	108

ANEXO 13: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA POROSIDAD DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	109
ANEXO 14: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACION DEL IF DE LOS GRANOS CCN-51 DURANTE LA FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	110
ANEXO 15: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACION DEL IF DE LOS GRANOS ICS-6 DURANTE LA FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	111
ANEXO 16: ANALISIS DE VARIANZA DEL PH DE LAS ALMENDRAS DE CACAO CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	112
ANEXO 17: ANALISIS DE VARIANZA DEL PH DE LAS ALMENDRAS DE CACAO ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	113
ANEXO 18: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA ACIDEZ TOTAL DE LAS ALMENDRAS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$).....	114
ANEXO 19: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA ACIDEZ TOTAL DE LAS ALMENDRAS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	115
ANEXO 20: ANALISIS DE VARIANZA PARA EL EROJECIMIENTO (A*) DE LOS GRANOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	116
ANEXO 21: ANALISIS DE VARIANZA PARA EL ENROJECIMIENTO (A*) DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	117
ANEXO 22: ANALISIS DE VARIANZA PARA EL AMARILLAMIENTO (B*) DE LOS GRANOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	118

ANEXO 23: ANALISIS DE VARIANZA PARA EL AMARILLAMIENTO (B*) DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	119
ANEXO 24: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA CLARIDAD (L*) DE LOS GRANOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$).....	120
ANEXO 25: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA CLARIDAD (L*) DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	121
ANEXO 26: ANALISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACION DEL IB DE LOS GRANOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACION ($\alpha=0,05$).....	122
ANEXO 27: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE BLANCURA DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES GRADOS DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$).....	123
ANEXO 28: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS CCN-51 REP. 1 ($\alpha=0,05$).....	124
ANEXO 29: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS CCN-51 REP. 2 ($\alpha=0,05$).....	125
ANEXO 30: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS CCN-51 REP. 3 ($\alpha=0,05$).....	126
ANEXO 31: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE 8DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 REP. 1 ($\alpha=0,05$).....	127
ANEXO 32: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 REP. 2 ($\alpha=0,05$).....	128
ANEXO 33: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 REP. 3 ($\alpha=0,05$).....	129
ANEXO 34: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 REP. 1 ($\alpha=0,05$).....	130

ANEXO 35: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 REP. 2 ($\alpha=0,05$).....	131
ANEXO 36: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 REP. 3 ($\alpha=0,05$).....	132
ANEXO 37: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 REP. 1 ($\alpha=0,05$).....	133
ANEXO 38: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 REP. 2 ($\alpha=0,05$).....	134
ANEXO 39: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 REP. 3 ($\alpha=0,05$).....	135
ANEXO 40: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO CCN -51 ENTERO CON EL IF ($\alpha=0,05$).....	136
ANEXO 41: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO ICS - 6 ENTERO CON EL IF ($\alpha=0,05$).....	137
ANEXO 42: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO CCN-51 CORTADO CON EL IF ($\alpha=0,05$).....	138
ANEXO 43: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO ICS-6 CORTADO CON EL IF ($\alpha=0,05$).....	139
ANEXO 44: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD B.H. (%) DE LOS GRANOS DE CACAO.....	140
ANEXO 45: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA DE LOS GRANOS DE CACAO.....	141
ANEXO 46: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA DE LOS GRANOS DE CACAO.....	142
ANEXO 47: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE FIBRA CRUDA DE LOS GRANOS DE CACAO.....	143
ANEXO 48: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS DE LOS GRANOS DE CACAO.....	144

ANEXO 49: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS EN LOS GRANOS DE CACAO.....	145
ANEXO 50: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN LINEAL ENTRE DOS VARIABLES. (NIEVES Y DOMÍNGUEZ 2009).....	146
ANEXO 51: VARIACIÓN DE TEMPERATURA DURANTE LA FERMENTACIÓN DEL GRANO CCN-51 E ICS-6.....	146
ANEXO 52: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO CCN-51 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN.....	147
ANEXO 53: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO ICS-6 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN.....	147
ANEXO 54: TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN Y TIEMPO DE SECADO NATURAL PARA CADA REPETICIÓN DE FERMENTACIÓN.....	148

RESUMEN

En la presente investigación se determinó la correlación existente entre la porosidad y el Índice de Fermentación (IF) de los granos de cacao (*Theobroma cacao L.*), de las variedades CCN-51 e ICS-6 procedentes de Uchiza, San Martín. Las variedades fueron fermentadas por separado en cajas de madera con tres réplicas. Se extrajeron muestras por cada día de fermentación, las cuales fueron secadas al sol hasta alcanzar la humedad de 7 por ciento obteniéndose granos de cacao seco de distintos niveles de fermentación. La porosidad de los granos fue hallada con el método de Day modificado por Ureña, el cual consistió en incorporar un fenómeno de compensación de presiones de aire entre dos recipientes aislados del medio ambiente. El índice de fermentación fue hallado utilizando la NTP-ISO 2451:2011 (prueba de corte). Los resultados demostraron que la porosidad y el IF incrementan con el tiempo de fermentación ($p < 0,05$), existiendo así una correlación positiva entre estas variables. La linealidad entre la porosidad de los granos *enteros* y el IF fue baja, obteniéndose un coeficiente de determinación (r^2) de 0,45; mientras que la correlación de los granos *cortados* fue alta, con un r^2 promedio de 0,72 ($p < 0,05$). Con los modelos matemáticos obtenidos por regresión $\varepsilon = 0,600 + 0,521 \times 10^{-3}$ IF para CCN-51 y $\varepsilon = 0,610 + 0,489 \times 10^{-3}$ para ICS-6, se puede determinar, a partir de la porosidad, un nivel referencial de fermentación.

Palabras clave: Porosidad, fermentación, índice de fermentación, prueba de corte, relación lineal.

ABSTRACT

In the present investigation, the correlation between the porosity and the Fermentation Index (IF) of the cocoa beans (*Theobroma cacao* L.), of the varieties CCN-51 and ICS-6, of Uchiza, San Martín was determined. The varieties were fermented separately in wooden boxes with three replicas. Samples were taken for each day of fermentation, which were dried in the sun until reaching the humidity of 7% obtaining dry cocoa beans of various levels of fermentation. The porosity of the grains was found with the Day method modified by Ureña, which consisted of incorporating a means of compensation of pressures between two containers isolated from the environment. The fermentation index was found using NTP - ISO 2451: 2011 (cut test). The results showed that porosity and IF increase with fermentation time ($p < 0,05$), thus there is a positive correlation between these variables. The linearity between the porosity of the whole grains and the IF was low, obtaining a coefficient of determination (r^2) of 0,45; while the correlation of the cut kernels was high, with an average of 0,72 ($p < 0,05$). With the mathematical models obtained by regression $\varepsilon = 0,600 + 0,521 \times 10^{-3}$ IF for CCN-51 and $\varepsilon = 0,610 + 0,489 \times 10^{-3}$ for ICS-6, a referential level of fermentation can be determined from the porosity.

Keywords: Porosity, fermentation, fermentation index, cut test, linear relationship.

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una planta originaria de América del Sur. Su cultivo es amplio y comprende la Amazonia de países como Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Bolivia y Venezuela, además de la selva de Centro América.

A lo largo del proceso de obtención de cacao seco, los granos son sometidos a una fermentación. Como todo proceso posee una eficiencia, ya que todos los granos no se fermentan al cien por ciento. Para calcular la eficiencia de fermentación, la cual es de interés para clasificar los lotes y mejorar los procesos, existe un método de evaluación conocido como la prueba de corte y el cálculo del índice de fermentación. Este último es la proporción de granos adecuadamente fermentados con respecto al total de granos analizados de una muestra al azar. Un grano de cacao bien fermentado se caracteriza por ser de color marrón y puede ser de diferente tonalidad, desde claro hasta oscuro. También posee estrías y/o hendiduras internas muy pronunciadas que lo hacen ser “un grano hueco”. Sin embargo, este método, ampliamente usado a nivel mundial, tiene una desventaja: Es una medida subjetiva que evalúa de manera cualitativa las características físicas como la porosidad y el color interno del grano, lo que hace de él un método subjetivo con la consecuente variabilidad en el resultado.

En búsqueda de un método objetivo de evaluación del Índice de fermentación (IF), la investigación tuvo como objetivo principal obtener la correlación entre la porosidad y el Índice de fermentación (IF) de los granos de cacao peruano (*enteros y cortados*) de las variedades CCN-51 e ICS-6 procedentes de Uchiza, provincia de Tocache, región San Martín. Así mismo se evaluó la variación de dimensiones y relación L/e (Longitud/espesor), porosidad de grano *entero* y *cortado*, índice de fermentación, color e Índice de Blancura, pH y acidez total a lo largo de la fermentación. Finalmente, se caracterizó a las muestras por análisis proximal.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CACAO

Según Enríquez (1985), el cacao es una planta de origen americano. Pound y Cheesman, 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. Menciona, además, que la difusión de la especie a través del territorio amazónico fue el vehículo para su evolución en dos grupos con características fenotípicas y genotípicas definidas, las cuales corresponden a los cacaos Criollo, Forastero y Trinitario, siendo esta última el producto del cruzamiento de las dos primeras.

2.1.1. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

El cacao o *Theobroma cacao* L. pertenece a la familia de las esterculiáceas. El árbol del cacao alcanza una altura de 8 a 10 m. Puede florecer durante todo el año, siempre que en su curso no haya períodos de sequía o variaciones de temperatura muy marcadas. Las frutas de baya se desarrollan de las flores en 5-6 meses. Las flores aparecen al principio de la época de lluvia y son polinizadas por insectos, sobre todo por los de las familias *Forcipomyia* y *Lasiothelea*. La forma de la fruta del cacao es similar a la del pepino, tiene aproximadamente 25 cm de largo, 8-10 cm de diámetro y pesa entre 300-400 g. La cáscara es carnosa de 20 mm de grosor, que cubre una pulpa gelatinosa y agridulce, denominada mucílago, que contiene un alto grado de azúcar. La fruta contiene 25-50 pepas de semilla en forma de almendra, de sabor amargo y dispuesto en 5-8 filas oblongas, una junta a la otra. (FEDECACAO, 2004)

2.1.2. VARIEDADES DE CACAO

Las variedades de cacao se clasifican en tres grandes grupos, según Enríquez (1978): Criollos, Forasteros y Trinitarios. Estos grupos se diferencian entre sí por su fenotipo y genotipo marcado

- a. **CRIOLLO:** Produce mazorcas cilíndricas con diez surcos profundos simples, con cascara (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, rectos o curvadas. El color de su mazorca puede variar del verde al rojo. Las semillas son blancas o ligeramente pigmentadas, de formas cilíndricas u ovales (Enríquez, 1978).
- b. **FORASTERO:** Poseen mazorcas ovoides, amelonadas, con diez surcos superficiales o poco profundos, cascara 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).
- c. **TRINITARIO:** Constituyen las poblaciones de híbridos de cruzamientos espontáneos de criollos y amelonados y tienen características de mazorcas y semillas casi similares o en la mayor parte intermedias a los dos grupos que le dieron origen (Enríquez, 1978).

2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CACAO FRESCO

Según García (2000), el cacao está conformado por dos partes en general, las cuales son el mucilago y el cotiledón, separadas por la cáscara que a su vez constituye el recubrimiento del cotiledón. Estas dos partes poseen diferente composición, las cuales varían de acuerdo a la época de cosecha, condiciones climatológicas, variedad, grado de maduración, etc. En el cuadro 1, se presenta la composición química del cotiledón y del mucilago de cacao fresco.

Cuadro 1: Composición química del cotiledón y del mucílago del cacao fresco

COMPUESTO	COTILEDÓN (%)	MUCÍLAGO (%)
Agua	35,0	84,5
Celulosa	3,2	0,0
Almidón	4,5	0,0
Pentosa	4,9	2,7
Sacarosa	0,0	0,7
Glucosa y fructosa	1,1	10,0
Manteca de cacao	31,3	0,0
Teobromina	8,4	0,6
Proteínas	2,4	0,0
Cafeína	0,8	0,0
Polifenoles	5,2	0,0
Ácidos	0,6	0,7
Sales minerales	2,6	0,8
TOTAL	100	100

FUENTE: Braudeau, citado por García 2000.

Como se puede ver en el cuadro 1, el mucílago posee minerales y es rico en azúcares reductores y agua. Estas características hacen de éste un medio ideal para el desarrollo de los microorganismos. Por otro lado, el cotiledón posee menor humedad y, a diferencia del mucílago, posee otros componentes que serán de importancia durante la fermentación para el desarrollo de precursores de aroma como los polifenoles, polisacáridos, proteínas, lípidos, ácidos orgánicos y pigmentos (García, 2000). Los componentes más importantes del grano de cacao se mencionan a continuación.

a. AZÚCARES: En habas frescas de cacao, el principal constituyente es la sacarosa. Otros azúcares que se encuentran en menor proporción son la fructosa y glucosa, además de trazas de pentitol, manitol, sorbosa e inositol. Cabe mencionar que los azúcares presentes en el cacao son los mismos en cualquier país productor, diferenciándose únicamente en a la concentración de los mismos (García, 2000).

b. PROTEÍNAS: Según Lehrian y Patterson, citados por García (2000), las proteínas se encuentran presentes ampliamente en los granos. Un punto importante de mencionar es que los altos niveles de proteínas son responsables del incremento del tiempo de fermentación requerido.

- c. **LÍPIDOS:** La grasa de cacao está constituida principalmente por glicéridos como el esteárico, oleico, palmítico y láurico (Wakao, citado por Díaz y Pinoargote, 2012).
- d. **ÁCIDOS:** Según García (2000), los ácidos presentes en los granos de cacao se clasifican en volátiles y no volátiles, teniendo como componentes mayoritarios el ácido acético y el cítrico respectivamente. También poseen pequeñas cantidades de ácido tartárico, láctico, glucónico, oxálico, málico y fosfórico. El contenido de ácidos orgánicos varía entre el 1,2 y 1,6 por ciento. (Armijos, citado por Díaz y Pinoargote, 2012).
- e. **POLIFENOLES:** Son compuestos que participan activamente en las modificaciones bioquímicas que ocurren en el interior de las almendras durante la fermentación (Díaz y Pinoargote, 2012). Son almacenados en las células de los cotiledones bajo la forma de epicatequinas y las leucocianidinas (García, 2000). Según Calderón, citado por Díaz y Pinoargote (2012) los polifenoles son responsables de la astringencia y amargor. Según Rivera *et al.* (2012), su concentración puede ser reducida en 60 por ciento durante la fermentación lo cual influye positivamente en la calidad del chocolate.
- f. **TEOBROMINA Y CAFEÍNA:** Según Wakao, citado por Díaz y Pinoargote (2012), la teobromina y la cafeína pertenece a la familia de las purinas y representan más del 99 por ciento de los alcaloides presentes en el cacao. Durante la fermentación disminuyen entre el 20 y 30 por ciento (Díaz y Pinoargote, 2012) o en ocasiones hasta el 50 por ciento (Portillo *et al.*, 2014). Según Braudeau, citado por Díaz y Pinoargote (2012), la reducción de las purinas conlleva al descenso del nivel de amargor, ya que estos compuestos son los principales responsables del amargor.

2.2. PRODUCCIÓN DE CACAO

2.2.1. PRODUCCIÓN NACIONAL DE CACAO

Según IICA (2009), en el Perú el cacao se cultiva principalmente en la parte baja de la vertiente oriental de la cordillera de los andes, entre los 200 y 900 msnm. También 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.

Gómez *et al.* (2014) necesita entre 1500 – 2500 milímetros de precipitación pluvial al año. La temperatura óptima es de 25 °C, requiere de vientos suaves y luminosidad media. Por lo tanto, es recomendable que el cultivo sea manejado en un sistema agroforestal de sombra.

El cacao se produce durante todo el año, sin embargo, el 37 por ciento se concentra en los meses de Mayo Junio y Julio. MINAG (2013). Las regiones con mayor producción de cacao son: San Martín, Junín, Cusco, Ayacucho, Amazonas y Ucayali, siendo San Martín y Junín las regiones de mayor producción, con 49,6 y 15,2 por ciento respectivamente.

Cuadro 2: Participación de las regiones en la producción nacional de cacao

N°	PARTICIPACIÓN DE LAS REGIONES EN LA PRODUCCIÓN DE CACAO (%)			
	REGIÓN	2012	2013	2014(*)
1	San Martín	42,8	44,7	46,9
2	Cusco	14,8	14,4	12,8
3	Ayacucho	9,9	8,6	6,0
4	Junín	12,1	13,7	15,2
5	Amazonas	7,2	5,9	5,8
6	Huánuco	3,9		4,5
7	Cajamarca	1,6	1,5	1,3
8	Ucayali	4,1	4	4,6
9	Otros	3,6	3,4	2,9
10	TOTAL	100	100	100

FUENTE: MINAG (2013); SIEA y MINAG (2016).

La producción de cacao es realizada por 30 000 agricultores en situación de pobreza, los cuales se dedican también al cultivo de otros productos para su subsistencia. Según IICA (2009), la mayoría de familias agricultoras poseen menos de dos hectáreas de cultivo. Por este inconveniente, muchas de ellas se organizan entre sí formando las “Asociaciones Productoras” de acuerdo a su zona de origen. De esta forma la producción se vuelve representativa en la cadena de valor del cacao.

El cacao fermentado seco es destinado al comercio directo mediante acopiadoras. En el Perú existen dos grandes tipos de acopio de cacao. La primera es mediante acopiadores locales que operan para grandes empresas agroindustriales, las cuales transforman el cacao para destinarlo al mercado nacional e internacional. Aquí, generalmente no se diferencia la calidad de los granos (como porcentaje de humedad, grado de fermentación, porcentaje de impurezas, etc.) manteniendo del precio de los mismos. Como consecuencia, no incentiva al

agricultor para mejorar la calidad de su producto. El cuadro 3 se muestra las principales agroindustrias de cacao y derivados que obtienen su materia prima por medio de acopiadores locales.

Cuadro 3: Principales agroindustrias exportadoras de cacao y derivados

CACAO				
DERIVADOS				PROD. TERMINADO
GRANO CRUDO	PASTA DESGRASADA/SIN DESGRASAR	MANTECA	POLVO	CHOCOLATES
Sumaqa SAC	Exportaciones Romex S.A.	Macchu Picchu Foods SAC	Macchu Picchu Foods SAC	Cia Nac. De Chocolates del Perú
Coop. Agraria Cacaotera Acopagro	Machu Picchu Foods S.A.	Exportadora Romex S.A.	Exportadora Romex S.A.	Machu Picchu Foods SAC
Amazonas Trading Perú SAC	Coop. Agraria Ind. Naranjillo	Cia Nac. De Chocolates del Perú	Conservas y Alimentos S.A.	Nestlé Perú S.A.
Coop. Agraria Ind. Naranjillo	Ecoandino SAC	Conservas y Alimentos S.A.	Coop. Agraria Ind. Naranjillo	Arcor del Perú S.A.
Coop Agraria Cafetalera El Quiacho L78	-	-	-	Molitalia S.A.

FUENTE: MINAG (2013).

El segundo modo de acopio es mediante las Cooperativas o Asociaciones de productores, que deciden participar en el mercado explorando rutas directas de comercialización para cacao y derivados, generalmente para el mercado internacional. La mayoría de estas organizaciones están adscritas a la asociación Peruana de Productores de Cacao (APPCACAO), algunas de ellas se encuentran en el cuadro 4.

Cuadro 4: Organizaciones adscritas en la Asociación Peruana de Productores de Cacao

ORGANIZACIÓN	SIGLA	REGIÓN
Asociación Regional de Productores de Cacao de Tumbes	ARPROCAT	Tumbes
Asociación de Pequeños productores de Cacao de Piura	APROCAP	Piura
Asociación de Productores Cacaoteros y Cafetaleros del Amazonas	APROCAM	Amazonas
Central de Productores Agropecuarios de Amazonas	CEPROAA	Amazonas
Cooperativa Agraria Cafetalera Oro Verde	CAC ORO VERDE	San Martín
Cooperativa Agraria Industrial Tocache	CAI TOCACHE	San Martín
Cooperativa Agraria Cacaotera	ACOPAGRO	San Martín
Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo	CAI NARANJILLO	Huánuco
Asociación de Productores Agropecuarios San Cristóbal	APASC	Pasco
Cooperativa Agraria Cafetalera Satipo	CAC SATIPO	Junín
Cooperativa Agraria Cafetalera Pangoa	CAC PANGOA	Junín
Central de Organizadores Productoras de Café y Cacao del Perú	CAFÉ PERU	Lima
Comité Central de Productores Agropecuarios de San Alejandro	COCEPASA	Ucayali
Cooperativa Agraria Cafetalera de Quinacho	CAC EL QUINACHO	Ayacucho
Cooperativa Agraria Cafetalera Valle Rio Apurímac	CAVRA	Ayacucho
Cooperativa Agraria Cafetalera Alto Urubamba	CAC ALTO URUBAMBA	Cusco
Asociación de Productores de Cacao de los Valles de Yanatile y la Convención	APROCAV	Cusco

FUENTE: APPCACAO (2016).

La producción de cacao tuvo un notable crecimiento en los últimos diez años. Esto es debido al aumento de demanda del mercado extranjero. El nivel más alto de producción se obtuvo en el 2014, con 81 mil toneladas provenientes de 106 mil hectáreas. La evolución de la producción anual se puede ver en el cuadro 5.

Cuadro 5: Producción, superficie cosechada, rendimiento de producción y precio de los granos de cacao en los últimos diez años

AÑO	PRODUCCIÓN (T)	SUPERFICIE (HA)	RENDIMIENTO (T/HA)	PRECIO EN CHACRA (N. SOLES/T)
2005	25,257	50,313	502	3,750
2006	31,676	56,732	558	3,650
2007	31,387	59,835	525	5,040
2008	34,003	63,626	534	5,770
2009	36,803	66,335	555	4,530
2010	46,613	77,192	604	4,530
2011	56,499	84,174	671	4,530
2012	62,492	91,497	683	4,800
2013	71,838	97,611	736	5,000
2014	81,651	106,635	766	6,429

FUENTE: SIEA y MINAG (2016).

El aumento de producción de cacao a nivel nacional fue posible gracias a las políticas de mejora agraria, erradicación de cultivo ilegal de coca y la ampliación de áreas de cultivo.

2.3. BENEFICIO DEL CACAO

2.3.1. COSECHA

Según Díaz y Pinoargote (2012), la cosecha consiste en la colección de mazorcas sanas y maduras. Una señal de madurez es el sonido que produce la mazorca al ser golpeada ligeramente, el cual es como si estuviera “hueco” en su interior. La cosecha de mazorcas sobremaduras aumenta la probabilidad de obtener almendras germinadas, las cuales son muy susceptibles al ataque de los hongos. Tampoco es recomendable cosechar mazorcas pintonas, 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.

2.3.2. QUEBRADO DE MAZORCAS

Según Isla (2009), 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. En la figura 1 se ve el quebrado de mazorca con machete sin filo.



Figura 1: Quebrado de mazorca con machete sin filo.

FUENTE: Schilling y Regalado (2009).

Luego, el contenido es vaciado retirando las semillas manualmente sin extraer la placenta o venilla de la mazorca, colocándolos en un recipiente de plástico. Extraer la placenta y mezclarlo con las semillas aumenta la impureza del lote y por lo tanto disminuye su calidad.

2.3.3. FERMENTACIÓN

Según Navia y Pazmiño (2012), la fermentación es una de las etapas pos cosecha que más afectan a la calidad de los productos obtenidos a partir de cacao. El objetivo principal de la fermentación es inducir las transformaciones bioquímicas necesarias para la formación de precursores de sabor del chocolate.

Según Thompson *et al.* e INIAP, citados por Díaz y Pinoargote (2012), el sistema de fermentación de cacao varía considerablemente de país a país de acuerdo con el volumen de producción. La mayoría de cacao del mundo es fermentado en montones cubiertos con hojas de plátano, en cestas, sacos; o en cajas de madera, pudiendo ser de un nivel o tipo escalera, como se ve en la figura 2.



Figura 2: Fermentador de cacao tipo caja de madera escalonada.

FUENTE: Mikkelsen (2010).

La fermentación del cacao es un proceso espontáneo que usualmente se realiza en cajas de madera, este tiene una duración de dos a ocho días, dependiendo de la variedad. Inicia con la apertura de la mazorca, o también llamado “el quebrado” y la extracción de las semillas de cacao. Las semillas, al momento de ser extraídas, están envueltas en una pulpa mucilaginosa de color blanco que comprende el 40 por ciento del peso en base húmeda del cacao fresco (Schwan y Wheals, 2004).

El término de la fermentación se encuentra mediante seis métodos cualitativos para iniciar el proceso de secado, según Quesnel, citado por García (2000):

- a. Tiempo de calendarizado
- b. Pruebas de corte y criterio de color del cotiledón
- c. Color externo de las habas
- d. Olor de la masa fermentativa
- e. Descenso de la temperatura
- f. Hinchamiento de los granos

Sin embargo, son muy inapropiados debido a que dependen de la capacidad de reconocimiento organoléptico de la persona encargada.

2.3.4. SECADO

El proceso de secado se basa en el movimiento de aire para eliminar el agua. El aire penetra a las almendras a través de la cutícula o testa, oxidando una parte de los polifenoles que quedan en el grano (Díaz y Pinoargote, 2012). Según Nogales *et al.* (2006), el secado al sol

es el proceso donde continua y culmina la fermentación, ya que en los primeros días de secado no se logra alcanzar la humedad requerida para la inactivación enzimática. Como consecuencia, el índice de fermentación incrementa después de este proceso, lo cual es positivo.

Al completarse la fermentación, los granos de cacao terminan con alrededor de 55 por ciento de humedad (INIAP, citado por Díaz y Pinoargote, 2012), disminuyéndose con el secado hasta un 7 o 7,5 por ciento, indicador de calidad del grano (Isla, 2009).

Para el secado se utilizan dos métodos: el natural (Secado al sol) y el artificial (secadoras mecánicas).

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, 2009). El secado natural puede hacerse en pisos de cemento pulido, parihuelas de madera, en mantas de polipropileno, barcoas, esteras y en tarimas como se puede ver en la figura 3.



Figura 3: Secado natural de cacao en tarimas.

FUENTE: Gutiérrez (2009).

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 del cascara, reteniendo los ácidos volátiles perjudicando el sabor y la calidad del mismo.

2.3.5. ENVASADO

Los granos de cacao secos se almacenan en sacos de yute o polipropileno para su almacenamiento y comercialización (Schilling y Regalado, 2009).

2.3.6. ALMACENAMIENTO

Los sacos de cacao son almacenados sobre tarimas en una bodega limpia libre de olores extraños, de entre 60 y 70 por ciento de humedad relativa y temperatura ambiente, libre de animales e insectos (ratones, polillas, gorgojos, etc.) y por un tiempo máximo de dos meses (Schilling y Regalado, 2009). A continuación, se ve un ejemplo de almacenamiento de granos de cacao (figura 4).



Figura 4: Almacenamiento de granos de cacao, izquierda (sacos de polipropileno); derecha (sacos de yute).

FUENTE: Schilling y Regalado (2009).

2.4. CAMBIOS QUE OCURREN EN LA FERMENTACIÓN DEL CACAO

La fermentación del grano de cacao es un proceso esencial para el desarrollo apropiado de los precursores del sabor. Esta etapa tiene dos objetivos principales.

Según Thompson *et al.*, citado por Rodríguez (2011):

- Remover el mucilago, permitiendo la aireación del grano durante la fermentación y facilitar el proceso de secado.

- Proveer el calor y el ácido acético necesario para inhibir la germinación.

García (2000) atribuye también otros procesos que ocurren durante este evento, que son:

- El desencadenamiento de reacciones biológicas y enzimáticas que favorecen la reducción del amargor y astringencia del cacao, además del desarrollo de las sustancias precursoras del aroma característico y sabor del chocolate.
- El cambio de coloración del cotiledón dependiendo de la especie de cacao al característico color café del chocolate.

La fermentación es la fase más importante del beneficio porque durante este proceso ocurren cambios bioquímicos que permiten obtener una materia prima de calidad (Moreno, 1989). Según Thompson *et al.*, citado por Díaz y Pinoargote (2012), 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, tal y como se puede ver en la figura 5.

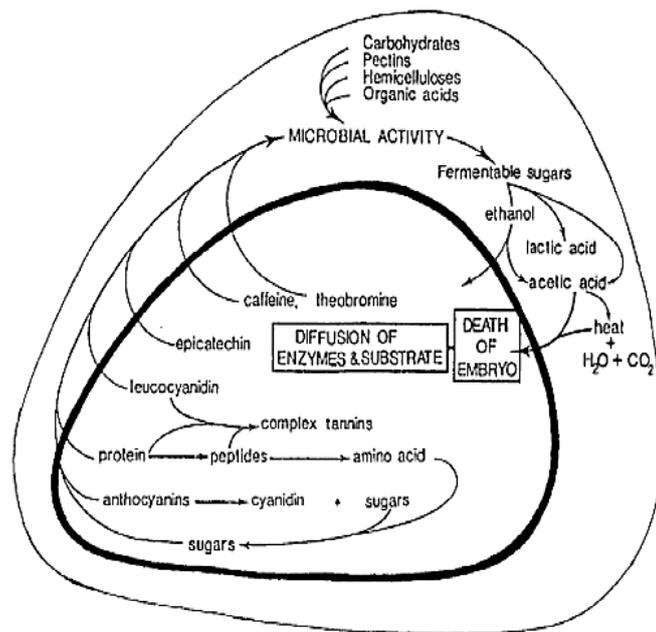


Figura 5: Principales cambios en el grano de cacao durante la fermentación.

FUENTE: López y Dimick, citados por Navia y Pazmiño (2012).

Después de ello, los componentes solubles del grano son lixiviados a través de la testa y perdidos en el escurrimiento. La fermentación del cacao se caracteriza por presentar dos fases muy marcadas, las cuales son.

2.4.1. FERMENTACIÓN ANAEROBIA

En el exterior del grano de cacao se contempla la formación de etanol y ácido láctico por levaduras y bacterias lácticas respectivamente (García, 2000). Mientras que, dentro del grano de cacao, ocurre la mayor parte de reacciones hidrolíticas como la formación de péptidos, aminoácidos libres y azúcares por acción de proteasas y glicosidasas respectivamente (Díaz y Pinoargote, 2012). Esto se indica en el cuadro 6. La actividad enzimática en el interior del grano dependerá del pH y la temperatura producida por los microorganismos.

Cuadro 6: Características de las principales enzimas activas durante el beneficio del grano de cacao

ENZIMAS	UBICACIÓN	SUSTRATO	PRODUCTO	PH	TEMP. (°C)
Invertasa	Testa	Sucrosa	Glucosa y fructosa	4,0-5,25	52-37
Glucosidasa (β -galactosidasa)	Almendra	Glucósidos (3- β -D-galactosidyl cyanidin y 3- α -L-arabiosidyl cyanidin)	Cianidinas y azúcares	3,8-4,5	45
Proteasas	Almendra	Proteínas	Peptidos y aminoácidos	4,7	55
Polifenoloxidasa	Almendra	Polifenoles	Quinonas y diquinonas	6,0	31,5-34,5

FUENTE: Thompson *et al.* (2001), citado por Díaz y Pinoargote (2012).

El primer día de fermentación predominan las levaduras existiendo varias especies involucradas (García, 2000). Las levaduras más importantes en el proceso fermentativo, aislados por Lagunes-Galvez *et al.* (2007), son *Hanseniaspora guillermondii*, *Hanseniaspora valbyensis*, *Candida glabrata*, *Candida krusei* como productores principales de etanol y *Pichia fermentans*, *Yarrowia lipolytica* y *Candida zeylanoides*

como oxidantes del ácido cítrico. La reacción principal durante esta etapa se muestra a continuación.



Otra de las reacciones que se da durante esta fase es la hidrólisis del ácido cítrico, el cual incrementa el pH del mucilago o pulpa de 3,5 a 4,2, haciéndolo un medio más propicio para el crecimiento de las bacterias acidolácticas.

Las levaduras también poseen actividad pectinolítica, provocando la formación del jugo o exudado rico en azúcares, pectinas y ácidos orgánicos, lo que permite la reducción de la viscosidad y una mayor aireación de las almendras (García, 2000).

Según Shwan *et al.*, citado por García (2000), las cepas de levaduras desaparecen en el curso de la fermentación y solamente se ha encontrado, en algunas ocasiones, una cepa al final del proceso. El decline de las levaduras se debe principalmente a la propia intolerancia de estas al alcohol en proporción de 4 por ciento v/v y al incremento de temperatura por acción de las bacterias acéticas.

Las bacterias acidolácticas empiezan a proliferar cuando parte del mucilago ha sido drenado y las levaduras comienzan a declinar (García, 2000). Lagunes-Galvez *et al.* (2007), aislaron 4 especies de bacterias ácido lácticas: *Lactobacillus plantarum*, *L. pentosus*, *L. paracasei* y *L. brevis*. 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).

2.4.2. FERMENTACIÓN AEROBIA

Su acción principal es la formación de ácido acético a partir de etanol, García (2000). Esta condición es inducida por la remoción de los granos de cacao, favoreciendo la proliferación de las bacterias acéticas. Estas bacterias oxidan el etanol producido durante la fermentación alcohólica a ácido acético y acetato de etilo. Esta reacción es altamente exotérmica, lo cual genera el aumento de temperatura de la masa del grano de cacao que puede llegar hasta los 50°C (Schwan y Wheals, 2004). Así mismo, las fracciones de ácido láctico son también oxidadas a dióxido de carbono y agua (García, 2000). La reacción que da lugar a la formación de ácido acético se muestra a continuación.



Forsyth y Quesnel, citados por García (2000), mencionan que la producción de acidez en las habas de cacao y el incremento de temperatura que se da en la masa de fermentación, origina la difusión e hidrólisis de proteínas en los cotiledones y esta función se le atribuye al metabolismo de las bacterias acéticas. Por lo tanto, la contribución de estas bacterias es de suma importancia para la formación de precursores de sabor, como azúcares reductores, pirazinas y aminoácidos libres. Estos compuestos son modificados por la reacción de Maillard durante el tostado de las almendras secas, contribuyendo al sabor característico del chocolate (Camu *et al.*, citado por Díaz y Pinoargote, 2012).

Algunas bacterias acéticas aisladas por Carr, Ostovar, Keeney y Passos durante la fermentación del cacao fueron *Acefobacter pasfeurianus*, *A. Peroxidans*, *A. Aceti*, y *Gluconobacter oxidans* (Díaz y Pinoargote, 2012). Mientras que Lagunes-Galvez *et al.* (2007) aisló a *Acefobacter lovaniensis*.

2.4.3. CAMBIOS EN LA TEMPERATURA

Durante la fermentación, la temperatura se incrementa debido a la actividad microbiana. Según Ortiz *et al.* (2009a), el incremento es gradual desde 31 °C, alcanzando su valor máximo en el segundo día de fermentación a 41 °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 mayores valores (García, 2000).

2.4.4. 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.*, citado por García 2000). 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 *et al.*, 2011).

Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2011), menciona que el pH del grano disminuye de 6,4 a 4,5 al octavo día de fermentación. Así mismo, Nazaruddin *et al.*, citado por Rodríguez *et al.* (2011), encontraron una disminución de pH de 6,5 a 4,4.

A bajos valores de pH se indica que el cacao es de calidad inferior. Portillo *et al.*, citados por Rodríguez *et al.* (2011), encontraron los granos de cacao con pH menor a 4,5 poseen bajo potencial aromático. Afoakwa, *et al.* (2008), postularon que el cacao fermentado con un pH entre 5,5 - 5,8 es considerado como pobremente fermentado, mientras que un cacao con un pH entre 4,7 - 5,2 se considera que ha sido fermentado adecuadamente.

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. La concentración de etanol disminuye en el tiempo mientras se produce el ácido acético, tal y como se puede ver en la figura 6.

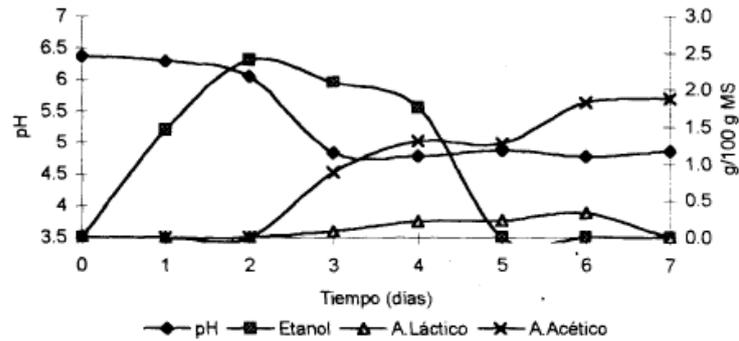


Figura 6: Comparación de la evolución de los perfiles de pH y los principales productos durante la fermentación en el cotiledón.

FUENTE: García (2000).

2.4.6. CAMBIOS EN EL COLOR

La coloración de las almendras de cacao se debe a la presencia de polifenoles, los cuales se dividen en tres: Leucocianidinas (58%), catequinas (37%) y antocianinas (4%). (Forsyth y Quesnel, citados por Navia y Pazmiño, 2012).

Según Díaz y Pinoargote (2012), la polifenoloxidasas 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 Thompson *et al.*, citado por Díaz y Pinoargote (2012), el principal sustrato de la polifenoloxidasas son las epicatequinas, polifenoles que forman el 90 por ciento de la fracción catequina total. Los polifenoles se oxidan para formar quinonas que a su vez pueden polimerizarse con otros polifenoles o formar complejos con aminoácidos y proteínas para producir compuestos coloreados de alto peso molecular, los cuales son insolubles.

2.4.7. CAMBIOS EN LA POROSIDAD

Según Senanayake *et al.*, citado por Contreras *et al.* (2004), 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 Thompson *et al.*, citado por Díaz y Pinoargote (2012), este exudado es rico en etanol, ácido acético, ácido láctico y otros componentes de menor concentración. También es producto de la desintegración del mucilago por acción de las enzimas pectinolítica de las levaduras. 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. Sin embargo, esta característica se ve afectada durante el secado, ya que 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 and Akintunde (2007), la porosidad de los granos de cacao de baja humedad (3,5 por ciento) oscila entre 46 y 36 por ciento dependiendo de la variedad. Cabe mencionar que 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.

2.5. CACAO FERMENTADO Y SECO

Los granos de cacao son el resultado de la cosecha y el beneficio del fruto del cacao. Según Moreno (1989), beneficiar cacao es efectuar un conjunto de actividades que empiezan con la cosecha o recolección de las mazorcas, el quiebre de estas y la extracción de los granos. Continúa con la fermentación, secado y termina con la limpieza y la selección de los mismos. Todo este proceso tiene por finalidad ofrecer un grano de buena calidad que permita la elaboración de productos alimenticios con las características de sabor y aroma a chocolate. Además, FEDECACAO (2004), menciona que, además de las características organolépticas, también se considera el tamaño grano o almendra, el contenido de grasa y el porcentaje de cascarilla como indicadores de calidad.

2.5.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CACAO SECO FERMENTADO

La composición química general del cacao se ve afectada después de someterlos a un proceso de fermentación y secado. Según Díaz y Pinoargote (2012), la composición química del grano de cacao dependerá de la variedad, origen geográfico, grado de madurez, calidad de fermentación y el secado. En el cuadro 7 se muestra la composición proximal del cacao fermentado y seco según autores.

Cuadro 7: Composición de los granos de cacao fermentado y seco

COMPONENTE	PORCENTAJE				
	a	b	c ¹	c ²	d
HUMEDAD	5,2	4,3	-	-	3,6
GRASA CRUDA	56,0	46,3	53,9	53,7	46,3
PROTEINA CRUDA	11,3	12,2	14,0	14,2	12,0
FIBRA CRUDA	0,4	-	2,2	1,6	8,5
CARBOHIDRATOS	23,8	-	-	-	26,2
CENIZAS	3,3	3,0	2,7	3,3	3,4

FUENTE: (a) Álvarez *et al.* (2007); (b) Lares *et al.* (2007); (c¹) Var.

CCN-51 (c²) ICS-95 Perea *et al.* (2011); (d) Collazos *et al.* (1996).

2.6. PRUEBA DE CORTE

INACAL (2016a), menciona en que la prueba consiste en realizar un corte longitudinal de los cotiledones a 300 granos para examinar visualmente y separar los granos defectuosos de aquellos que si cumplen con una fermentación adecuada. Gutiérrez (2009), INACAL (2016b), y otros autores definen estos granos de la siguiente manera:

2.6.1. GRANO MOHOSO

Grano que ha sufrido deterioro parcial o total en su estructura interna debido a la acción de hongos, determinado mediante prueba de corte. 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 pública, como la ocratoxina A. En la figura 7 se muestra un ejemplo de grano mohoso.



**Figura 7: Grano de cacao
seco con moho interno.**

FUENTE: Schilling y Regalado (2009)

Para evitar estos granos, Schilling y Regalado (2009), recomiendan separar las mazorcas infestadas en la cosecha y no mezclarlas con las mazorcas sanas; no prolongar innecesariamente el tiempo de fermentación; respetar la aireación periódica de la masa de cacao en la fermentación; limpiar y secar los equipos de fermentación; realizar un secado homogéneo en todo el grano y proteger su almacenamiento y transporte de la lluvia y la alta humedad.

2.6.2. GRANO PIZARROSO (PASTOSO)

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. 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 amargo, astringente y ausente de sabor. Las características visuales de este tipo de granos se muestran en la figura 8.



**Figura 8: Granos de cacao pizarrosos
o pastosos.**

FUENTE: Izq.: Cubillos *et al.* (2008). Der.: Mikkelsen (2010).

Por otro lado Schilling y Regalado (2009), mencionan que el grano pizarroso proviene de mazorcas inmaduras o pintonas, ya que no tienen suficiente azúcar para su adecuada fermentación.

2.6.3. GRANO GERMINADO

Grano que ha sufrido deterioro evidente en su estructura por el proceso de germinación, o por la acción mecánica durante el beneficiado. 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, esto se ve en la figura 9.



Figura 9: Granos de cacao germinados en el proceso fermentativo.

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

2.6.4. GRANO DAÑADO POR INSECTOS

Grano que ha sufrido deterioro en su estructura (perforaciones, picados, etc.) debido a la acción de insectos. 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. La estructura del grano queda gravemente deteriorada como se puede ver en la figura 10 (derecha).

2.6.5. GRANO PLANO

Es un grano cuyos cotiledones se han atrofiado hasta tal punto que cortando la semilla no es posible obtener una superficie de cotiledón. 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. A continuación en la figura 10 (izquierda), se puede observar las características de un grano plano.



Figura 10: Izquierda, grano de cacao plano entero. Derecha, grano de cacao infestado por insectos.

FUENTE: Schilling y Regalado (2009).

2.6.6. GRANO VIOLETA O VIOLÁCEO

Grano cuyos cotiledones presentan un color violeta intenso, debido al mal manejo en la cosecha o fermentación del cacao. Su forma es aplanada, de bajo espesor, la cascara es difícil de separar de la almendra y es compacta, es decir, no es quebradiza. La presencia de estos granos se debe a varios factores, principalmente por los siguientes (Schilling y Regalado, 2009):

- 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.

Las características mencionadas se pueden ver a continuación en la figura 11.



Figura 11: Grano de cacao violeta o violáceo partido.

FUENTE: Izq.: Schilling y Regalado (2009); Der.: Mikkelsen (2010).

2.6.7. GRANO ROTO

Grano de cacao que ha perdido un fragmento, la parte media equivale a menos de la mitad del grano. Según Schilling y Regalado (2009), los granos quebrados se producen por un secado excesivo y un apilamiento inadecuado de los sacos de producto final. Un ejemplo de grano quebrado o roto lo podemos ver en la figura 12 (derecha).

2.6.8. GRANO MÚLTIPLE

Son dos o más granos unidos íntimamente por una de sus caras con restos de mucílago, tal y como se muestra en la figura 12 (izquierda). 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: Izquierda: Grano múltiple de cacao. Derecha: Grano quebrado.

FUENTE: Schilling y Regalado (2009)

2.6.9. 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, 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 lo siguiente:

- Es hinchada y gruesa.
- Forma arriñonada.
- Naturaleza quebradiza.
- Cascara fácil de separar.
- Color café oscuro o blanquecino.
- Sabor y aroma característico del cacao.

En la figura 13 se puede ver los granos adecuadamente fermentados, los cuales pueden variar el color de marrón oscuro a tonalidades más claras.



Figura 13: Granos de cacao adecuadamente fermentados.

FUENTE: Schilling y Regalado (2009).

Esta tonalidad parda se debe a la oxidación de las antocianinas y a la oxidación de los polifenoles hacia compuestos quinónicos (Cros *et al.*, 1982). Según Gutiérrez (2009), las estrías internas guardan aire en su interior, de modo que estos granos pueden flotar en el agua.

La prueba de corte es la principal metodología para el control de calidad de los granos de cacao. Mediante esta, se puede corroborar y clasificar a los granos de cacao de acuerdo a las exigencias del mercado nacional o extranjero. Por ello, INACAL (2006b), en la NTP – ISO 2451.2016, establece un estándar de clasificación mostrado en el cuadro 8.

Cuadro 8: Estándares nacionales de clasificación de granos de cacao

GRADO	PORCENTAJE DE GRANOS (%)		
	MOHOSOS	PIZARROSOS	DAÑADOS POR INSECTOS
1	3	3	3
2	4	8	6

FUENTE: INACAL (2016b).

2.7. ÍNDICE DE FERMENTACIÓN

Según Gutiérrez (2009), es un índice físico, el cual evalúa las características físicas de los cotiledones del grano partido por la prueba de corte. La determinación del valor numérico del índice de fermentación es calculada mediante el análisis de 300 granos de cacao seco de un muestreo al azar.

Según Gutiérrez y Bacalla (2007) y Gutiérrez *et al.* (2007), mencionan que el índice de fermentación aumenta desde el primer día de fermentación. Su aumento depende mucho del tratamiento al que se somete la masa de cacao. Para obtener valores altos de índice de fermentación se debe considerar las siguientes variables y controles durante la fermentación:

- Tipo de fermentador.
- Tiempo de reposo de mazorcas antes del quiebre y extracción de almendras.
- Periodos de remoción de la masa de cacao.
- Control de temperatura ambiental y de fermentación.
- Tiempo de fermentación.

Si bien el índice de fermentación aumenta durante la fermentación, este valor también aumenta durante el secado, según Nogales *et al.* (2006), la actividad de la enzima polifenoloxidasas es la responsable del aumento del índice de fermentación, la cual cesa entre el tercer y cuarto día de secado por los bajos niveles de humedad que se alcanza.

2.8. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS GRANOS

La física es uno de los principios que gobierna la mayoría de los procesos habituales en la industria alimentaria. Permite identificar constantemente los cambios que sufren los alimentos en las operaciones unitarias, siendo de suma importancia los conocimientos cuantitativos para el diseño y análisis de los procesos (Heldman, 1998).

2.8.1. DENSIDAD

La densidad es la masa de una sustancia o un alimento contenida en una unidad de volumen (Alvarado y Aguilera, 2001).

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

En el sistema Internacional de Unidades (SI) la densidad se expresa kg m^{-3} . En alimentos líquidos la densidad se diferencia entre la densidad real y densidad aparente, de la misma manera también se aplica a los sólidos (Lewis, 1993).

a. DENSIDAD REAL

Se dice densidad real, cuando la determinación se realiza a vacío, sin que exista efecto de la flotación del aire (Alvarado y Aguilera, 2001).

$$Densidad\ real = \frac{masa}{volumen\ real\ de\ ma\ muestra}$$

Del mismo puede estimarse mediante la siguiente expresión.

$$\rho^r = \frac{1}{\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \frac{m_3}{\rho_3} + \dots + \frac{m_n}{\rho_n}}$$

Dónde:

ρ_r : densidad del alimento.

m_1 a m_n : fracciones individuales de los componentes de 1 a n.

n: número de componentes.

b. DENSIDAD APARENTE

Se dice densidad aparente, cuando la determinación se realiza en presencia de aire; en consecuencia se debe hacer la corrección que incluya el efecto de la temperatura, presión, humedad relativa del aire para expresarla como densidad absoluta (Alvarado y Aguilera, 2001).

$$Densidad\ aparente = \frac{masa}{volúmen\ global\ de\ la\ muestra}$$

El concepto de densidad en líquidos es fácil de comprender, pero los sólidos en forma particular (guisantes y polvos) tienen una densidad global así como una densidad propia del sólido que debe considerarse. Los gases y vapores, al contrario de los líquidos y sólidos, se consideran que son comprensibles. El estudio de la densidad en el procesamiento de alimentos es de gran importancia (Lewis, 1993).

Para granos de cacao, Bart – Plange y Baryeh (2002), menciona que la densidad aparente de los granos de cacao posee una relación inversa con respecto a la humedad de los granos. La humedad aumenta el volumen de los mismos, disminuyendo el valor de densidad aparente.

2.8.2. POROSIDAD

La porosidad es definida como la cantidad de espacios vacíos que dejan los granos entre sí, dentro de un silo o empaque los cuales son ocupados por aire. Se expresa como la relación entre el volumen de dichos espacios vacíos y el volumen total (Lewis, 1993).

Rahman (2001), considera los siguientes tipos de porosidad como:

a. **Porosidad de poro abierto**

Es la relación del volumen de poros conectados al exterior.

b. **Porosidad de poro cerrado**

Son aquellos poros internos encerrados dentro de la partícula.

c. **Porosidad de poros ciegos**

Serpil y Servet (2009), mencionan que este tipo de poros poseen un extremo cerrado, a diferencia de los poros abiertos que pueden permitir el libre flujo de aire como entradas y salidas en la partícula.

d. **Porosidad de volumen**

Incluye el aire o volumen de vacío exterior fuera del material individual cuando esta empacado o agrupado en volumen. La porosidad es usualmente medida directamente midiendo la fracción de volumen de aire o es derivado de los datos de encogimiento y densidad. Serpil y Servet (2009), lo nombran como porosidad global, el cual es el espacio entre partícula y partícula cuando se apilan en granel.

A continuación se muestra en la Figura 14 los tipos de porosidad que existen en la partícula.

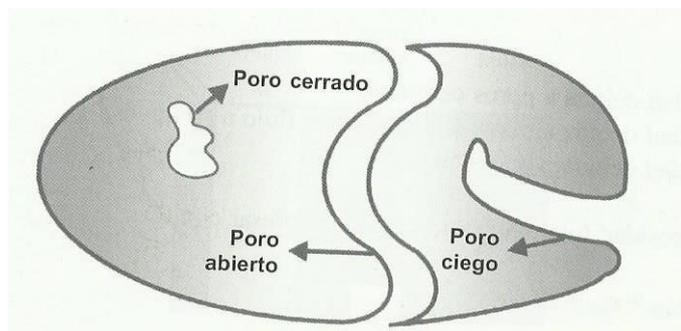


Figura 14: Tipos de poros en la partícula.

FUENTE: Serpil y Servet (2009).

Guerrero (2005), menciona que uno de los factores que afecta a la porosidad es la humedad, ya que un contenido mayor de humedad, en un alimento, habrá menor cantidad de espacios libres y por lo tanto menor porosidad.

Según Bart – Plange *et al.* (2002) y Huamán (2011), mencionan que la porosidad de los granos de cacao depende de la humedad de los mismos, encontrándose una relación inversa, ya que a medida que aumenta la humedad del grano se disminuye la fracción de aire de los mismos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

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

- Instalaciones para el proceso poscosecha de cacao del Fundo Terra Nostra, Uchiza, provincia de Tocache, San Martín.

- Laboratorio de Fisicoquímica 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 las variedades CCN-51 (Colección Castro Naranjal) e ICS-6 (Imperial College Selection), los cuales provinieron 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 los granos de cacao seco fermentado y sin fermentar. Las muestras fueron empacadas en bolsas de polietileno y embaladas en sacos de rafia para ser transportadas a Lima.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Vasos precipitados de 500, 150 y 50 ml.
- Probetas graduadas de 10 y 150 ml.
- Pipetas graduadas de 10 ml.
- Baguetas
- Buretas de 25 ml
- Campanas de desecación.
- Bolsas dilaminadas de 1 kg.
- Papel tissue.
- Navaja de corte Trupher.
- Papel filtro de 8 - 12 μ m.

3.3.2. EQUIPOS

Se utilizaron los siguientes equipos:

- Porosímetro de Day, modificado por Ureña 1990.
- Colorímetro digital, Konica minolta CR400[®].
- Potenciómetro SCHOTT, Handylab D-55014 Mainz[®].
- Molino de cuchillas Molinex[®].
- Balanza eléctrica (ADAM EQUIPEMET modelo CBW-12aH[®]) sensibilidad (0,1 g).
- Balanza Analítica Adventurer[®], rango de medición (10⁻⁴ g) Mod. AR 2140.
- Estufa Mermnert. (Por cotizar).
- Equipo de filtración al vacío. [®])
- Vernier Stainless Hardened[®] 10-2 mm

3.3.3. REACTIVOS Y SOLUCIONES

- Solución buffer de pH 7,01
- Solución buffer de pH 4
- Hidróxido de sodio 0,1 N

- Fenolftaleína concentrada.
- Agua destilada.

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ÍNDICE DE GRANO

El índice de grano se determinó según la metodología del APPCACA (2012). Se cuantificó, por triplicado, 100 granos de cacao de cada repetición de fermentación y se les pesó, luego se dividió entre 100, con la siguiente fórmula.

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

3.4.2. DIMENSIONES

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 por cada día de fermentación para las tres repeticiones del proceso de fermentación.

3.4.3. POROSIDAD

La porosidad se calculó a partir de los valores de densidad real y densidad aparente utilizando la ecuación de Lewis (1993).

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} = 1 - \frac{\text{densidad aparente}}{\text{densidad real}}$$

Para hallar los valores de densidad real y densidad aparente se siguió con los siguientes métodos de medición:

3.4.4. DENSIDAD REAL

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.



Figura 15: Porosímetro de Day, modificado por Ureña.

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

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

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.

$$V_2 / V_1 = (P_1 - P) / P$$

Donde la fracción volumétrica es la porosidad (ε) 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.

$$\varepsilon = F_c \times (P_1 - P) / P$$

Donde:

$$F_c = V_1 / V_{rec2}$$

V_{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:

$$(V_{rec2} - V_a) / V_1 = (P_1 - P) / P$$

Donde:

V_{rec2} = Volumen del recipiente 2.

V_a = Volumen de agua añadida.

El termino $(1/V_1)$ 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_{rec2}).

Se elaboró tres curvas de calibración de agua, una para cada repetición de fermentación o lote. Para esto se vertió un volumen conocido de agua (60 ml) en el recipiente 2 para el primer punto y posteriormente se adicionó 40 ml de agua por cada medición; haciendo un total de ocho mediciones que fueron los puntos de la curva.

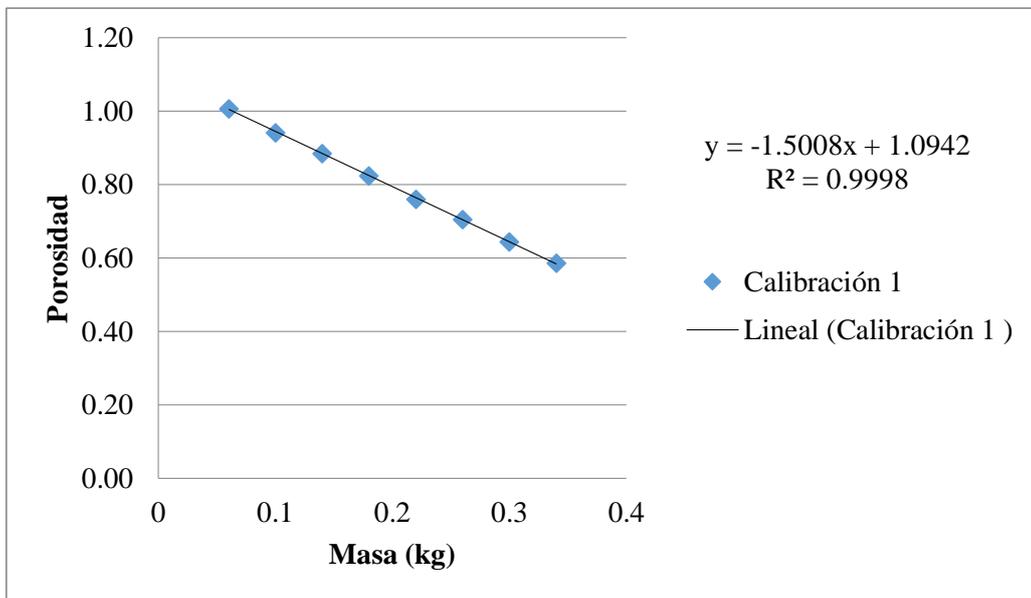


Figura 16: Recta de calibración con agua para la primera repetición de Fermentación.

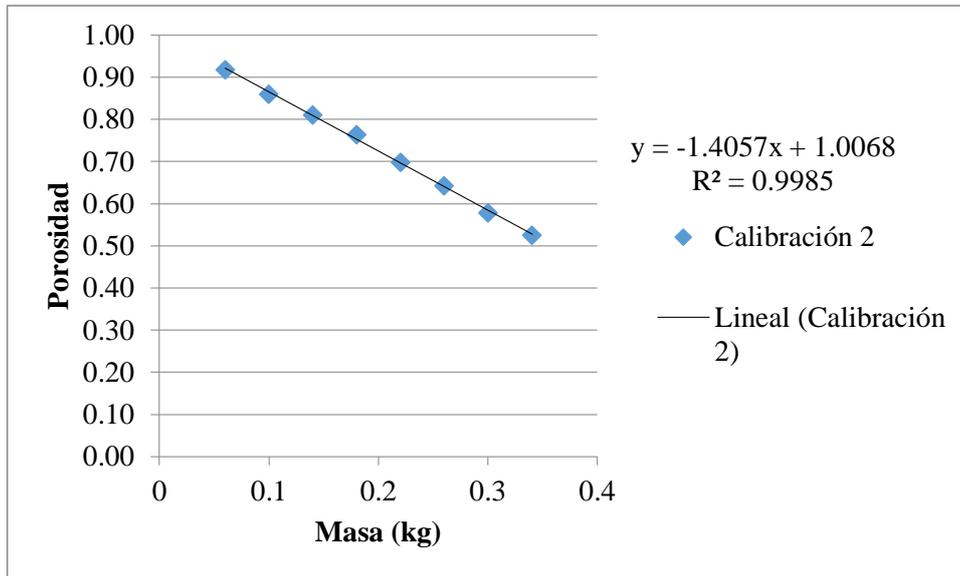


Figura 17: Recta de calibración con agua para la segunda repetición de fermentación.

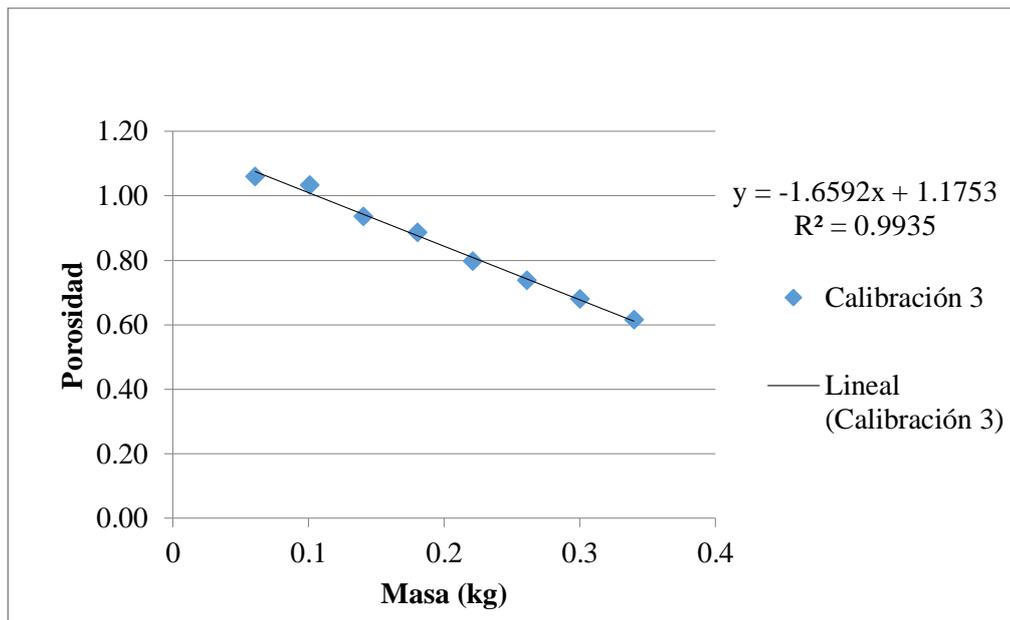


Figura 18: Recta de calibración con agua para la tercera repetición de fermentación.

Para iniciar el análisis de cada replica de fermentación, se cerró el sistema, 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 “P1”. Luego se abre la válvula 2, para expandir el aire atrapado del recipiente 2 hacia todo el sistema hasta llegar al equilibrio, obteniendo “Peq”. Luego se procede a abrir las válvulas 1 y 2 para la entrada de aire al sistema para proceder a realizar la siguiente medición.

Para la determinación de la porosidad 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.

a. DENSIDAD APARENTE

Para determinar la densidad aparente de los granos de cacao, se colocó una muestra de estos, de peso conocido (50 g), en una probeta graduada. La parte superior fue nivelada para disminuir los errores de medición sin compactación manual. El valor de densidad fue calculado mediante la relación de la masa y del volumen de la muestra.

$$Densidad\ aparente = \frac{masa\ (kg)}{Volumen\ global\ (L)}$$

3.4.5. 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. Este valor se expresa en porcentaje mediante la siguiente ecuación.

$$Indice\ de\ Fermentación = \frac{Granos\ fermentados}{granos\ totales} \times 100\%$$

3.4.6. COLOR E ÍNDICE DE BLANCURA

El color de los granos se determinó usando la metodología de Lohman y Hartel (1994). Se descascarillo manualmente 20 granos de cacao al azar. Las almendras descascarilladas fueron trituradas en un molino de cuchillas. Posteriormente se tamizó la muestra con un tamiz N°30 a fin de reducir las partículas gruesas. Las medidas L^* , a^* , y b^* del sistema CIELAB fueron obtenidas a partir del cernido y fueron utilizadas para el cálculo del Índice de Blancura según la siguiente ecuación.

$$I. B. = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

3.4.7. PH

La determinación del pH se realizó utilizando el método AOAC (2007) 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. Este procedimiento se realizó por triplicado en cada día de las tres repeticiones de fermentación.

3.4.8. ACIDEZ TITULABLE

Se utilizó como referencia el método de Horwitz y Latimer (2007) AOAC2007 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 proceso se realizó por triplicado en cada día de las tres repeticiones de fermentación. El cálculo de la acidez titulable se realizó reemplazando el volumen gastado en la siguiente ecuación.

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

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-ác. Acético.

m: Peso de la muestra (g).

3.4.9. COMPOSICIÓN PROXIMAL

a. HUMEDAD

La determinación de humedad de los granos de cacao se realizó con la metodología descrita por Horwitz y Latimer (2007) AOAC2007 931,04. Se tomó una muestra de 10 g a partir de reducciones sucesivas. La muestra fue triturada a partículas gruesas 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. El procedimiento se realizó por triplicado para todas las muestras a fin de controlar la humedad para el transporte, almacenamiento y determinación de porosidad. La humedad (%) fue calculada por diferencia de pesos utilizando la siguiente ecuación.

$$\%H = (W_2 - W_1) \times 100\% / (W_1 - W_0)$$

Donde:

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

W₀: Peso de la placa con tapa (g).

W₁: Peso de la placa Petri con tapa y muestra húmeda (g).

W₂: Peso de la placa Petri con tapa y muestra seca (g).

b. PROTEÍNA

La determinación de proteína se efectuó siguiendo la metodología descrita por Horwitz y Latimer (2007) AOAC2007 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 tres horas y finalmente se enfrió. Se adiciono 50 mL de agua destilada y 150 mL de NaOH 32% 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.

$$\% N = (V_g / 1000) \times (N) \times 14 \times (100 / W)$$

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_g: 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 AOAC2007 963.15, descrito por Horwitz y Latimer (2007) como referencia (Soxhlet). Se pesó alrededor de 5 g de muestra seca en un vaso de precipitado de 250 mL. Se añadió 45 mL de agua destilada hirviendo y 55 mL de ácido clorhídrico, 8 M y se colocó un vidrio reloj encima del vaso. La muestra se dejó hervir en una plancha de calentamiento por 15 minutos. Seguido de ello, la muestra se filtró en un embudo con papel filtro de 9 µm, enjuagando el vaso de precipitado y el vidrio reloj con agua destilada. En adelante la muestra correspondió a los sólidos que quedaron retenidos en el papel. La

muestra retenida fue sometida a varios enjuagues con agua destilada, a fin de eliminar los cloruros. La muestra enjuagada se colocó en una estufa a 100 °C durante 8 horas.

Completado el secado, la muestra 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.

$$\% G = (M_1 - M_0) \times 100 / M_2$$

Donde:

%G: Porcentaje de grasa en base húmeda.

M₀: Peso del balón vacío.

M₁: Peso del balón con grasa.

M₂: Peso inicial de la muestra.

d. CENIZAS

Para la determinación de cenizas se utilizó la metodología descrita por Horwitz y Latimer (2007) AOAC2007 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.

$$\%C = (W_2 - W_1) \times 100\% / (W_1 - W_0)$$

Donde:

%C: Porcentaje de Cenizas (%).

W₀: Peso del crisol (g).

W₁: Peso del crisol y muestra (g).

W₂: Peso del crisol y ceniza (g).

e. FIBRA CRUDA

La determinación de fibra cruda se realizó mediante la metodología descrita por Horwitz y Latimer (2007) AOAC2007 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.

$$\% F = (W_A - W_B) \times 100 / W_0$$

Donde

%F = Porcentaje de Fibra cruda (%).

W_A = Peso del Residuo A seco.

W_B = Peso del Residuo B calcinado.

W₀ = 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.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. OBTENCIÓN DE CACAO FERMENTADO SECO

El proceso de obtención de cacao fermentado 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 19.

a. COSECHA

Se cosecharon mazorcas de cacao maduras de las variedades CCN-51 e ICS-6, apartándolas de las infestadas para garantizar la adecuada fermentación.

b. CORTADO

Las mazorcas maduras fueron cortadas por un machete, evitando dañar los granos de cacao y sin realizar algún tipo de mezcla entre variedades.

c. DESGRANADO

Las mazorcas cortadas fueron desgranadas y recepcionadas 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.).

d. FERMENTADO

La fermentación de los granos de cacao CCN-51 e ICS-6 se realizó por separado en distintos cajones de fermentación. Las variedades en estudio, al ser diferentes, poseen distintos tiempos de fermentación (García, 2000). El tiempo de fermentación para la variedad CCN-51 fue de seis días, mientras que para la variedad ICS-6 se empleó cinco días de fermentación. El peso inicial del cacao en baba para cada repetición de fermentación fue de 300 kg, a partir del cual se tomaron muestras de 3 kg por cada día de fermentación. Se controló la temperatura de fermentación colocando un termómetro a diez centímetros de profundidad de la masa de cacao. Se hicieron remociones después de 48, 72, 96 y 120 horas para la variedad CCN-51 y 48, 72, y 96 horas para la variedad ICS-6. El término de la fermentación fue determinada mediante la medición de pH de la almendra ($\text{pH}_f = 5,5$) y el descenso de la temperatura de fermentación para el último día de proceso, indicador de finalización del proceso según García (2000) y Portillo *et al.* (2011).

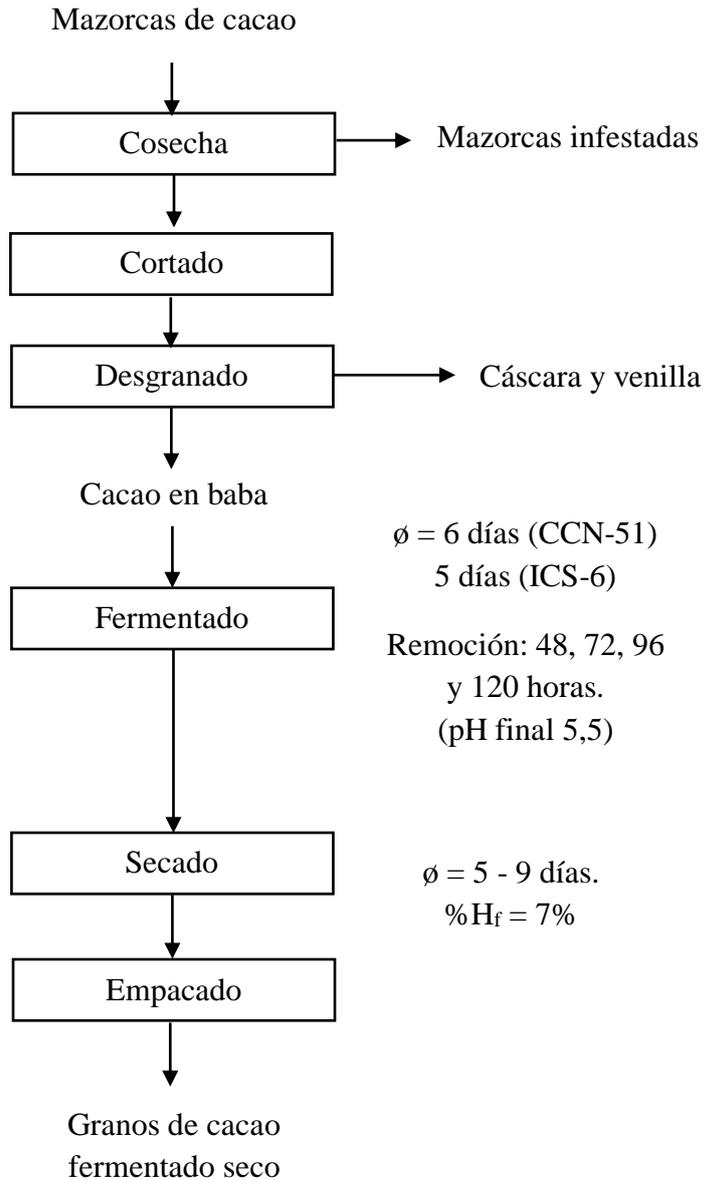


Figura 19: Flujo de operaciones para la obtención de granos de cacao fermentado seco Terra Nostra.

e. **SECADO:** Al terminar la fermentación, los granos de cacao 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, el cual se consiguió entre 5 y 9 días.

f. EMPACADO: Los granos de cacao secos fueron empacados en bolsas de polietileno y rotulados con los siguientes datos:

- Nombre de la variedad.
- Temperatura de fermentación.
- Tiempo de fermentación.
- Tiempo de secado.
- Humedad final.

3.5.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA ETAPA POSCOSECHA

Las muestras del grano de cacao seco CCN-51 de 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 días de fermentación y del grano de cacao seco ICS-6 de 0,1, 2, 3, 4 y 5 días de fermentación, fueron obtenidas a partir muestreos diarios durante el proceso de fermentación. Cada muestra fue sometida a un secado natural, siguiendo la metodología escrita en la sección 3.5.1. (e). Los muestreos se realizaron tal y como lo indican las figuras 20 y 21.

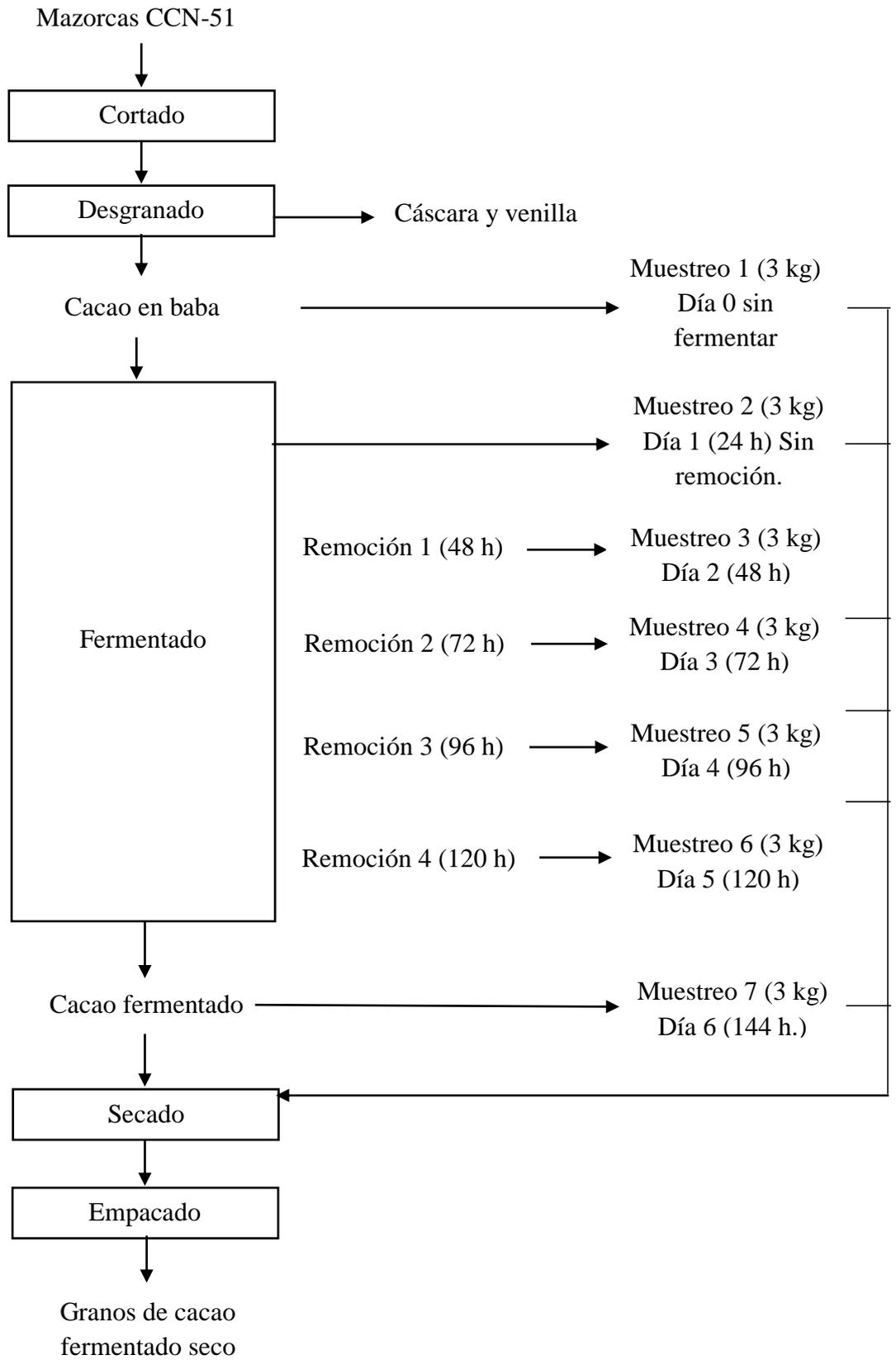


Figura 20: Flujo de operaciones para la elaboración de muestras del grano CCN-51 de diferentes niveles de fermentación.

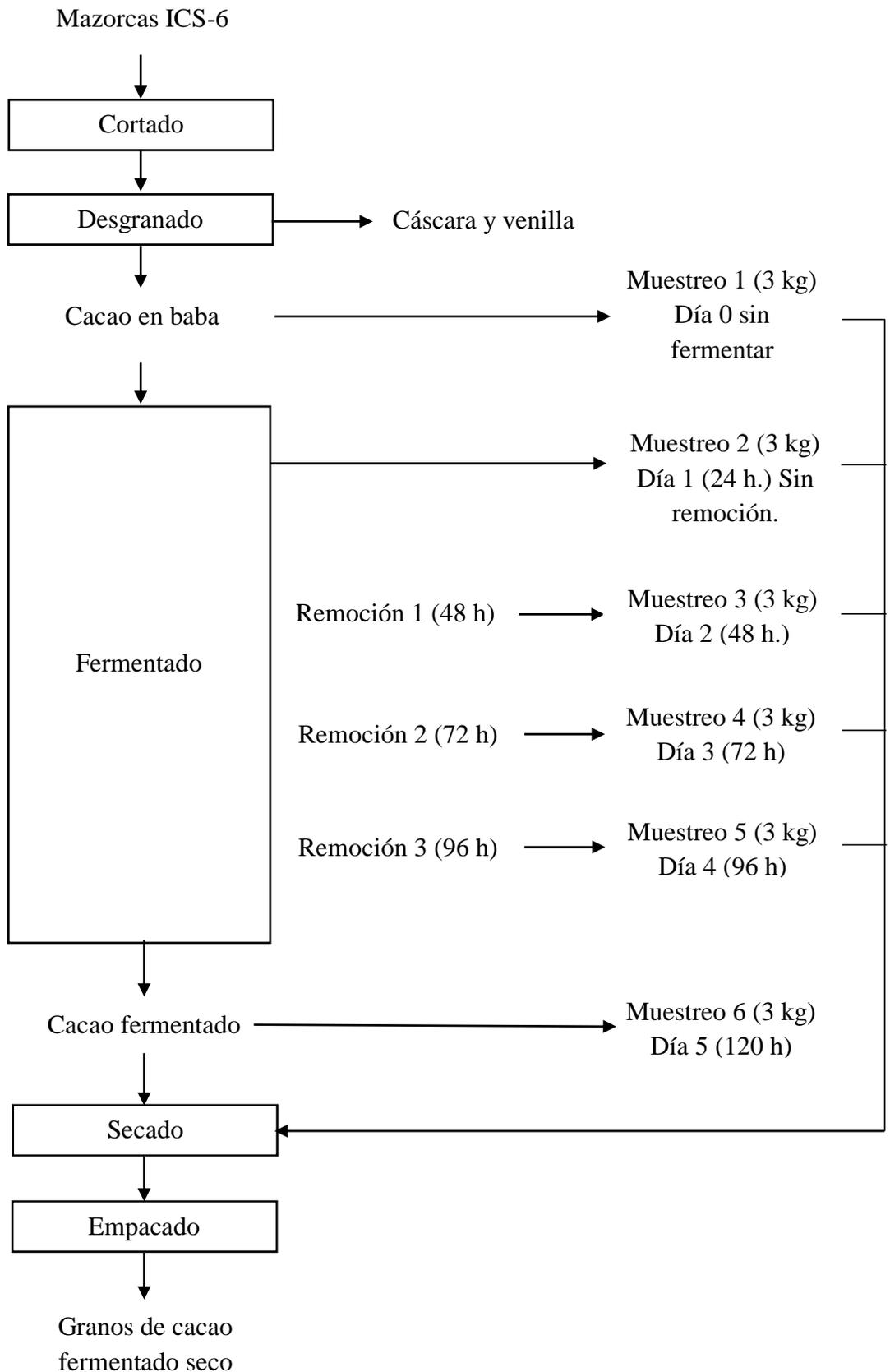


Figura 21: Flujo de operaciones para la elaboración de muestras del grano ICS-6 de diferentes niveles de fermentación.

3.5.3. EVALUACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y CORRELACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

Los granos de cacao seco de cada día de fermentación, de cada una de las tres repeticiones, fueron sometidos, en primer lugar, a un análisis de humedad, con la finalidad de comprobar que todas las muestras posean un nivel menor a ocho por ciento. Aquellas muestras que excedieron de este nivel fueron sometidas a un secado en estufa eléctrica a 30 °C, temperatura de secado natural según Nogales *et al.* (2006), hasta obtener la humedad final entre seis y siete por ciento, a fin de garantizar su conservación.

Se realizó una caracterización física por índice de grano y finalmente por composición proximal, para ello se utilizó granos secos de fermentación completa. En una primera etapa, se evaluó el efecto del tiempo de fermentación sobre la medición de dimensiones y relación Longitud/espesor (L/e), porosidad de grano entero, índice de fermentación (IF), porosidad de grano cortado, color L*, a*, b* e Índice de blancura (IB), pH y acidez total (%ác. Acético). Posteriormente, en la segunda etapa, se correlacionaron los valores de porosidad con el Índice de fermentación (IF). En la figura 22 se observa el flujo de operaciones para la evaluación fisicoquímica de las muestras de cacao para cada replica de fermentación.

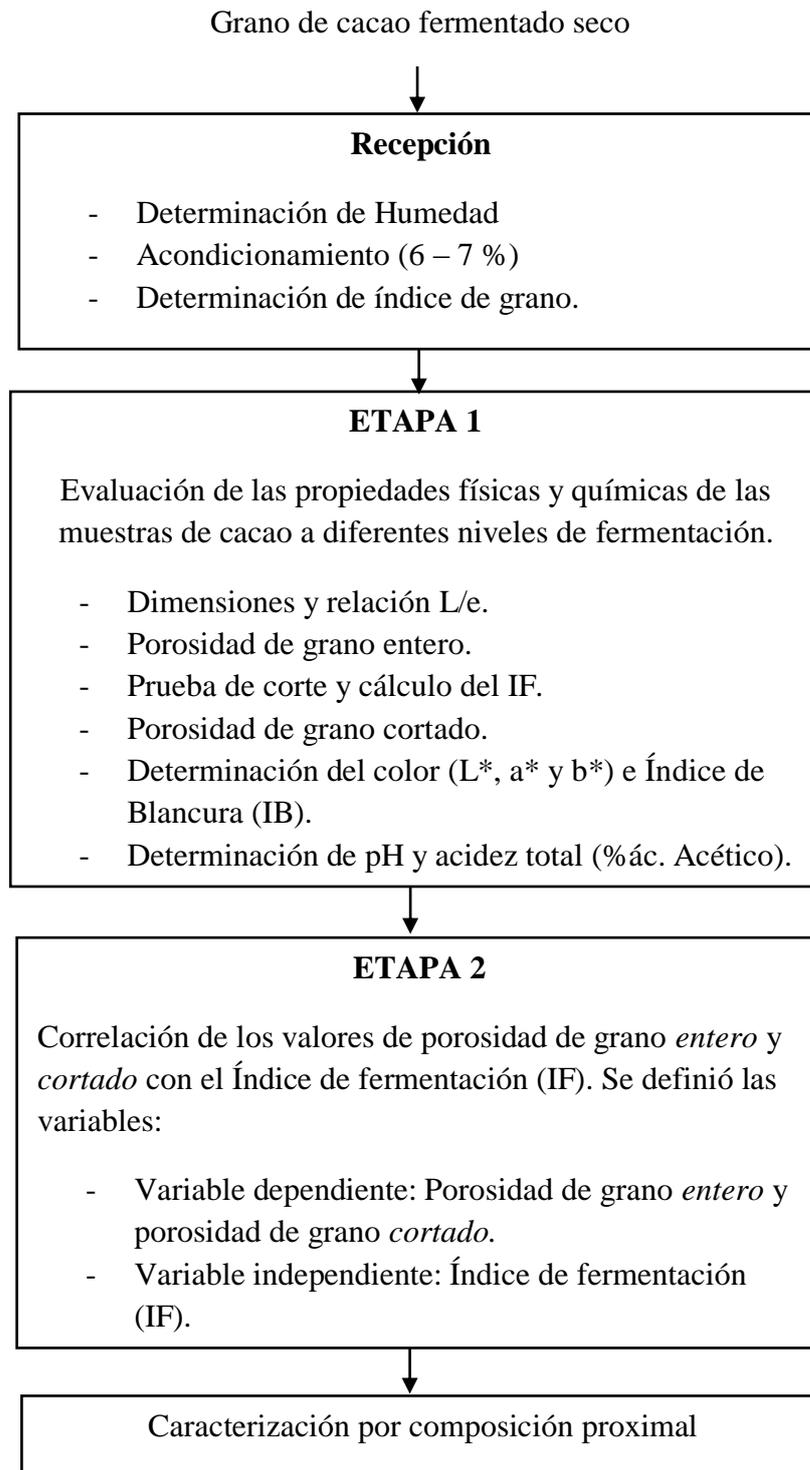


Figura 22: Etapas de la evaluación de granos de cacao fermentado para la correlación de la porosidad y el IF de los granos de cacao.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics® Centurión. Se realizó una caracterización física a los granos de cacao CCN-51 e ICS-6 de fermentación completa mediante el cálculo del índice de grano y posteriormente, se caracterizó por análisis proximal. El resultado de los índices y los componentes fueron comparados entre las variedades usando la comparación de medias a un nivel de significancia de 0,05. El acondicionamiento de humedad solo se realizó en aquellas muestras cuya humedad sobrepasó el ocho por ciento.

En la primera etapa, después de los análisis de humedad e índice de grano, se evaluó el efecto del tiempo de fermentación en las siguientes características físicas y químicas de los granos de cacao.

- Dimensiones y relación (L/e).
- Porosidad de grano entero.
- Prueba de corte y cálculo del IF
- Porosidad de grano cortado.
- Color (L*, a* y b*) e Índice de Blancura (IB).
- pH y acidez total (%ác. Acético).

Para la medición de dimensiones y relación L/e se utilizó una comparación de medias por cada día de fermentación. Para las demás características evaluadas se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) usando un nivel de significancia de 0,05, donde el factor en estudio fue el tiempo de fermentación y se realizaron tres repeticiones.

En la segunda parte de esta investigación, se procedió a correlacionar los valores de porosidad (grano *entero* y *cortado*) con el Índice de fermentación (IF) en cada repetición de fermentación. Para ello, se definió las variables en estudio:

- Variable dependiente: Porosidad de *grano entero* y porosidad de *grano cortado*.
- Variable independiente: Índice de fermentación.

Los valores de porosidad e Índice de fermentación fueron sometidos a un análisis de varianza a fin de comprobar la existencia de una relación estadísticamente significativa entre las variables, usando un nivel de significancia de 0,05.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. ÍNDICE DE GRANO

Como se puede observar en la cuadro 9 y el Anexo 1, las variedades estudiadas poseen diferencias en cuanto al índice de grano o peso de grano, siendo el CCN-51 la variedad con mayor valor ($1,51 \pm 0,10$ g/grano); sin embargo, se puede observar que el índice de grano varía entre las repeticiones de fermentación evaluadas (cuadro 9). En la primera repetición de fermentación, la variedad CCN-51 contó con granos de tamaño grande según la clasificación de Soria y Enríquez, citados por García (2012). En dicha clasificación, a los granos de cacao se le considera de tamaño grande cuando su peso seco (7 - 8 % de humedad) está dentro del rango 1,5 - 1,8 g/grano, y el índice de grano de 1,62 g/grano está dentro del rango mencionado. A diferencia de la primera repetición, la segunda y la tercera de la misma variedad (1,49 y 1,41 g/grano), poseen un tamaño intermedio ya que sus pesos están dentro del rango de clasificación correspondiente (1,1 - 1,5 g/grano). El índice de grano CCN-51 de la primera repetición también coincide con el resultado expuesto por FEDECACAO (2004), quienes mencionan que el índice de grano de la variedad CCN-51 oscila entre 1,58 - 1,73 g/grano y su valor dependerá de las condiciones climáticas y manejo agronómico ligadas al lugar del cultivo.

Con respecto a los granos evaluados de la variedad ICS-6 ($1,37 \pm 0,06$ g/grano), son de tamaño intermedio según el rango de clasificación de Soria y Enríquez, citados por García (2012), (1,1 - 1,5 g/grano). La variabilidad del índice de grano entre los lotes evaluados se debe principalmente a la estacionalidad de la cosecha, ya que las repeticiones evaluadas fueron cosechadas y fermentadas en distintas épocas del año.

Cuadro 9: Índice de grano de las variedades CCN-51 e ICS-6

LOTE	ÍNDICE DE GRANO (G/GRANO)	
	CCN-51	ICS-6
R1	1,62 ± 0,03	1,41 ± 0,04
R2	1,49 ± 0,10	1,39 ± 0,07
R3	1,41 ± 0,08	1,30 ± 0,06
Promedio	1,51 ± 0,10^b	1,37 ± 0,06^a

(a y b) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres mediciones en todos los días de fermentación. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0,05$) de menor a mayor en orden alfabético.

4.2. MEDICIÓN DE DIMENSIONES Y RELACIÓN L/e

A continuación el cuadro 10 y 11 muestran los resultados de la medición de las dimensiones del grano de cacao seco por cada día de fermentación, donde cada valor es el resultado de la medición de 60 granos secos muestreados en las tres repeticiones de fermentación realizadas. El espesor de los granos CCN-51 e ICS-6 se ven afectados mostrando cambios significativos a lo largo de la fermentación (Anexos 4 y 8). El Largo del grano CCN-51 tuvo un cambio significativo al final del proceso, a diferencia del Largo de la variedad ICS-6, que se mantuvo constante en toda la fermentación (Anexo 2 y 6 respectivamente). Por otro lado, el Ancho se mantuvo constante en toda la fermentación de las variedades en estudio (Anexo 3 y 7). El aumento del espesor de los granos de cacao durante la fermentación fue corroborada mediante la relación Largo/espesor (L/e) de sus dimensiones. La obtención de este valor redujo la posibilidad de analizar granos “más grandes” o “más pequeños” de las muestras de cada día de fermentación.

Cuadro 10: Variación de las dimensiones Largo, Ancho, Espesor y de la relación Largo/espesor (L/e) por cada día de fermentación del grano CCN-51

GRANO CCN-51				
DÍA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	L/e
0	24,04 ± 1,83 ^a	13,64 ± 1,11 ^a	8,60 ± 1,13 ^a	2,84 ± 0,43 ^a
1	24,46 ± 1,74 ^{ab}	13,69 ± 1,02 ^a	9,30 ± 1,16 ^b	2,66 ± 0,37 ^b
2	24,28 ± 2,18 ^{ab}	13,76 ± 1,01 ^a	9,35 ± 1,23 ^{bc}	2,62 ± 0,42 ^b
3	24,51 ± 1,99 ^{ab}	13,86 ± 0,93 ^a	9,68 ± 1,29 ^{cd}	2,58 ± 0,40 ^b
4	24,58 ± 2,00 ^{ab}	13,93 ± 1,13 ^a	9,66 ± 1,17 ^{bcd}	2,59 ± 0,39 ^b
5	24,24 ± 2,35 ^{ab}	13,66 ± 0,99 ^a	9,46 ± 1,24 ^{bcd}	2,61 ± 0,41 ^b
6	24,82 ± 1,89 ^b	13,97 ± 0,89 ^a	9,74 ± 1,21 ^d	2,58 ± 0,35 ^b

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

Cuadro 11: Variación de las dimensiones Largo, Ancho, Espesor y de la relación Largo/espesor (L/e) por cada día de fermentación del grano ICS-6

GRANO ICS-6				
DÍA	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	L/e
0	23.82 ± 2,19 ^a	12.97 ± 1,11 ^a	8.29 ± 1,13 ^a	2.91 ± 0,43 ^a
1	23.74 ± 2,37 ^a	13.24 ± 1,46 ^a	8.88 ± 1,08 ^b	2.70 ± 0,38 ^b
2	23.72 ± 2,58 ^a	13.23 ± 1,50 ^a	9.12 ± 1,08 ^{bc}	2.63 ± 0,43 ^b
3	23.88 ± 2,52 ^a	13.34 ± 1,47 ^a	9.22 ± 1,14 ^{bc}	2.61 ± 0,39 ^b
4	24.03 ± 2,38 ^a	13.18 ± 1,69 ^a	9.21 ± 1,00 ^c	2.63 ± 0,37 ^b
5	24.18 ± 2,36 ^a	13.25 ± 1,38 ^a	9.35 ± 1,07 ^c	2.61 ± 0,39 ^b

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

Para ambas variedades, el valor de la relación (L/e) se redujo drásticamente para el primer día de fermentación, obteniendo diferencias significativas del Día 0 de fermentación al Día 1, según la comparación de medias a un nivel de significancia de cinco por ciento (Anexos 5 y 9). A partir de este día, la relación tiende a ser constante sin diferencias significativas. Estos cambios se observan en las figuras 23 y 24.

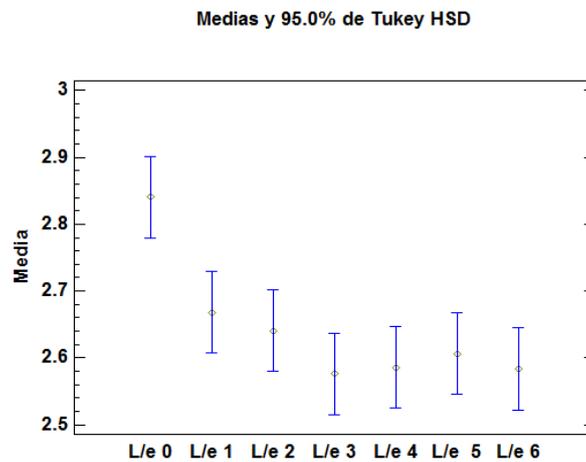


Figura 23: Variación de la relación Largo/espesor para cada día de fermentación del grano CCN-51.

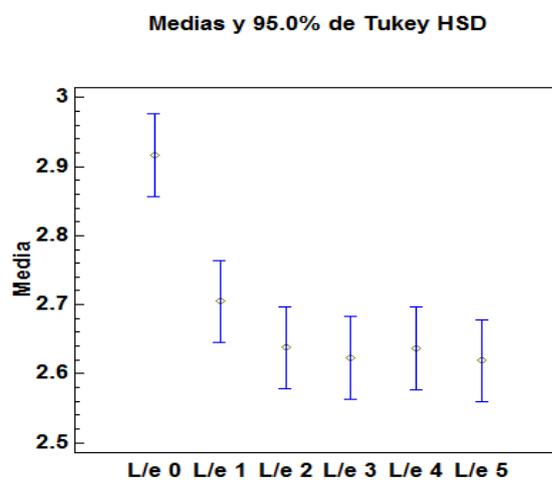


Figura 24: Variación de la relación Largo/espesor para cada día de fermentación del grano ICS-6.

Según Ortiz *et al.* (2009) (a), la relación L/e de los granos de cacao seco, desciende de 2,64 a 2,26 al término de la fermentación. Este valor es diferente al resultado de esta investigación el cual es de 2,84 a 2,58 para CCN-51 y de 2,91 a 2,61 para ICS-6. La diferencia de los resultados lo podemos atribuir a la variedad de grano en estudio y a la procedencia de los mismos.

Tunde-Akintunde y Akintunde (2007), mencionó que el contenido de humedad afecta las dimensiones lineales (Largo y espesor) de los granos de cacao fermentado de forma proporcional, ya que al aumentar su humedad, las dimensiones mencionadas incrementan su valor. Comparándolo con los resultados, solo la variedad CCN-51 tuvo el mismo comportamiento, existiendo diferencias en el “Largo” entre los granos no fermentados y con fermentación completa y una amplia diferencia del “espesor” a lo largo del proceso, en contraste del “Ancho”, que se mantuvo constante. Por otro lado, la variedad ICS-6 solo muestra diferencias significativas en el “espesor”, mientras que el “Largo” y el “Ancho” se mantuvieron constantes. Esto se debe a que las dimensiones de las almendras de cacao es una característica altamente heredable y es gobernada por genes dominantes (Enríquez 1989, citado por Álvarez *et al.*, 2010).

Según Álvarez *et al.* (2010), las dimensiones de los granos también se ven muy afectadas en el proceso de secado. Según Ndukwu *et al.* (2012), en este proceso el volumen y el área superficial de los granos de cacao son afectados de manera significativa, siendo el espesor del grano la dimensión lineal más vulnerable al cambio. En su investigación, los granos de cacao *con cascara* sufren un hinchamiento a medida que el contenido de humedad disminuye.

4.3. POROSIDAD DE LOS GRANOS DE CACAO

A continuación se muestra, en el cuadro 12, la variación de la porosidad de los granos de cacao CCN-51 e ICS-6 en cada día de fermentación. Cada valor es el promedio de la medición a tres repeticiones de fermentación, medidos por triplicado.

Cuadro 12: Variación de la porosidad de los granos *enteros* (S/C) y *cortados* (C/C) CCN-51 e ICS-6 durante la fermentación

DÍA	CCN-51 S/C	CCN-51 C/C	ICS-6 S/C	ICS-6 C/C
0	0,500 ± 0,010 ^a	0,600 ± 0,008 ^a	0,508 ± 0,009 ^a	0,605 ± 0,007 ^a
1	0,532 ± 0,016 ^b	0,623 ± 0,005 ^b	0,527 ± 0,011 ^b	0,623 ± 0,004 ^b
2	0,552 ± 0,022 ^{bc}	0,629 ± 0,012 ^{bc}	0,576 ± 0,020 ^d	0,638 ± 0,004 ^{cd}
3	0,552 ± 0,009 ^c	0,625 ± 0,013 ^b	0,542 ± 0,006 ^{bc}	0,632 ± 0,008 ^{bc}
4	0,541 ± 0,009 ^{bc}	0,631 ± 0,014 ^{bc}	0,551 ± 0,012 ^c	0,641 ± 0,006 ^{cd}
5	0,548 ± 0,009 ^{bc}	0,638 ± 0,008 ^{cd}	0,553 ± 0,009 ^c	0,646 ± 0,010 ^d
6	0,554 ± 0,011 ^c	0,644 ± 0,004 ^d		

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

Según el análisis de varianza de los Anexos 10 y 12 existe evidencia estadística suficiente para afirmar que existen diferencias significativas de porosidad entre las repeticiones de fermentación evaluadas. Esto se debe a las diferencias físicas que poseen los granos de cacao cosechados en distintas épocas del año, ya que las condiciones edafoclimáticas ejercen un efecto sobre el tamaño y el peso de los granos de cacao (Reyes *et al.* 1999).

La porosidad de los granos *enteros* y *cortados* se incrementa durante la fermentación (Anexos 10 al 13). Como se puede ver en la figura 25, los granos *enteros* presentan un incremento de porosidad muy notorio en los dos primeros días de fermentación, diferenciándose estadísticamente de los granos sin fermentar correspondientes al día 0 (Anexos 10 y 12).

La porosidad de la variedad CCN-51 tiende a crecer con pequeñas fluctuaciones, mientras que la variedad ICS-6 posee un crecimiento muy alto en el segundo día de fermentación, un descenso al tercer día y a partir de éste, tiende a crecer hasta finalizar el proceso.

El crecimiento acelerado de poros durante los dos primeros días de fermentación se debe, posiblemente, a la actividad hidrolítica de la primera fase de la fermentación (fase anaerobia o sin oxígeno). En esta fase los granos de cacao sufren un hinchamiento, el cual se debe a la absorción de exudados, producto de la actividad pectinolítica de las levaduras (García, 2000).

Para el segundo día de fermentación, el valor de porosidad fue muy alto. Inclusive, para la variedad ICS-6, fue mayor que la de los granos al terminar el proceso fermentativo. Esto pudo ser posible a la enorme cantidad de poros causados por la migración, retención y lixiviación de exudados, los cuales provocaron cambios internos a nivel de su estructura, siendo evidentes tras la remoción del agua por el secado. A esto, Contreras *et al.* (2004), menciona que en el segundo día de fermentación, la humedad de los granos de cacao *entero* alcanza su valor máximo, para luego descender en los siguientes días debido a la lixiviación de exudados. Esto podría explicar, también, el por qué la porosidad descende su valor para el tercer día de fermentación, ya que dentro del grano hubo menor cantidad de agua que en el segundo día de fermentación, y que tras, el secado, se mantuvo el cambio de estructura física.

Por otro lado, también se debe considerar el cambio de las condiciones de fermentación, a la sucesión microbiana y el cambio de reacciones hidrolíticas a oxidativas (Díaz y Pinoargote, 2012). Estos cambios dados en el segundo día de fermentación también pudieron causar algunos efectos sobre la porosidad de los granos. Según García (2000), la fase de fermentación anaerobia culmina con la proliferación de las bacterias acidolácticas en la masa de cacao, la cual se da en el segundo día del proceso. A partir de este día, se induce al cambio de fermentación alcohólica a acética, removiendo los granos de cacao en periodos de tiempo determinados a fin de cambiar las condiciones anaerobias (sin oxígeno) a aerobias (con oxígeno).

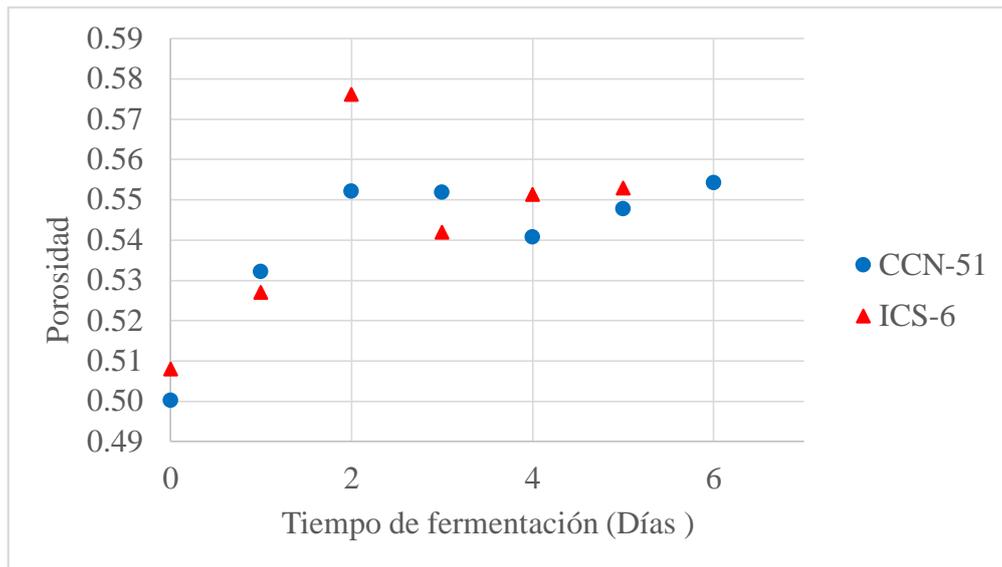


Figura 25: Cambios en la porosidad de los granos de cacao *enteros* durante la fermentación.

Como se puede observar en el cuadro 12, existen diferencias de porosidad entre los granos *enteros* (S/C) y *cortados* (C/C), siendo estos últimos los de mayor valor. Según las figuras 25 y 26, la variación con respecto al tiempo también es diferente. Esto posiblemente se debe a la exposición al aire libre de los poros internos de los granos *cortados*, aquellos que según Serpil y Servet (2009), contienen aire atrapado en su interior sin alguna conexión con el medio externo. El encerramiento de los poros internos del cacao es posible según Ndukwu *et al.* (2012), quienes demostraron que las almendras de cacao sufren una contracción durante el secado. De acuerdo a ello, podemos asegurar que existen fracciones porosas cuyo aire fue atrapado por la contracción de las almendras, los cuales no formaron parte de la transferencia de gases inducidas en la metodología. Además Ndukwu *et al.* (2012), mencionan que la velocidad de transferencia de agua y ácido acético durante el secado se dificulta debido a la diferencias de estructura entre la cascara y la almendra.

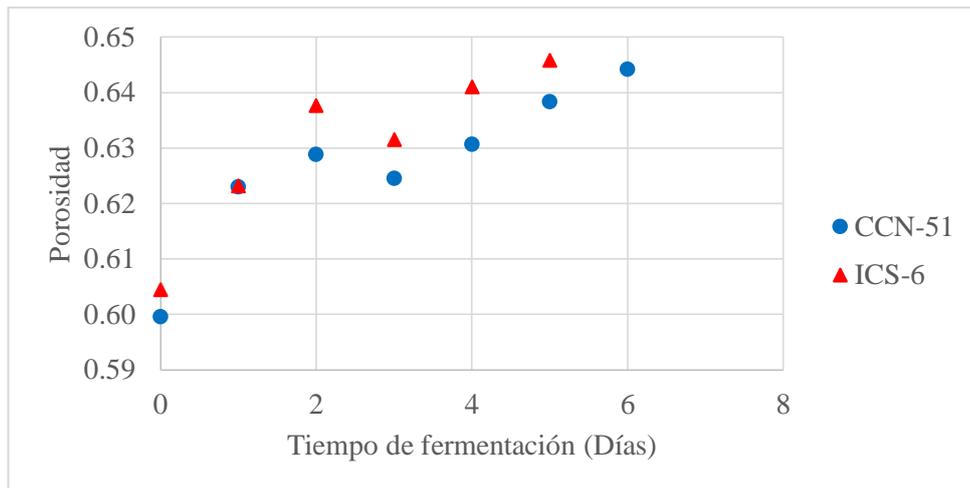


Figura 26: Variación de la porosidad de los granos de cacao *cortado* durante la fermentación.

Es posible que los poros de los granos *enteros*, que no fueron detectados por la metodología, sean de naturaleza microscópica, ya que Ortiz *et al.* (2009a), mencionan que, durante la fermentación, las membranas celulares de los cotiledones sufren la pérdida de su semipermeabilidad, debido a la acidificación del medio y las altas temperaturas. Dicho esto, al término del este proceso y del secado, la semilla se convierte en un grano de estructura porosa no solo de cavidades macroscópicas, sino también microscópicas. Mavroudis *et al.*; citados por Guerrero (2005), menciona que durante el secado, los tejidos sufren la ruptura de paredes celulares, se forman cavidades y se incrementa los espacios intercelulares, los cuales modifican la forma y el tamaño de los poros.

Las diferencias de porosidad entre los granos *enteros* y *cortados* también se pueden atribuir a la diferencia de forma y tamaño de la partícula (Huamán 2011). Esto se debe tener en cuenta, ya que los granos de cacao *cortados* poseen un espesor reducido al ser cortados longitudinalmente por una cuchilla durante la prueba de corte. Esta reducción del espesor produce el incremento de porosidad, ya que al reducir el tamaño de partícula, se incrementa el área superficial de exposición de poros y el valor de porosidad incrementa. Esta diferencia de porosidad entre partículas del mismo material fue observada por Calientes (2002), al determinar el valor de porosidad de las esferas de vidrio de tres diámetros distintos, encontrando diferencias significativas. Cabe mencionar que la porosidad, al ser determinada de manera indirecta, a partir de valores de densidad real y aparente, posee las mismas fuentes de error para la medición de estas dos propiedades.

4.4. VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN (IF)

El índice de fermentación incrementó conforme aumenta el tiempo de fermentación, evidenciándose estadísticamente a un nivel de significación de cinco por ciento (Anexos 14 y 15). Según el cuadro 13, la proporción de granos adecuadamente fermentados tuvo un crecimiento acelerado en la primera mitad de la fermentación, alcanzando valores que exceden el 50 por ciento al tercer día del proceso. Estos resultados son parecidos a los obtenidos por Portillo *et al.* (2005), el cual reporta un IF de 49,5 por ciento al segundo día de fermentación.

Cuadro 13: Índice de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6

DÍA	ÍNDICE DE FERMENTACION (%)	
	CCN-51	ICS-6
0	0,0 ^a	0,0 ^a
1	38,2 ± 6,4 ^b	25,2 ± 10,8 ^b
2	50,3 ± 4,2 ^c	36,3 ± 8,2 ^c
3	57,5 ± 6,7 ^c	52,9 ± 3,9 ^d
4	65,3 ± 2,9 ^d	66,4 ± 6,5 ^e
5	75,6 ± 5,7 ^e	75,0 ± 2,8 ^f
6	81,8 ± 7,1 ^e	-

(a, b, c, d, e y f) Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres replicas medidas por triplicado. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (P<0,05) de menor a mayor en orden alfabético.

El crecimiento acelerado del IF en los primeros días de fermentación se le puede atribuir, al igual que la porosidad, a la intensa actividad enzimática debido a la sucesión de microorganismos, la abundancia de sustratos y a la aireación del medio (Díaz y Pinoargote 2012). Esto se evidencia en el incremento de temperatura de la masa de cacao, como se puede ver en la figura 27 (Anexo 51). Según García (2000), el incremento de temperatura a

partir del segundo día de fermentación se debe a la producción de ácido acético, cuya reacción se caracteriza por ser exotérmica.

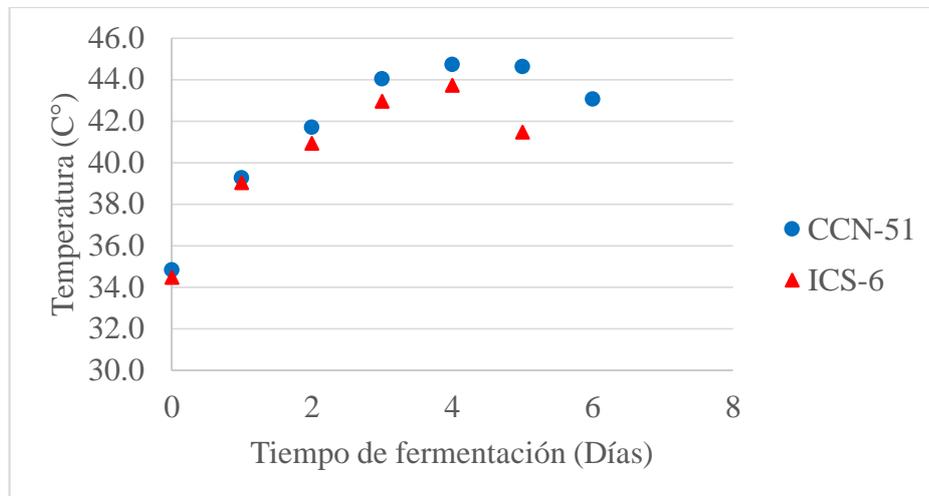


Figura 27: Evolución de la temperatura de la masa de cacao durante la fermentación.

Posteriormente, el grado de fermentación crece constantemente según la figura 28 y 29. Para el cuarto día de fermentación, la proporción de granos fermentados asciende a 65,3 por ciento para la variedad CCN-51 y 66,4 por ciento para la variedad ICS-6. Este resultado es similar al obtenido por Contreras *et al.* (2004) con 65,5 por ciento y Portillo *et al.* (2005) con 65,41 por ciento. Hansen *et al.* (1998), menciona que la polifenol oxidasa es la enzima responsable del cambio de coloración de los granos y su actividad es intensa en los primeros días de fermentación.

Al término de la fermentación, la actividad microbiana disminuye, manifestándose en un descenso de temperatura (Portillo *et al.* 2005), el cual es observado en la figura 27. El descenso de temperatura trae consigo la reducción de la velocidad de fermentación, la cual disminuye según el cuadro 13 y las figuras 28 y 29.

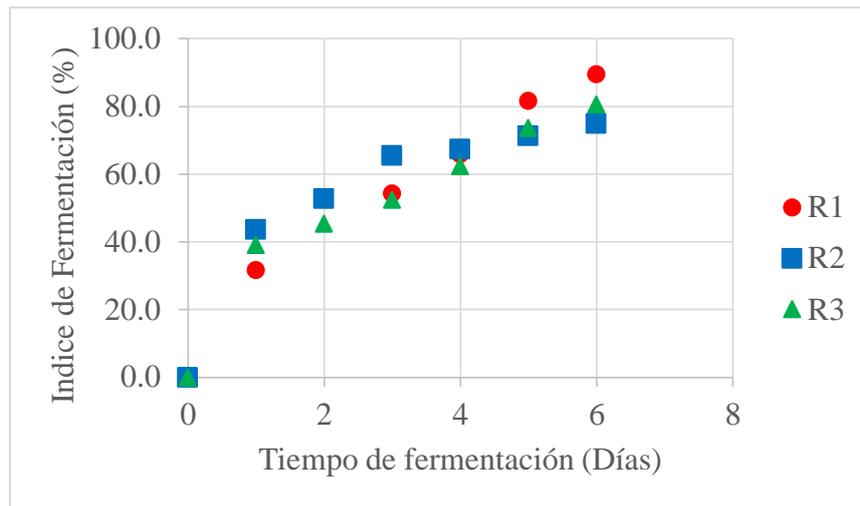


Figura 28: Variación del IF (%) durante la fermentación de los granos CCN-51.

De este modo, al finalizar la fermentación se obtuvo un grado de fermentación promedio de 81,8 por ciento para la variedad CCN-51 y 75,0 por ciento para ICS-6. Los valores se asemejan a los obtenidos por Gutiérrez *et al.* (2007), con 85,7 por ciento; Torres *et al.* (2004), con 81,55 por ciento para mazorcas de aguante 0 (sin almacenamiento antes del desgrane); Barel *et al.* y Álvarez, citados por Portillo *et al.* (2005), con 87,7 por ciento, utilizando métodos similares de fermentación en cajas de madera.

El grado de fermentación final de los granos CCN-51 e ICS-6 señalan a un proceso fermentativo óptimo según Barel *et al.* y Ramos y Gómez, citados por Gutiérrez y Bacalla (2007). Estos autores mencionan que el índice de fermentación óptimo debe ser mayor a 60 por ciento y 75 por ciento respectivamente, los cuales están por debajo de los obtenidos en la investigación.

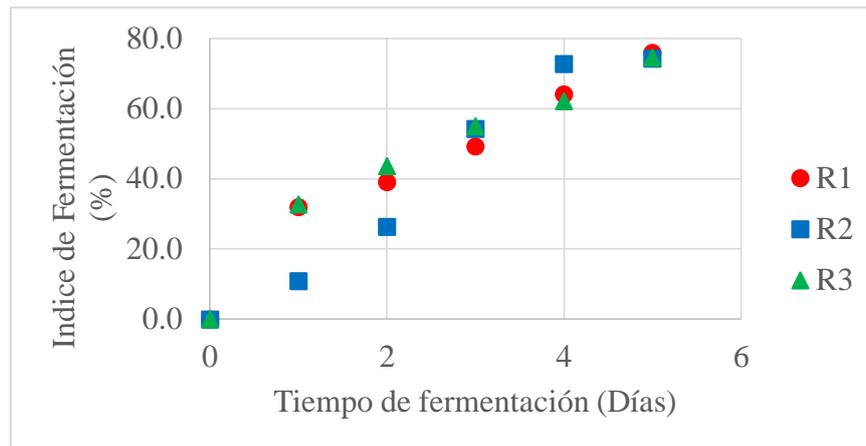


Figura 29: Variación del IF (%) durante la fermentación de los granos ICS-6.

El crecimiento del IF está en contraste con la reducción de los granos semifermentados y violetas (Anexo 52 y 53). Según Gutiérrez y Bacalla (2007), la reducción de los granos semifermentados y de los granos violetas se debe a la culminación de las reacciones químicas necesarias para su transformación a granos adecuadamente fermentados.

El alto valor de IF obtenido también se debe al incremento que sufre durante el secado, ya que Puziah *et al.*, citado por Nogales *et al.* (2006) mencionan que durante este proceso la actividad de la polifenoloxidasa continua, oxidando los polifenoles y posteriormente condensándolos con las proteínas.

Según Afoakawa *et al.* (2012), Loayza (2014), Rivera *et al.* (2012) y García (2000), la obtención de un buen IF depende del proceso poscosecha. Las variables que definen su eficiencia son: Aguante de mazorca (tiempo de almacenamiento antes del desgranado); frecuencia de remoción, el cual puede variar cada 24 ó 48 horas; tipo de fermentador, los cuales pueden ser cajas de maderas, sacos, tinas o por montones y por último el tiempo de fermentación, el cual dependerá de la época de cosecha, la procedencia y la variedad de cacao.

4.5. COLOR E INDICE DE BLANCURA (IB)

A continuación se muestra en los cuadros 14 y 15 la variación del color y del Índice de Blancura (IB) de las almendras de cacao durante la fermentación. Cada valor de L*, a*, b* e IB es el producto de las tres repeticiones de fermentación, medidas por triplicado.

Cuadro 14: Variación del color durante la fermentación de los granos CCN-51

DÍA	a*	b*	L*	IB
0	5,73 ± 0,24 ^a	4,20 ± 0,58 ^a	35,12 ± 2,33 ^d	34,73 ± 2,38 ^d
1	10,55 ± 0,49 ^c	8,14 ± 0,23 ^c	32,92 ± 3,51 ^c	31,61 ± 3,38 ^c
2	10,08 ± 0,86 ^{bc}	7,94 ± 1,12 ^c	32,38 ± 3,13 ^c	31,15 ± 2,89 ^c
3	10,48 ± 0,71 ^c	7,84 ± 0,75 ^{bc}	31,82 ± 1,80 ^{bc}	30,57 ± 1,73 ^{bc}
4	10,24 ± 0,83 ^{bc}	8,23 ± 0,92 ^c	30,94 ± 2,32 ^{ab}	29,69 ± 2,25 ^{ab}
5	10,08 ± 0,37 ^{bc}	7,38 ± 0,75 ^{bc}	30,48 ± 2,24 ^{ab}	29,36 ± 2,23 ^{ab}
6	9,65 ± 0,46 ^b	6,72 ± 0,90 ^b	30,22 ± 2,23 ^a	29,23 ± 2,15 ^a

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

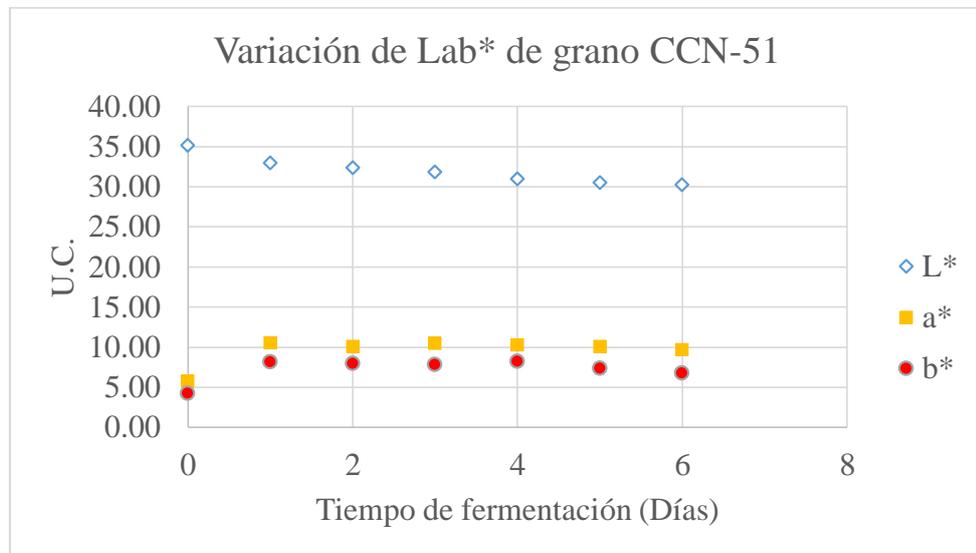


Figura 30: Variación del color durante la fermentación del grano CCN-51.

Como se puede observar en las figuras 30 y 31, el color, bajo las coordenadas L*, a* y b* varían durante la fermentación del grano de cacao.

La coordenadas a*, indican que ocurre un *enrojecimiento* significativo en el primer día de fermentación (Anexos 20 y 21). Esto se debe al enrojecimiento de las antocianinas, ya que según Garzón (2008), estas macromoléculas sufren un cambio estructural en condiciones ácidas (Cation flavilio AH⁻), teniendo como consecuencia un viraje de purpura (pH cercano al neutro) al color rojo (pH ácido). Después del primer día de fermentación el color rojo tiende a mantenerse constante, con descensos progresivos, pero leves, los cuales son de 10,55 a 9,65 para los granos CCN-51 (Criollo) y de 10,10 a 9,35 para los granos ICS-6 (Trinitario). Para las dos variedades en estudio, este descenso se vuelve significativo al término de la fermentación (Anexos 20 y 21). Los resultados obtenidos son semejantes a los reportados por Afoakawa *et al.* (2012), quienes mencionan que el descenso del valor de a* se debe a la hidrólisis de las antocianinas que imparten el color purpura de las almendras de cacao. Así mismo, el autor en mención reporta descensos del color rojo (a*) de 12,10 a 8,69 para granos de cacao Forastero, el cual es más intenso que los encontrados en esta investigación. Estas diferencias pude atribuir a las distintas metodologías de fermentación empleadas, a la variedad de cacao y a la procedencia de los mismos.

Cuadro 15: Variación del color durante la fermentación de los granos ICS-6

DÍA	a*	b*	L*	IB
0	4,81 ± 0,41 ^a	3,70 ± 1,11 ^a	32,39 ± 1,22 ^d	32,11 ± 1,29 ^d
1	10,10 ± 1,90 ^c	6,89 ± 0,58 ^b	30,62 ± 3,48 ^c	29,54 ± 3,41 ^c
2	9,57 ± 1,00 ^{bc}	7,39 ± 0,80 ^b	29,32 ± 2,68 ^b	28,28 ± 2,53 ^b
3	9,29 ± 1,16 ^b	6,93 ± 1,39 ^b	28,61 ± 3,24 ^{ab}	27,66 ± 2,98 ^{ab}
4	9,73 ± 0,59 ^{bc}	7,07 ± 1,35 ^b	28,56 ± 2,95 ^{ab}	27,54 ± 2,80 ^{ab}
5	9,35 ± 0,71 ^b	6,77 ± 1,28 ^b	27,86 ± 2,37 ^a	26,93 ± 2,25 ^a

*Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones medidas por triplicado. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (P<0,05) de menor a mayor en orden alfabético.

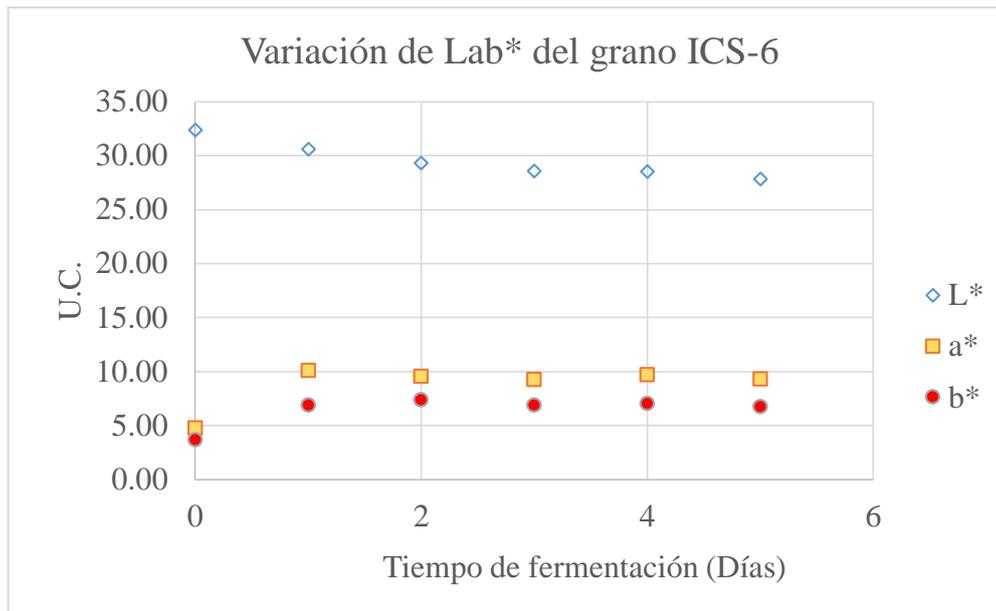


Figura 31: Variación del color durante la fermentación del grano ICS-6.

En cuanto a la variación de b^* , que indica la variación del color amarillo (+) y azul (-), podemos observar que, según el análisis de variancia (Anexo 22 y 23), ocurre un crecimiento significativo en el primer día de fermentación para las dos variedades estudiadas. Después de ello, existe un descenso gradual y leve para la variedad CCN-51, mientras que para la variedad ICS-6 tiende a ser constante hasta el último día de fermentación. En términos generales, la predominancia del color amarillo sobre el azul se debe al pardeamiento como consecuencia de la presencia de polifenoles oxidados por acción de la enzima polifenol oxidasa (Afoakawa *et al.* 2012).

Por otro lado, Claridad (L^*) desciende de manera gradual desde el inicio de la fermentación (Día 0) hasta finalizar el proceso (Anexos 24 y 25). La variación es intensa hasta el tercer día de fermentación, el cual desciende de 35,12 a 31,82 para la variedad CCN-51 y de 32,39 a 28,61 para la variedad ICS-6. Posteriormente la reducción de luminosidad disminuye su velocidad hasta el final del proceso.

El descenso de la luminosidad (L^*) y del Índice de Blancura se debe al oscurecimiento de los granos. Este fenómeno es producido por la hidrólisis de las antocianinas y la posterior oxidación de agliconas a compuestos quinónicos, los cuales contribuyen a la formación de compuestos pardos característicos del cacao fermentado (Cros *et al.*, citado por Ortiz *et al.* 2009b). La Claridad o Luminosidad (L^*) de los granos investigados varía de acuerdo a los autores, ya que Ortiz *et al.* (2009b), reporta descensos de Luminosidad (L^*) de 40,59 a 39,04; Afoakawa *et al.* (2012), de 44,09 a 38,92; Alegría (2015), de 34,73 a 30,81 y Chire *et al.*

(2016), descensos de 48,43 a 31,36 y 55,53 a 36,7. Estas diferencias se le atribuyen a la diferencia de variedades analizadas, a la procedencia de los granos y al tipo de poscosecha realizados.

La variación del índice de blancura a lo largo de la fermentación es muy similar a la luminosidad (L^*), como se puede ver en la figura 32, ya que no se muestran diferencias entre cada día de fermentación, pero en términos generales si las hay entre el inicio y el final del proceso según el análisis de variancia, Anexo 26 y 27.

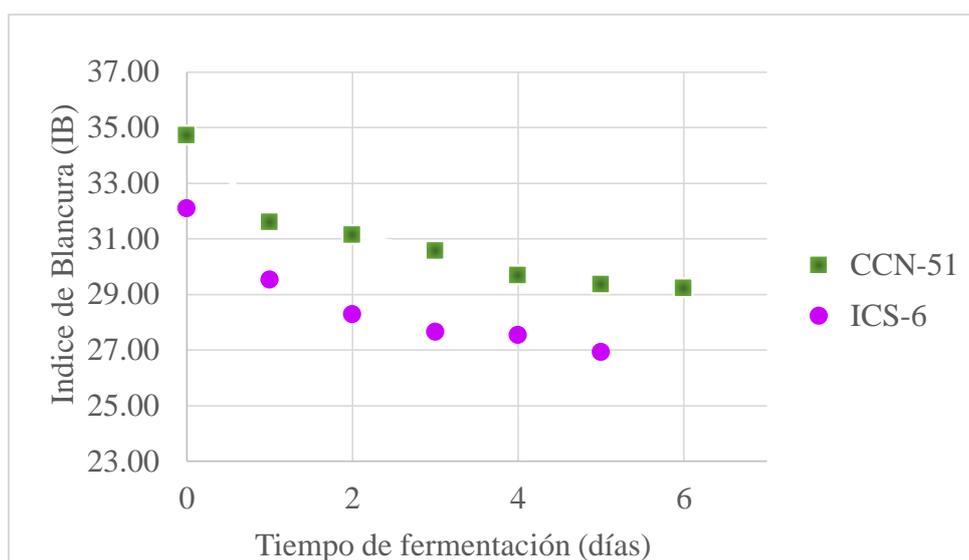


Figura 32: Variación del IB por cada día de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6.

El color de grano, medidos en IB, disminuye conforme la porosidad del mismo aumenta. Este cambio se puede observar en la figura 33, el cual relaciona la porosidad de los granos *cortados* y el IB. Esto se debe a lo explicado en la sección 4.3 y 4.4. Los granos de cacao sufren un hinchamiento, producido por la absorción de exudados del exterior al interior de la semilla aumentando su porosidad. Mientras tanto, dentro del grano, se producen las reacciones de oxidación por acción de la enzima polifenol oxidasa, produciendo un oscurecimiento del grano, haciendo que el valor de IB disminuya.

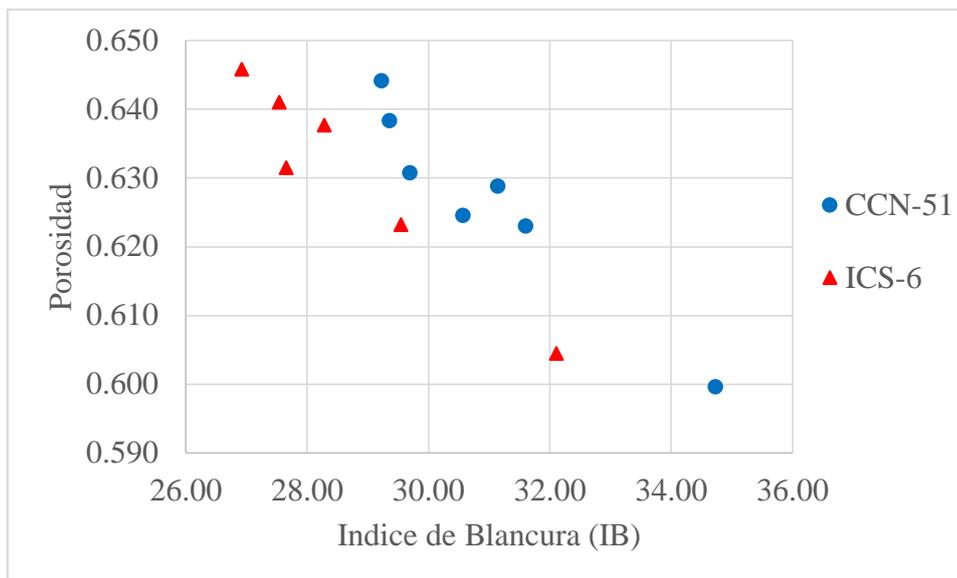


Figura 33: Variación de la porosidad y el Índice de Blancura de los granos CCN-51 e ICS-6.

Según Alegría (2015), el color de los granos de cacao también obedece al grado de fermentación y al secado. La falta de fermentación genera colores violeta, mientras que un secado deficiente produce granos de color pardo claro. Chire *et al.* (2016), mencionan que el secado tiene un efecto significativo en el cambio de color de los cotiledones del cacao de Piura. Dicho esto, la diferencia del color de los granos de cacao fermentado no solo se atribuye a la diferencia de variedades o procedencia de las muestras, sino también al proceso poscosecha y a su eficiencia.

Según el análisis de varianza (Anexo 26 y 27), existen diferencias significativas del color de grano en cada repetición de fermentación realizada. Los valores de índice de blancura indican que los granos de cacao de la primera repetición son más claros que los de la segunda y tercera repetición para las dos variedades analizadas. Esto posiblemente se debe a que cada repetición de fermentación se realizó con mazorcas de cacao cosechadas en distintas épocas del año. Dicho esto, es posible que las diferencias entre las repeticiones, en cuanto a color, se deban a la estacionalidad de los frutos y las condiciones medioambientales, ya que las características de las mazorcas, los granos, la fermentación y el secado están ligadas a ello.

4.6. pH Y ACIDEZ TOTAL

El pH de los granos de cacao disminuyó durante la fermentación. Este comportamiento se puede ver en el cuadro 16 y en la figura 34, siendo muy parecidas entre las variedades estudiadas (Anexos 16 y 17).

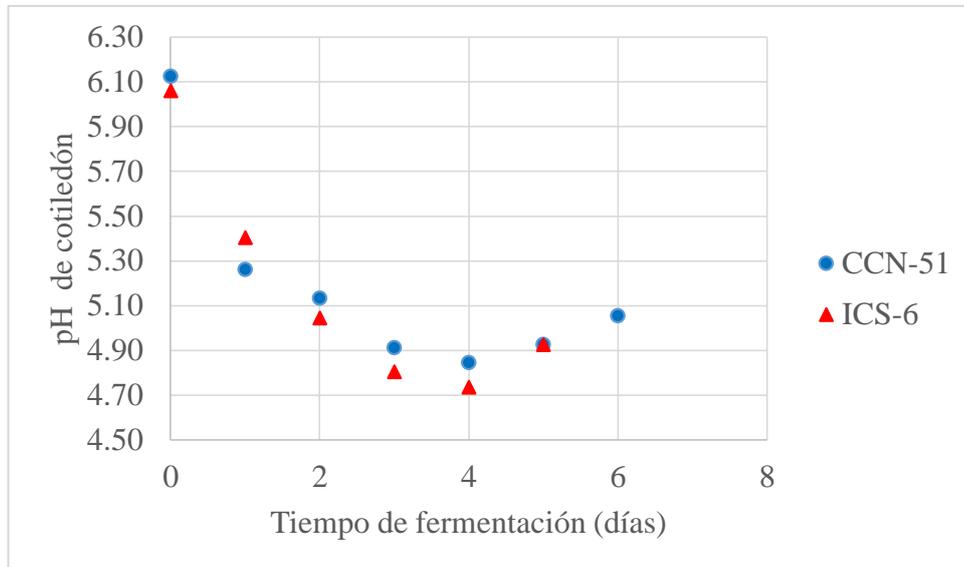


Figura 34: Variación de pH del cotiledón por cada día de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6.

En promedio, el pH disminuyó de 6,12 a 5,02 para la variedad CCN-51 y de 6,09 a 4,93 para ICS-6. Los resultados de la investigación son similares a los de Portillo *et al.* (2011) quienes registraron un valor de pH de 6,18 para granos no fermentados y 4,88 para el cacao fermentado de mazorcas de aguante cero (sin previo almacenamiento antes de fermentar). Así mismo, Álvarez *et al.* (2010) mencionan que el pH de la almendra de cacao trinitario con fermentación completa es de 5,37 a 5,59, los cuales son menos ácidos comparados con la variedad ICS-6 estudiada.

Esta variabilidad se debe a la diferencia entre las variedades de estudio y a las distintas metodologías de fermentación utilizadas. Según Afoakawa, *et al.* (2008), el cacao fermentado con un pH entre 5,5-5,8 es considerado como pobremente fermentado, mientras que un cacao con un pH entre 4,7-5,2 se considera que ha sido fermentado adecuadamente. Dicho esto y comparándolos con los resultados de la investigación, se puede decir que los granos tuvieron una fermentación adecuada.

Cuadro 16: Evaluación del pH del cotiledón de los granos secos por cada día de fermentación

DÍA	pH CCN-51				pH ICS-6			
	R1	R2	R3	PROM.	R1	R2	R3	PROM.
0	6,22 ± 0,04	6,02 ± 0,04	6,19 ± 0,05	6,12 ± 0,11 ^d	6,20 ± 0,04	5,98 ± 0,04	6,01 ± 0,06	6,09 ± 0,12 ^e
1	5,28 ± 0,03	5,28 ± 0,03	5,23 ± 0,08	5,28 ± 0,03 ^c	5,32 ± 0,08	5,47 ± 0,04	5,42 ± 0,05	5,40 ± 0,08 ^c
2	5,12 ± 0,04	5,11 ± 0,04	5,17 ± 0,05	5,12 ± 0,03 ^b	5,10 ± 0,04	5,00 ± 0,09	5,04 ± 0,03	5,05 ± 0,05 ^d
3	4,94 ± 0,08	4,95 ± 0,04	4,90 ± 0,05	4,95 ± 0,03 ^a	4,86 ± 0,08	4,75 ± 0,04	4,80 ± 0,07	4,81 ± 0,06 ^{ab}
4	4,79 ± 0,06	4,92 ± 0,05	4,83 ± 0,09	4,86 ± 0,07 ^a	4,72 ± 0,04	4,74 ± 0,05	4,75 ± 0,06	4,73 ± 0,02 ^a
5	4,91 ± 0,03	4,89 ± 0,04	4,98 ± 0,07	4,90 ± 0,05 ^a	4,84 ± 0,06	5,01 ± 0,03	4,93 ± 0,07	4,93 ± 0,09 ^{bc}
6	5,10 ± 0,03	4,93 ± 0,03	5,15 ± 0,06	5,02 ± 0,12 ^b	-	-	-	-

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

Según García (2000), inicialmente los cotiledones de cacao poseen un pH casi neutro, el cual disminuye debido a la difusión de los ácidos formados en la fermentación de la pulpa externa. El autor mencionó que la disminución del pH está asociada a la formación de ácido acético, cuya concentración aproximada es de 1,90 g ác. Acético/100g, el cual representa el 95-98 por ciento de los ácidos volátiles. Además presenta pequeñas concentraciones de ácido láctico (0,7 g ác. Láctico/100g), cuya contribución al pH es mínima.

Según el análisis de varianza, el tiempo de fermentación tiene un efecto significativo ($\alpha = 0,05$) sobre el pH de los granos (Anexos 16 y 17). Se puede ver en la figura 34 que el valor de pH disminuye progresivamente hasta el cuarto día de fermentación, para luego mantenerse constante y en el último día se verifica un pequeño incremento. Según García *et al.* (2002) el pH de los granos de cacao tiende a aumentar en los últimos días de fermentación, debido a la formación de gradientes de acidez en la estructura del grano. La superficie del grano pierde acidez por evaporación debido a las altas temperaturas de fermentación, mientras que el centro se mantiene invariable.

Los cambios de pH del cotiledón, son inversamente proporcionales a la variación de porosidad de los granos. Esto se puede observar en la figura 35, el cual relaciona ambas variables.

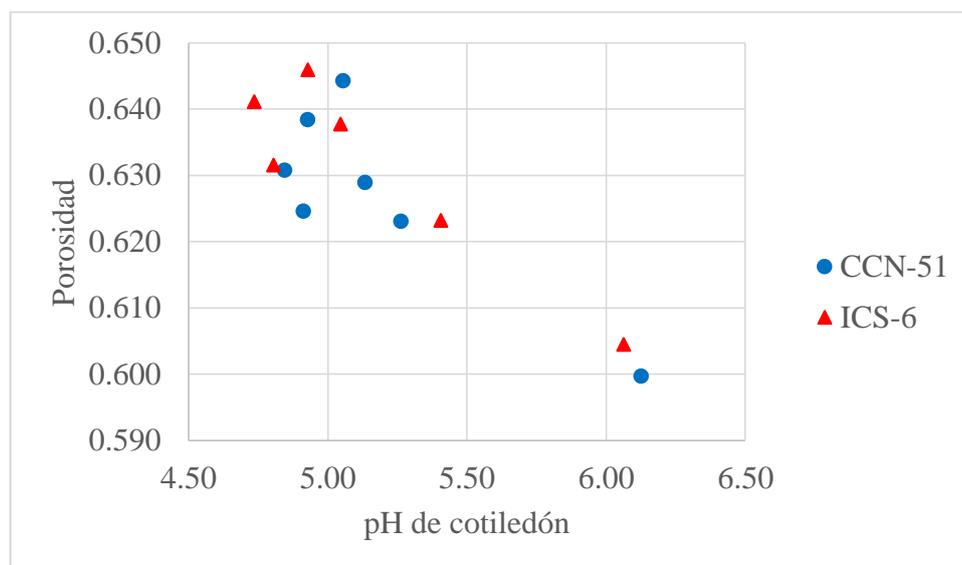


Figura 35: Relación entre la porosidad y el pH de los granos CCN-51 e ICS-6 por cada día de fermentación.

A medida que el pH del cotiledón disminuye por la producción de ácido acético, la porosidad del grano de cacao aumenta, debido a la absorción de los exudados de fermentación (agua, alcohol, ácido acético, ácido láctico, etc.).

Cabe resaltar que los valores de pH y acidez obtenidos en la investigación posiblemente no sea los mismos que con un análisis *in situ* durante la fermentación, ya que las muestras analizadas fueron sometidas a secado para su transporte y almacenamiento. Esto se debe a que en el secado ocurren pérdidas de ácido acético por volatilización. Según Zambrano *et al.* (2010), en el secado los granos de cacao pueden aumentar su pH de 4,6 a 5,1.

En el cuadro 17 se presentan los valores de acidez total del grano de cacao. Como se puede ver todas las mediciones poseen una desviación estándar muy baja, excepto el cuarto día de fermentación de la variedad CCN-51. Esto se debe a que la segunda repetición presentó lecturas bajas de acidez para el cuarto día de fermentación, probablemente por el descenso de la temperatura ambiental, dificultando el incremento de la temperatura de fermentación y de la actividad enzimática.

Según el análisis de varianza (Anexo 18 y 19), existe evidencia estadística para asegurar que la acidez total de los granos de cacao es diferente entre las repeticiones de fermentación. Según la figura 36 y 37, la acidez total de la primera repetición de fermentación es ligeramente similar a la segunda, mientras que en la tercera repetición de fermentación se produjo mayor acidez total que la anterior. Esta diferencia en el nivel de acidez total se debe a que cada replica de fermentación se realizó en diferentes épocas del año.

Según la figura 38, la acidez total de las almendras se incrementa con el tiempo de fermentación hasta el cuarto día y posteriormente tiende a disminuir. Estos cambios son similares entre las variedades analizadas y concuerda con lo investigado por García (2000) y Portillo *et al.* (2011). Dichos autores mencionan que el ácido acético es el principal producto formado en la fermentación aerobia y puede llegar a concentraciones de 1,9 g ác. Acético/100g al finalizar la fermentación. La concentración es muy semejante a las obtenidas en la investigación para el final de la fermentación, donde los valores de acidez son de 2,04 y 2,33 % ác. Acético para CCN-51 e ICS-6 respectivamente. Por otro lado, Portillo *et al.* (2011), registran valores más altos de acidez total, los cuales son 2,92 por ciento para granos sin fermentar y 5,63 por ciento para granos fermentados. Estas diferencias con los resultados se le atribuyen a la evaluación de variedades diferentes, a la procedencia de los mismos y a la tecnología de fermentación empleada.

Cuadro 17: Variación de la acidez total en porcentaje de ácido acético de los granos de cacao secos por cada día de fermentación

DÍA	Acidez Total (%) CCN-51				Acidez Total (%) ICS-6			
	R ₁	R ₂	R ₃	PROM.	R ₁	R ₂	R ₃	PROM.
0	0,66 ± 0,03	0,68 ± 0,05	0,55 ± 0,03	0,63 ± 0,07^a	0,56 ± 0,02	0,71 ± 0,02	0,46 ± 0,02	0,58 ± 0,13^a
1	1,32 ± 0,03	1,39 ± 0,02	1,42 ± 0,03	1,38 ± 0,05^b	1,27 ± 0,03	1,07 ± 0,02	1,27 ± 0,01	1,20 ± 0,12^b
2	1,40 ± 0,04	1,41 ± 0,03	1,41 ± 0,03	1,41 ± 0,01^b	1,77 ± 0,03	1,56 ± 0,04	1,83 ± 0,03	1,72 ± 0,14^c
3	1,81 ± 0,09	1,81 ± 0,04	1,90 ± 0,19	1,84 ± 0,05^c	2,57 ± 0,09	2,53 ± 0,07	2,66 ± 0,05	2,59 ± 0,06^e
4	2,76 ± 0,09	1,87 ± 0,04	2,91 ± 0,05	2,51 ± 0,56^d	3,01 ± 0,07	3,15 ± 0,04	3,21 ± 0,04	3,12 ± 0,10^f
5	2,31 ± 0,09	2,18 ± 0,06	2,52 ± 0,04	2,34 ± 0,17^d	2,36 ± 0,05	2,14 ± 0,06	2,49 ± 0,05	2,33 ± 0,18^d
6	1,99 ± 0,05	2,09 ± 0,02	2,05 ± 0,09	2,04 ± 0,05^c	-	-	-	-

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

Medias y 95.0% de Tukey HSD

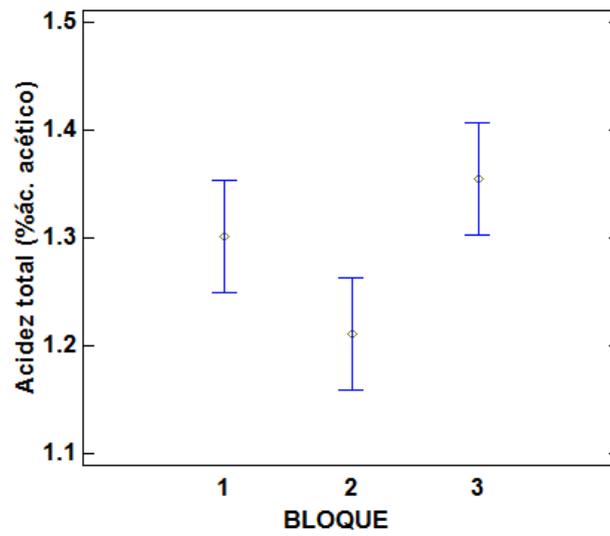


Figura 36: Acidez total (%ác. Acético) de los granos CCN-51.

Medias y 95.0% de Tukey HSD

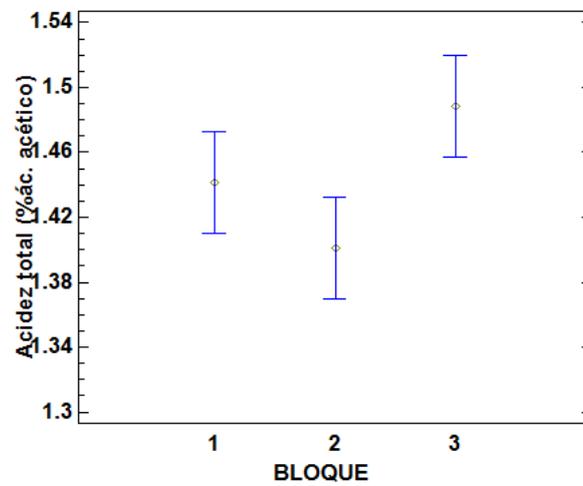


Figura 37: Acidez total (%ác. Acético) de los granos ICS-6.

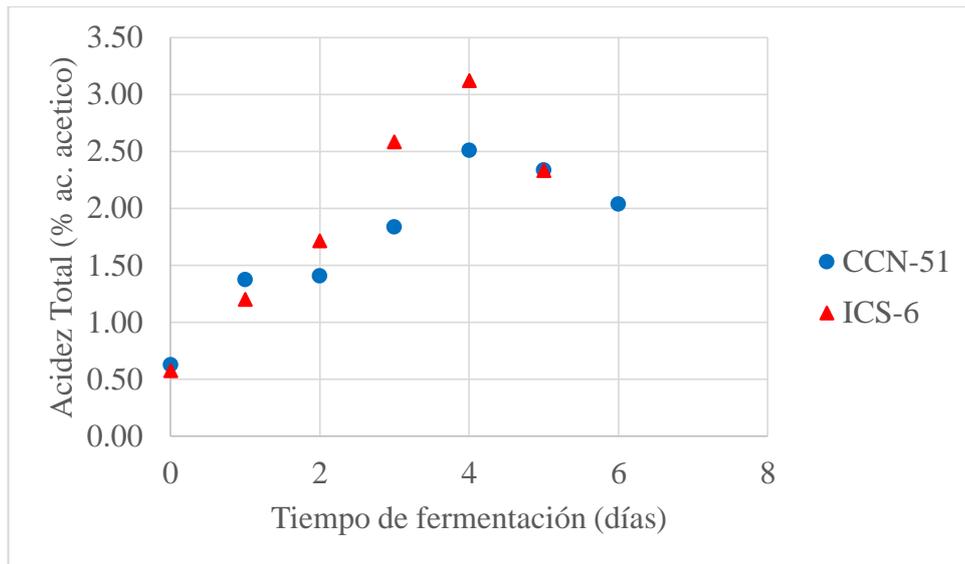


Figura 38: Variación de la acidez total (% ác. Acético) por cada día de fermentación de los granos CCN-51 e ICS-6.

El incremento de acidez es progresivo hasta el cuarto día de fermentación, para luego disminuir significativamente. Con respecto a este descenso, García *et al.* (2002) mencionan que la concentración de ácido acético disminuye gradualmente debido a la volatilización del ácido acético, inducido por las remociones o aireación y a las altas temperaturas. La reducción de la acidez posterior al cuarto día de fermentación fue de 2,51 a 2,04 para la variedad CCN-51 y de 3,12 a 2,33 para la variedad ICS-6. Torres *et al.* (2004), reportan un descenso de 1,85 a 1,39 por ciento de ác. Acético para el sexto día de fermentación, el cual es diferente a los resultados obtenidos, indicando que se obtuvo granos con mayor acidez.

El incremento de acidez total del grano de cacao, incrementa conforme aumenta la porosidad del grano de cacao. Este incremento se puede observar en la figura 39, la cual se muestra a continuación.

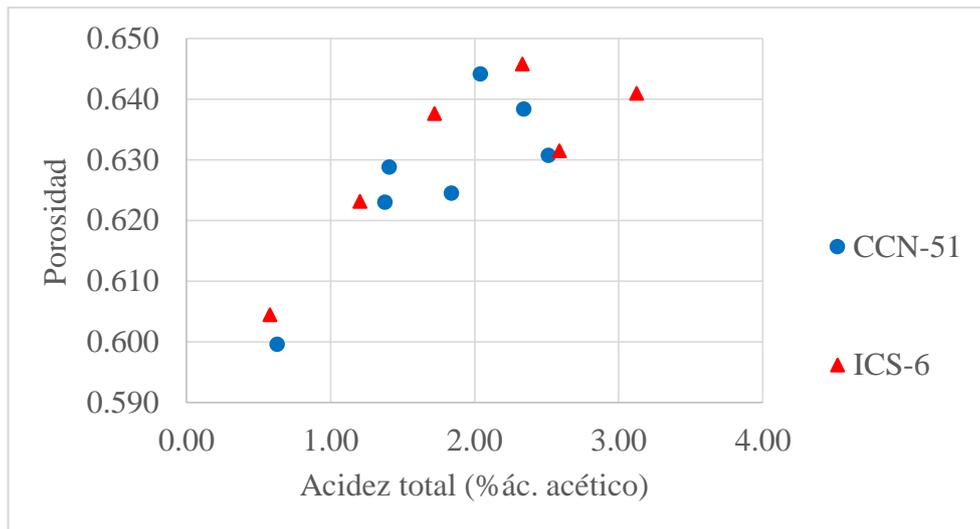


Figura 39: Relación entre la porosidad y la acidez total (%ác. Acético) de los granos CCN-51 e ICS-6 por cada día de fermentación.

El incremento de porosidad del grano de cacao es directamente proporcional al incremento de acidez total. Este fenómeno se debe al incremento de las dimensiones del grano de cacao conforme se produce ácido acético en su interior.

Otro factor que influye en la acidez total de los granos es el secado. Zambrano *et al.* (2010), mencionan que la acidez de los granos de cacao puede incrementar en el secado, mostrando diferencias significativas antes y después del proceso. Esto se debe a la contracción de la cascarilla, que cierra el grano y dificulta la difusión del ácido acético al exterior, mientras que el agua, por su tamaño molecular puede pasar libremente por la barrera.

Cabe mencionar que los granos analizados en esta investigación (sin fermentar y por cada día de fermentación) tuvieron diferentes tiempos de secado (5 a 9 días, Anexo 54), ya que el proceso de secado natural depende del clima y la estación anual. Por ello, es posible que la concentración de ácido acético sea mayor en algunas muestras. Sin embargo, Díaz y Pinoargote (2012), mencionan que este fenómeno ocurre generalmente en el secado mecánico, donde la rapidez del proceso no permite la difusión del ácido acético, obteniéndose un producto ácido y poco deseado para la industria chocolatera.

4.7. CORRELACIÓN ENTRE LA POROSIDAD Y EL ÍNDICE DE FERMENTACIÓN.

Bajo un proceso de fermentación tradicional y adecuado, demostrado con el uso de indicadores como temperatura de fermentación, dimensiones, variación del color (L^* , a^* , b^* e Índice de blancura), pH y la acidez total de almendras, se demostró que la porosidad de los granos de cacao posee una relación directamente proporcional al grado de fermentación. Esta relación se puede observar en las figuras 40 y 41, para granos *enteros* de las variedades CCN-51 e ICS-6, respectivamente; así como también en las figuras 42 y 43 para los granos *cortados*.

Según el análisis de varianza, existe una relación positiva y directa entre las variables porosidad de granos *enteros* y/o *cortados* y el Índice de fermentación ($p < 0,05$) (Anexos 28 al 39). Los modelos lineales para la correlación entre la porosidad de granos *enteros* y *cortados* con el IF se observan en el cuadro 8.

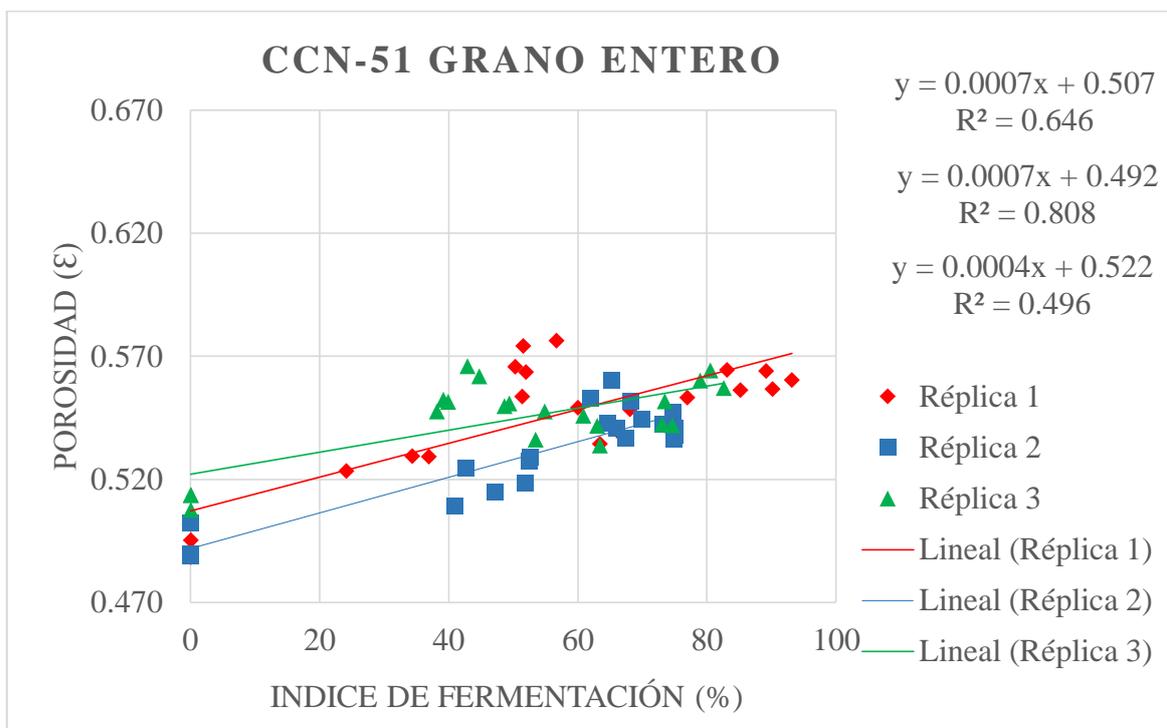


Figura 40: Correlación de la porosidad y el IF de los granos *enteros* CCN-51.

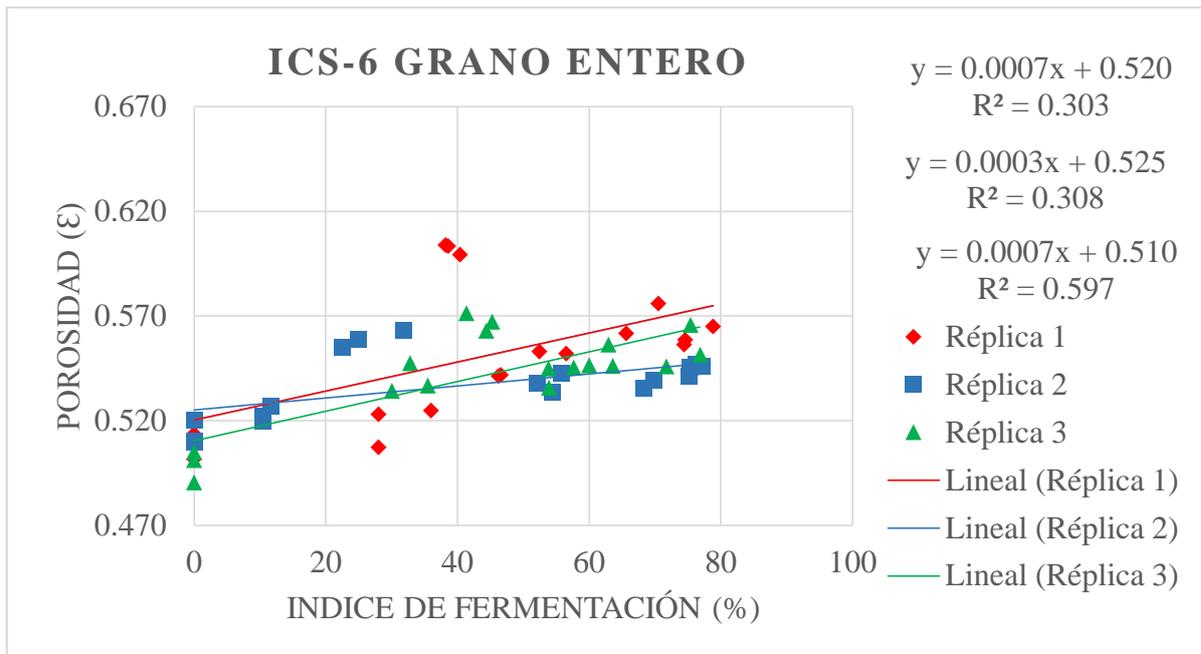


Figura 41: Correlación de la porosidad y el IF de los granos enteros ICS-6.

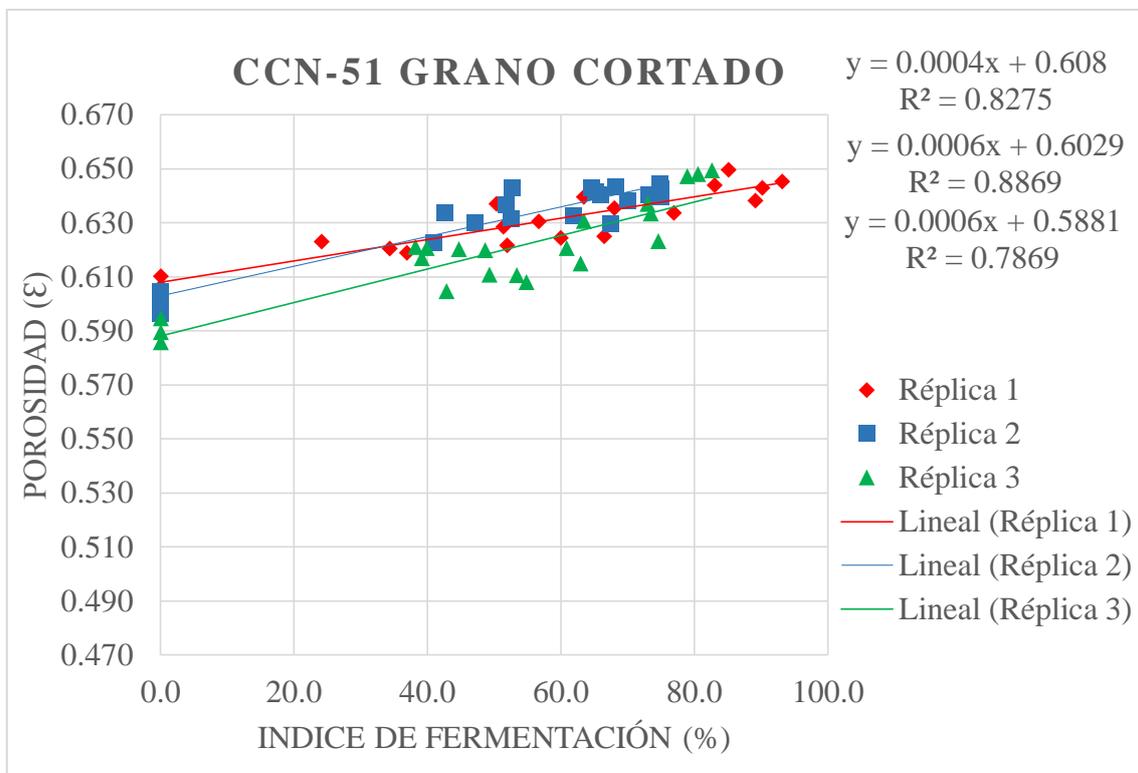


Figura 42: Correlación de la porosidad y el IF de los granos cortados CCN-51.

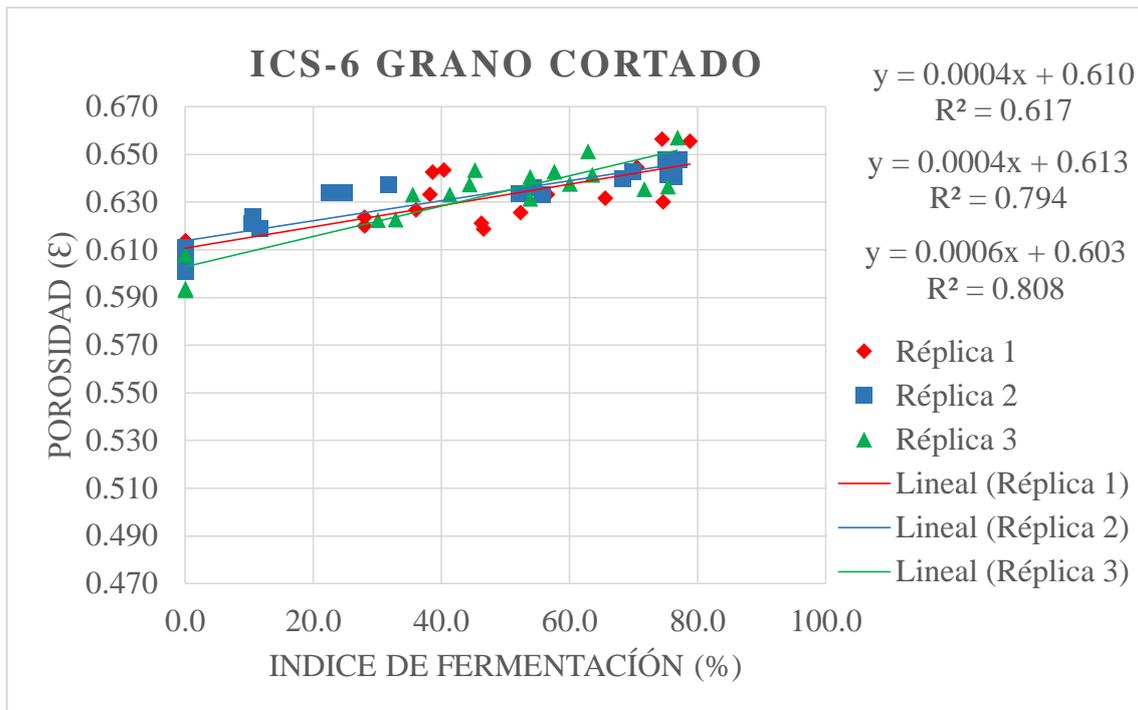


Figura 43: Correlación de la porosidad y el IF de los granos cortados ICS-6.

Según los coeficientes de correlación de los granos *enteros* y el IF, los modelos, en su mayoría, poseen una correlación positiva moderada, ya que sus valores coinciden en el rango de clasificación de correlaciones propuesta por Nieves y Domínguez (2009) (Anexo 50). Por otro lado, las correlaciones de los granos *cortados* con el IF poseen coeficientes de correlación más altos, clasificándose, según Nieves y Domínguez (2009), como correlaciones positivas fuertes.

En el cuadro 19, se muestra los valores de coeficiente correlación y de determinación de los modelos lineales obtenidos. Los granos CCN-51 *enteros* y *cortados* presentaron correlaciones positivas fuertes. Por otro lado, la correlación de los granos ICS-6 con el IF fueron positivas moderadas y fuertes para los granos *enteros* y *cortados* respectivamente.

Cuadro 18: Modelos lineales de la correlación de granos enteros y el Índice de fermentación

		INTERCEPTO (A)	PENDIENTE (B)	MODELO	ERROR EST.
CCN-51 entero	R ₁	0,507	0,687x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,507 + 0,687x10^{-3}(IF)$	15,34 x10 ⁻³
	R ₂	0,493	0,715x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,493 + 0,715x10^{-3}(IF)$	8,87 x10 ⁻³
	R ₃	0,522	0,446x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,522 + 0,446x10^{-3}(IF)$	11,75 x10 ⁻³
ICS-6 entero	R ₁	0,520	0,693x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,520 + 0,693x10^{-3}(IF)$	27,48 x10 ⁻³
	R ₂	0,525	0,286x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,525 + 0,286x10^{-3}(IF)$	13,30 x10 ⁻³
	R ₃	0,510	0,705x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,510 + 0,705x10^{-3}(IF)$	14,76 x10 ⁻³
CCN-51 cortado	R ₁	0,608	0,395x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,608 + 0,395x10^{-3}(IF)$	5,41 x10 ⁻³
	R ₂	0,603	0,550x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,603 + 0,550x10^{-3}(IF)$	5,01 x10 ⁻³
	R ₃	0,588	0,615x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,588 + 0,615x10^{-3}(IF)$	8,41 x10 ⁻³
ICS-6 cortado	R ₁	0,611	0,449x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,611 + 0,449x10^{-3}(IF)$	9,36 x10 ⁻³
	R ₂	0,614	0,422x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,614 + 0,422x10^{-3}(IF)$	6,57 x10 ⁻³
	R ₃	0,603	0,640x10 ⁻³	$\varepsilon = 0,603 + 0,640x10^{-3}(IF)$	7,84 x10 ⁻³

Cuadro 19: Coeficiente de regresión y de determinación para las correlaciones de la porosidad y el grado de fermentación de los granos de cacao

	R	r	R² (%)
CCN-51 entero	R1	0,80	64,6
	R2	0,89	80,8
	R3	0,70	49,6
ICS-6 entero	R1	0,55	30,3
	R2	0,55	30,8
	R3	0,77	59,7
CCN-51 cortado	R1	0,91	82,9
	R2	0,94	88,6
	R3	0,88	78,5
ICS-6 cortado	R1	0,78	61,1
	R2	0,89	79,9
	R3	0,90	81,3

El coeficiente de determinación (R^2) revela que los granos *cortados* poseen correlaciones con un porcentaje de explicación mayor que de los granos *enteros*. Este incremento se debe a lo mencionado anteriormente, acerca de la exposición de los poros internos de los granos al medio exterior. Estos poros microscópicos, compuestos por tejido muerto (Ortiz *et al.* 2009a), atrapan aire en su interior, por la contracción de las almendras durante el secado (Ndukwu *et al.* 2012). Estas correlaciones las podemos ver en la figura 44, notándose menor dispersión a diferencia de los granos *enteros*.

Según las figuras 40, 41, 42 y 43 (anexos 40, 41, 42 y 43), existe una relación positiva entre las variables porosidad (grano *entero* o *cortado*) y el IF en las tres repeticiones de

fermentación de cada variedad. Por lo tanto, al juntar todos los puntos se obtiene los modelos matemáticos observados en el cuadro 20.

Cuadro 20: Modelos finales de correlación entre la porosidad de granos *enteros* y *cortados* con el IF

		INTERCEPTO (A)	PENDIENTE (B)	E. EST. ESTÁNDAR	R	R ²
Grano entero	CCN-51	0,508	$0,604 \times 10^{-3}$	0.014	0,750	56,3
	ICS-6	0,520	$0,531 \times 10^{-3}$	0.020	0,573	32,9
Grano cortado	CCN-51	0,600	$0,521 \times 10^{-3}$	0.008	0,850	72,3
	ICS-6	0,610	$0,489 \times 10^{-3}$	0.008	0,848	72,0

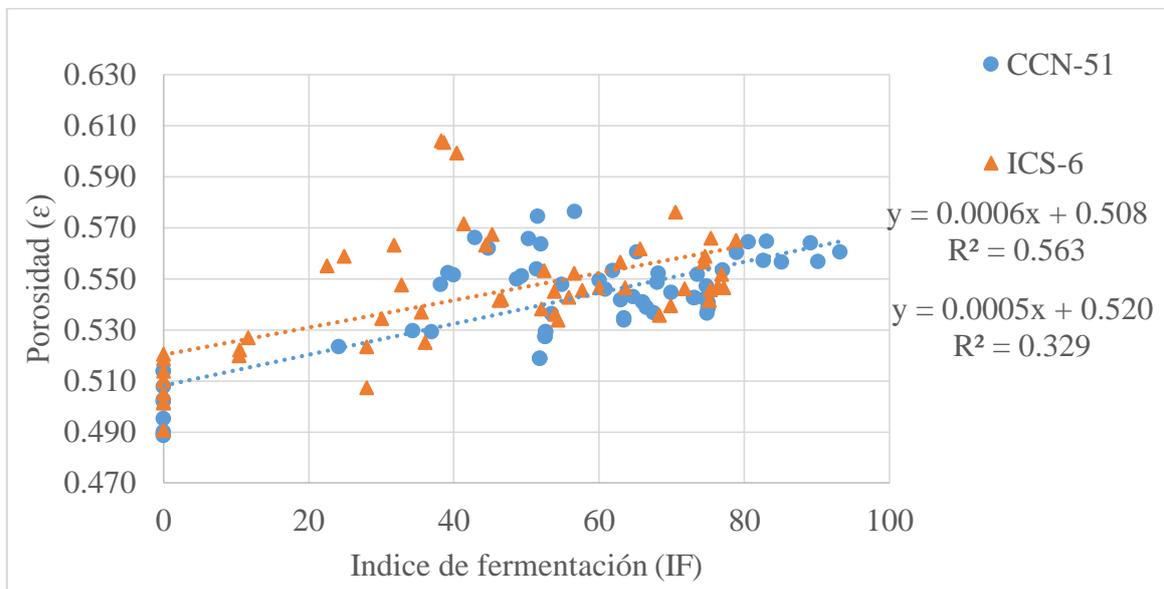


Figura 44: Correlación de la porosidad y el IF de los granos *enteros* CCN-51 e ICS-6.

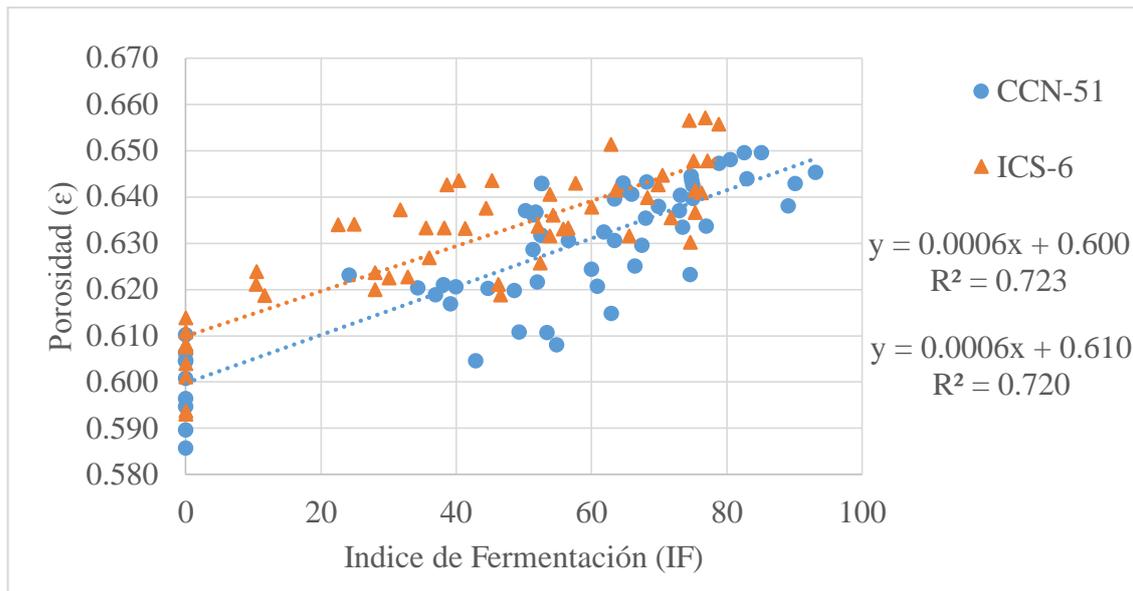


Figura 45: Correlación de la porosidad y el índice de fermentación de los granos cortados CCN-51 e ICS-6.

El error estadístico estándar obtenido de los modelos finales (Cuadro 20), nos indican que las correlaciones obtenidas con *granos enteros* poseen mayor error estadístico que con los *granos cortados*. El error estadístico estándar para las variedades CCN-51 e ICS-6 de *granos enteros* fue de 0.014 y 0.020 respectivamente. Mientras que el error estadístico estándar con los modelos obtenidos a partir de *granos cortados* fue de 0.008 para las dos variedades en estudio. Esto indica que, para un valor de IF, el valor de porosidad tiene una desviación estándar de 0,014; 0,020 (*granos enteros* CCN-51 e ICS-6) y 0.08 (*granos cortados*), por debajo y por encima del valor de porosidad obtenido a partir del modelo.

Según Nieves y Domínguez (2009), 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. Dicho esto, es posible que el porcentaje de la variabilidad no explicada por los modelos lineales se deba, en su mayoría, a la presencia de granos semifermentados y violetas. La importancia de estos granos se debe su abundancia en los primeros días de fermentación y a su reducción al finalizar el proceso (Gutiérrez y Bacalla, 2007). Si bien no fueron calificados como “adecuadamente fermentados”, ejercen un porcentaje de porosidad medida de la muestra, cuyo valor total se correlacionó con la proporción de granos “adecuadamente fermentados”. Con respecto a los efectos de los granos pizarrosos (desaparecidos para el segundo día de fermentación), rotos, pegados y mohosos sobre la

porosidad de la muestra, se consideró despreciable, debido a la baja proporción y/o ausencia (Anexo 52 y 53).

4.8. COMPOSICIÓN PROXIMAL.

A continuación se muestra en el cuadro 21 la composición proximal de los granos de cacao analizados en la investigación.

**Cuadro 21: Composición proximal de los granos
CCN-51 e ICS-6**

PORCENTAJE (%)	CCN-51	ICS-6
Humedad	6,02 ± 0,05 ^b	5,49 ± 0,07 ^a
Proteína	14,23 ± 0,26 ^b	15,58 ± 0,28 ^a
Grasa	47,28 ± 0,22 ^b	45,28 ± 0,45 ^a
Fibra cruda	5,74 ± 0,16 ^a	7,10 ± 0,28 ^b
Ceniza	2,22 ± 0,19 ^a	2,41 ± 0,09 ^a
Carbohidratos	30,24 ± 0,31 ^a	31,24 ± 0,39 ^b

*Los resultados se expresan como el promedio ± la desviación estándar de tres repeticiones. Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (P<0,05) de menor a mayor en orden alfabético.

Según el análisis de comparación de medias, existen diferencias significativas entre los componentes de las variedades CCN-51 e ICS-6 (Anexo 44 al 49). Se observa que el contenido de humedad es mucho menor a ocho por ciento, lo cual es recomendado para su almacenamiento (Isla 2009). Con respecto al contenido proteico, la variedad ICS-6 presenta mayor concentración de proteína cruda que la variedad CCN-51. Los valores hallados son cercanos a los conseguidos por Perea *et al.* (2011), quienes reportan que el contenido de proteína de los granos CCN-51 es de 14,0 por ciento. García (2012), menciona que el porcentaje de grasa en los granos de las variedades CCN-51 e ICS-6 es del 54 por ciento. La diferencia en los resultados se le puede atribuir al lugar de origen de las muestras.

Los valores de fibra cruda difieren a lo obtenido por Collazos *et al.* (1996), reportando un 8,5 por ciento, mientras que los obtenidos en las variedades analizadas fueron de 5,74 y 7,10 por ciento para CCN-51 e ICS-6 respectivamente. Por otro lado, el contenido de cenizas es muy parecido a lo reportado por Perea *et al.* (2011) y Álvarez *et al.* (2007) reportando valores entre dos a tres por ciento. En cuanto a la proporción de carbohidratos totales, son semejantes a los obtenidos por Álvarez *et al.* (2007) los cuales son cercanos al 30 por ciento incluyendo el porcentaje de fibra cruda. La diferencia de componentes analizados radica en la diferencia de variedades analizadas.

V. CONCLUSIONES

- Existió una relación lineal imperfecta positiva entre la porosidad de los granos de cacao y el grado de fermentación (IF), siendo los granos *cortados* aquellos que poseen mayor ajuste, con un coeficiente de correlación (r) promedio de 0,913 y 0,859 y un coeficiente de determinación (R^2) promedio de 83,34 y 74,09 por ciento para la variedad CCN-51 e ICS-6 respectivamente.
- El espesor de los granos fue la dimensión más afectada por la fermentación, aumentando significativamente hasta el segundo día del proceso de fermentación en las dos variedades analizadas. La relación Longitud/espesor (L/e) disminuyó significativamente hasta el segundo día de fermentación como consecuencia del aumento de espesor de los granos de cacao.
- La porosidad promedio de los granos de cacao *entero* incrementó con el tiempo de fermentación de 0,50 a 0,55 para la variedad CCN-51 y de 0,51 a 0,55 para la variedad ICS-6. La porosidad promedio de los granos de cacao *cortados* incrementó con el tiempo de fermentación desde 0,60 a 0,64 para la variedad CCN-51 y de 0,605 a 0,65 para la variedad ICS-6.
- El índice de fermentación incrementó con el tiempo de fermentación, alcanzando valores de 81,8 por ciento para la variedad CCN-51 y 75,0 por ciento para la variedad ICS-6 en promedio.
- El color de las almendras de cacao evolucionaron durante la fermentación, presentando un enrojecimiento y amarillamiento, los cuales incrementaron los valores de a^* y b^* , contrastadas por un oscurecimiento gradual, disminuyendo los valores de Luminosidad (L^*) en el tiempo. El pardeamiento enzimático de los granos de cacao en fermentación disminuyeron el índice de blancura promedio de 34,73 a 29,23 para la variedad CCN-51 y de 32,11 a 26,93 para la variedad ICS-6, siendo este último más oscuro.

- El pH de las almendras de cacao disminuyó durante la fermentación desde 6,12 a 5,03 para la variedad CCN-51 y de 6,09 hasta 4,93 para la variedad ICS-6. La acidez total (%ác. Acético) de las almendras de cacao incrementó en la fermentación de 0,47 a 1,51 por ciento para la variedad CCN-51 y de 0,43 a 1,73 por ciento para ICS-6.

VI. RECOMENDACIONES

- Poner énfasis en el control de los parámetros de fermentación a fin de obtener resultados más homogéneos.
- Estandarizar el proceso de secado solar, a fin de no obtener productos con tiempos de exposición prolongados que influyen en la porosidad de los mismos.
- Para reducir los errores de medición de porosidad, la muestra extraída al azar debe ser sometida a una separación granulométrica a fin de analizar granos de tamaño uniforme.
- Para incrementar el coeficiente de determinación y de correlación se recomienda conocer el efecto de la proporción sobre la porosidad de los granos pizarras, violetas, mohosos y semifermentados ya que estos ejercen un efecto en la muestra de cacao a evaluar.
- Para correlacionar las variables en estudio, se debe considerar valores de porosidad a humedad constante, en este caso alrededor de 7 por ciento, ya que la porosidad de los granos de cacao dependen del contenido de agua de partícula.
- En caso de utilizar y/o realizar una predicción de porosidad o grado de fermentación a partir de los modelos obtenidos, se deberá considerar la humedad de los granos y el adecuado beneficio de los granos de cacao, ya que los modelos fueron obtenidos a partir de una fermentación adecuada, con baja proporción o ausencia de granos pizarra, rotos, mohosos, etc.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afoakawa, E; Paterson A; Fowler M. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (45):1-18.
- Afoakawa, E; Simpson, A; Takrama, J; Firibu, K. 2012. Influence of pulp-preconditioning and fermentation on fermentative quality and appearance of Ghanaian cocoa. *International Food Research Journal* 19(1):127-133.
- Alegría, E. 2015. Evaluación de tratamientos previos al proceso de tostado de semillas de cacao para el diseño del área de producción de pasta de cacao (*Theobroma cacao L.*). Tesis Ing. Ecuador, Escuela Politécnica Nacional. 48 p.
- Alvarado, J; Aguilera, J. 2001. Métodos para medir las propiedades físicas en la Industria de Alimentos. Zaragoza, España, Acribia.
- Álvarez, C; Pérez, E; Lares, M. 2007. Caracterización física y química de las almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado de Aragua. *Agronomía Tropical* 57(4):249-256.
- Álvarez, C; Tovar, L; García, H; Morillo, F; Sánchez, P; Girón, C; De Farías, A. 2010. Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*) usando dos tipos de fermentadores. *UDO Agrícola* 10(1):76-87.

- APPCACAO (Asociación de productores de cacao del Perú). 2016. Directorio de Socios (en línea). Perú. Consultado 28 abr. 2016. Disponible en <http://appcacao.org/wp-content/uploads/2015/05/DIRECTORIO-DE-LOS-SOCIOS-DE-APPCACAO.pdf>
- APPCACAO (Asociación de cacaoteros del Perú). 2012. Manual de control de calidad del cacao. 1 ed. Lima, Perú.
- Batista, L. 2009. Guía técnica el cultivo de cacao Santo Domingo, República Dominicana. Centro Para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF 2009). 250 p.
- Bart-Plange, A; Baryeh, E. 2002. The physical proprieties of Category B cocoa beans. *Journal of Food Engineering* (60):219-277.
- Calientes, C. 2002. Determinación de difusividades térmicas reales de alimentos porosos. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, UNALM.
- Chire, G; Orosco, P; Valdivia, R; Ureña, M. 2014. Determinación de las propiedades Físicas, Químicas y Termofísicas de diferentes granos de cacao del Perú. *In* CIBIA (Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos). Lima, Perú. 3(9):545-551.
- Chire, G; Verona, P; Guzman, J. 2016. Cambios en el color durante el beneficio del grano de cacao de Piura (*Theobroma cacao L.*) peruano procedente de Piura. *Ciencia e Investigación* 19(1):29-34.
- Collazos, C. *et al.* 1996. Tabla peruana de composición de alimentos. 7ed. Lima, Perú.
- Contreras, C; Ortiz, L; Graziani, L; Parra, P. 2004. Fermentadores de cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía Tropical* 54(2):219-232.

- 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.
- Cubillos, G; Merizalde, G; Correa, E. 2008. *Manual de Beneficio del Cacao*. Medellin, Colombia.
- 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.
- FEDECACAO (Federación nacional de cacaoteros). 2004. *Beneficio y características físico químicas del cacao*. Bogotá, Colombia.
- Enríquez, G. 1978. Notas sobre el cultivo de cacao. Instituto Interamericano de ciencias agrícolas (IICA). Costa Rica. 217-218 p.
- Enríquez, G. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Serie Materiales de Enseñanza N°22. CATIE, Turrialpa, Costa Rica. 7p.
- García, L. 2012. *Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú*. Ministerio Nacional de Agricultura. Perú. Dirección General de Competitividad Agraria. Lima, Perú.
- García, P. 2000. Caracterización microbiana, bioquímica y cinética del proceso de fermentación tradicional durante el beneficio de cacao. Tesis Ing. México DF, México. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa.
- García, P; Urrieta, J; Morales, R; García, M. 2002. Perfiles de concentración interna de acidez y temperatura a través de la fermentación de cacao. Memorias in extensor del III Encuentro Internacional de Biotecnología UPIBI2002. Querétaro, Qro 107-116.
- Garzón, G. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. *Acta Biológica* 13(3) 27-36.

- Gómez, R; Garcia, R; Tong, F; González, C. 2014. Paquete tecnológico del cultivo del cacao. (Paquetes tecnológicos para cultivo alternativos).
- Guerrero, M. 2005. Influencia de las condiciones de secado por aire caliente en la variación de la densidad real y la porosidad de rodajas de manzana variedad delicia *Malus domestica boreckh*. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, UNALM.
- Gutiérrez, M; Bacalla, L. 2007. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera.
- Gutiérrez, M; Heber, A; Bacalla, L. 2007. Efecto de la frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en cajón cuadrado, sobre la temperatura y el índice de fermentación del *Theobroma cacao L*.
- Gutiérrez, S. 2009. Guía de gestión de calidad en Centro de Acopio, Secado y Fermentación de Cacao. Lima, Perú.
- Hansen, C; Del Olmo, M; Burri, C. 1998. Enzyme Activities in Cocoa Beans during Fermentation. *J. Sci. Food Agriculture* 77:273-281.
- Heldman, D. 1998. Introducción a la Ingeniería de Los Alimentos. Zaragoza, España, Acribia.
- Horwitz, W; Latimer, G. 2007. Official Methods of Analysis of Association of AOAC International. 18 ed. Maryland, United States America.
- Huamán, N. 2011. Evaluación de la difusividad térmica en granos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) sometidos a tratamiento térmico. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, UNALM.
- INACAL (Instituto nacional de calidad), 2016a. NTP – ISO 1114:2016 Granos de cacao. Prueba de corte. Lima, Perú.
- INACAL (Instituto nacional de calidad), 2016b. NTP – ISO 2451.2016 Granos de cacao. Especificaciones. Lima, Perú.

- IICA (Instituto interamericano de cooperación para la agricultura) 2009. Situación y perspectivas de la cadena de cacao y chocolate del Perú. Lima, Perú.
- Isla, E; Andrade, B. 2009. Manual para la producción de cacao orgánico en las comunidades nativas de la cordillera del condor. Proyecto de “Paz y Conservación Binacional en la Cordillera del Condor, Ecuador-Peru Fase II (componente peruano)”. Lima, Perú.
- Lagunes – Galvez, S; Loiseau, G; Paredes, J; Barel, M; Guiraud, J. 2007. Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic. *International Journal of Food Microbiology* (114):124 – 130.
- Lares, M; Gutiérrez, R; Pérez E; Álvarez, C. 2007. Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado de Miranda, Venezuela. *UDO agrícola* 12(2):439-446.
- Lewis, M. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Zaragoza, España, ACRIBIA.
- Loayza, W. 2014. Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao (*Theobroma cacao, L.*) de Satipo. Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Lohman, M; Hartel, R. 1994. Effect of milk fat fractions on fat bloom in dark chocolates. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 71(3):267–276.
- Mikkelsen, L. 2010. Quality Assurance along the Primary Processing Chain of Cocoa Beans from Harvesting to Export in Ghana. Frederiksberg, Dinamarca.
- MINAG (Ministerio de Agricultura) 2016. Anuario de producción Agrícola (en línea). Perú. Consultado 28 abr. 2016. Disponible en <http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarios-estadisticos>.

- MINAG (Ministerio de agricultura) 2013. CACAO (en línea). Perú. Consultado 28 abr. 2016. Disponible en http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/cacao/cacao_espanol_1.pdf
- Moreno, L. 1989. Beneficio del Cacao. Cortez, Honduras. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA 1989).
- Navia, A. y Pazmiño, N. 2012. Mejoramiento de las Características Sensoriales del cacao CCN-51 a través de la Adición de Enzimas durante el Proceso de Fermentación. Ingeniero de Alimentos. Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Ndukwu, M; Simonyan, K; Ndirika, V. 2012. Investigation of the structural changes of cocoa beans (with and without seed coat) during convective drying. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 5(3):75-81.
- Nieves, A; Domínguez, F. 2009. Probabilidad y Estadística para Ingeniería. Un enfoque moderno. Mexico DF, Mexico, McGraw Hill.
- Nogales, J; Graziani de Fariñas, 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 los índices físicos del grano de cacao en fermentación. *Agronomía Tropical* 59(1):81-88.
- Perea, J; Ramírez, O; Villamizar, A. 2011. Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 9(1):35 – 42.

- Portillo, E; Labarca, M; Grazziani, 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 Facultad Agronomía (1):646-660.
- Portillo, E; Grazziani, F; Betancourt, E. 2005. Efecto de los tratamientos post-cosecha sobre la temperatura y el índice de fermentación en la calidad del grano del cacao criollo Porcelana (*Theobroma cacao L.*) en el sur del lago Maracaibo. Revista Facultad Agronomía (22):388-399.
- Portillo, E; Portillo, A; Grazziani, L; Cros, E; Assemat, S; Davrieux, F; Boulanger, R. 2014. Efecto del tratamiento poscosecha sobre el contenido de teobromina y cafeína en el cacao criollo (*Theobroma cacao L.*). Revista Facultad de Agronomía (1):801-811.
- Rahman, S. 2001. Toward prediction of porosity in foods during drying: a brief review. *Drying Technology*.
- Rahman, S; Chait, Y; Hawlader, M. 2012. Drying kinetics of cocoa beans undergoing vacuum drying. International Congress on Food Engineering and Technology (IFET), 2012, Bangkok, Thailand.
- Reyes, H; Vivas, J; Romero A. 1999. La calidad en el cacao y factores determinantes de la calidad. *Divulga* (61).
- Rivera, D; Mecías, F; Guzmán, A; Peña, M; Medina, H; Casanova, L; Barrera, A; Nivelá, P. 2012. Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma cacao L.*) tipo nacional. *Ciencia y Tecnología* 5(1):7-12.
- Rodríguez, J. 2011. Estudio de los compuestos volátiles de *Theobroma cacao L.* durante el proceso tradicional de fermentación, secado y tostado. Tesis Dr. México D.F, México, Instituto Politécnico Nacional.
- Rodríguez, J; Escalona, H; Orozco, I; Lugo, E; Jaramillo, M. 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):250-258.

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.

Serpil, S; Servet G. 2009. Propiedades físicas de los alimentos. Zaragoza, España, Acribia.

Shwan R; Wheals, A. 2004. The microbiology of cocoa fermentation and its role chocolate quality. Critical Reviews in Food Science and Nutrition (44):205-221.

SIEA, MINAG 2016. Anuario estadístico de producción agrícola y ganadera 2016 (en línea). Perú. Consultado 28 abr. 2016. Disponible <http://siea.minag.gob.pe/siea/?q=publicaciones/anuarios-estadisticos>.

Torres, O; Graziani, L; Ortiz, L; Trujillo, A. 2004. Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane de la mazorca del cacao tipo forastero de Guyagua sobre características del grano en fermentación. Agronomía tropical 54(4):481-495.

Tunde-Akintunde, T; Akintunde, B. 2007. Effect of Moisture content and variety on selected physical properties of beniseed. Agricultural Engineering International the CIGR Ejournal 9.

Zambrano, A; Gómez, A; Ramos, G; Romero, C; La cruz, C; Rivas, E. 2010. 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: ÍNDICE DE GRANO CCN-51 PARA LAS REPETICIONES DE FERMENTACIÓN

Comparación de Dos Muestras - CCN-51 & ICS-6

Muestra 1: CCN-51

Muestra 2: ICS-6

Muestra 1: 9 valores en el rango de 1.37 a 1.64

Muestra 2: 9 valores en el rango de 1.29 a 1.45

Resumen Estadístico

	CCN-51	ICS-6
Recuento	9	9
Promedio	1.50778	1.36778
Desviación Estándar	0.096278	0.0582619
Coefficiente de Variación	6.38542%	4.2596%
Mínimo	1.37	1.29
Máximo	1.64	1.45
Rango	0.27	0.16
Sesgo Estandarizado	0.103324	0.112602

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de CCN-51: 1.50778 +/- 0.074006 [1.43377, 1.58178]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de ICS-6: 1.36778 +/- 0.0447841 [1.32299, 1.41256]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: 0.14 +/- 0.0795206 [0.0604794, 0.219521]

Prueba t para comparar medias

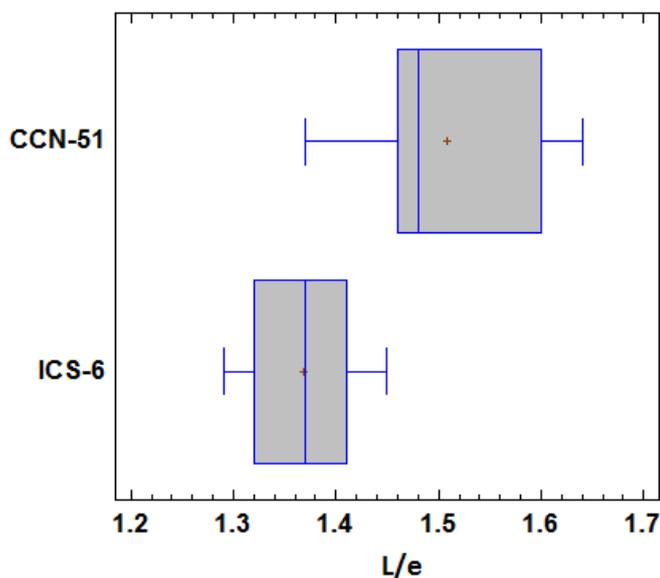
Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 > media2

suponiendo varianzas iguales: t = 3.73221 valor-P = 0.00181466

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Gráfico Caja y Bigotes



ANEXO 2: COMPARACIÓN DE LARGO DE GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN A UN $\alpha = 0,05$

Tabla ANOVA

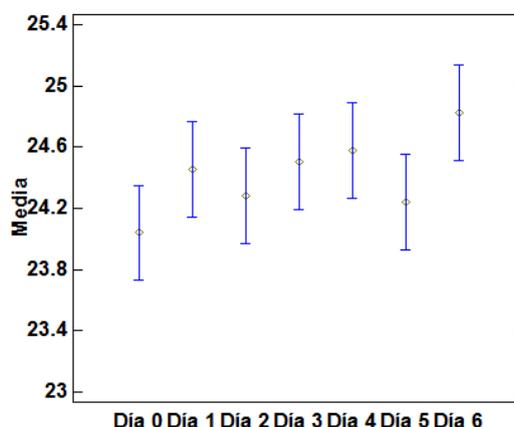
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	70.6447	6	11.7741	2.92	0.0078
Intra grupos	5049.89	1253	4.03024		
Total (Corr.)	5120.54	1259			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Día 0	180	24.0398	X
Día 5	180	24.2436	XX
Día 2	180	24.2797	XX
Día 1	180	24.4556	XX
Día 3	180	24.5053	XX
Día 4	180	24.5802	XX
Día 6	180	24.8237	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 3: COMPARACIÓN DEL ANCHO DEL GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN A UN $\alpha = 0,05$

Tabla ANOVA

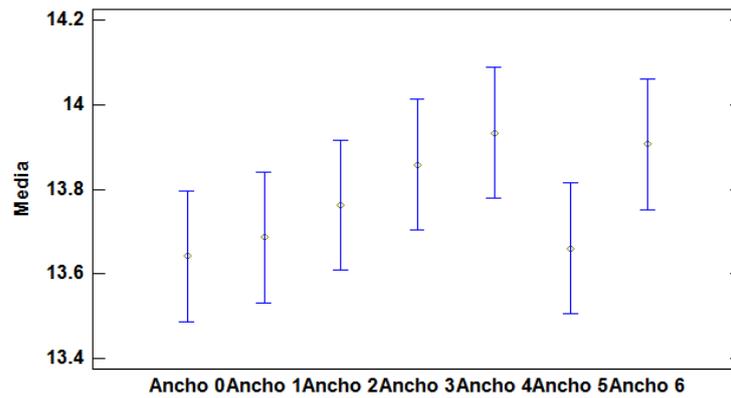
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	15.8447	6	2.64079	2.68	0.0136
Intra grupos	1232.89	1253	0.98395		
Total (Corr.)	1248.73	1259			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ancho 0	180	13.6416	X
Ancho 5	180	13.6606	X
Ancho 1	180	13.6859	X
Ancho 2	180	13.7625	X
Ancho 3	180	13.8577	X
Ancho 6	180	13.9062	X
Ancho 4	180	13.9333	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 4: COMPARACIÓN DEL ESPESOR DE GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN A UN $\alpha = 0,05$

Tabla ANOVA

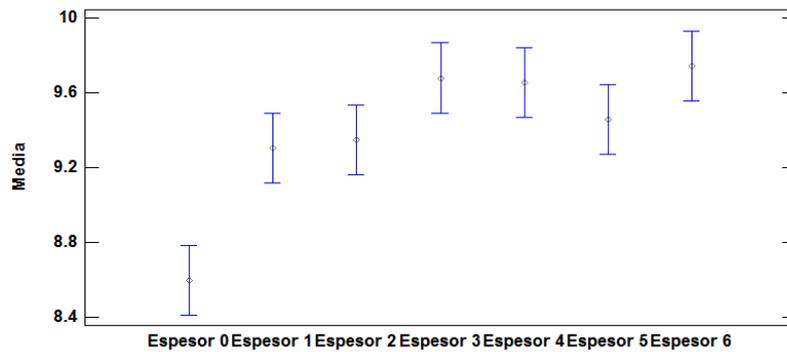
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	166.197	6	27.6994	19.09	0.0000
Intra grupos	1817.67	1253	1.45066		
Total (Corr.)	1983.87	1259			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Espesor 0	180	8.59689	X
Espesor 1	180	9.30328	X
Espesor 2	180	9.34917	XX
Espesor 5	180	9.45783	XXX
Espesor 4	180	9.65689	XXX
Espesor 3	180	9.68059	XX
Espesor 6	180	9.744	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 5: COMPARACIÓN DE LA RELACIÓN L/E DEL GRANO CCN-51 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN

Tabla ANOVA

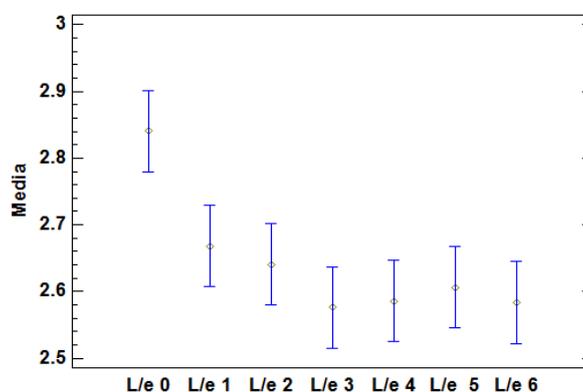
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9.44456	6	1.57409	10.20	0.0000
Intra grupos	193.283	1253	0.154257		
Total (Corr.)	202.728	1259			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
L/e 3	180	2.57578	X
L/e 6	180	2.5835	X
L/e 4	180	2.58556	X
L/e 5	180	2.60589	X
L/e 2	180	2.6405	X
L/e 1	180	2.66817	X
L/e 0	180	2.84072	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 6: COMPARACIÓN DEL LARGO DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN

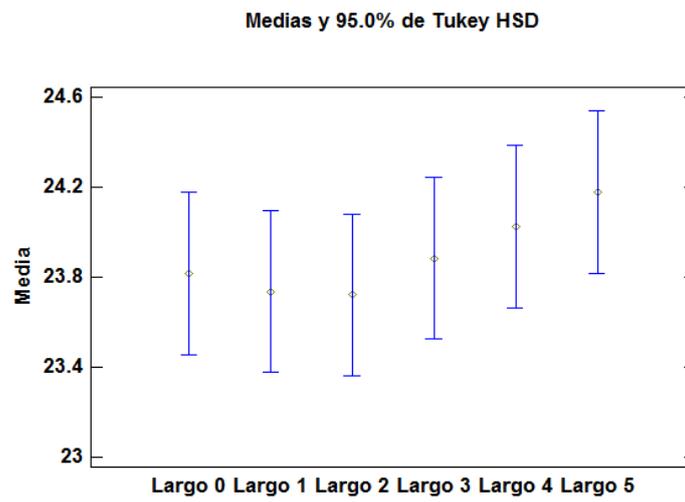
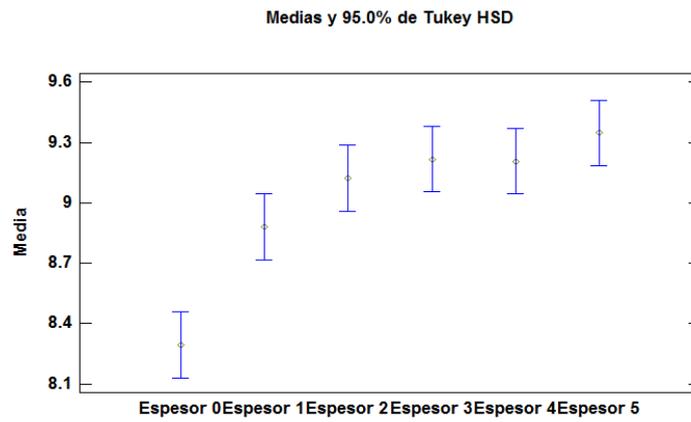
Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	28.7458	5	5.74916	1.00	0.4185
Intra grupos	6195.19	1074	5.76833		
Total (Corr.)	6223.94	1079			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Largo 2	180	23.7213	X
Largo 1	180	23.7356	X
Largo 0	180	23.8155	X
Largo 3	180	23.8839	X
Largo 4	180	24.0262	X
Largo 5	180	24.1787	X



ANEXO 7: COMPARACIÓN DEL ANCHO DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN

Tabla ANOVA

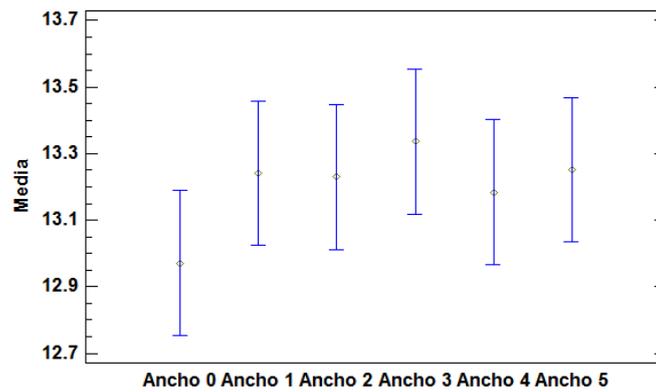
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	13.7361	5	2.74723	1.31	0.2552
Intra grupos	2243.86	1074	2.08926		
Total (Corr.)	2257.6	1079			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Ancho 0	180	12.9711	X
Ancho 4	180	13.1835	X
Ancho 2	180	13.2294	X
Ancho 1	180	13.2413	X
Ancho 5	180	13.2516	X
Ancho 3	180	13.3358	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 8: COMPARACIÓN DEL ESPESOR DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	133.211	5	26.6422	22.62	0.0000
Intra grupos	1265.07	1074	1.17791		
Total (Corr.)	1398.28	1079			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Espesor 0	180	8.29317	X
Espesor 1	180	8.881	X
Espesor 2	180	9.12233	XX
Espesor 4	180	9.20728	XX
Espesor 3	180	9.21822	X
Espesor 5	180	9.34867	X

ANEXO 9: COMPARACIÓN DE LA RELACIÓN L/E DEL GRANO ICS-6 A DIFERENTES DÍAS DE FERMENTACIÓN

Tabla ANOVA

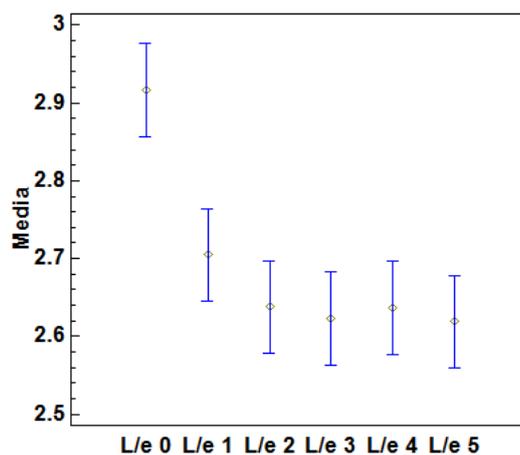
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.0221	5	2.40442	15.28	0.0000
Intra grupos	168.974	1074	0.157332		
Total (Corr.)	180.996	1079			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
L/e 5	180	2.61894	X
L/e 3	180	2.62256	X
L/e 4	180	2.63667	X
L/e 2	180	2.63778	X
L/e 1	180	2.70478	X
L/e 0	180	2.91672	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DE POROSIDAD DE LOS GRANOS ENTEROS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Porosidad grano entero

Variable dependiente: Porosidad grano entero

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

Número de casos completos: 63

Análisis de Varianza para Porosidad grano entero - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación	0.0187059	6	0.00311766	24.29	0.0000
B:BLOQUE	0.00225375	2	0.00112687	8.78	0.0005
RESIDUOS	0.00693225	54	0.000128375		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0278919	62			

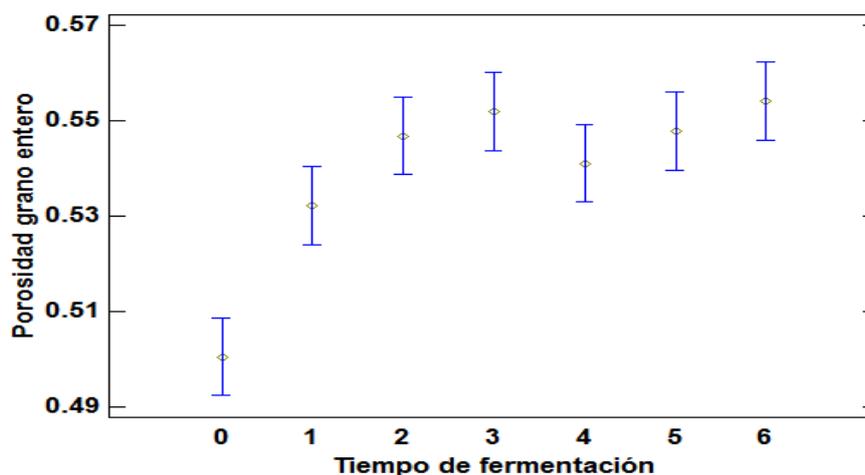
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Porosidad grano entero por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.500444	0.00377676	X
1	9	0.532222	0.00377676	X
4	9	0.541111	0.00377676	XX
2	9	0.546889	0.00377676	XX
5	9	0.547889	0.00377676	XX
3	9	0.552	0.00377676	X
6	9	0.554222	0.00377676	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA POROSIDAD DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Porosidad grano cortado

Variable dependiente: Porosidad grano cortado

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

Número de casos completos: 63

Análisis de Varianza para Porosidad grano cortado - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación	0.0110913	6	0.00184855	38.38	0.0000
B:BLOQUE	0.00189127	2	0.000945635	19.63	0.0000
RESIDUOS	0.00260117	54	0.0000481699		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0155837	62			

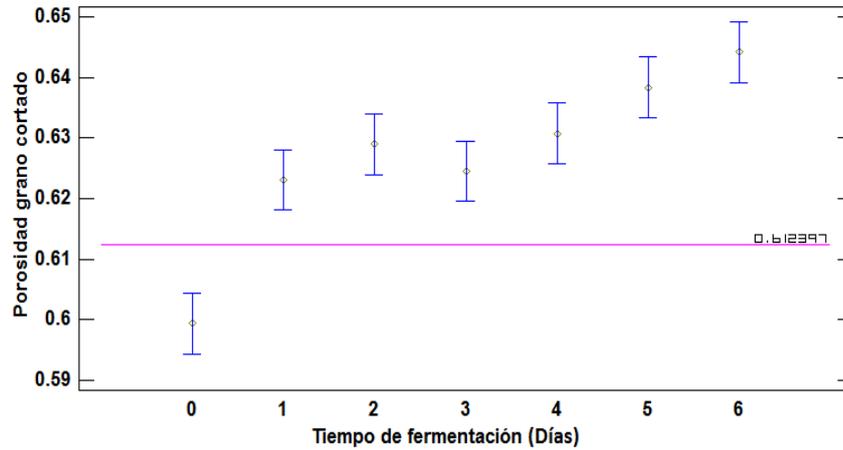
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Porosidad grano cortado por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.599333	0.00231348	X
1	9	0.623111	0.00231348	X
3	9	0.624556	0.00231348	X
2	9	0.629	0.00231348	XX
4	9	0.630778	0.00231348	XX
5	9	0.638444	0.00231348	XX
6	9	0.644222	0.00231348	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DE POROSIDAD DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Porosidad grano entero

Variable dependiente: Porosidad grano entero

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)

BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para Porosidad grano entero - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación (Días)	0.0245959	5	0.00491919	41.29	0.0000
B:BLOQUE	0.00169337	2	0.000846685	7.11	0.0020
RESIDUOS	0.00548041	46	0.000119139		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0317697	53			

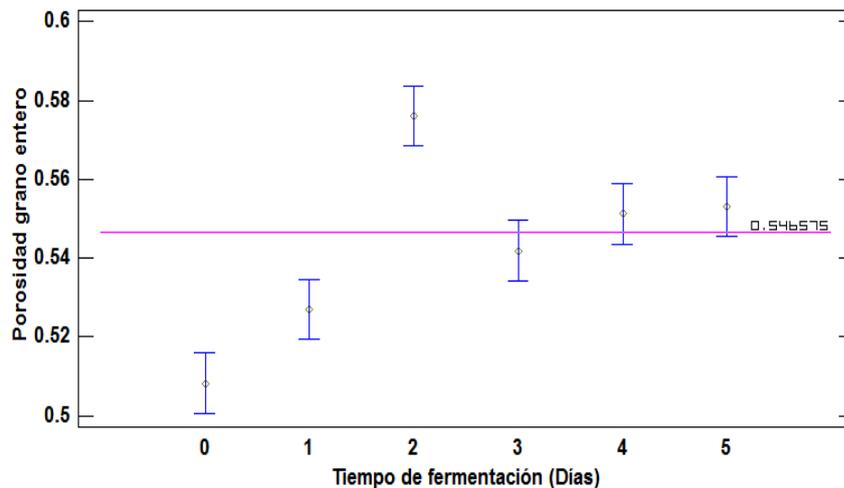
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Porosidad grano entero por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.508222	0.00363836	X
1	9	0.527	0.00363836	X
3	9	0.541889	0.00363836	XX
4	9	0.551222	0.00363836	X
5	9	0.553111	0.00363836	X
2	9	0.576111	0.00363836	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA POROSIDAD DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Porosidad Grano cortado

Variable dependiente: Porosidad Grano cortado

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)
BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para Porosidad Grano cortado - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación (Días)	0.00987193	5	0.00197439	37.71	0.0000
B:BLOQUE	0.0000161481	2	0.00000807407	0.15	0.8575
RESIDUOS	0.00240852	46	0.0000523591		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0122966	53			

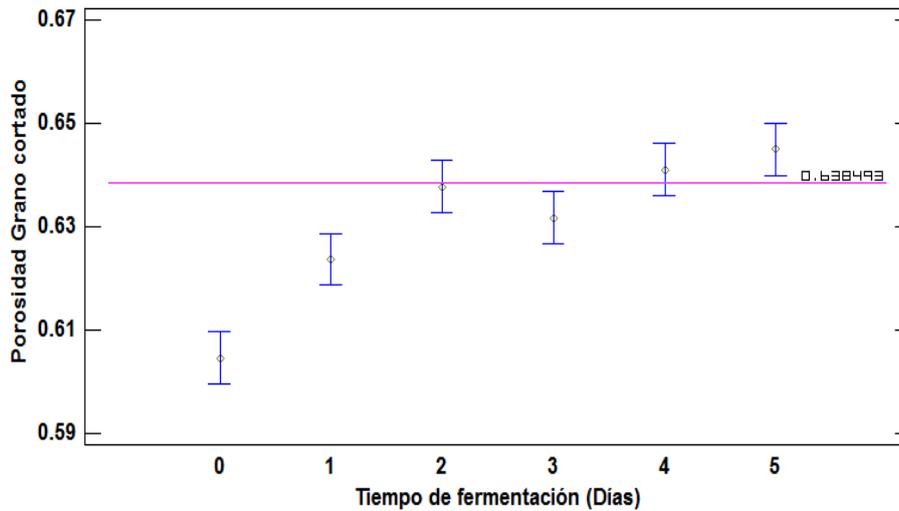
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Porosidad Grano cortado por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.604556	0.00241199	X
1	9	0.623667	0.00241199	X
3	9	0.631667	0.00241199	XX
2	9	0.637778	0.00241199	XX
4	9	0.641111	0.00241199	XX
5	9	0.645	0.00241199	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 14: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DEL IF DE LOS GRANOS CCN-51 DURANTE LA FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Índice de fermentación (%)

Variable dependiente: Índice de fermentación (%)

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

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: Tiempo de fermentación	41078.3	6	6846.38	262.31	0.0000
B: BLOQUE	146.923	2	73.4613	2.81	0.0687
RESIDUOS	1409.4	54	26.1		
TOTAL (CORREGIDO)	42634.6	62			

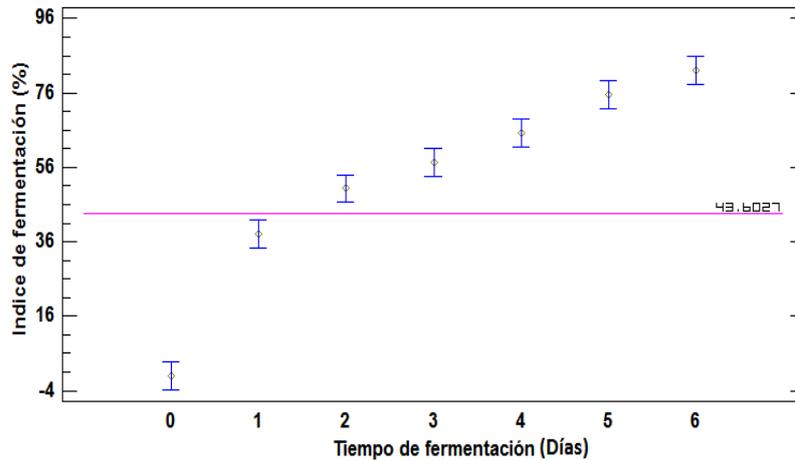
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de fermentación (%) por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0	1.70294	X
1	9	38.15	1.70294	X
2	9	50.3533	1.70294	X
3	9	57.3544	1.70294	X
4	9	65.2433	1.70294	X
5	9	75.5933	1.70294	X
6	9	82.1389	1.70294	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 15: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DEL IF DE LOS GRANOS ICS-6 DURANTE LA FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Índice de fermentación (%)

Variable dependiente: Índice de fermentación (%)

Factores:

- Tiempo de fermentación (Días)
- BLOQUE

Número de casos completos: 54

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:Tiempo de fermentación (Días)	34988.8	5	6997.76	182.51	0.0000
B:BLOQUE	228.864	2	114.432	2.98	0.0604
RESIDUOS	1763.73	46	38.342		
TOTAL (CORREGIDO)	36981.4	53			

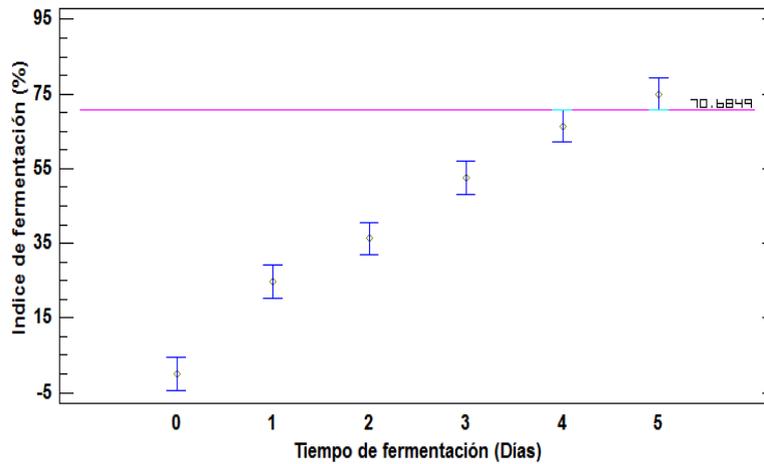
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de fermentación (%) por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0	2.06403	X
1	9	24.7633	2.06403	X
2	9	36.36	2.06403	X
3	9	52.5211	2.06403	X
4	9	66.4256	2.06403	X
5	9	75.0	2.06403	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 16: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PH DE LAS ALMENDRAS DE CACAO CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - pH

Variable dependiente: pH

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

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:Tiempo de fermentación	10.4179	6	1.73631	324.66	0.0000
B:BLOQUE	0.0215841	2	0.0107921	2.02	0.1428
RESIDUOS	0.288794	54	0.00534803		
TOTAL (CORREGIDO)	10.7283	62			

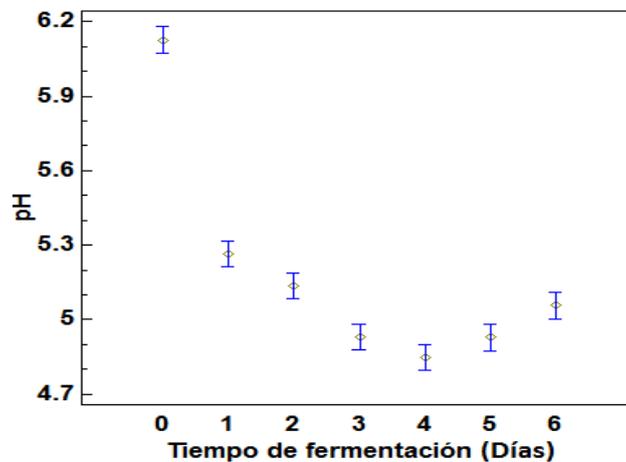
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	9	4.84667	0.0243767	X
5	9	4.92778	0.0243767	X
3	9	4.93	0.0243767	X
6	9	5.05667	0.0243767	X
2	9	5.13444	0.0243767	X
1	9	5.26333	0.0243767	X
0	9	6.12667	0.0243767	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 17: ANÁLISIS DE VARIANZA DEL PH DE LAS ALMENDRAS DE CACAO ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - pH

Variable dependiente: pH

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)

BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo de fermentación (Días)	11.0774	5	2.21548	226.58	0.0000
B: BLOQUE	0.0029037	2	0.00145185	0.15	0.8624
RESIDUOS	0.449785	46	0.00977794		
TOTAL (CORREGIDO)	11.5301	53			

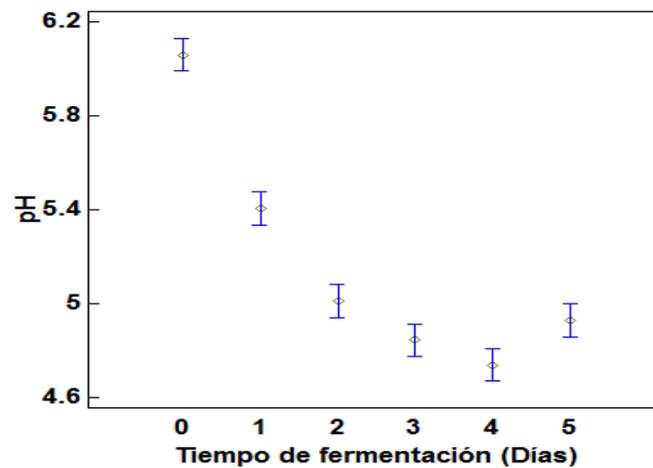
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
4	9	4.73667	0.0329612	X
3	9	4.84222	0.0329612	XX
5	9	4.92778	0.0329612	XX
2	9	5.01	0.0329612	X
1	9	5.40556	0.0329612	X
0	9	6.06222	0.0329612	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 18: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ACIDEZ TOTAL DE LAS ALMENDRAS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Acidez total (%ác. acético)

Variable dependiente: Acidez total (%ác. acético)

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

Número de casos completos: 63

Análisis de Varianza para Acidez total (%ác. acético) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación	22.787	6	3.79784	105.60	0.0000
B:BLOQUE	0.386972	2	0.193486	5.38	0.0074
RESIDUOS	1.942	54	0.035963		
TOTAL (CORREGIDO)	25.116	62			

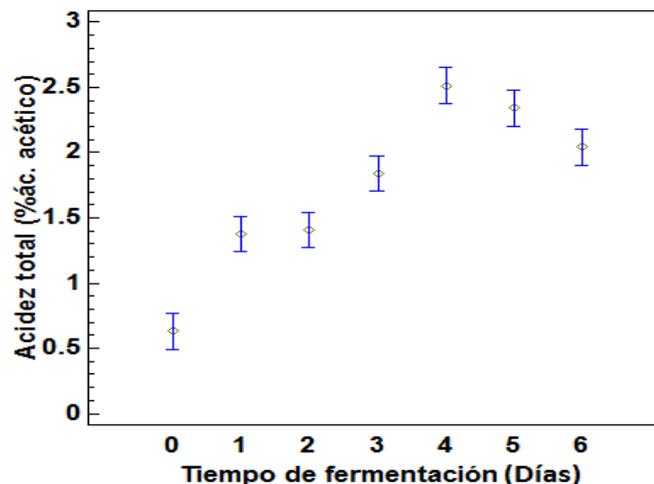
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Acidez total (%ác. acético) por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.630111	0.0632131	X
1	9	1.37722	0.0632131	X
2	9	1.40922	0.0632131	X
3	9	1.83933	0.0632131	X
6	9	2.042	0.0632131	X
5	9	2.34044	0.0632131	X
4	9	2.513	0.0632131	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 19: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA ACIDEZ TOTAL DE LAS ALMENDRAS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Acidez total (%ác. acético)

Variable dependiente: Acidez total (%ác. acético)

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)

BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para Acidez total (%ác. acético) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación (Días)	39.7339	5	7.94678	703.05	0.0000
B:BLOQUE	0.140778	2	0.070389	6.23	0.0040
RESIDUOS	0.519953	46	0.0113033		
TOTAL (CORREGIDO)	40.3946	53			

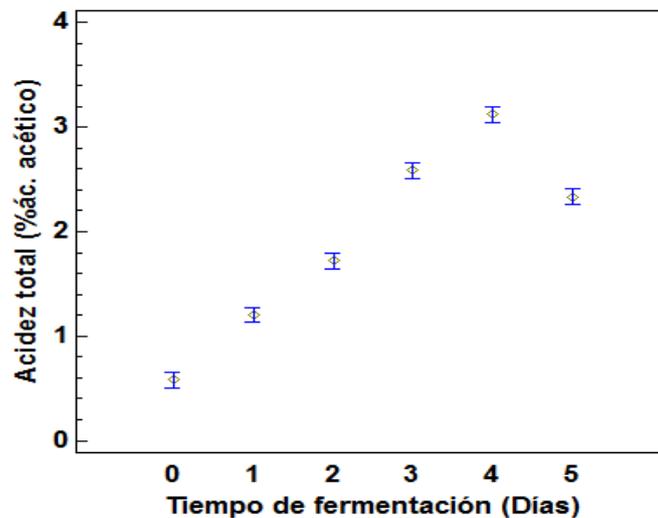
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Acidez total (%ác. acético) por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.578	0.035439	X
1	9	1.20411	0.035439	X
2	9	1.72033	0.035439	X
5	9	2.33267	0.035439	X
3	9	2.58644	0.035439	X
4	9	3.123	0.035439	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 20: ANÁLISIS DE VARIANCA PARA EL ENROJECIMIENTO (A*) DE LOS GRANOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - a*

Variable dependiente: a*

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

Número de casos completos: 63

Análisis de Varianza para a* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación	157.223	6	26.2038	127.16	0.0000
B:BLOQUE	7.54937	2	3.77469	18.32	0.0000
RESIDUOS	11.1282	54	0.206077		
TOTAL (CORREGIDO)	175.901	62			

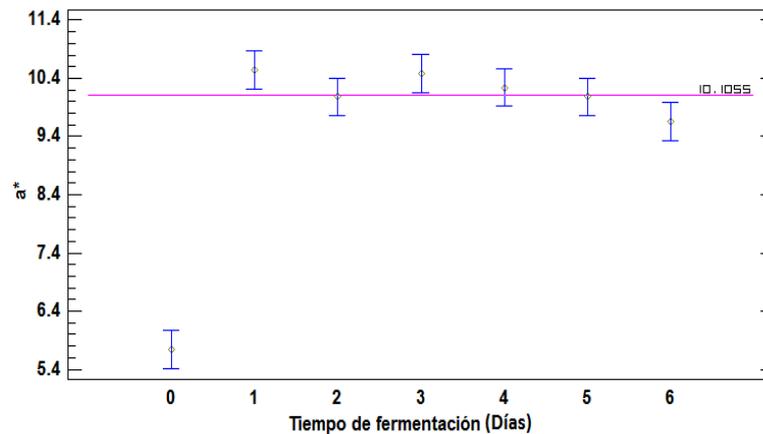
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para a* por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	5.73444	0.151319	X
6	9	9.65333	0.151319	X
2	9	10.08	0.151319	XX
5	9	10.08	0.151319	XX
4	9	10.2444	0.151319	XX
3	9	10.4789	0.151319	X
1	9	10.5467	0.151319	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 21: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL ENROJECIMIENTO (A*) DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN

ANOVA Multifactorial - a*

Variable dependiente: a*

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)

BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para a* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación (Días)	176.358	5	35.2717	131.93	0.0000
B:BLOQUE	11.0958	2	5.5479	20.75	0.0000
RESIDUOS	12.2983	46	0.267355		
TOTAL (CORREGIDO)	199.752	53			

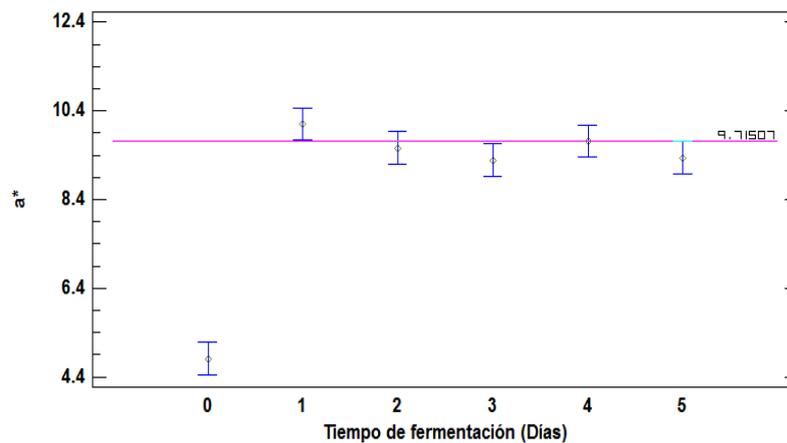
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para a* por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	4.81111	0.172354	X
3	9	9.29	0.172354	X
5	9	9.34778	0.172354	X
2	9	9.56556	0.172354	XX
4	9	9.72556	0.172354	XX
1	9	10.1044	0.172354	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 22: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL AMARILLAMIENTO (B*) DE LOS GRANOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - b*

Variable dependiente: b*

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

Número de casos completos: 63

Análisis de Varianza para b* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFEKTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo de fermentación	109.287	6	18.2145	26.97	0.0000
B: BLOQUE	5.48009	2	2.74004	4.06	0.0228
RESIDUOS	36.4738	54	0.675441		
TOTAL (CORREGIDO)	151.241	62			

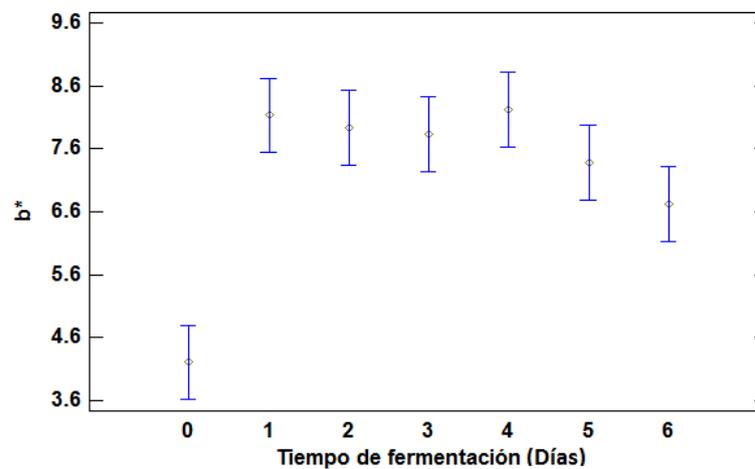
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para b* por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	4.20333	0.273951	X
6	9	6.72333	0.273951	X
5	9	7.37889	0.273951	XX
3	9	7.83667	0.273951	XX
2	9	7.94444	0.273951	X
1	9	8.13889	0.273951	X
4	9	8.23111	0.273951	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 23: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL AMARILLAMIENTO (B*) DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - b*

Variable dependiente: b*

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)

BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para b* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación (Días)	84.0479	5	16.8096	30.82	0.0000
B:BLOQUE	25.9806	2	12.9903	23.82	0.0000
RESIDUOS	25.0875	46	0.54538		
TOTAL (CORREGIDO)	135.116	53			

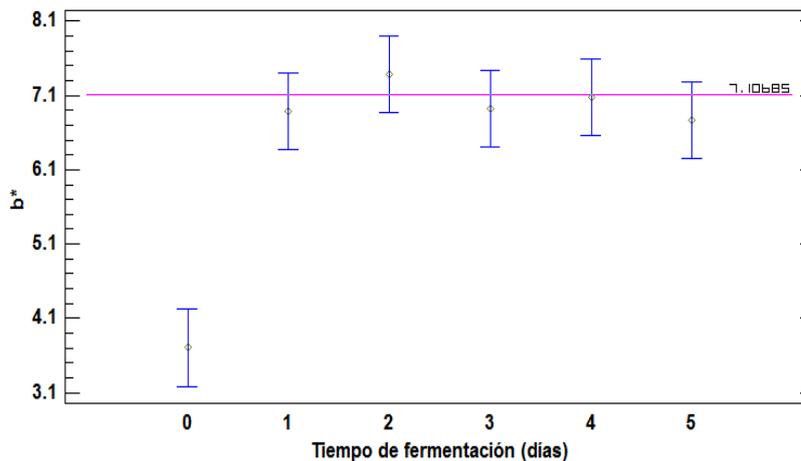
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para b* por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	3.70222	0.246166	X
5	9	6.76889	0.246166	X
1	9	6.89	0.246166	X
3	9	6.92556	0.246166	X
4	9	7.07111	0.246166	X
2	9	7.38889	0.246166	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 24: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CLARIDAD (L*) DE LOS GRANOS CCN-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN

ANOVA Multifactorial - L*

Variable dependiente: L*

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

Número de casos completos: 63

Análisis de Varianza para L* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación	156.344	6	26.0574	29.68	0.0000
B:BLOQUE	259.52	2	129.76	147.81	0.0000
RESIDUOS	47.4056	54	0.877882		
TOTAL (CORREGIDO)	463.27	62			

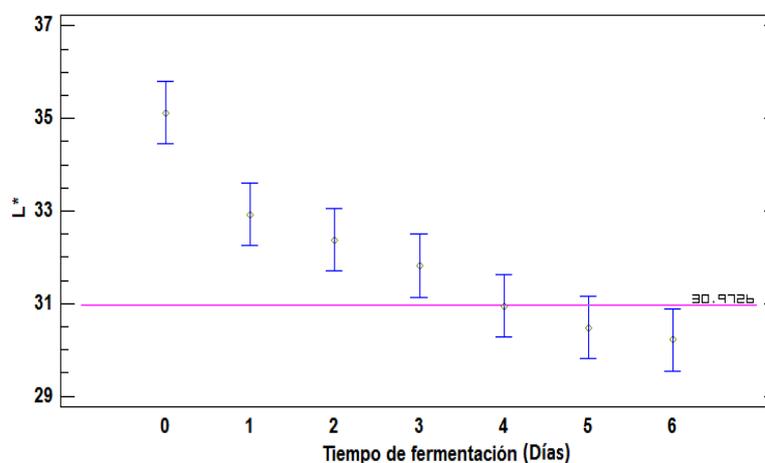
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para L* por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	9	30.2211	0.312318	X
5	9	30.4767	0.312318	XX
4	9	30.9422	0.312318	XX
3	9	31.8211	0.312318	XX
2	9	32.3756	0.312318	X
1	9	32.9211	0.312318	X
0	9	35.1222	0.312318	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 25: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CLARIDAD (L*) DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN

ANOVA Multifactorial - L*

Variable dependiente: L*

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)
BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para L* - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo de fermentación (Días)	125.767	5	25.1534	31.73	0.0000
B: BLOQUE	249.731	2	124.866	157.53	0.0000
RESIDUOS	36.4626	46	0.792666		
TOTAL (CORREGIDO)	411.961	53			

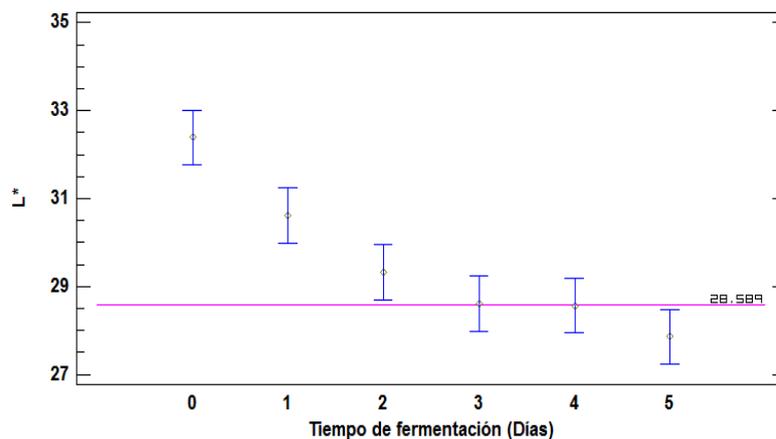
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para L* por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5	9	27.8578	0.296773	X
4	9	28.56	0.296773	XX
3	9	28.6133	0.296773	XX
2	9	29.3222	0.296773	X
1	9	30.6189	0.296773	X
0	9	32.3889	0.296773	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 26: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DEL IB DE LOS GRANOS CC-51 A DIFERENTES NIVELES DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Índice de Blancura (I.B.)

Variable dependiente: Índice de Blancura (I.B.)

Factores:

Tiempo de fermentación ((Días))

BLOQUE

Número de casos completos: 63

Análisis de Varianza para Índice de Blancura (I.B.) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación	197.921	6	32.9869	42.03	0.0000
B:BLOQUE	243.584	2	121.792	155.19	0.0000
RESIDUOS	42.379	54	0.784796		
TOTAL (CORREGIDO)	483.885	62			

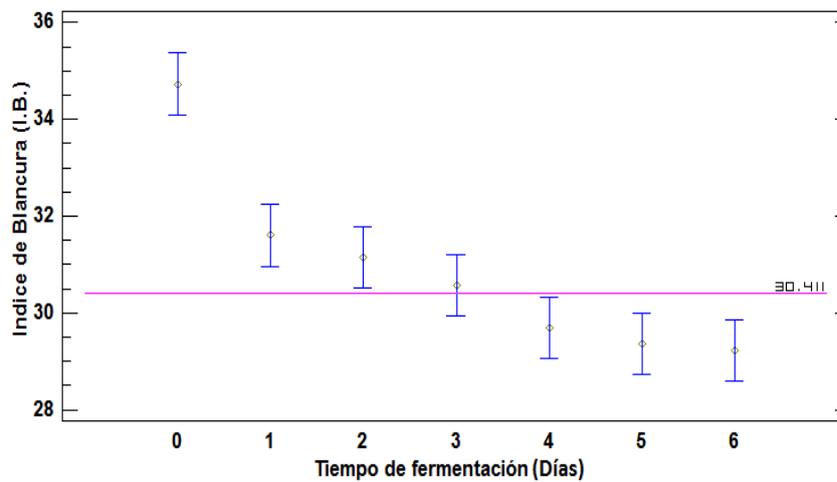
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de Blancura (I.B.) por Tiempo de fermentación

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	9	29.2256	0.295296	X
5	9	29.3589	0.295296	XX
4	9	29.6911	0.295296	XX
3	9	30.5689	0.295296	XX
2	9	31.15	0.295296	X
1	9	31.6022	0.295296	X
0	9	34.7322	0.295296	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 27: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE BLANCURA DE LOS GRANOS ICS-6 A DIFERENTES GRADOS DE FERMENTACIÓN ($\alpha=0,05$)

ANOVA Multifactorial - Índice de blancura (I.B.)

Variable dependiente: Índice de blancura (I.B.)

Factores:

Tiempo de fermentación (Días)
BLOQUE

Número de casos completos: 54

Análisis de Varianza para Índice de blancura (I.B.) - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de fermentación (Días)	162.837	5	32.5673	48.10	0.0000
B:BLOQUE	229.951	2	114.976	169.82	0.0000
RESIDUOS	31.144	46	0.677043		
TOTAL (CORREGIDO)	423.932	53			

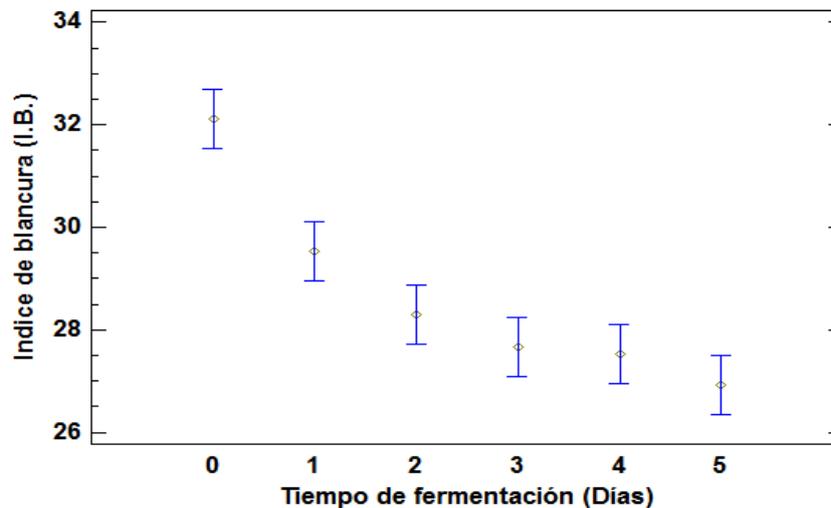
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Pruebas de Múltiple Rangos para Índice de blancura (I.B.) por Tiempo de fermentación (Días)

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de fermentación (Días)	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
5	9	26.9267	0.274276	X
4	9	27.5389	0.274276	XX
3	9	27.6567	0.274276	XX
2	9	28.2833	0.274276	X
1	9	29.5444	0.274276	X
0	9	32.11	0.274276	X

Medias y 95.0% de Tukey HSD



ANEXO 28: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS CCN-51 REP. 1 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 entero R1 vs. I.F. (%) CCN-51 R1

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 entero R1

Variable independiente: I.F. (%) CCN-51 R1

Lineal: $Y = a + b * X$

Coefficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	0.507191	0.00713268	71.108	0.0000
Pendiente	0.000686821	0.000116773	5.88168	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00813684	1	0.00813684	34.59	0.0000
Residuo	0.00446897	19	0.000235209		
Total (Corr.)	0.0126058	20			

Coefficiente de Correlación = 0.80342

R-cuadrada = 64.5484 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 62.6825 por ciento

Error estándar del est. = 0.0153365

Error absoluto medio = 0.0113897

Estadístico Durbin-Watson = 0.712205 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.638703

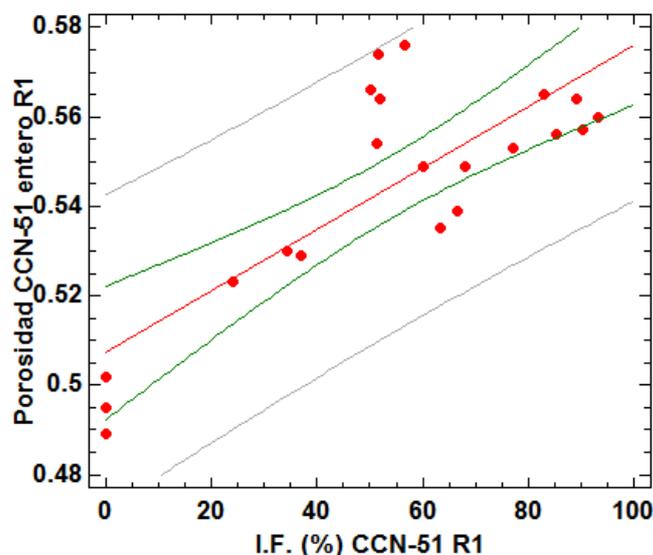
El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad CCN-51 entero R1 y I.F. (%) CCN-51 R1. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad CCN-51 entero R1} = 0.507191 + 0.000686821 * \text{I.F. (\% CCN-51 R1)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad CCN-51 entero R1 y I.F. (%) CCN-51 R1 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado
Porosidad CCN-51 entero R1 = 0.507191 + 0.000686821*I.F. (%) CCN-51 R1



ANEXO 29: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS CCN-51 REP. 2 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 entero R2 vs. I.F. (%) CCN-51 R2

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 entero R2

Variable independiente: I.F. (%) CCN-51 R2

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

Coefficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	0.492715	0.00469816	104.874	0.0000
Pendiente	0.0007146	0.0000800031	8.93215	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0062779	1	0.0062779	79.78	0.0000
Residuo	0.00149505	19	0.0000786869		
Total (Corr.)	0.00777295	20			

Coefficiente de Correlación = 0.898699

R-cuadrada = 80.766 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.7537 por ciento

Error estándar del est. = 0.00887056

Error absoluto medio = 0.00655668

Estadístico Durbin-Watson = 0.923069 (P=0.0014)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.535748

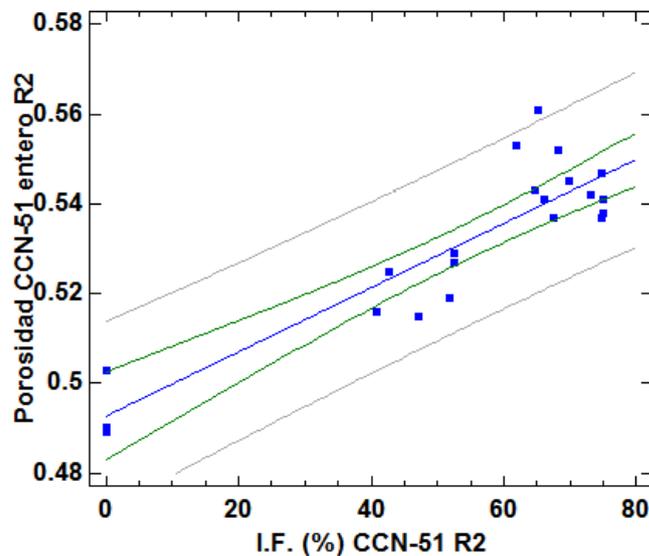
El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad CCN-51 entero R2 y I.F. (%) CCN-51 R2. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad CCN-51 entero R2} = 0.492715 + 0.0007146 \cdot \text{I.F. (\%) CCN-51 R2}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad CCN-51 entero R2 y I.F. (%) CCN-51 R2 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado
Porosidad CCN-51 entero R2 = 0.492715 + 0.0007146 * I.F. (%) CCN-51 R2



ANEXO 30: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE GRANOS ENTEROS CCN-51 REP. 3 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 entero R3 vs. I.F. (%) CCN-51 R3

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 entero R3

Variable independiente: I.F. (%) CCN-51 R3

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

Coefficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	0.52226	0.00581511	89.8108	0.0000
Pendiente	0.000446086	0.000103247	4.32056	0.0004

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00257764	1	0.00257764	18.67	0.0004
Residuo	0.0026236	19	0.000138084		
Total (Corr.)	0.00520124	20			

Coefficiente de Correlación = 0.703976

R-cuadrada = 49.582 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 46.9034 por ciento

Error estándar del est. = 0.0117509

Error absoluto medio = 0.00949576

Estadístico Durbin-Watson = 0.888631 (P=0.0010)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.536224

El StatAdvisor

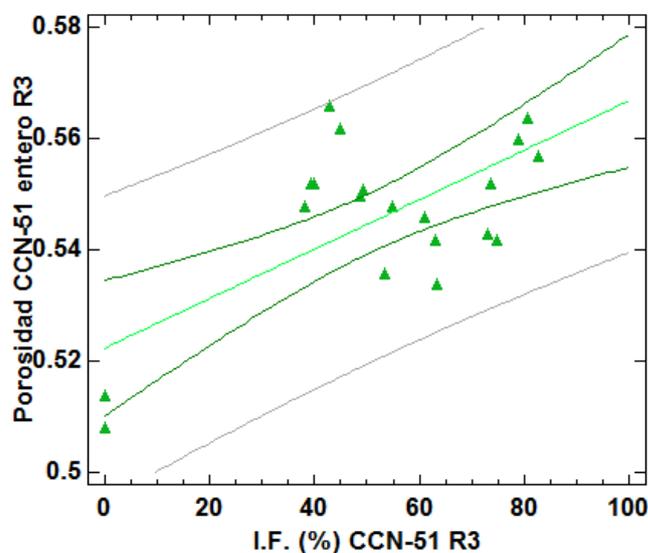
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad CCN-51 entero R3 y I.F. (%) CCN-51 R3. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad CCN-51 entero R3} = 0.52226 + 0.000446086 \cdot \text{I.F. (\%) CCN-51 R3}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad CCN-51 entero R3 y I.F. (%) CCN-51 R3 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Porosidad CCN-51 entero R3} = 0.52226 + 0.000446086 \cdot \text{I.F. (\%) CCN-51 R3}$$



ANEXO 31: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 REP. 1 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 entero R1 vs. I.F. (%) ICS-6 R1

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 entero R1

Variable independiente: I.F. (%) ICS-6 R1

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

Coefficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	0.520391	0.0130398	39.9078	0.0000
Pendiente	0.000693049	0.000262928	2.63589	0.0180

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00524673	1	0.00524673	6.95	0.0180
Residuo	0.0120824	16	0.000755149		
Total (Corr.)	0.0173291	17			

Coefficiente de Correlación = 0.550245

R-cuadrada = 30.277 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 25.9193 por ciento

Error estándar del est. = 0.02748

Error absoluto medio = 0.0190399

Estadístico Durbin-Watson = 0.927661 (P=0.0024)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.525209

El StatAdvisor

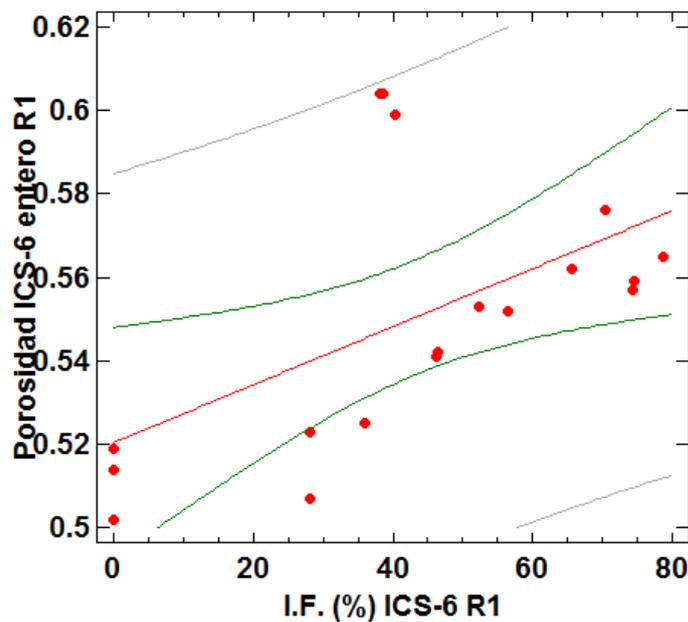
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad ICS-6 entero R1 y I.F. (%) ICS-6 R1. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad ICS-6 entero R1} = 0.520391 + 0.000693049 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R1}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad ICS-6 entero R1 y I.F. (%) ICS-6 R1 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Porosidad ICS-6 entero R1} = 0.520391 + 0.000693049 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R1}$$



ANEXO 32: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 REP. 2 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 entero R2 vs. I.F. (%) ICS-6 R2

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 entero R2

Variable independiente: I.F. (%) ICS-6 R2

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

Coefficientes

	Minimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.52525	0.00528918	99.3064	0.0000
Pendiente	0.000285704	0.000107115	2.66726	0.0169

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00125893	1	0.00125893	7.11	0.0169
Residuo	0.00283135	16	0.000176959		
Total (Corr.)	0.00409028	17			

Coefficiente de Correlación = 0.554785

R-cuadrada = 30.7786 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 26.4523 por ciento

Error estándar del est. = 0.0133026

Error absoluto medio = 0.00893937

Estadístico Durbin-Watson = 0.751025 (P=0.0004)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.583859

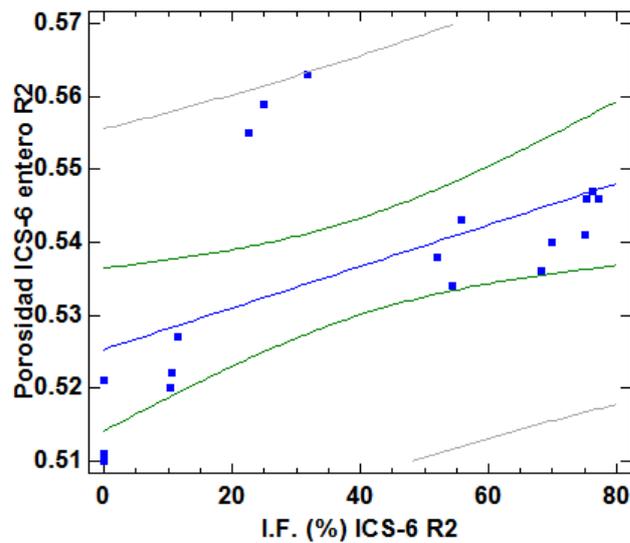
El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad ICS-6 entero R2 y I.F. (%) ICS-6 R2. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad ICS-6 entero R2} = 0.52525 + 0.000285704 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R2}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad ICS-6 entero R2 y I.F. (%) ICS-6 R2 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado
Porosidad ICS-6 entero R2 = 0.52525 + 0.000285704 * I.F. (%) ICS-6 R2



ANEXO 33: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS ENTEROS ICS-6 REP. 3 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 entero R3 vs. I.F. (%) ICS-6 R3

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 entero R3

Variable independiente: I.F. (%) ICS-6 R3

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

Coefficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	0.510421	0.00734878	69.4565	0.0000
Pendiente	0.000704835	0.000144724	4.87019	0.0002

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00516965	1	0.00516965	23.72	0.0002
Residuo	0.0034873	16	0.000217956		
Total (Corr.)	0.00865694	17			

Coefficiente de Correlación = 0.772766

R-cuadrada = 59.7168 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 57.1991 por ciento

Error estándar del est. = 0.0147633

Error absoluto medio = 0.0110625

Estadístico Durbin-Watson = 0.638893 (P=0.0001)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.675471

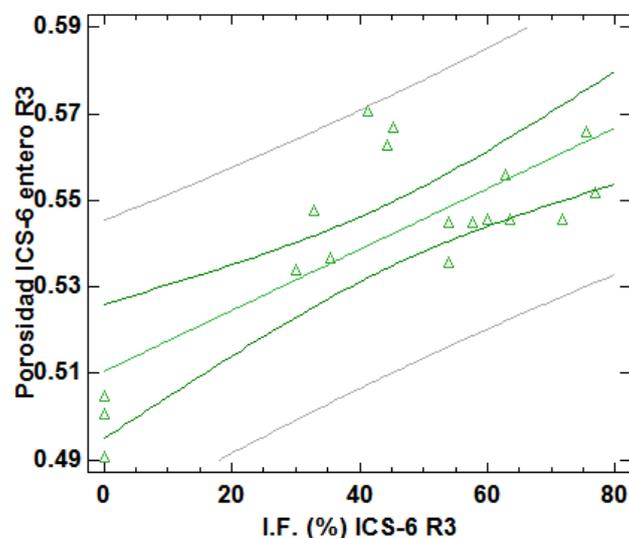
El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad ICS-6 entero R3 y I.F. (%) ICS-6 R3. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad ICS-6 entero R3} = 0.510421 + 0.000704835 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R3}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad ICS-6 entero R3 y I.F. (%) ICS-6 R3 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado
Porosidad ICS-6 entero R3 = 0.510421 + 0.000704835 * I.F. (%) ICS-6 R3



ANEXO 34: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 REP. 1 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 cortado R1 vs. I.F. (%) CCN-51 R1

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 cortado R1

Variable independiente: I.F. (%) CCN-51 R1

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

Coefficientes

Parámetro	Mínimos Cuadrados Estimado	Estándar Error	Estadístico T	Valor-P
Intercepto	0.607973	0.00251424	241.811	0.0000
Pendiente	0.000395124	0.000041162	9.59925	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.002693	1	0.002693	92.15	0.0000
Residuo	0.00055284	19	0.0000292255		
Total (Corr.)	0.00324829	20			

Coefficiente de Correlación = 0.910524

R-cuadrada = 82.9053 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 82.0056 por ciento

Error estándar del est. = 0.00540606

Error absoluto medio = 0.00415679

Estadístico Durbin-Watson = 2.52769 (P=0.8464)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.291839

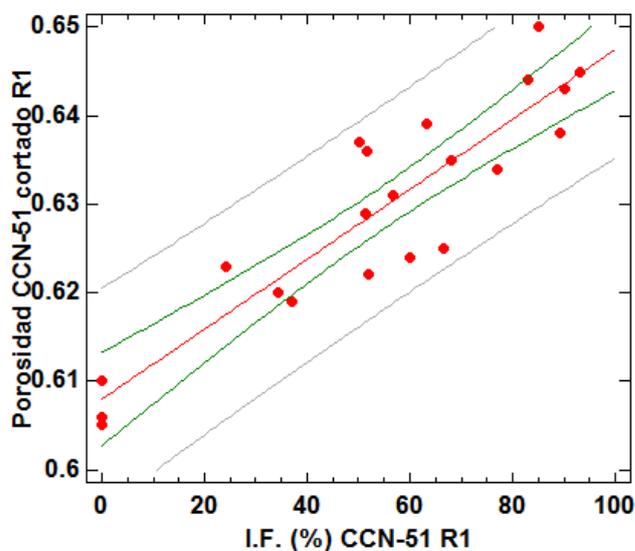
El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad CCN-51 cortado R1 y I.F. (%) CCN-51 R1. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad CCN-51 cortado R1} = 0.607973 + 0.000395124 \cdot \text{I.F. (\%) CCN-51 R1}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad CCN-51 cortado R1 y I.F. (%) CCN-51 R1 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado
Porosidad CCN-51 cortado R1 = 0.607973 + 0.000395124 * I.F. (%) CCN-51 R1



ANEXO 35: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 REP. 2 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 cortado R2 vs. I.F. (%) CCN-51 R2

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 cortado R2

Variable independiente: I.F. (%) CCN-51 R2

Lineal: $Y = a + b * X$

Coefficientes

	Minimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.602939	0.00265345	227.228	0.0000
Pendiente	0.000550234	0.0000451847	12.1774	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00372206	1	0.00372206	148.29	0.0000
Residuo	0.000476897	19	0.0000250998		
Total (Corr.)	0.00419895	20			

Coefficiente de Correlación = 0.941501

R-cuadrada = 88.6425 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 88.0447 por ciento

Error estándar del est. = 0.00500997

Error absoluto medio = 0.00367646

Estadístico Durbin-Watson = 2.24318 (P=0.6338)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.172075

El StatAdvisor

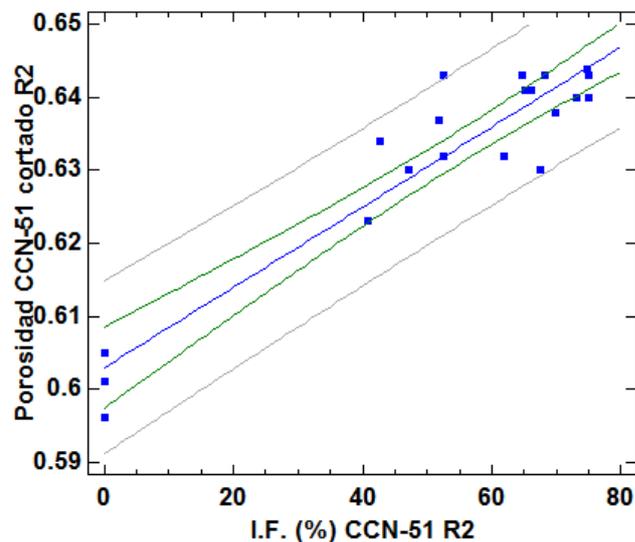
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad CCN-51 cortado R2 y I.F. (%) CCN-51 R2. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad CCN-51 cortado R2} = 0.602939 + 0.000550234 * \text{I.F. (\%) CCN-51 R2}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad CCN-51 cortado R2 y I.F. (%) CCN-51 R2 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Porosidad CCN-51 cortado R2} = 0.602939 + 0.000550234 * \text{I.F. (\%) CCN-51 R2}$$



ANEXO 36: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS CCN-51 REP. 3 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 cortado R3 vs. I.F. (%) CCN-51 R3

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 cortado R3

Variable independiente: I.F. (%) CCN-51 R3

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

Coefficientes

	Minimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.588429	0.00416214	141.377	0.0000
Pendiente	0.000615118	0.0000738988	8.32378	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00490119	1	0.00490119	69.29	0.0000
Residuo	0.00134404	19	0.0000707392		
Total (Corr.)	0.00624524	20			

Coefficiente de Correlación = 0.885883

R-cuadrada = 78.4789 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.3462 por ciento

Error estándar del est. = 0.00841066

Error absoluto medio = 0.00699539

Estadístico Durbin-Watson = 0.842617 (P=0.0006)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.538986

El StatAdvisor

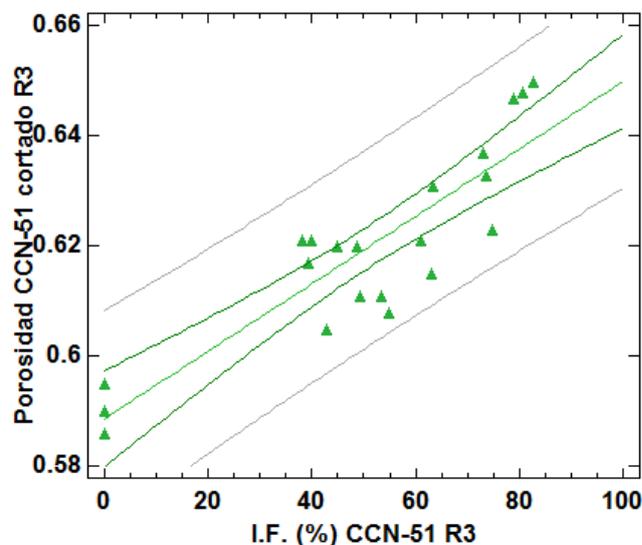
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad CCN-51 cortado R3 y I.F. (%) CCN-51 R3. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad CCN-51 cortado R3} = 0.588429 + 0.000615118 \cdot \text{I.F. (\%) CCN-51 R3}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad CCN-51 cortado R3 y I.F. (%) CCN-51 R3 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Porosidad CCN-51 cortado R3} = 0.588429 + 0.000615118 \cdot \text{I.F. (\%) CCN-51 R3}$$



ANEXO 37: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 REP. 1 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 cortado R1 vs. I.F. (%) ICS-6 R1

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 cortado R1

Variable independiente: I.F. (%) ICS-6 R1

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

Coefficientes

	Minimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.610673	0.00444142	137.495	0.0000
Pendiente	0.000449013	0.0000895544	5.01385	0.0001

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0022023	1	0.0022023	25.14	0.0001
Residuo	0.0014017	16	0.000087606		
Total (Corr.)	0.003604	17			

Coefficiente de Correlación = 0.781711

R-cuadrada = 61.1072 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 58.6764 por ciento

Error estándar del est. = 0.00935981

Error absoluto medio = 0.00723678

Estadístico Durbin-Watson = 2.02401 (P=0.4181)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.0740197

El StatAdvisor

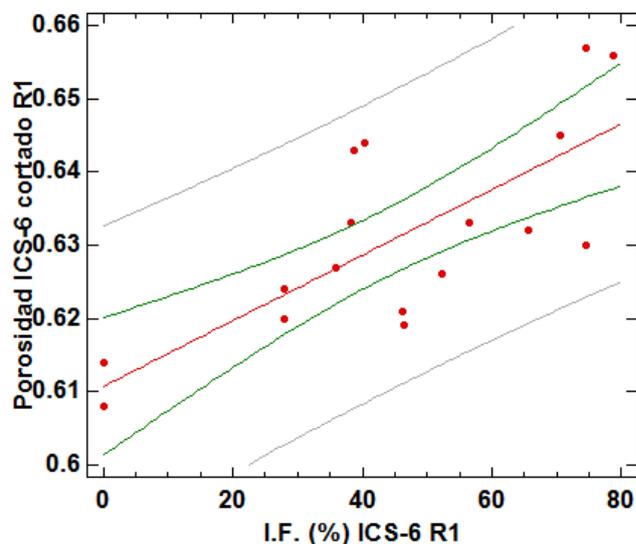
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad ICS-6 cortado R1 y I.F. (%) ICS-6 R1. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad ICS-6 cortado R1} = 0.610673 + 0.000449013 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R1}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad ICS-6 cortado R1 y I.F. (%) ICS-6 R1 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Porosidad ICS-6 cortado R1} = 0.610673 + 0.000449013 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R1}$$



ANEXO 38: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 REP. 2 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 cortado R2 vs. I.F. (%) ICS-6 R2

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 cortado R2

Variable independiente: I.F. (%) ICS-6 R2

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

Coefficientes

	Minimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.613781	0.0026116	235.021	0.0000
Pendiente	0.000421813	0.0000528896	7.97534	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00274416	1	0.00274416	63.61	0.0000
Residuo	0.000690288	16	0.000043143		
Total (Corr.)	0.00343444	17			

Coefficiente de Correlación = 0.893874

R-cuadrada = 79.901 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 78.6448 por ciento

Error estándar del est. = 0.00656833

Error absoluto medio = 0.00482764

Estadístico Durbin-Watson = 1.04893 (P=0.0064)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.357165

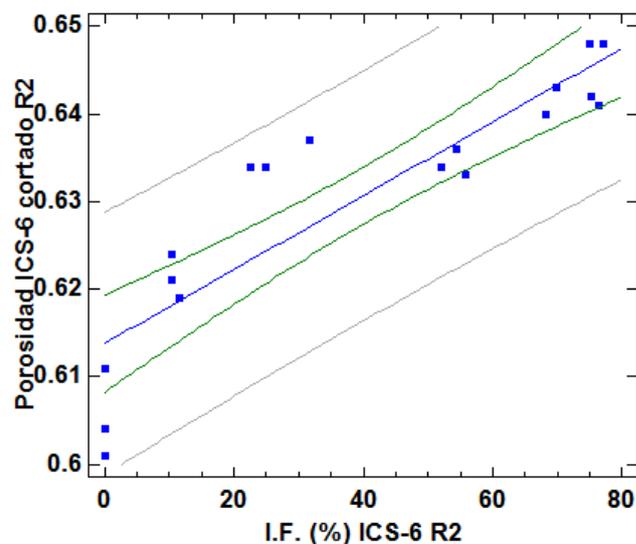
El StatAdvisor

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad ICS-6 cortado R2 y I.F. (%) ICS-6 R2. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad ICS-6 cortado R2} = 0.613781 + 0.000421813 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R2}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad ICS-6 cortado R2 y I.F. (%) ICS-6 R2 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado
Porosidad ICS-6 cortado R2 = 0.613781 + 0.000421813 * I.F. (%) ICS-6 R2



ANEXO 39: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA REGRESIÓN LINEAL SIMPLE DE LOS GRANOS CORTADOS ICS-6 REP. 3 ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 cortado R3 vs. I.F. (%) ICS-6 R3

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 cortado R3

Variable independiente: I.F. (%) ICS-6 R3

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

Coefficientes

	Minimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.602721	0.00390159	154.481	0.0000
Pendiente	0.000639752	0.0000768365	8.32615	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.00425903	1	0.00425903	69.32	0.0000
Residuo	0.000982974	16	0.0000614359		
Total (Corr.)	0.005242	17			

Coefficiente de Correlación = 0.901377

R-cuadrada = 81.2481 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 80.0761 por ciento

Error estándar del est. = 0.0078381

Error absoluto medio = 0.0062632

Estadístico Durbin-Watson = 2.0008 (P=0.3988)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.147206

El StatAdvisor

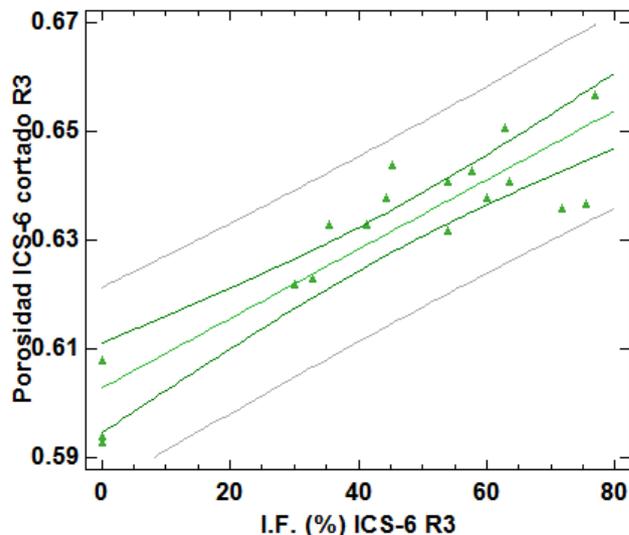
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Porosidad ICS-6 cortado R3 y I.F. (%) ICS-6 R3. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Porosidad ICS-6 cortado R3} = 0.602721 + 0.000639752 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R3}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre Porosidad ICS-6 cortado R3 y I.F. (%) ICS-6 R3 con un nivel de confianza del 95.0%.

Gráfico del Modelo Ajustado

$$\text{Porosidad ICS-6 cortado R3} = 0.602721 + 0.000639752 \cdot \text{I.F. (\%) ICS-6 R3}$$



ANEXO 40: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO CCN -51 ENTERO CON EL IF ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 SIN CORTE vs. I.F. CCN-51

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 SIN CORTE

Variable independiente: I.F. CCN-51

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

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	0.508231	0.00402599	126.238	0.0000
Pendiente	0.000604148	0.0000681467	8.86541	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	0.0154613	1	0.0154613	78.60	0.0000
Residuo	0.0119999	61	0.00019672		
Total (Corr.)	0.0274613	62			

Coefficiente de Correlación = 0.750349

R-cuadrada = 56.3023 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 55.5859 por ciento

Error estándar del est. = 0.0140257

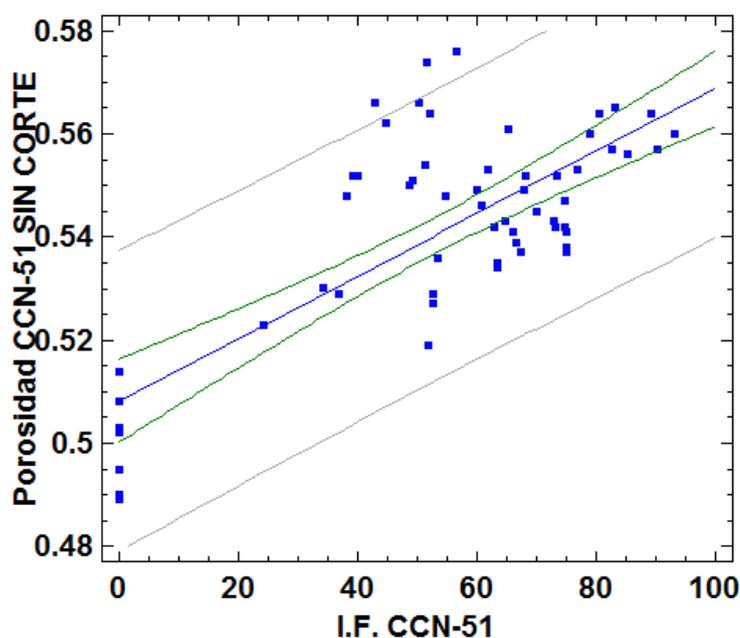
Error absoluto medio = 0.0108912

Estadístico Durbin-Watson = 0.776431 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.608053

Gráfico del Modelo Ajustado

Porosidad CCN-51 SIN CORTE = 0.508231 + 0.000604148 * I.F. CCN-51



ANEXO 41: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO ICS - 6 ENTERO CON EL IF ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 S/C vs. I.F. ICS-6

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 S/C

Variable independiente: I.F. ICS-6

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

Coefficientes

	Minimos Cuadrados	Estándar	Estadístico	
Parámetro	Estimado	Error	T	Valor-P
Intercepto	0.520332	0.00525683	98.9822	0.0000
Pendiente	0.000531464	0.000105303	5.04698	0.0000

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0.0104456	1	0.0104456	25.47	0.0000
Residuo	0.0213242	52	0.00041008		
Total (Corr.)	0.0317697	53			

Coefficiente de Correlación = 0.573402

R-cuadrada = 32.879 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 31.5882 por ciento

Error estándar del est. = 0.0202504

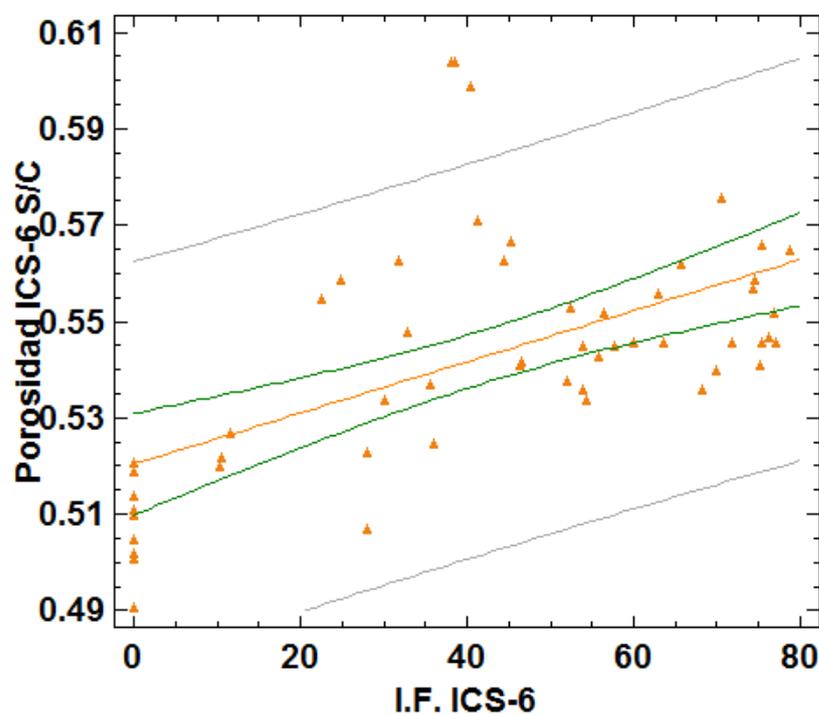
Error absoluto medio = 0.0141328

Estadístico Durbin-Watson = 0.415039 (P=0.0000)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.7908

Gráfico del Modelo Ajustado

Porosidad ICS-6 S/C = 0.520332 + 0.000531464 * I.F. ICS-6



ANEXO 42: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO CCN-51 CORTADO CON EL IF ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad CCN-51 grano cortado vs. I.F. CCN-51

Variable dependiente: Porosidad CCN-51 grano cortado

Variable independiente: I.F. CCN-51

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

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	0.599823	0.00243659	246.173	0.0000
Pendiente	0.000520635	0.0000412434	12.6235	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	0.0114823	1	0.0114823	159.35	0.0000
Residuo	0.0043954	61	0.0000720557		
Total (Corr.)	0.0158777	62			

Coefficiente de Correlación = 0.850394

R-cuadrada = 72.3171 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 71.8633 por ciento

Error estándar del est. = 0.00848856

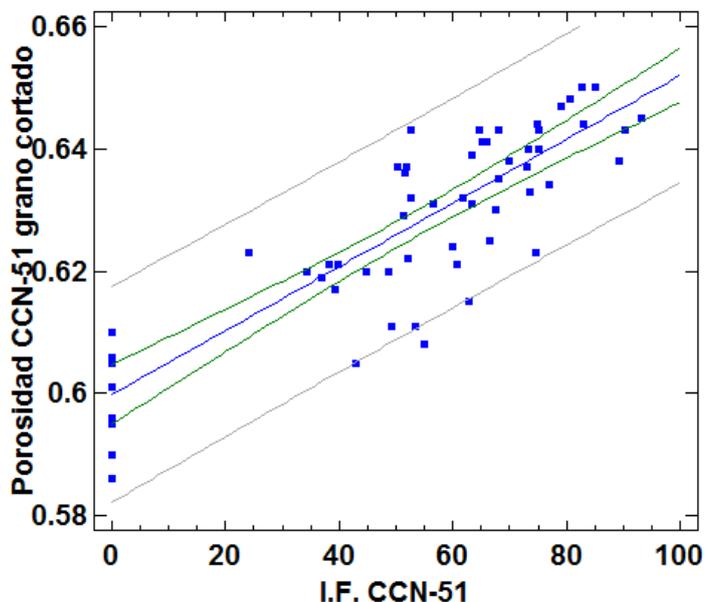
Error absoluto medio = 0.00672606

Estadístico Durbin-Watson = 1.40383 (P=0.0052)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.281851

Gráfico del Modelo Ajustado

Porosidad CCN-51 grano cortado = $0.599823 + 0.000520635 \cdot \text{I.F. CCN-51}$



ANEXO 43: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CORRELACIÓN DE POROSIDAD DEL GRANO ICS-6 CORTADO CON EL IF ($\alpha=0,05$)

Regresión Simple - Porosidad ICS-6 grano cortado vs. I.F. ICS-6

Variable dependiente: Porosidad ICS-6 grano cortado

Variable independiente: I.F. ICS-6

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

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	0.609831	0.00211271	288.649	0.0000
Pendiente	0.000489256	0.0000423212	11.5605	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	0.00885228	1	0.00885228	133.65	0.0000
Residuo	0.00344432	52	0.0000662368		
Total (Corr.)	0.0122966	53			

Coefficiente de Correlación = 0.848467

R-cuadrada = 71.9897 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 71.451 por ciento

Error estándar del est. = 0.0081386

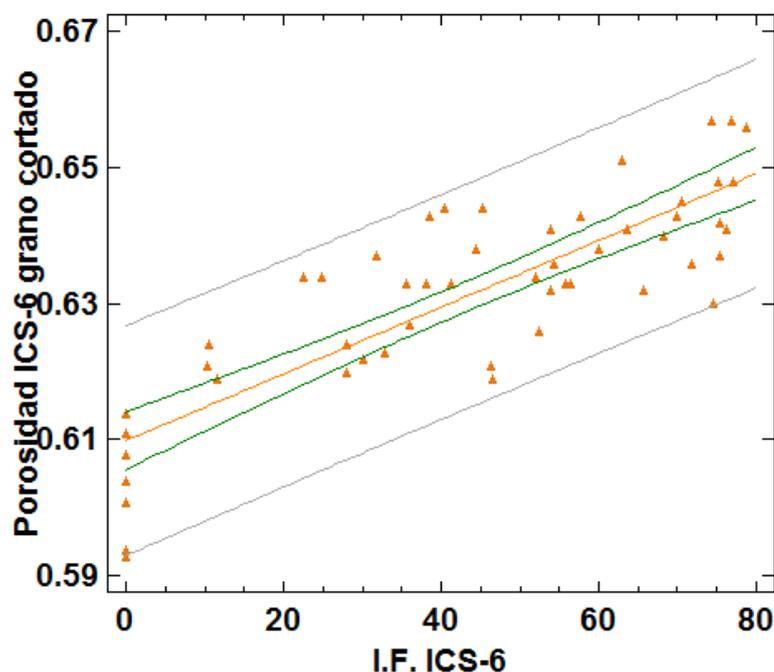
Error absoluto medio = 0.00638425

Estadístico Durbin-Watson = 1.56426 (P=0.0385)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = 0.203725

Gráfico del Modelo Ajustado

Porosidad ICS-6 grano cortado = $0.609831 + 0.000489256 \cdot \text{I.F. ICS-6}$



ANEXO 44: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD B.H. (%) DE LOS GRANOS DE CACAO

Comparación de Dos Muestras - Humedad CCN-51 (%) & Humedad ICS-6 (%)

Muestra 1: Humedad CCN-51 (%)

Muestra 2: Humedad ICS-6 (%)

Muestra 1: 3 valores en el rango de 5.97 a 6.05

Muestra 2: 3 valores en el rango de 5.42 a 5.55

Resumen Estadístico

	Humedad CCN-51 (%)	Humedad ICS-6 (%)
Recuento	3	3
Promedio	6.02333	5.49333
Desviación Estándar	0.046188	0.0665833
Coefficiente de Variación	0.766818%	1.21207%
Mínimo	5.97	5.42
Máximo	6.05	5.55
Rango	0.08	0.13
Sesgo Estandarizado	-1.22474	-0.746586
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Humedad CCN-51 (%): 6.02333 +/- 0.114737 [5.9086, 6.13807]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Humedad ICS-6 (%): 5.49333 +/- 0.165402 [5.32793, 5.65874]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: 0.53 +/- 0.129898 [0.400102, 0.659898]

Prueba t para comparar medias

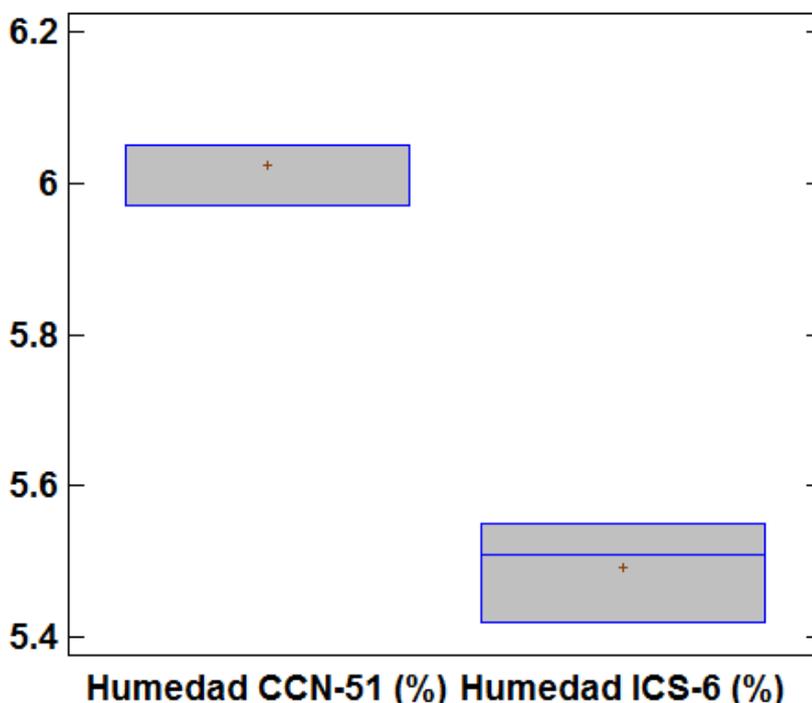
Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = 11.3283 valor-P = 0.000346146

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Gráfico Caja y Bigotes



ANEXO 45: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA DE LOS GRANOS DE CACAO

Comparación de Dos Muestras - Proteína cruda CCN-51 (%) & Proteína cruda ICS-6 (%)

Muestra 1: Proteína cruda CCN-51 (%)

Muestra 2: Proteína cruda ICS-6 (%)

Muestra 1: 3 valores en el rango de 13.99 a 14.5

Muestra 2: 3 valores en el rango de 15.27 a 15.83

Resumen Estadístico

	Proteína cruda CCN-51 (%)	Proteína cruda ICS-6 (%)
Recuento	3	3
Promedio	14.2267	15.58
Desviación Estándar	0.25697	0.284781
Coefficiente de Variación	1.80625%	1.82786%
Mínimo	13.99	15.27
Máximo	14.5	15.83
Rango	0.51	0.56
Sesgo Estandarizado	0.444789	-0.640648
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Proteína cruda CCN-51 (%): 14.2267 +/- 0.638348 [13.5883, 14.865]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Proteína cruda ICS-6 (%): 15.58 +/- 0.707434 [14.8726, 16.2874]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: -1.35333 +/- 0.614873 [-1.96821, -0.73846]

Prueba t para comparar medias

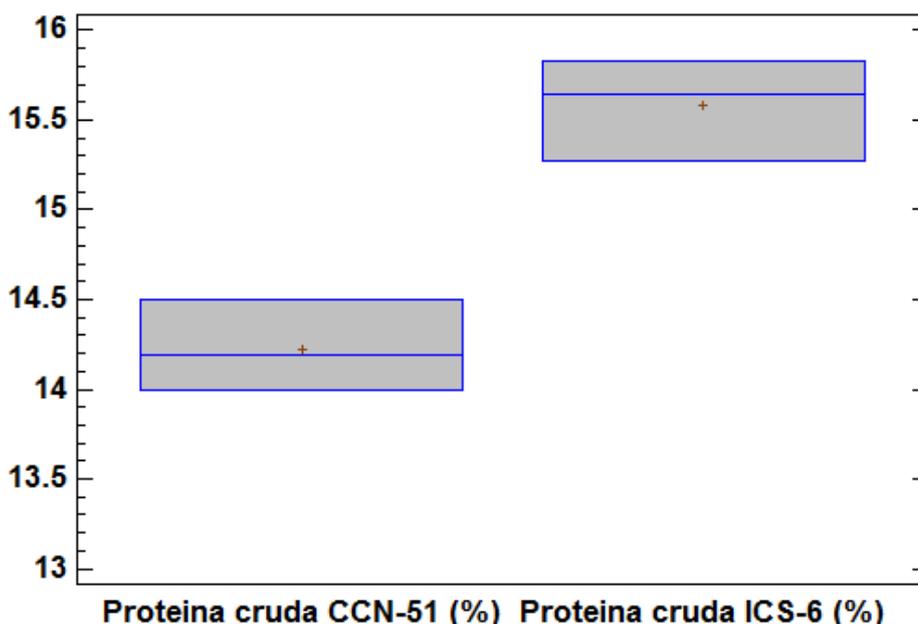
Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = -6.11097 valor-P = 0.00362992

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Gráfico Caja y Bigotes



ANEXO 46: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE GRASA DE LOS GRANOS DE CACAO

Comparación de Dos Muestras - Grasa CCN-51 (%) & Grasa ICS-6 (%)

Muestra 1: Grasa CCN-51 (%)

Muestra 2: Grasa ICS-6 (%)

Muestra 1: 3 valores en el rango de 47.13 a 47.54

Muestra 2: 3 valores en el rango de 44.94 a 45.79

Resumen Estadístico

	Grasa CCN-51 (%)	Grasa ICS-6 (%)
Recuento	3	3
Promedio	47.2833	45.28
Desviación Estándar	0.223681	0.449778
Coefficiente de Variación	0.473066%	0.993325%
Mínimo	47.13	44.94
Máximo	47.54	45.79
Rango	0.41	0.85
Sesgo Estandarizado	1.15626	1.03086
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Grasa CCN-51 (%): 47.2833 +/- 0.555655 [46.7277, 47.839]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Grasa ICS-6 (%): 45.28 +/- 1.11731 [44.1627, 46.3973]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: 2.00333 +/- 0.805225 [1.19811, 2.80856]

Prueba t para comparar medias

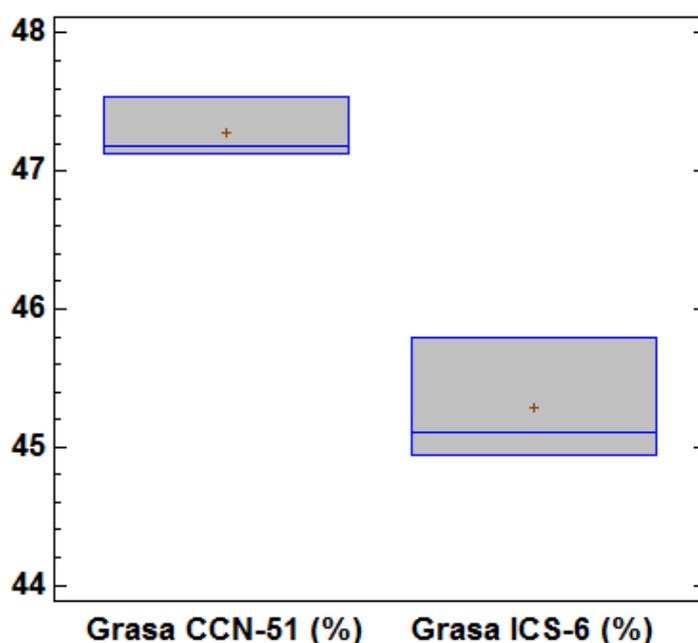
Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = 6.90759 valor-P = 0.00230395

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Gráfico Caja y Bigotes



ANEXO 47: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE FIBRA CRUDA DE LOS GRANOS DE CACAO

Comparación de Dos Muestras - Fibra cruda CCN-51 (%) & Fibra cruda ICS-6 (%)

Muestra 1: Fibra cruda CCN-51 (%)

Muestra 2: Fibra cruda ICS-6 (%)

Muestra 1: 3 valores en el rango de 5.59 a 5.94

Muestra 2: 3 valores en el rango de 6.88 a 7.39

Resumen Estadístico

	Fibra cruda CCN-51 (%)	Fibra cruda ICS-6 (%)
Recuento	3	3
Promedio	5.73667	7.1
Desviación Estándar	0.181751	0.262107
Coefficiente de Variación	3.16823%	3.69165%
Mínimo	5.59	6.88
Máximo	5.94	7.39
Rango	0.35	0.51
Sesgo Estandarizado	0.895646	0.789189
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Fibra cruda CCN-51 (%): 5.73667 +/- 0.451494 [5.28517, 6.18816]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Fibra cruda ICS-6 (%): 7.1 +/- 0.65111 [6.44889, 7.75111]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: -1.36333 +/- 0.511283 [-1.87462, -0.85205]

Prueba t para comparar medias

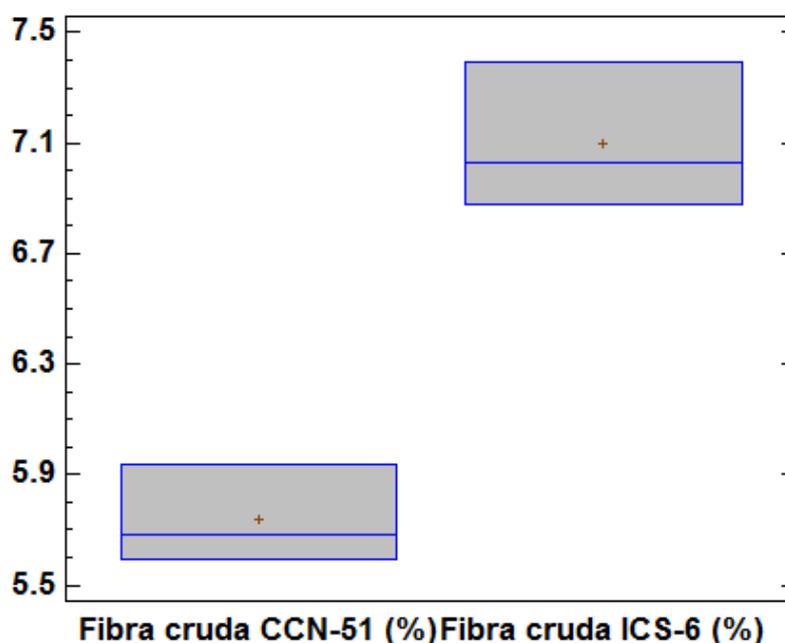
Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 < media2

suponiendo varianzas iguales: t = -7.4034 valor-P = 0.00177567

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Gráfico Caja y Bigotes



ANEXO 48: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS DE LOS GRANOS DE CACAO

Comparación de Dos Muestras - Ceniza CCN-51 (%) & Ceniza ICS-6 (%)

Muestra 1: Ceniza CCN-51 (%)

Muestra 2: Ceniza ICS-6 (%)

Muestra 1: 3 valores en el rango de 2.14 a 2.36

Muestra 2: 3 valores en el rango de 2.3 a 2.48

Resumen Estadístico

	Ceniza CCN-51 (%)	Ceniza ICS-6 (%)
Recuento	3	3
Promedio	2.22333	2.40667
Desviación Estándar	0.119304	0.0945163
Coefficiente de Variación	5.36598%	3.92727%
Mínimo	2.14	2.3
Máximo	2.36	2.48
Rango	0.22	0.18
Sesgo Estandarizado	1.1382	-0.982621
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Ceniza CCN-51 (%): 2.22333 +/- 0.296366 [1.92697, 2.5197]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Ceniza ICS-6 (%): 2.40667 +/- 0.234792 [2.17188, 2.64146]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: -0.183333 +/- 0.243984 [-0.427317, 0.0606508]

Prueba t para comparar medias

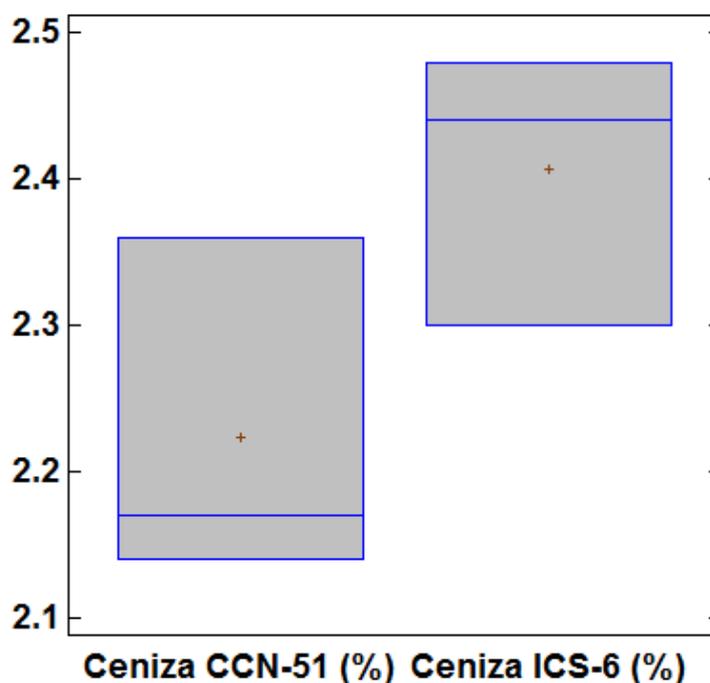
Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = -2.08627 valor-P = 0.105273

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Gráfico Caja y Bigotes



ANEXO 49: COMPARACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS EN LOS GRANOS DE CACAO

Comparación de Dos Muestras - Carbohidratos CCN-51 (%) & Carbohidratos ICS-6 (%)

Muestra 1: Carbohidratos CCN-51 (%)

Muestra 2: Carbohidratos ICS-6 (%)

Muestra 1: 3 valores en el rango de 30.18 a 30.3

Muestra 2: 3 valores en el rango de 30.85 a 31.63

Resumen Estadístico

	Carbohidratos CCN-51 (%)	Carbohidratos ICS-6 (%)
Recuento	3	3
Promedio	30.2433	31.24
Desviación Estándar	0.0602771	0.39
Coefficiente de Variación	0.199307%	1.2484%
Mínimo	30.18	30.85
Máximo	30.3	31.63
Rango	0.12	0.78
Sesgo Estandarizado	-0.347623	0
Curtosis Estandarizada		

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Carbohidratos CCN-51 (%): 30.2433 +/- 0.149737 [30.0936, 30.3931]

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Carbohidratos ICS-6 (%): 31.24 +/- 0.968814 [30.2712, 32.2088]

Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias

suponiendo varianzas iguales: -0.996667 +/- 0.632587 [-1.62925, -0.364079]

Prueba t para comparar medias

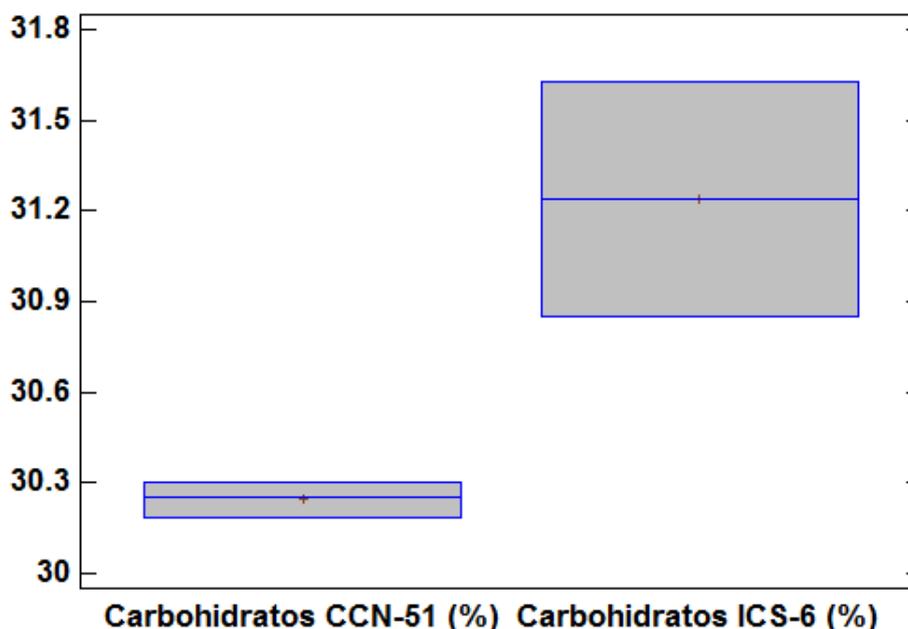
Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: media1 <> media2

suponiendo varianzas iguales: t = -4.37441 valor-P = 0.0119267

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

Gráfico Caja y Bigotes



ANEXO 50: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN LINEAL ENTRE DOS VARIABLES. (NIEVES Y DOMÍNGUEZ 2009)

Tabla 13.6 Correlación lineal entre dos variables

Valores de r	Tipo y grado de correlación
-1	Negativa perfecta
$-1 < r \leq -0.8$	Negativa fuerte
$-0.8 < r < -0.5$	Negativa moderada
$-0.5 \leq r < 0$	Negativa débil
0	No existe
$0 < r \leq 0.5$	Positiva débil
$0.5 < r < 0.8$	Positiva moderada
$0.8 \leq r < 1$	Positiva fuerte
1	Positiva perfecta

ANEXO 51: VARIACIÓN DE TEMPERATURA DURANTE LA FERMENTACIÓN DEL GRANO CCN-51 E ICS-6

	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	
	CCN-51	ICS-6
0	34,8 ± 0,6	34,5 ± 0,4
1	39,3 ± 1,0	39,0 ± 2,7
2	41,7 ± 1,4	40,9 ± 2,4
3	44,0 ± 1,6	43,0 ± 1,7
4	44,7 ± 2,2	43,7 ± 1,5
5	44,6 ± 2,2	41,5 ± 2,4
6	43,1 ± 3,2	-

ANEXO 52: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO CCN-51 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN

PORCENTAJE (%)	DÍA 0	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6
Mohosos	0,05 ± 0,09	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,11 ± 0,20	0,06 ± 0,10	0,00 ± 0,00
Pizarras	99,83 ± 0,16	1,04 ± 0,49	0,15 ± 0,26	0,06 ± 0,11	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	0,06 ± 0,10	0,07 ± 0,11	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,13 ± 0,22	0,00 ± 0,00
Rotos	0,11 ± 0,10	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Violetas	0,00 ± 0,00	27,02 ± 9,19	22,75 ± 4,40	15,58 ± 5,56	11,91 ± 4,40	7,90 ± 6,24	8,75 ± 4,33
Semifermentados	0,00 ± 0,00	33,74 ± 3,07	26,72 ± 1,72	26,90 ± 2,44	22,71 ± 2,59	16,45 ± 2,30	9,11 ± 3,89
Fermentados	0,00 ± 0,00	38,14 ± 6,15	50,31 ± 4,25	57,45 ± 7,03	65,26 ± 2,57	75,48 ± 5,26	82,14 ± 8,05

ANEXO 53: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE Y CLASIFICACIÓN DE LOS GRANOS DE CACAO ICS-6 POR CADA DÍA DE FERMENTACIÓN

PORCENTAJE (%)	DÍA 0	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5
Mohosos	0,10 ± 0,18	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pizarras	99,80 ± 0,35	25,41 ± 32,31	6,21 ± 10,76	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
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
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
Rotos	0,10 ± 0,18	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Violetas	0,00 ± 0,00	25,09 ± 8,71	35,23 ± 2,63	19,01 ± 8,22	13,01 ± 6,90	9,45 ± 3,88
Semifermentados	0,00 ± 0,00	23,49 ± 11,10	22,20 ± 5,03	28,40 ± 10,10	20,59 ± 4,57	15,63 ± 3,59
Fermentados	0,00 ± 0,00	26,01 ± 13,19	36,36 ± 8,97	52,59 ± 3,73	66,40 ± 5,70	74,91 ± 0,79

ANEXO 54: TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN Y TIEMPO DE SECADO NATURAL PARA CADA REPETICIÓN DE FERMENTACIÓN

	DÍA DE FERMENT.	CCN-51		ICS-6	
		T (C°) FERM.	DÍAS DE SECADO	T (C°) FERM.	DÍAS DE SECADO
Réplica 1	0	35,1	6	34,8	6
	1	40,2	8	39,5	8
	2	42,6	7	42,1	7
	3	44,0	9	42,9	9
	4	44,5	8	43,5	8
	5	44,7	7	42,0	7
	6	43,5	6	-	-
Réplica 2	0	34,2	7	34,0	6
	1	38,2	6	36,1	7
	2	40,1	6	38,2	8
	3	42,5	7	41,3	9
	4	42,7	6	42,4	8
	5	42,4	5	38,8	7
	6	39,7	5	-	-
Réplica 3	0	35,2	6	34,6	6
	1	39,4	7	41,5	7
	2	42,4	6	42,5	6
	3	45,6	6	44,7	6
	4	47,0	5	45,3	6
	5	46,8	6	43,6	7
	6	46,0	6	-	-