

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

**“ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFLUENCIA DE LAS FRUTAS, MORA
(*ROBUS GLAUCUS BENTH*), FRUTILLA (*FRAGARIA VESCA*) Y TOMATE DE
ÁRBOL (*CYPHOMANDRA BETACEA*) QUE SE PRODUCEN EN LAS ZONAS
RURALES DEL CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA DE BOLÍVAR, EN LA
CANTIDAD DESTILADA DE ALCOHOL ETÍLICO”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de
INGENIERO EN ESTADÍSTICA INFORMÁTICA

Presentado por:

NELSON STEVE REA REA

Riobamba – Ecuador
2014

AGRADECIMIENTO

A ti “DIOS” por cuidarme y bendecirme, porque gracias a ti logré hacer realidad este sueño querido.

A mí querida institución a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas para estudiar y ser un profesional.

A mi director de tesis Dr. Luis Vera Rojas y a la miembro de la misma Ing. Alexandra Viñán y al colaborador externo Dr. Rubén Lara quienes con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado que pueda concluir con éxito el presente trabajo de investigación.

Agradezco también a mis profesores que durante toda mi carrera profesional han aportado con sus conocimientos a mi formación.

NELSON STEVE REA REA

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado a mis queridos padres Rosario y José quienes con mucho amor, cariño y ejemplo han hecho de mí una persona con valores a más de regalarme la herencia más valiosa que es mi profesión para poder defenderme en la vida.

A mis hermanos Guillermo, Guido, David, Mariana, María, Consuelo y Silvana por estar a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante.

Y en forma cariñosa a mis Sobrinos Anderson, Alexis, Matías, Erika y Nadia.

NELSON STEVE REA REA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFLUENCIA DE LAS FRUTAS, MORA (“*ROBUS GLAUCUS BENTH*”), FRUTILLA (“*FRAGARIA VESCA*”) Y TOMATE DE ÁRBOL (“*CYPHOMANDRA BETACEA*”) QUE SE PRODUCEN EN LAS ZONAS RURALES DEL CANTÓN GUARANDA, PROVINCIA DE BOLÍVAR, EN LA CANTIDAD DESTILADA DE ALCOHOL ETÍLICO”, de responsabilidad del señor egresada Nelson Steve Rea Rea, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Álvarez DECANA FAC. CIENCIAS	_____	_____
Dra. Jheny Orbe O. DIRECTORA DE ESCUELA	_____	_____
Dr. Luis Vera Rojas DIRECTOR DE TESIS	_____	_____
Ing. Alexandra Viñán MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____
Tec. Carlos Rodríguez DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN	_____	_____
NOTA DE TESIS ESCRITA	_____	

Yo, Nelson Steve Rea Rea soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual de la tesis de grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

NELSON STEVE REA REA

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	11
ANTECEDENTES.....	13
JUSTIFICACIÓN	15
OBJETIVOS	16
I. OBJETIVO GENERAL.....	16
II. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1 MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 Diseño Estadístico de Experimentos	17
1.1.1 Análisis de Varianza (ANOVA) ⁰	18
1.1.2 Etapas en el diseño de experimentos ⁰	20
1.1.3 Principios básicos del Diseño Experimental ⁰	21
1.1.4 Verificación de los supuestos.....	22
1.1.5 Diseño Experimental 3 ³	28
1.1.6 Variables, factores y niveles ⁰	31
1.1.7 Análisis de residuos.....	32
1.1.8 Análisis de regresión.....	32
1.1.9 Coeficiente de determinación y determinación ajustado.....	35
1.1.10 Intervalos de confianza para la respuesta promedio en el mejor tratamiento.....	36
1.1.11 ANOVA desglosado para un Diseño 3 ³	38
1.2 Fermentación alcohólica ⁰	44
1.2.1 Destilación	44
1.2.2 Aparato de destilación.....	45
1.3 Control de temperatura.....	47
2 PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	48
2.1 Lugar de experimentación.....	48
2.2 Materiales y métodos	48
2.2.1 Materiales.....	48
2.2.2 Métodos de manejo del experimento	51
2.3 Preparación de los tratamientos	55
2.4 Destilación	59
3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO, INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO DEL MODELO.....	62
3.1 Datos experimentales	62
3.2 Diseño Trifactorial	63

3.2.1 Análisis Estadístico	63
3.3 Gráficas de interacción.....	69
3.4 Modelo de regresión asociado al modelo de efectos.....	79
3.5 Coeficientes de determinación y determinación ajustado	79
3.6 Tratamiento ganador	80
3.7 Intervalos de confianza para la respuesta promedio en el mejor tratamiento.....	81
3.9 ANOVA desglosado	84
3.11 Diagnóstico del modelo.....	89
3.11.1 Normalidad.....	89
3.11.2 Varianza constante	98
3.11.3 Independencia	104
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
4.1 Conclusiones	107
4.2 Recomendaciones.....	108
RESUMEN.....	109
SUMARY.....	111
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS..	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Toma de decisión para del valor p.....	19
Figura 2: Cumplimiento del supuesto de Normalidad.	23
Figura 3: Región de rechazo para la prueba de bondad de ajuste.	25
Figura 4: Cumplimiento del supuesto de Varianza Constante.....	25
Figura 5: Cumplimiento del supuesto de Varianza Constante.	28
Figura 6: Factores, proceso, variable respuesta.....	31
Figura 7: Identificación de los coeficientes para el contraste cuadrático y contraste lineal.....	39
Figura 8: Aparato de destilación.	46
Figura 9: Hardware libre ARDUINO.....	47
Figura 10: Contenedores para llevar a cabo el experimento.....	51
Figura 11: Termómetro digital.....	51
Figura 12: Niquelinas.....	52
Figura 13: Ventilador y Niquelina	52
Figura 14: Configuración de ARDUINO.....	53
Figura 15: Sensores de temperatura LM 35	53
Figura 16: Rele.....	54
Figura 17: Tablero de control del sistema de control de temperatura	54
Figura 18: Contenedores expuestos a las distintas temperaturas	55
Figura 19: Envases	55
Figura 20: Frutas	56
Figura 21: Selección de frutas.....	56
Figura 22: preparación de las frutas para el envasado	57
Figura 23: Medición del peso de frutas.....	57
Figura 24: Envasado de las frutas	58
Figura 25: Sellado de envases.....	58
Figura 26: Puesta en marcha de la fermentación.....	59
Figura 27: inicio de proceso de fermentación correspondiente a los días establecidos	60
Figura 28: Puesta a punto para destilación.....	60
Figura 29: medición de la cantidad destilada de alcohol étílico.....	61
Figura 30: registro de los datos cantidades de alcohol.....	61
Figura 31: Gráfica de efecto principal del factor A (fruta)	70
Figura 32: Gráfica de efecto principal del factor B (tiempo)	71
Figura 33: Gráfica del efecto principal del factor C (temperatura).....	71
Figura 34: Gráfica de interacción doble entre el factor A (fruta) y B (tiempo)	72
Figura 35: Gráfica de interacción doble entre el factor A (fruta) y C (temperatura)	73
Figura 36: Gráfica de interacción doble entre el factor B (tiempo) y C (temperatura)	74
Figura 37: Gráfica de interacción triple entre el “factor A”, “factor B” y el “factor C” en su nivel bajo (-1).....	75

Figura 38: Gráfica de interacción triple entre el “factor A”, “factor B” y el “factor C” en su nivel medio (0).....	76
Figura 38: Gráfica de interacción triple entre el “factor A”, “factor B” y el “factor C” en su nivel alto (1).....	77
Figura 40: Identificación de la parte lineal o cuadrática del factor A (Fruta)	87
Figura 41: Identificación de la parte lineal o cuadrática del factor B (Tiempo)	88
Figura 42: Identificación de la parte lineal o cuadrática del factor C (Temperatura)	89
Figura 43: Cálculo de los residuales	91
Figura 44: Ordenamiento de los residuales.....	93
Figura 45: Gráfico de dispersión para la normalidad.....	93
Figura 46: Toma de decisión para la χ^2 de bondad de ajuste.....	97
Figura 47: Gráfico de dispersión para la varianza.....	100
Figura 48: Toma de decisión para la X^2 Bartlett.....	103
Figura 49: Gráfico de dispersión para la independencia.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Tabla de ANOVA para el Diseño 3^3	30
Tabla 1.2: ANOVA desglosado para un Diseño 3^3	38
Tabla 1.3: Tabla de coeficientes para los efectos principales para un diseño 3^3	40
Tabla 1.4: ANOVA desglosado del diseño 3^3	43
Tabla 1.5: Tabla de alcoholes.....	45
Tabla 2.1: Materiales a utilizar.....	48
Tabla 2.2: Frutas y equipos a emplear	49
Tabla 2.3: Niveles codificados y originales	49
Tabla 2.4: Matriz de Diseño 3^3 con dos replicas.....	50
Tabla 3.1: Cantidad destilada de alcohol etílico medido en mililitros	63
Tabla 3.2: Representación de los datos observados para un Diseño 3^3	64
Tabla 3.3: Planteamiento de las hipótesis	65
Tabla 3.4: Tabla de ANOVA para el diseño 3^3	68
Tabla 3.12: Identificación del tratamiento ganador	80
Tabla 3.13: Tratamiento ganador con los niveles codificados y originales	81
Tabla 3.14: Punto donde se evaluará el modelo.....	81
Tabla 3.16: Tabla de ANOVA desglosado para el diseño 3^3	87
Tabla 3.17: Predichos vs Residuales	99
Tabla 3.18: Orden de corrida experimental.....	105

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación se ha desarrollado en el área de la fermentación alcohólica, exclusivamente en la obtención del *alcohol etílico*, materia prima para la elaboración de bebidas alcohólicas. Existen varias etapas para conseguir la bebida alcohólica como producto final, nuestro estudio se centrará en la etapa de la fermentación y extracción del alcohol etílico; cabe señalar que los beneficios económicos para las pequeñas y grandes empresas productoras de bebidas alcohólicas son muy rentables.

Es común hacer experimentos con factores y niveles que influyen a la hora de obtener alcohol etílico, estos tienen la intención de que al mover o hacer algunos cambios en dichos factores o niveles se pueda detectar, resolver o minimizar los problemas de baja calidad.

Es frecuente que estos experimentos se lo hagan a prueba y error dependiendo muchas de las veces de la experiencia, llegando a obtener resultados únicamente visibles puesto que no se lleva un plan experimental adecuado que garantice una respuesta a las interrogantes planteadas.

El “*Diseño Estadístico de Experimentos*” es tan riguroso y confiable que a pesar de llevar un experimento a prueba y error se logran mejoras. Sin embargo, no es suficiente llevar un experimento a prueba y error por lo que es mejor proceder siempre en forma eficaz para que se garantice la obtención de las respuestas a las interrogantes planteadas en un lapso corto de tiempo y utilizando el mínimo de recursos económicos.

El *Diseño Estadístico de Experimentos* es precisamente la forma eficaz de hacer pruebas en la etapa que consideremos importante ya que proporciona las técnicas y estrategias necesarias para llevar de manera eficaz dicha etapa a mejores condiciones de operación.

El “*Diseño Estadístico de Experimentos*” en su parte medular determina cuáles pruebas y cómo se deben realizar para obtener datos que al analizarlos estadísticamente se obtengan conclusiones válidas y objetivas para la toma de decisiones que deriven en mejoras del desempeño del proceso.

ANTECEDENTES

Las bebidas fermentadas se han producido desde la prehistoria, quizá al principio por accidente, según los testimonios arqueológicos el hombre primitivo conservaba las frutas en recipientes hechos con pieles de animales, alguien en su descuido olvidó dicho recipiente con las frutas y al cabo de unos días se produjo la primera fermentación alcohólica.⁽¹⁾

Los conocimientos sobre la fermentación fueron atesorados desde la antigüedad por importantes civilizaciones como la egipcia y la romana, que la emplearon para la producción de bebidas alcohólicas, un ejemplo claro es la bebida alcohólica que ellos obtenían de la fermentación de la uva.

En forma empírica los humanos aprendimos a encauzar las fermentaciones alcohólicas de diversos sustratos, con el pasar del tiempo se aprendió a controlar y hacer más eficiente este proceso.

Llevó siglos darse cuenta que en la fermentación alcohólica se involucra el crecimiento y la actividad de microorganismos.⁽²⁾ La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico (ausencia de oxígeno) realizado por las levaduras silvestres presente en la superficie de la propia fruta, estos microorganismos transforman el azúcar de la propia fruta en varios tipos

⁽¹⁾ Desrosier Norman, Elementos de Tecnología de Alimentos, Pp. 623

⁽²⁾ Rodarte Wachter Carmen, Alimentos y Bebidas fermentadas, Pp. 313

alcohol, tales como el Metílico, Etílico, Isopropílico, Isobutílico, Atílico entre otros alcoholes, la fermentación inicia después que la glucosa entra en la célula de levadura.

Debido a la gran importancia de la fermentación y a su enorme complejidad la investigación científica y tecnológica ha aportado y seguirá aportando enorme riqueza al conocimiento biotecnológico.

Sin la fermentación nunca podrían haber existido las bebidas alcohólicas, de la fermentación obtendremos una gama de bebidas alcohólicas de distinto tipo y para distintos gustos.

A través de esta investigación se trata de maximizar la cantidad destilada de alcohol etílico teniendo en cuenta todos los estudios concernientes a la fermentación alcohólica, en especial la fermentación de las frutas ya que existen otros tipos de fermentación, para lo cual el *Diseño Estadístico de Experimentos* es de gran ayuda en cuanto nos permite analizar la información e interpretar los resultados para sacar conclusiones válidas y objetivas.

JUSTIFICACIÓN

Las bebidas alcohólicas están firmemente enraizadas en muchas sociedades, constituyen actualmente uno de los insumos de mayor demanda a nivel mundial, logrando de esta forma una gran influencia a nivel económico.

Los beneficios para las pequeñas y grandes empresas productoras de bebidas alcohólicas en nuestro país son muy rentables.

En la provincia de Bolívar la producción de alcohol se obtiene en su totalidad de la destilación de la caña de azúcar, dejando de lado a las frutas que se cosecha en las zonas rurales del cantón Guaranda.

Al ser la caña de azúcar un producto netamente de las zonas subtropicales, la producción de alcohol se ha monopolizado a dichas zonas. Con el presente trabajo de investigación se pretende aprovechar las frutas que se cultivan en las zonas rurales del cantón Guaranda para la obtención de alcohol etílico como materia prima para la elaboración de cualquier bebida alcohólica generando una fuente de ingreso económico adicional que beneficiará a los habitantes de estas zonas.

OBJETIVOS

I. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis estadístico de la influencia de las frutas, Mora ("*Robus Glaucus Benth*"), Frutilla ("*Fragaria Vesca*") y Tomate de Árbol ("*Cyphomandra Betacea*") que se producen en las zonas rurales del cantón Guaranda, provincia de Bolívar, sobre la cantidad destilada de alcohol etílico mediante la aplicación de un diseño experimental para maximizar su producción.

II. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar los factores controlables que influyan en la cantidad destilada de alcohol etílico.
- ✓ Determinar los niveles de los factores controlables.
- ✓ Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.
- ✓ Planear y organizar el trabajo experimental.
- ✓ Realizar el trabajo experimental.
- ✓ Recolectar la información para su análisis estadístico e interpretación de resultados.
- ✓ Dar a conocer el mejor tratamiento que maximiza la cantidad destilada de alcohol etílico.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Diseño Estadístico de Experimentos

El Diseño Estadístico Experimental o Diseño Experimental es una “Técnica Estadística” que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental, en un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas para medir el efecto que tienen en otra variable de interés.

El diseño experimental señala una serie de pautas relativas, qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

El diseño experimental encuentra aplicaciones en la industria, la agricultura, la mercadotecnia, la medicina, la ecología, las ciencias químicas etc. constituyendo una fase esencial en el desarrollo de un estudio experimental.

En un concepto formal tendríamos que: “El Diseño Estadístico Experimental es la planeación de un conjunto de pruebas experimentales, cuyo objetivo es la obtención de

datos que se puedan analizar estadísticamente y así poder obtener conclusiones válidas del sistemas o proceso en estudio para así poder mejorarlas”.

1.1.1 Análisis de Varianza (ANOVA) ⁽³⁾

El análisis de la varianza (ANOVA: Analysis of Variance) es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas.

La hipótesis de interés es la misma para todos los diseños comparativos, y está dada por:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$
$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \text{para algún } i \neq j$$

La afirmación a probar es que la respuesta media poblacional lograda con cada tratamiento es la misma para los k tratamientos, y que por tanto cada respuesta media (μ_i) es igual a la media global poblacional (μ). Por tanto la hipótesis anterior se prueba con un Análisis de Varianza.

NOTA HISTÓRICA

Las técnicas iniciales del análisis de varianza fueron desarrolladas por el estadístico y genetista R. A. Fisher en los años 1920 y 1930 y es algunas veces conocido como "Anova

⁽³⁾ Viñan Andino, Alexandra. (2012). Diseño Estadístico experimental para el estudio de la respuesta del maíz (zea mays l.) a la aplicación edáfica complementaria de tres tipos de abono sintético a dos dosis en la comunidad de peñas, cantón Tiwintza, provincia de Morona Santiago. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Pp. 66-69

de Fisher" o "Análisis de Varianza de Fisher", debido al uso de la distribución F de Fisher como parte del contraste de hipótesis.

La lógica de un contraste en un análisis de varianza es sencillo puesto que se compara dos cálculos independientes de la varianza (dependiendo del modelo en el cual se efectúe) para la variable independiente:

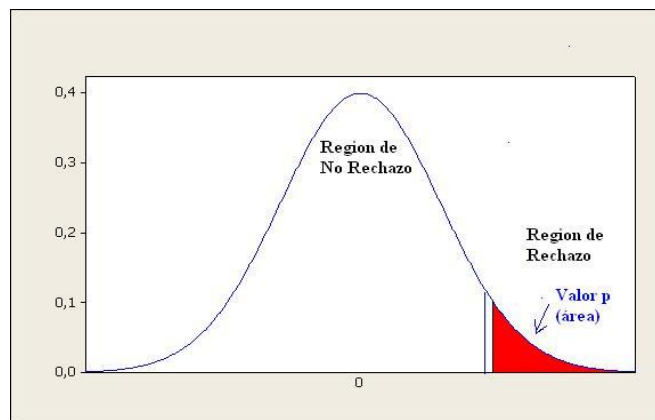
Suma de cuadrados del error (SC_{error}): refleja la variabilidad a los efectos del tratamiento.

Suma de cuadrados del tratamiento (SC_{tra}): representa la variabilidad existente entre los grupos que se atribuyen a los efectos del tratamiento.

VALOR p

Es conveniente citar el valor p porque es una medida (cuantitativa) de la fuerza de la evidencia en contra de la Hipótesis nula.

Es conocido que, mientras más pequeño sea el valor P, más fuerte es la evidencia en contra de la hipótesis nula.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 1: Toma de decisión para del valor p

- Si valor p es menor que Alfa (α), se rechaza H_0
- Si valor p es mayor que Alfa (α), se acepta H_0

1.1.2 Etapas en el diseño de experimentos ⁽⁴⁾

Lo importante de un Diseño Estadístico Experimental es saber de antemano cuáles son los factores que se desean controlar y cuantas repeticiones son las adecuadas para obtener una muestra representativa, de tal manera que se obtenga la máxima información al mínimo de costo. Un diseño experimental es algo más que un conjunto de condiciones de prueba; más bien es una secuencia de etapas o actividades que deben cumplirse para alcanzar los objetivos que se persiguen. Básicamente las etapas del Diseño Estadístico Experimental son: la planeación, análisis, interpretación y conclusiones finales.

Planeación: Son todas y cada una de las actividades que están encaminadas a entender el problema, diseñar y realizar las pruebas experimentales adecuadas.

- 1.- Encontrar un problema importante.
- 2.- Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.
- 3.- Elegir la(s) variable(s) de respuesta que serán medidas en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.
- 4.- Seleccionar el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.
- 5.- Planear y organizar el trabajo experimental.
- 6.- Realizar el experimento

Análisis: Determinar el modelo de Análisis de Varianza (ANOVA) o la técnica estadística que mejor describa el comportamiento de los datos.

⁽⁴⁾ Padilla Silva, Darwin Medardo. (2008). Aplicación del Diseño Estadístico de Experimentos a los ensayos realizados en la Unidad de Negocio PROPAGACIÓN, El Quinche. (Tesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Pp. 17

Interpretación: En esta parte se debe ir más allá del análisis estadístico formal; se debe analizar con detalle lo que ha ocurrido en el experimento; contrastar las hipótesis iniciales con los resultados obtenidos; observar los nuevos aprendizajes del proceso, verificar los supuestos y elegir el mejor tratamiento.

Conclusiones finales: Consiste en decidir qué medidas implementar para generalizar el resultado del estudio y garantizar que las mejoras se mantengan. Además de presentar y difundir los logros a las personas que trabajan directamente en el proceso.

1.1.3 Principios básicos del Diseño Experimental ⁽⁵⁾

El Diseño Estadístico de Experimentos trata de fenómenos que son observables y repetibles, por ende se debe tener mucho cuidado en la planeación y análisis de un experimento, por el hecho de que al ser los experimentos observables y repetibles, estos conceptos por naturaleza se contradicen entre sí.

Cualquier cosa observada se aprecia con variabilidad; es decir, nada ocurre de la misma forma dos veces, incluso mediciones del mismo evento varían. Es por esto que el punto de partida para una planeación es aplicar los principios básicos del Diseño Estadístico de Experimentos, como son la aleatorización, repetición y bloqueo.

Aleatorización: Consiste en hacer corridas experimentales en orden aleatorio; este principio aumenta la posibilidad de que el supuesto de independencia de los errores se cumpla.

⁽⁵⁾ GUTIÉRREZ, H. Análisis y Diseño de Experimentos. Pp. 12-13

Repetición: Es correr más de una vez un tratamiento o un conjunto de factores dados, el cual permite distinguir qué parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cuál a los factores. Se debe tener cuidado de no confundir este concepto con el de medir varias veces el mismo artículo o producto fabricado en una misma combinación de factores.

Bloqueo: Es tomar en cuenta en forma adecuada todos los factores que pueden afectar la respuesta observada.

Además, los 3 principios anteriores permitirán que se cumplan los supuestos necesarios para un correcto análisis de datos en los diseños, los mismos que se presentan a continuación.

1.1.4 Verificación de los supuestos

La validez de las conclusiones a las cuales se llegue a través de un correcto Análisis de Varianza (ANOVA) se encuentran sujetos al cumplimiento de los 3 supuestos: Normalidad, Varianza Constante e Independencia.

Esto es, la variable respuesta (Y) debe provenir de una población con distribución normal, con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes.

Todos los supuestos presentados anteriormente se traducen a los supuestos analizados dentro del error (ϵ) de los diferentes modelos. Los residuos (e_{ij}) se definen como la diferencia entre la respuesta observada (Y_{ij}) y la respuesta predicha por el modelo (\hat{Y}_{ij}), lo que permite hacer un diagnóstico mucho más exacto del modelo que se está ocupando. De aquí que se debe cumplir lo siguiente:

Los e_{ij} sigue una distribución normal con media cero.

Los e_{ij} son independientes entre sí.

Los tratamientos tienen una varianza constante σ^2 .

Para cada uno de los supuestos existen pruebas analíticas y gráficas, en vista de que las pruebas gráficas suelen ser subjetivas es recomendable realizar también las pruebas analíticas. ⁽⁶⁾

1.1.4.1 Normalidad

1.1.4.1.1 Método gráfico ⁽⁷⁾

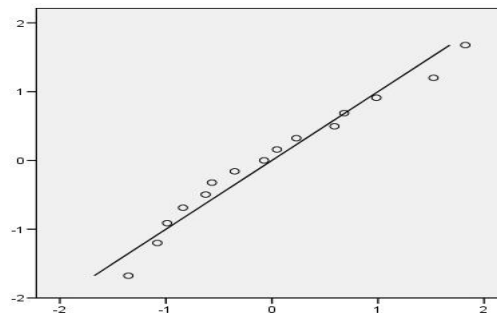
Se dice que existe normalidad en los datos cuando al ser graficados los residuos se observe claramente una línea recta; si los puntos no se alinean claramente se puede concluir que no se cumple con este supuesto. El ajuste de los puntos no debe ser perfecto dado que el ANOVA resiste pequeñas desviaciones al supuesto de normalidad. Para obtener la gráfica de la normalidad se debe realizar lo siguiente:

1.- Ordenar los N valores del menor al mayor y asignarles rangos de 1 a N.

Sean r_i , $i = 1, 2, \dots, N$, los rangos de los datos en orden creciente.

2.- Calcular $\frac{(i-0.5)}{N}$ y luego sean Z_i los valores tabulados de la distribución normal estándar con los valores calculados.

3. Graficar los residuos de los datos en el eje de las X y los Z_i en el eje de las Y.



Fuente: <http://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/practica3/index.html>

Figura 2: Cumplimiento del supuesto de Normalidad.

⁽⁶⁾ GUTIÉRREZ, H. Análisis y Diseño de Experimentos. Pp. 81-82

⁽⁷⁾ GUTIÉRREZ, H. Análisis y Diseño de Experimentos. Pp. 83

1.1.4.1.2 Método analítico

Prueba chi-cuadrada de bondad de ajuste

Esta prueba es aplicable para variables aleatorias discretas o continuas, la teoría estadística demuestra que una prueba de bondad de ajuste entre las frecuencias observadas y esperadas se basa en la cantidad.

$$x^2 = \sum_{i=1}^b \left(\frac{(fo_i - fe_i)^2}{fe_i} \right)$$

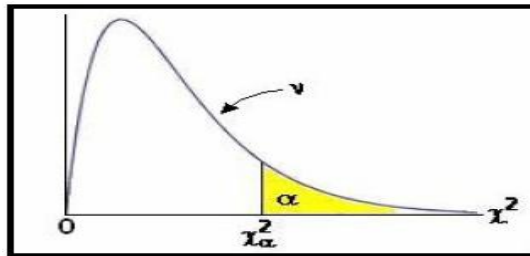
Ecuación 1

Donde x^2 es un valor de una variable aleatoria cuya distribución muestral se aproxima muy cerca con la distribución chi cuadrada con $\gamma = k-1$ grados de libertad.

Los símbolos fo_i y fe_i representan la frecuencia observada y esperada respectivamente, para i -ésima celda. El número de grados de libertad que se asocia con la distribución chi cuadrada que se utiliza aquí es igual a $k-1$, pues hay sólo $k-1$ frecuencias de celdas libremente determinadas. Es decir, una vez que se determinan las frecuencias de $k-1$ celdas queda determinada la frecuencia para la k -ésima celda.

Si las frecuencias observadas están cerca de las frecuencias esperadas correspondientes, el valor x^2 será pequeño, lo cual indica un buen ajuste. Un buen ajuste conduce a la aceptación de $H_0: f(x) = f_0(x)$; mientras que un ajuste deficiente conduce a un rechazo H_0 y por ende la aceptación $H_1: f(x) \neq f_0(x)$.

La región crítica caerá por tanto, en la cola derecha de la distribución chi cuadrada. Para un nivel de significancia igual a α , encontramos el valor crítico de x^2_α , entonces, $x^2 > x^2_\alpha$ constituye la región crítica.



Fuente: <http://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/practica3/index.html>

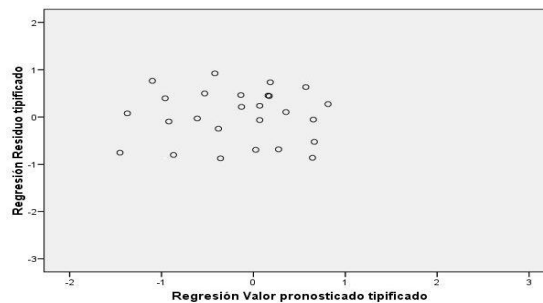
Figura 3: Región de rechazo para la prueba de bondad de ajuste.

El criterio de decisión que aquí se describe no se debería utilizar, a menos que $\forall_i, e_i, \geq 5$, es decir, cada una de las frecuencias esperadas sea al menos iguala 5. Esta restricción podría requerir la combinación de celdas adyacentes, lo que tiene como resultado una reducción en el número de grados de libertad.

1.1.4.2 Varianza Constante

1.1.4.2.1 Método gráfico

Para determinar que la varianza no sea significativamente diferente se grafica los predichos contra los residuos (Y_{ij} vs. ε_{ij}), generalmente Y_{ij} va en el eje de las X y los residuos en el eje vertical. Si los puntos graficados de la manera indicada anteriormente se distribuyen en manera aleatoria a lo largo de una banda, entonces es una clara señal de que los tratamientos tienen igual varianza. Por el contrario si se distribuyen dando a conocer algún patrón claro y contundente de “corneta o embudo” los datos no cumplirían con este supuesto.



Fuente: <http://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/practica3/index.html>

Figura 4: Cumplimiento del supuesto de Varianza Constante.

1.1.4.2.2 Método analítico

Prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas

Aparte de las gráficas de residuos que frecuentemente se usan para diagnosticar la igualdad en las variancias, se han propuesto algunas pruebas estadísticas. Éstas son pruebas formales para la hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_a^2 = \sigma^2$$
$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ para algún } i \neq j$$

Una técnica ampliamente usada es la prueba de Bartlett. Este procedimiento consiste en calcular una estadística cuya distribución muestral es, aproximadamente, chi cuadrada con: $k - 1$ grados de libertad, cuando las k muestras aleatorias provienen de poblaciones normales independientes.

El estadístico de prueba es ⁽⁸⁾

$$x_{Bartlett}^2 = \frac{\left[\ln \left(\frac{\sum s^2 (n-1)}{\sum (n-1)} \right) \sum (n-1) \right] - \sum (\ln(s^2))(n-1)}{1 + \frac{k+1}{3(k-1)(N-k)}}$$

Ecuación 2

Dónde:

$x_{Bartlett}^2$: Valor estadístico de esta prueba.

Ln : Logaritmo natural.

s : Varianza.

n : Tamaño de la muestra del grupo.

k : Número de grupos participantes.

N : Tamaño total

⁽⁸⁾ http://www.ray-design.com.mx/psicoparaest/index.php?option=com_content&view=article&id=235:ji-bartlett&catid=52:pruebaspara&Itemid=61

Debe rechazarse H_0 sólo si:

$$x_{Bartlet}^2 > x_{(\alpha, k-1)}^2$$

En donde $x_{(\alpha, k-1)}^2$ es el punto a porcentual superior (valor crítico o percentil) de la distribución Chi cuadrada con $k - 1$ Grados de libertad.

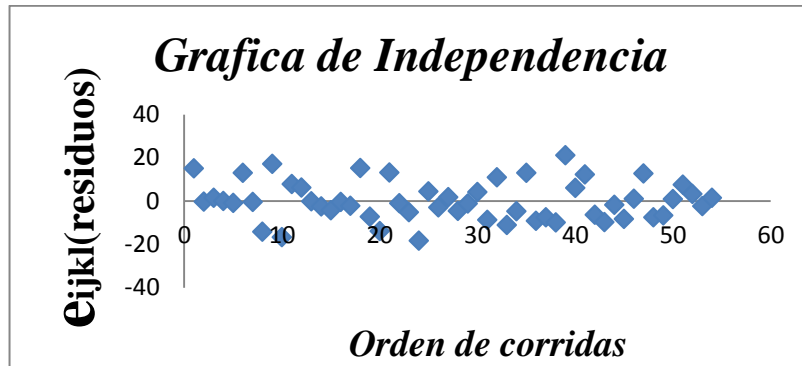
Varios estudios indican que la prueba de Bartlett es muy sensible a la suposición de normalidad y no debe ser aplicada cuando exista alguna duda en cuanto a esta suposición.

1.1.4.3 Independencia

La suposición de independencia en los residuos puede verificarse si se grafica el orden en el que se colectó los datos vs los residuos correspondientes.

Si al graficar en el eje horizontal el tiempo (orden de corrida) y en el eje vertical los residuos, se detectará una tendencia o patrón no aleatorio claramente definido, entonces es evidencia de que existe una correlación entre los errores y por tanto el supuesto de independencia no se cumple.

Por el contrario si el comportamiento de los puntos graficados se desplaza de modo aleatorio sobre una banda horizontal es evidencia de que se está cumpliendo con este supuesto. Una de las principales causas cuando no se cumple con este supuesto indica deficiencias en la planeación y ejecución del experimento, además que no se está utilizando de manera adecuada el principio de aleatorización.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 5: Cumplimiento del supuesto de Varianza Constante.

1.1.5 Diseño Experimental 3^3

En un diseño factorial de este tipo se consideran 3 factores (A, B y C) y cada factor con 3 niveles, entonces los niveles del factor A será $a = 3$, los niveles del factor B será $b = 3$ y los niveles del factor C será $c = 3$.

Las letras minúsculas representan los niveles de cada factor respetivamente.

Para mayor comprensión se presenta el modelo estadístico es el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$
$$i = 1,2,3; \quad j = 1,2,3; \quad k = 1,2,3; \quad y \quad l = 1,2$$

Donde α_i , β_j y γ_k son los efectos principales; $(\alpha\beta)_{ij}$, $(\alpha\gamma)_{ik}$ y $(\beta\gamma)_{jk}$ son los efectos de interacción de dos factores cuya interpretación es la misma que cuando se tiene dos factores. El término $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ se llama efecto de interacción de tres factores.

Como en el caso anterior la sumatoria de los contrastes debe ser igual a cero, cabe recalcar que para este diseño se necesita que se cumplan con los supuestos de normalidad, independencia e igualdad de varianza.

La suma de cuadrados para el diseño 3^3 con 2 réplicas son las siguientes identidades:

1.- Suma total de cuadrados.

$$SC_T = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^2 y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)}$$

2.- Suma de cuadrados debida al factor A

$$SC_A = \sum_{i=1}^3 \frac{y_{i..}^2}{(3)(3)(2)} - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)}$$

3.- Suma de cuadrados debida al factor B

$$SC_B = \sum_{j=1}^3 \frac{y_{.j..}^2}{(3)(3)(2)} - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)}$$

4.- Suma de cuadrados debida al factor C

$$SC_C = \sum_{k=1}^3 \frac{y_{..k.}^2}{(3)(3)(2)} - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)}$$

5.- Suma de cuadrados debida a la interacción del factor A y el factor B.

$$SC_{Subtotales(AB)} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{y_{ij..}^2}{(3)(2)} - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)} ; SC_{AB} = SC_{Subtotales(AB)} - SC_A - SC_B$$

6.- Suma de cuadrados debida a la interacción entre el factor A y el factor C.

$$SC_{Subtotales(AC)} = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{y_{i.k.}^2}{(3)(2)} - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)} ; SC_{AC} = SC_{Subtotales(AC)} - SC_A - SC_C$$

7.- Suma de cuadrados debida a la interacción entre el factor B y el factor C.

$$SC_{Subtotales(BC)} = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{y_{.jk.}^2}{(3)(2)} - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)} ; SC_{BC} = SC_{Subtotales(BC)} - SC_B - SC_C$$

8.- Suma de cuadrados debida a la interacción entre el factor A, factor B y el factor C.

$$SC_{Subtotales(ABC)} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{y_{ijk.}^2}{(2)} - \frac{y_{\dots}^2}{(3^3)(2)} ;$$

$$SC_{ABC} = SC_{Subtotales(ABC)} - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC}$$

9.- Suma de cuadrados debida al error.

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC}$$

Dónde:

$\bar{y}_{...}$ = promedio de todas las *abcn* observaciones.

$\bar{y}_{i...}$ = promedio de las observaciones para el *i-ésimo* nivel del factor A.

$\bar{y}_{.j..}$ = promedio de las observaciones para el *j-ésimo* nivel del factor B.

$\bar{y}_{...k.}$ = promedio de las observaciones para el *k-ésimo* nivel del factor C.

$\bar{y}_{ij..}$ = promedio de las observaciones para el *i-ésimo* nivel del factor A y *j-ésimo* nivel del factor B.

$\bar{y}_{i.k.}$ = promedio de las observaciones para el *i-ésimo* nivel del factor A y *k-ésimo* nivel del factor C.

$\bar{y}_{.jk.}$ = promedio de las observaciones para el *j-ésimo* nivel del factor B y *k-ésimo* nivel del factor C

$\bar{y}_{ijk.}$ = promedio de las observaciones para el *ijk-ésima* combinación de tratamientos.

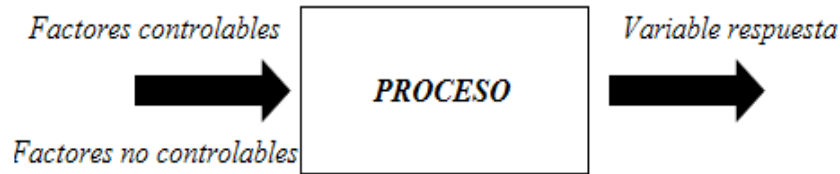
En la siguiente tabla se resume el análisis de varianza para un diseño 3^3 .

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Prueba F</i>	<i>Valor p o Probabilidad</i>
A	SC _A	3-1	CM _A =SC _A /(3-1)	CM _A /CM _E	P (F > F ₀)
B	SC _B	3-1	CM _B =SC _B /(3-1)	CM _B /CM _E	P (F > F ₀)
C	SC _C	3-1	CM _C =SC _C /(3-1)	CM _C /CM _E	P (F > F ₀)
Interacción de dos factores					
AB	SC _{AB}	(3-1)(3-1)	CM _{AB} =SC _{AB} /(3-1)(3-1)	CM _{AB} /CM _E	P (F > F ₀)
AC	SC _{AC}	(3-1)(3-1)	CM _{AC} =SC _{AC} /(3-1)(3-1)	CM _{AC} /CM _E	P (F > F ₀)
BC	SC _{BC}	(3-1)(3-1)	CM _{BC} =SC _{BC} /(3-1)(3-1)	CM _{BC} /CM _E	P (F > F ₀)
Interacción de tres factores					
ABC	SC _{ABC}	(3-1)(3-1)(3-1)	CM _{ABC} =SC _{ABC} /(3-1)(3-1)(3-1)	CM _{ABC} /CM _E	P (F > F ₀)
ERROR	SC _E	3 ³ (2-1)	CM _E =SC _E /3 ³ (2-1)		
TOTAL	SC _T	(3 ³)-1			

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 1.1: Tabla de ANOVA para el Diseño 3^3 .

1.1.6 Variables, factores y niveles ⁽⁹⁾



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 6: Factores, proceso, variable respuesta.

Factores controlables: Son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado. Algunos de éstos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso, y se distinguen porque, para cada uno de ellos, existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación.

Factores no controlables o de ruido: Son variables o características de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso. Por ejemplo, algunos factores que suelen ser no controlables son las variables ambientales (luz, humedad, temperatura, partículas, ruido, etc.), el ánimo de los operadores, la calidad del material que se recibe del proveedor (interno o externo).

Un factor que ahora es no controlable puede convertirse en controlable cuando se cuenta con el mecanismo o la tecnología para ello.

Variable(s) de respuesta: Es la característica, variable de salida o propiedad del producto, cuyo valor interesa mejorar). Por lo general el valor de dicha característica determina algún aspecto de la calidad del producto. La conjetura típica para utilizar diseño experimental

⁽⁹⁾ GUTIÉRREZ, H. Análisis y Diseño de Experimentos. Pp. 7-8

existe otra manera de operar el proceso en la cual el comportamiento de una o varias variables de respuesta sería mejor que el actual.

Niveles y Tratamientos: Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama tratamiento o punto de diseño.

1.1.7 Análisis de residuos

Al ajustar cualquier modelo lineal, el análisis de residuos es necesario para determinar la idoneidad del ajuste. Los residuos son la diferencia entre los valores observados y los valores predichos por el modelo ajustado.

$$e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$$

Ecuación 4

Resulta útil examinar una gráfica de probabilidad normal, una gráfica de los residuos contra los valores ajustados y una gráfica de los residuos contra cada variable de regresión. Además, los residuos deben graficarse contra las variables potencialmente importantes que no fueron incluidas en el modelo. Cualquier estructura en dicha gráfica indicaría que el modelo puede mejorarse agregando este factor.

1.1.8 Análisis de regresión

Hablamos de un Modelo de Regresión, para referirnos a una función matemática que intenta modelar probabilísticamente una Variable Respuesta (Y) en estudio, en relación a uno o más predictoras (X) de interés. En muchos problemas existen dos o más variables que están relacionadas y puede resultar importante modelar y explorar esta relación.

En general, supongamos que hay una sola variable dependiente o de respuesta y que depende de k variables independientes o de regresión, por ejemplo X_1, X_2, \dots, X_k .

La relación entre estas variables se caracteriza por un modelo matemático conocido como ecuación de regresión.

Análisis de regresión múltiple

En muchas situaciones prácticas existen variables independientes (X) que se cree que influyen o están relacionadas con una variable de respuesta (Y), y por tanto será necesario tomar en cuenta si se quiere predecir o entender el mejor el comportamiento de Y .

Sea X_1, X_2, \dots, X_k , variables independientes, y sea Y una variable de respuesta, entonces el modelo de regresión lineal múltiple con k variables independientes es el polinomio de primer orden:

El modelo se define por la siguiente expresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + \varepsilon$$

Donde

β_j : son los parámetros del modelo, que se conocen como coeficientes de regresión

ε : es el error aleatorio, con media cero, $E(\varepsilon) = 0$ y $V(\varepsilon) = \sigma^2$.

Es frecuente que en la práctica se requieran modelos de mayor orden para explicar el comportamiento de la variable respuesta (Y) en función de las variables predictoras (X). El modelo de regresión asociado para un Diseño Factorial 3^3 será:

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_{12} + \beta_{13} X_{13} + \beta_{23} X_{23} + \beta_{123} X_{123} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

X_1 : corresponde al factor A

X_2 : corresponde al factor B

X_3 : corresponde al factor C

X_{12} : corresponde al factor AB

X_{13} : corresponde al factor AC

X_{23} : corresponde al factor BC

X_{123} : corresponde al factor ABC

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}, \beta_{123}$, corresponde a los coeficientes de regresión de cada factor, y de sus intersecciones que son desconocidos.

Para hallar dichos coeficientes nos ayudaremos de la siguiente formula:

$$\hat{\beta} = S_{p-1}^{-1} S_{xy}$$

Ecuación 5

- 1.- Encontrar la matriz de *Matriz de Varianzas y Covarianzas* de las variables independientes (X) y la variable dependiente (Y).
 - 2.- S_{p-1} : Matriz de varianzas y covarianzas únicamente de las variables independientes (X).
 - 3.- S_{p-1}^{-1} : Matriz inversa de varianzas y covarianzas de las variables independientes (X).
 - 4.- S_{xy} : Matriz de covarianzas correspondientes a las variables de las varianzas de la variable Y , con el resto
- β_0 : Promedio del total de datos.

Una vez terminado de encontrar los coeficientes se obtendrá del modelo de regresión ajustado para un diseño 3^3 .

$$\hat{Y}_{ijkl} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 A + \hat{\beta}_2 B + \hat{\beta}_3 C + \hat{\beta}_4 AB + \hat{\beta}_5 AC + \hat{\beta}_6 BC + \hat{\beta}_7 ABC$$

1.1.9 Coeficiente de determinación y determinación ajustado

➤ Coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SC_{Total} - SC_{Error}}{SC_{Total}} * 100\%$$

Ecuación 6

➤ Coeficiente de determinación ajustado

$$R_{aj}^2 = \frac{CM_{Total} - CM_{Error}}{CM_{Total}} * 100\%$$

Ecuación 7

Donde las ecuaciones deben cumplir:

$$0 \leq R_{aj}^2 \leq R^2 \leq 1$$

Estos coeficientes cuantifican el porcentaje de variabilidad presente en los datos que es explicada por el modelo; por los que son deseables valores cercanos a 100 (modelo Bueno) generalmente para fines de predicción se recomienda un coeficiente de al menos 70%.

Se recomienda el uso del coeficiente de determinación ajustado (R_{aj}^2), cuando existen más de 2 factores, en lugar del coeficiente de determinación (R^2)

Si el R^2 o R_{aj}^2 es al menos del 70%, esto significa que los factores estudiados son responsables o explican un alto porcentaje de la variabilidad observada en la variable respuesta y por lo tanto el efecto atribuible no estudiados más el efecto de errores experimentales fueron pequeños en comparados con el efecto de los factores estudiados.

En caso de que el R^2 o R_{aj}^2 haya sido pequeño $\leq 70\%$ esto indica que el efecto atribuible a los factores estudiados es pequeño comparado con el resto de variación y esto puede deberse a una o varias de las siguientes razones:

- ✓ Los factores estudiados no tienen influencia para explicar las variaciones en la variable respuesta.
- ✓ Los niveles de los factores estudiados son demasiados estrechos, porque el efecto sobre la variable de respuesta al cambiar de un nivel a otro es demasiado pequeño.
- ✓ Otros factores no estudiados en el experimento no se mantuvieron suficientemente fijos por lo que al tener variaciones durante el experimento causaron mucha variación experimental (factores no estudiados).
- ✓ Los errores experimentales y los errores de medición fueron alto.

Se debe tener precaución de analizar cuál de estas razones anteriores influyeron para tener un coeficiente bajo.

1.1.10 Intervalos de confianza para la respuesta promedia en el mejor tratamiento

En general el intervalo de 100 $(1 - \alpha)$ % de confianza para la respuesta promedia sobre el punto $x'_0 = (1, x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0k})$ esta dado por:

$$\left[\widehat{Y}_0 - t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\widehat{\sigma}^2 (x'_0 (X \setminus X)^{-1} x_0)}, \widehat{Y}_0 + t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\widehat{\sigma}^2 (x'_0 (X \setminus X)^{-1} x_0)} \right]$$

Ecuación 8

Donde:

p: Es el numero de terminos del modelo ajustado, contando tambien el termino independiente β_0 .

N: Total de datos Experimentales.

N – p: Grado de libertad.

X: Es la matriz de coeficiente de los contrastes de cada efecto incluido en el modelo, expresada en notacion (-1 0 1) y aumentado con una primera columna de unos.

σ^2 : Cuadrado medio del error (CM_E) es un estimador de la varianza residual que se obtiene de la tabla de ANOVA.

Y₀: valor predicho utilizando los coeficientes del tratamiento ganador o tratamiento en estudio.

También se puede obtener un intervalo de confianza para las mediciones futuras sobre el mejor tratamiento. En general el intervalo de confianza para la predicción de una nueva observación sobre el punto $x'_0 = (1, x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0k})$ esta dado por:

$$\left[\widehat{Y}_0 - t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\widehat{\sigma}^2 (1 + x'_0 (X \setminus X)^{-1} x_0)}, \widehat{Y}_0 + t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\widehat{\sigma}^2 (1 + x'_0 (X \setminus X)^{-1} x_0)} \right]$$

Ecuación 9

Donde:

p, N, N – p, X, σ^2 , Y₀: Son los mismos que el intervalo anterior.

1.1.11 ANOVA desglosado para un Diseño 3^3

A continuación se presenta la tabla de ANOVA y la tabla de ANOVA DESGLOSADO. ⁽¹⁰⁾

ANOVA		ANOVA DESGLOSADO	
<i>Fuente de Variación</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Fuente de Variación</i>	<i>Grados de Libertad</i>
A	(3-1)	A_L	1
		A^2	1
B	(3-1)	B_L	1
		B^2	1
C	(3-1)	C_L	1
		C^2	1
AB	(3-1)(3-1)	$A_L B_L$	1
		$A^2 B_L$	1
		$A_L B^2$	1
		$A^2 B^2$	1
AC	(3-1)(3-1)	$A_L C_L$	1
		$A^2 C_L$	1
		$A_L C^2$	1
		$A^2 C^2$	1
BC	(3-1)(3-1)	$B_L C_L$	1
		$B^2 C_L$	1
		$B_L C^2$	1
		$B^2 C^2$	1
ABC	(3-1)(3-1)(3-1)	$A_L B_L C_L$	1
		$A^2 B_L C_L$	1
		$A_L B^2 C_L$	1
		$A^2 B^2 C_L$	1
		$A_L B_L C^2$	1
		$A^2 B_L C^2$	1
		$A_L B^2 C^2$	1
		$A^2 B^2 C^2$	1
ERROR	$3^3(2 - 1)$	ERROR	$3^3(2 - 1)$
TOTAL	$(3^3 2) - 1$	TOTAL	$(3^3 2) - 1$

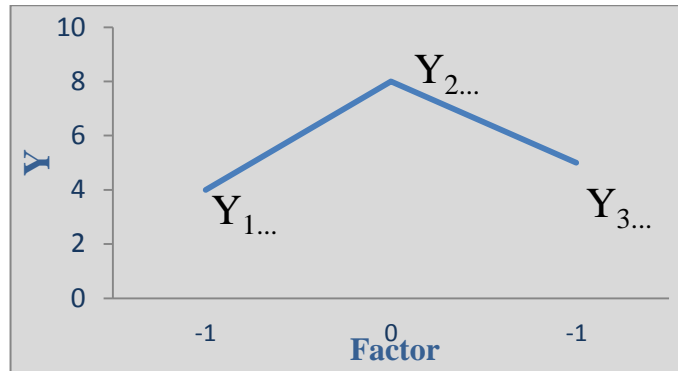
Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 1.2: ANOVA desglosado para un Diseño 3^3

⁽¹⁰⁾ http://issuu.com/jesuseduardog/docs/disenio_factorial_3k

1.1.11.1 Identificación de los coeficientes para el contraste cuadrático y contraste lineal ⁽¹¹⁾ y contraste lineal

La siguiente figura nos ayudara a encontrar los coeficientes de los contraste



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 7: Identificación de los coeficientes para el contraste cuadrático y contraste lineal

➤ **Contraste cuadrático**

$$Y_{3...} - Y_{2...} - Y_{2...} - Y_{1...}$$
$$Y_{3...} - 2Y_{2...} + Y_{1...}$$
$$Y_{1...} - 2Y_{2...} + Y_{3...}$$

Ahora ya tenemos identificado los coeficientes del contraste cuadrático

coeficientes = 1 - 2 1

➤ **Contraste lineal**

$$Y_{3...} - Y_{2...} + Y_{2...} - Y_{1...}$$
$$Y_{3...} + 0 Y_{2...} - Y_{1...}$$
$$-Y_{1...} + (0)Y_{2...} + Y_{3...}$$

Ahora ya tenemos identificado los coeficientes del contraste lineal

coeficientes = -1 0 1

⁽¹¹⁾ GUTIÉRREZ, H. Análisis y Diseño de Experimentos. Pp. 243

1.1.11.2 Contraste

Tabla de coeficientes para los efectos principales

<i>TRATAMIENTO</i>	<i>A_L</i>	<i>A²</i>	<i>B_L</i>	<i>B²</i>	<i>C_L</i>	<i>C²</i>
1	-1	1	-1	1	-1	1
2	0	-2	-1	1	-1	1
3	1	1	-1	1	-1	1
4	-1	1	0	-2	-1	1
5	0	-2	0	-2	-1	1
6	1	1	0	-2	-1	1
7	-1	1	1	1	-1	1
8	0	-2	1	1	-1	1
9	1	1	1	1	-1	1
10	-1	1	-1	1	0	-2
11	0	-2	-1	1	0	-2
12	1	1	-1	1	0	-2
13	-1	1	0	-2	0	-2
14	0	-2	0	-2	0	-2
15	1	1	0	-2	0	-2
16	-1	1	1	1	0	-2
17	0	-2	1	1	0	-2
18	1	1	1	1	0	-2
19	-1	1	-1	1	1	1
20	0	-2	-1	1	1	1
21	1	1	-1	1	1	1
22	-1	1	0	-2	1	1
23	0	-2	0	-2	1	1
24	1	1	0	-2	1	1
25	-1	1	1	1	1	1
26	0	-2	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 1.3: Tabla de coeficientes para los efectos principales para un diseño 3³

Los coeficientes para efectos dobles y efectos triples, nacen de la tabla de coeficientes de efectos principales que se expuso en la tabla anterior.

Para encontrar los contrastes de todos los efectos tanto principales como dobles y triples nos ayudamos de las siguientes formulas:

$$\text{Contraste}_{\text{ lineal}} = \sum_{i=1}^{k_{\text{tratamiento}}} (-Y_{1\dots} + (0)Y_{2\dots} + Y_{3\dots})$$

$$\text{Contraste}_{\text{ cudrático}} = \sum_{i=1}^{k_{\text{Tratamiento}}} (Y_{1\dots} - 2Y_{2\dots} + Y_{3\dots})$$

Ecuación 10

1.1.11.3 Suma de cuadrados

$$A_L = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A_L})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A^2 = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A^2})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$B_L = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } B_L})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$B^2 = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } B^2})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$C_L = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } C_L})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$C^2 = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } C^2})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A_L B_L = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A_L B_L})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$A^2 B_L = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A^2 B_L})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$A_L B^2 = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A_L B^2})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$A^2 B^2 = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A^2 B^2})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$A_L C_L = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A_L C_L})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$A^2 C_L = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A^2 C_L})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$A_L C^2 = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A_L C^2})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$A^2 C^2 = \frac{(\text{contraste}_{\text{ } A^2 C^2})^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijK}^2}$$

$$B_L C_L = \frac{(\text{contraste } _B C_L)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$B^2 C_L = \frac{(\text{contraste } _{B^2} C_L)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$B_L C^2 = \frac{(\text{contraste } _B C^2)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$B^2 C^2 = \frac{(\text{contraste } _{B^2} C^2)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A_L B_L C_L = \frac{(\text{contraste } _{A_L B_L} C_L)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A^2 B_L C_L = \frac{(\text{contraste } _{A^2 B_L} C_L)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A_L B^2 C_L = \frac{(\text{contraste } _{A_L B^2} C_L)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A^2 B^2 C_L = \frac{(\text{contraste } _{A^2 B^2} C_L)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A_L B_L C^2 = \frac{(\text{contraste } _{A_L B_L} C^2)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A^2 B_L C^2 = \frac{(\text{contraste } _{A^2 B_L} C^2)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A_L B^2 C^2 = \frac{(\text{contraste } _{A_L B^2} C^2)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$A^2 B^2 C^2 = \frac{(\text{contraste } _{A^2 B^2} C^2)^2}{n \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{K=0}^3 C_{ijk}^2}$$

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SC_E = SC_T - SC_{A_L} - SC_{A^2} - SC_{B_L} - SC_{B^2} - SC_{C_L} - SC_{C^2} - SC_{A_L B_L} - SC_{A^2 B_L} - SC_{A_L B^2} - SC_{A^2 B^2} -$$

$$- SC_{A_L C_L} - SC_{A^2 C_L} - SC_{A_L C^2} - SC_{A^2 C^2} - SC_{B_L C_L} - SC_{B^2 C_L} - SC_{B_L C^2} - SC_{B^2 C^2} -$$

$$- SC_{A_L B_L C_L} - SC_{A^2 B_L C_L} - SC_{A_L B^2 C_L} - SC_{A^2 B^2 C_L} - SC_{A_L B_L C^2} - SC_{A^2 B_L C^2} - SC_{A_L B^2 C^2} - SC_{A^2 B^2 C^2}$$

Ecuaciones 11 ⁽¹²⁾

⁽¹²⁾ GUTIÉRREZ, H. Análisis y Diseño de Experimentos. Pp. 243

1.1.11.4 Tabla de ANOVA desglosado

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Prueba F</i>	<i>Valor p o probabilidad</i>
A_L	SC_{A_L}	1	$SC_{A_L}/1$	CM_{A_L}/CM_{ERROR}	P (F > F ₀)
A^2	SC_{A^2}	1	$SC_{A^2}/1$	CM_{A^2}/CM_{ERROR}	P (F > F ₀)
B_L	SC_{B_L}	1	$SC_{B_L}/1$	CM_{B_L}/CM_{ERROR}	P (F > F ₀)
B^2	SC_{B^2}	1	$SC_{B^2}/1$	CM_{B^2}/CM_{ERROR}	P (F > F ₀)
C_L	SC_{C_L}	1	$SC_{C_L}/1$	CM_{C_L}/CM_{ERROR}	P (F > F ₀)
C^2	SC_{C^2}	1	$SC_{C^2}/1$	CM_{C^2}/CM_{ERROR}	P (F > F ₀)
$A_L B_L$	$SC_{A_L B_L}$	1	$SC_{A_L B_L}/1$	$CM_{A_L B_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 B_L$	$SC_{A^2 B_L}$	1	$SC_{A^2 B_L}/1$	$CM_{A^2 B_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A_L B^2$	$SC_{A_L B^2}$	1	$SC_{A_L B^2}/1$	$CM_{A_L B^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 B^2$	$SC_{A^2 B^2}$	1	$SC_{A^2 B^2}/1$	$CM_{A^2 B^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A_L C_L$	$SC_{A_L C_L}$	1	$SC_{A_L C_L}/1$	$CM_{A_L C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 C_L$	$SC_{A^2 C_L}$	1	$SC_{A^2 C_L}/1$	$CM_{A^2 C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A_L C^2$	$SC_{A_L C^2}$	1	$SC_{A_L C^2}/1$	$CM_{A_L C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 C^2$	$SC_{A^2 C^2}$	1	$SC_{A^2 C^2}/1$	$CM_{A^2 C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$B_L C_L$	$SC_{B_L C_L}$	1	$SC_{B_L C_L}/1$	$CM_{B_L C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$B^2 C_L$	$SC_{B^2 C_L}$	1	$SC_{B^2 C_L}/1$	$CM_{B^2 C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$B_L C^2$	$SC_{B_L C^2}$	1	$SC_{B_L C^2}/1$	$CM_{B_L C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$B^2 C^2$	$SC_{B^2 C^2}$	1	$SC_{B^2 C^2}/1$	$CM_{B^2 C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A_L B_L C_L$	$SC_{A_L B_L C_L}$	1	$SC_{A_L B_L C_L}/1$	$CM_{A_L B_L C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 B_L C_L$	$SC_{A^2 B_L C_L}$	1	$SC_{A^2 B_L C_L}/1$	$CM_{A^2 B_L C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A_L B^2 C_L$	$SC_{A_L B^2 C_L}$	1	$SC_{A_L B^2 C_L}/1$	$CM_{A_L B^2 C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 B^2 C_L$	$SC_{A^2 B^2 C_L}$	1	$SC_{A^2 B^2 C_L}/1$	$CM_{A^2 B^2 C_L}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A_L B_L C^2$	$SC_{A_L B_L C^2}$	1	$SC_{A_L B_L C^2}/1$	$CM_{A_L B_L C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 B_L C^2$	$SC_{A^2 B_L C^2}$	1	$SC_{A^2 B_L C^2}/1$	$CM_{A^2 B_L C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A_L B^2 C^2$	$SC_{A_L B^2 C^2}$	1	$SC_{A_L B^2 C^2}/1$	$CM_{A_L B^2 C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
$A^2 B^2 C^2$	$SC_{A^2 B^2 C^2}$	1	$SC_{A^2 B^2 C^2}/1$	$CM_{A^2 B^2 C^2}/CM_{ERROR}$	P (F > F ₀)
Error	SC_{ERROR}	$3^3(n - 1)$	$SC_{ERROR}/3^3(n - 1)$		
Total	SC_{TOTAL}	$3^3n - 1)$			

Fuente: http://issuu.com/jesuseduardog/docs/disenio_factorial_3k

Tabla 1.4: ANOVA desglosado del diseño 3³

1.2 Fermentación alcohólica⁽¹³⁾

Denominada también como fermentación del etanol o fermentación etílica, es un proceso anaeróbico (ausencia de oxígeno) realizado por las levaduras, mohos y algunas clases de bacterias propias de la fruta, que producen cambios químicos en las sustancias orgánicas.

La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ello disociar las moléculas de glucosa y obtener la energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO₂ como desechos consecuencia de la fermentación.

El nombre los microorganismos unicelulares (levaduras) de las frutas, se la conoce con el nombre de *Saccharomyces*.

El proceso, simplificado, de la fermentación alcohólica es:

Azúcares + levaduras, propias del fruto => Alcohol Etílico, Alcohol Metílico, Isopropílico, isobutílico, Isopentílico entre otros alcoholes.

1.2.1 Destilación

La destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla o mosto (fruta fermentada a cierto tiempo), esto es posible gracias al aprovechamiento de los diversos puntos de ebullición, mediante la vaporización y la condensación.

Haciendo uso de la tabla del libro de Química Orgánica de *Morrison y Boyd*, sabemos que tipo de alcohol es el que desea obtenerse:

⁽¹³⁾ http://www.ecured.cu/index.php/Fermentaci%C3%B3n_alcoh%C3%B3lica

TABLA DE ALCOHOLES	
<i>NOMBRE</i>	<i>PUNTO DE EBULLICIÓN °C</i>
Alcohol Metílico	64,5
Alcohol Etílico	78,3
Alcohol Isopropílico	82,5
Alcohol t-Butílico	83
entre otros alcoholes	

Fuente: Química Orgánica de Morrison y Boyd

Tabla 1.5: Tabla de alcoholes

Para nuestra investigación utilizaremos un intervalo de ebullición que va de los 78.3 °C a 82.5 °C, ya que el objetivo es obtener alcohol etílico. ⁽¹⁴⁾

Nota: Los aguardientes son aquellas bebidas alcohólicas obtenidas por el proceso de destilación de un fermentado alcohólico de frutas.

1.2.2 Aparato de destilación

Un aparato de destilación incluye:

Reverbero: proporciona calor a la mezcla o mosto al destilar, además dicho reverbero posee un controlador de calor.

Balón de destilación: Es el recipiente donde se coloca la mezcla o mosto, el balón deberá contener pequeños trozos de vidrio transparente para evitar sobresaltos repentinos por sobrecalentamientos.

Termómetro: el bulbo del termómetro siempre se ubica a la misma altura que la salida a la entrada del refrigerador o condensador, para saber si la temperatura es la real. Puede ser

⁽¹⁴⁾ Morrison, R., Química Orgánica, Ed 5ª edición Pp. 625

necesario un tapón de goma para sostener al termómetro y evitar que se escapen los gases (muy importante cuando se trabaja con líquidos inflamables).

Tubo refrigerante: también conocido como *condensador*, es un aparato de vidrio, que se usa para condensar los vapores que se desprenden del balón de destilación, por medio de un líquido refrigerante que circula por éste.

Dicho aparato constan de 2 partes:

1.- Entrada de agua, el líquido siempre debe entrar por la parte inferior, para que el tubo permanezca lleno con agua.

2.- Salida de agua, casi siempre puede conectarse la salida de uno a la entrada de otro (conexión en serie), el agua siempre de estar en constante circulación por ende, así como entra el agua debe salir, esto condensa el vapor, y lo convierte en líquido.

Recolección del líquido, Una vez que el vapor ha sido condensado los vapores, se recoge el líquido en un balón, u otro recipiente.

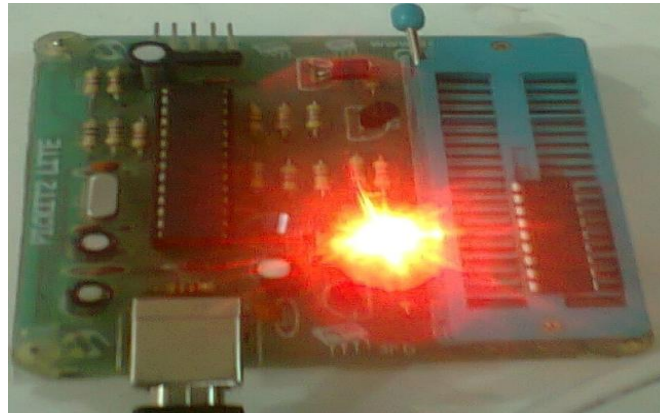
Nota: en nuestra investigación el líquido obtenido será el Alcohol Etilico, el cual será medido en mililitros (ml). Cabe señalar que 1000 ml equivale a un litro.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Figura 8: Aparato de destilación.

1.3 Control de temperatura

Para poder controlar las temperaturas consideradas para la investigación las cuales fueron de 20 °C, 25 °C y 30 °C se hará uso de la plataforma de hardware libre conocido como “ARDUINO”



Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Figura 9: Hardware libre ARDUINO.

Arduino es una herramienta para hacer que los ordenadores puedan sentir y controlar el mundo físico a través del ordenador personal. Es una plataforma de desarrollo de computación física (physical computing) de código abierto, basada en una placa con un sencillo micro controlador y un entorno de desarrollo para crear software (programas) para la placa Arduino. Se puede usar Arduino para crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de interruptores, sensores y controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos.

El lenguaje de programación del Arduino es un entorno de programación multimedia.⁽¹⁵⁾

⁽¹⁵⁾ <http://arduino.cc/es/Guide/Introduction>

CAPÍTULO II

2 PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

2.1 Lugar de experimentación

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en:

- **Provincia:** Chimborazo
- **Cantón:** Riobamba
- **Dirección:** Panamericana Sur km 1 ½
- **Barrio:** Juan Montalvo

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Materiales

<i>Material</i>	
Manguera corrugada de 1/4	54 Botellas de vidrio, de 1 ¼ litro
3 Contenedores con sus respectivas tapas	Taladro
Papel aluminio	Balanza digital
Zunchos	Reloj digital
3 Niquelinas con sus respectivos soportes	3 Termómetros digitales
1 Ventilador de Pc	Silicona
Arduino	3 Galones de agua
3 Sensores de temperatura	Fundas plásticas
3 Rele	Martillo
Cables	Guantes de goma
6 Equipos de destilación	Taco Baker

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 2.1: Materiales a utilizar

<i>Frutas</i>	<i>Equipo</i>
Tomate de árbol	Computador
Frutilla	Cámara digital
Mora	Pen driver

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 2.2: Frutas y equipos a emplear

2.2.1.1 Factores en estudio

FACTORES:	NIVELES CODIFICADOS	NIVELES ORIGINALES
A: Fruta	A bajo (-1)	Tomate de Árbol
	A medio (0)	Frutilla
	A alto (1)	Mora
B: Tiempo	B bajo (-1)	14 días
	B medio (0)	21 días
	B alto (1)	28 días
C: Temperatura	C bajo (-1)	20 °C
	C medio (0)	25 °C
	C alto (1)	30 °C

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 2.3: Niveles codificados y originales

2.2.1.2 Tratamientos

Se tendrá un total de 27 tratamientos con 2 réplicas que resultan de la combinación de los niveles de los factores en estudio.

N°	Tratamiento			Cantidad destilada de alcohol etílico (ml)	
	A (Fruta)	B (Tiempo)	C (Temperatura)	Primera Replica	Segunda Replica
1	-1	-1	-1		
2	0	-1	-1		
3	1	-1	-1		
4	-1	0	-1		

5	0	0	-1		
6	1	0	-1		
7	-1	1	-1		
8	0	1	-1		
9	1	1	-1		
10	-1	-1	0		
11	0	-1	0		
12	1	-1	0		
13	-1	0	0		
14	0	0	0		
15	1	0	0		
16	-1	1	0		
17	0	1	0		
18	1	1	0		
19	-1	-1	1		
20	0	-1	1		
21	1	-1	1		
22	-1	0	1		
23	0	0	1		
24	1	0	1		
25	-1	1	1		
26	0	1	1		
27	1	1	1		

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 2.4: Matriz de Diseño 3^3 con dos replicas

2.2.1.3 Unidad experimental

Variable respuesta: cantidad destilada de alcohol etílico

Factores de interés: frutas con tres niveles
tiempo de fermentación con tres niveles y
temperatura con tres niveles

Unidad experimental: fermentación alcohólica

Número de tratamientos: 27

Número de réplicas (n): 2

2.2.2 Métodos de manejo del experimento

1.- Preparación de contenedores.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 10: Contenedores para llevar a cabo el experimento

Para realizar el experimento se necesitó de 3 contenedores los mismos que se utilizó para poder controlar las temperaturas las cuales son: 20 °C, 25 °C y 30 °C. Los contenedores fueron forrados con papel aluminio por la parte externa e interna de tal forma que el calor se distribuya uniformemente. A menos de 20 °C imposible que se fermente, a más de 30 °C no se desarrolla bien, es decir que las levaduras se mueren.

2.- Uso del termómetro digital.

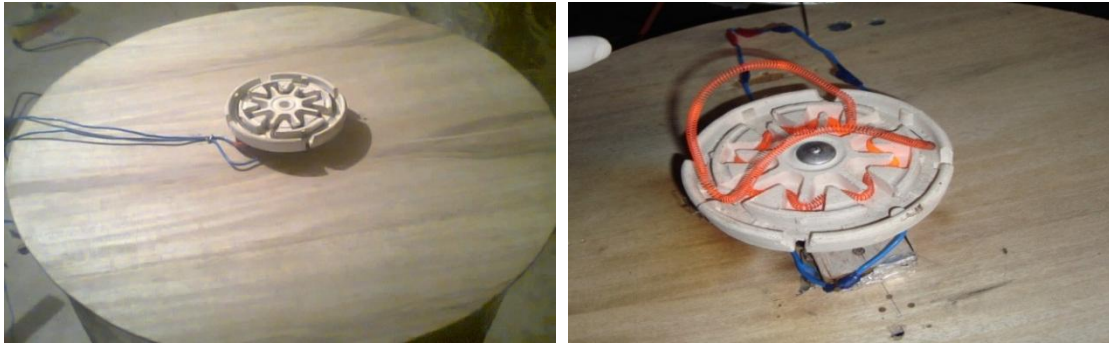


Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 11: Termómetro digital

Se utilizó 3 termómetro digital para poder cuantificar la temperatura en cada uno de los contenedores.

3.- Aplicación de la niquelina a cada contenedor.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 12: Niquelinas

Para poder controlar las temperaturas propuestas, nos ayudaremos de las niquelinas las cuáles funcionan con 110 voltios, cada niquelina será colocado en su respectivo soporte, una vez terminado con este paso se procederá a colocar en el centro de cada tapa de los contenedores, para así poder controlar 20 °C, 25 °C y 30 °C.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 13: Ventilador y Niquelina

En los días que se ejecutó el experimento la temperatura ambiente superaba los 20 °C, llegando aproximadamente a los 23 °C, envista de este suceso se procedió a colocar un ventilador en la tapa del contenedor de 20 °C de esta manera se consiguió establecer la temperatura de 20 °C.

4.- Programación del Arduino



Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Figura 14: Configuración de ARDUINO

Cada contenedor tendrá en su interior una temperatura la cual será asignada mediante la programación del hardware libre “Arduino”, esto nos permitirá controlar las distintas temperaturas de manera automática las 24 horas del día durante el tiempo requerido.

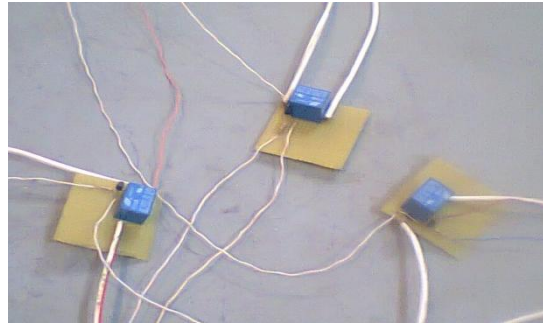
5.- Sensores de temperatura LM 35



Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Figura 15: Sensores de temperatura LM 35

Se utilizó 3 sensores de temperatura LM 35 para cada contenedor, los sensores son los encargados de informar al “Arduino” que la temperatura asignada mediante la programación ha disminuido o aumentado.

6.- Rele



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 16: Rele

El *Rele* es un interruptor de encendido y apagado quien permite que se active o se desactive las niquelinas, de esta manera se logra temperaturas constantes en el interior de cada contenedor.

Cuando los sensores LM 35 detectan temperaturas superiores o inferiores a las establecidas envía una señal el “Arduinio” el cual a su vez reacciona enviando una señal al Rele el cual encenderá o pagara la niquelina de pendiendo del caso.

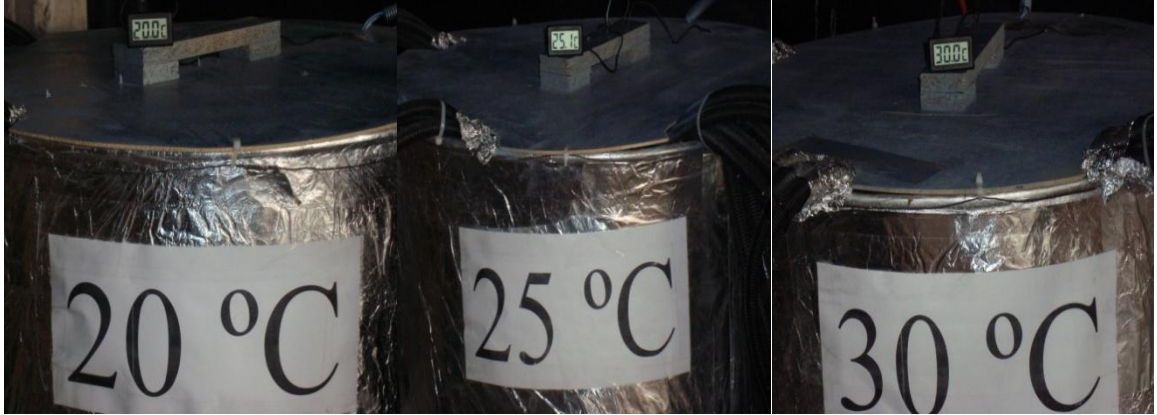
7.- Tablero de control



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 17: Tablero de control del sistema de control de temperatura

El tablero de control es el encargado de controlar las 3 diferentes temperaturas propuestas para nuestra investigación de manera automática.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 18: Contenedores expuestos a las distintas temperaturas

Nuestro tablero de control necesita de una tolerancia de ± 0.5 °C.

Por ende las temperaturas oscilarán entre:

19.5 °C y 20.5 °C para 20 °C

24.5 °C y 25.5 °C para 25 °C y

29.5 °C y 30.5 °C para 30 °C

2.3 Preparación de los tratamientos

1.- Envases para los tratamientos



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 19: Envases

Para llevar a cabo la experimentación se necesitó de 54 botellas de vidrio de 1 ¼ litro para la fermentación. Son 54 botellas ya que el experimento se realizó con 2 replicas

2.- frutos



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 20: Frutas

Como nuestra investigación se basa en utilizar los frutos de las zonas rurales del cantón Guaranda y el experimento se realizó en la ciudad de Riobamba, se procedió a importar las 3 variedades de frutas las cuales son: Mora, Frutilla y Tomate de árbol, de la ciudad de Guaranda a la ciudad de Riobamba.

3.- preparación de los frutos para su posterior envasado



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 21: Selección de frutas

A la mora, a la frutilla y al tomate de árbol se les procedió lavarlas y a quitarles sus hojas.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 22: Preparación de las frutas para el envasado

Luego se procedió a picar en cubitos a la mora y a la frutilla para llevar a cabo la fermentación, mientras que para el tomate de árbol se procedió a pelarla y extraer sus pepas ya que antes de llevar a cabo el experimento se realizó algunas pruebas dichas pruebas revelaron que las cascaras y las pepas no son adecuadas para obtener alcohol etílico. Una vez peladas y extraídas sus pepas se procedió a picarlas en cubitos para llevar a cabo la fermentación con el tomate de árbol.

4.- Envasado

Para el envasado necesitamos una balanza digital, para colocar 1 libra de fruta por cada tratamiento.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 23: Medición del peso de frutas

Basándonos en Orden aleatorizado de las corridas experimentales empezamos el envasado con las frutas para llevar a cabo la fermentación, además de eso llevamos un registro de la fechas de aplicación y permanencia de los tratamientos.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Figura 24: Envasado de las frutas

Una vez terminado de colocar la fruta en la botella se procede a sellarlo con su propia tapa, pero cada tapa poseerá una manguera arrugada la cual sirve para expulsar el CO₂ producido por la fermentación. Además de que la botella se borrará con 2 funda plástica de color negro, esto no permitirá que la luz solar o la luz artificial afecten la fermentación.

Nota: una fermentación se lleva a cabo en ausencia de oxígeno y sin la presencia de la luz solar.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Figura 25: Sellado de envases

5.- Ubicación de cada fruto envasado en los correspondientes contenedores

Para poner la fruta correspondiente, al contenedor correspondiente y dejarlo por los días correspondientes nos ayudaremos del orden aleatorizado de las corridas experimentales.

Cabe señalar que como solo se dispondrá de 6 equipos de destilación se necesitara de 3 días de envasado y de ubicación en sus correspondientes contenedores.

Por la mañana se embazaran 6 y se procederá a colocar en su respectivo contenedor, al medio día otros 6 y se procederá a colocar en su respectivo contenedor y por la tarde se embazaran otros 6 y de igual forma se colocar en su respectivo contenedor.

Este evento se lo realizará por los 3 días que son necesarios para fermentar y destilar los 54 tratamientos.

La siguiente fotografía fue tomada al cuarto día desde que se empero con el primer embazado, se puede observar los 54 tratamientos ya en proceso de fermentación.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 26: Puesta en marcha de la fermentación

2.4 Destilación

La destilación es el último de los pasos para la obtención del alcohol etílico, y por ende la obtención de los datos para su posterior análisis.

1.- Ayudados de la tabla Fechas de aplicación y permanencia de los tratamientos, la cual a su vez está basada en la tabla de orden aleatorizado de las corridas experimentales,

procedemos a destilar a los tratamientos que correspondan a 14 días, a los 21 días y a los 28 días, según nos indique dicha tabla, cabe señalar que la tabla también nos indica la hora exacta de salida.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 27: inicio de proceso de fermentación correspondiente a los días establecidos

2.- Una vez identificado el tratamiento, se procede a pasar al aparato de destilación.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 28: Puesta a punto para destilación

3.- Cuando el mosto llega al punto de ebullición de los 78.3 °C se procede a recolectar el alcohol etílico, el cual será medido con ayuda de las probetas, para lo se utilizara 2 tipos de probeta la una de escala grande y la otra de una escala más pequeña, con el uso de estas 2

probetas seremos más exactos a la hora de saber la cantidad destilada de alcohol etílico de cada tratamiento.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 29: medición de la cantidad destilada de alcohol etílico

4.- Una vez determinado la cantidad destilada de alcohol etílico se procede a registrar esta información valiosa en la tabla de orden aleatorizado de las corridas experimentales.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 30: registro de los datos cantidades de alcohol

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO, INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y DIAGNÓSTICO DEL MODELO

3.1 Datos experimentales

Los datos recolectados de la experimentación fueron medidos en mililitros (ml):

<i>Matriz de diseño</i>					
N°	Tratamiento			Cantidad destilada de alcohol étlico (ml)	
	A (Fruta)	B (Tiempo)	C (Temperatura)	Primera Replica	Segunda Replica
1	-1	-1	-1	18,9	18,3
2	0	-1	-1	26	25,3
3	1	-1	-1	27,9	27
4	-1	0	-1	9,7	11
5	0	0	-1	41	37
6	1	0	-1	18	20,8
7	-1	1	-1	12	11
8	0	1	-1	22,6	24
9	1	1	-1	30	27
10	-1	-1	0	22	23,6
11	0	-1	0	25	26,1
12	1	-1	0	30,3	30
13	-1	0	0	8	10,2
14	0	0	0	36,5	38,8
15	1	0	0	41,5	42
16	-1	1	0	17	22
17	0	1	0	35	41
18	1	1	0	7,6	8

19	-1	-1	1	16,2	15,5
20	0	-1	1	20,7	19,9
21	1	-1	1	53	52,8
22	-1	0	1	28	30
23	0	0	1	6,5	5
24	1	0	1	29,3	31
25	-1	1	1	17,1	15
26	0	1	1	9,5	12
27	1	1	1	20	17

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.1: Cantidad destilada de alcohol etílico medido en mililitros

3.2 Diseño Trifactorial

Variable respuesta: Cantidad destilada de alcohol etílico

Factores de interés: Factor A (fruta) con tres niveles

Factor B (tiempo de fermentación) con tres niveles y

Factor B (temperatura) con tres niveles

Unidad experimental: Fermentación alcohólica

Número de tratamientos: 27

Numero de réplicas (n): 2

3.2.1 Análisis Estadístico

Ya que existen tres factores: El factor A (fruta) con “3” niveles, El factor B (tiempo) con “3” niveles y El factor C (temperatura) con “3” niveles, además de tener “2” réplicas en el experimento. La representación de los datos observados para un Diseño Trifactorial tendrá la siguiente forma:

FACTOR A (Fruta)	FACTOR B (Tiempo)								
	14 días			21 días			28 días		
	FACTOR C (Temperatura)			FACTOR C (Temperatura)			FACTOR C (Temperatura)		
	20 °C	25 °C	30 °C	20 °C	25 °C	30 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Tomate de Árbol	18,9	22	16,2	9,7	8	28	12	17	17,1
	18,3	23,6	15,5	11	10,2	30	11	22	15
Frutilla	26	25	20,7	41	36,5	6,5	22,6	35	9,5
	25,3	26,1	19,9	37	38,8	5	24	41	12
Mora	27,9	30,3	53	18	41,5	29,3	30	7,6	20
	27	30	52,8	20,8	42	31	27	8	17

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.2: Representación de los datos observados para un Diseño 3³

1.- MODELO ESTADÍSTICO PARA UN DISEÑO 3³

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

$$i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3 \quad k = 1,2,3$$

Dónde:

y_{ijkl} : Cantidad destilada de alcohol etílico para el i-ésimo nivel del factor A (fruta), el j-ésimo nivel del factor B (tiempo), el k-ésimo nivel del factor C (temperatura) y la l-ésima réplica.

μ : Cantidad media destilada de alcohol etílico.

α_i : Efecto del i-ésimo nivel del factor A (fruta).

β_j : Efecto del j-ésimo nivel del factor B (tiempo).

γ_k : Efecto del k-ésimo nivel del factor C (temperatura).

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A (fruta) y el j-ésimo nivel del factor B (tiempo).

$(\alpha\gamma)_{ik}$: Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A (fruta) y el k-ésimo nivel del factor C (temperatura).

$(\beta\gamma)_{jk}$: Efecto de la interacción entre el j-ésimo nivel del factor B (tiempo) y el k-ésimo nivel del factor C (temperatura).

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$: Efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A (fruta), j-ésimo nivel del factor B (tiempo) y el k-ésimo nivel del factor C (temperatura).

ε_{ijkl} : Error aleatorio asociado a la observación y_{ijkl}

2.- PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS

FACTOR	FORMA ESTADÍSTICA	FORMA VERBAL
FACTOR A (fruta)	$H_0 = \text{efecto_de_A} = 0$ $H_1 = \text{efecto_de_A} \neq 0$	H₀ : La fruta no influye en la cantidad destilada de alcohol etílico. H₁ : La fruta influye en la cantidad destilada de alcohol etílico.
FACTOR B (tiempo)	$H_0 = \text{efecto_de_B} = 0$ $H_1 = \text{efecto_de_B} \neq 0$	H₀ : El tiempo no influye en la cantidad destilada de alcohol etílico. H₁ : El tiempo influye en la cantidad destilada de alcohol etílico
FACTOR C (temperatura)	$H_0 = \text{efecto_de_C} = 0$ $H_1 = \text{efecto_de_C} \neq 0$	H₀ : La temperatura no influye en la cantidad destilada de alcohol etílico. H₁ : La temperatura influye en la cantidad destilada de alcohol etílico.
FACTOR AB	$H_0 = \text{efecto_de_AB} = 0$ $H_1 = \text{efecto_de_AB} \neq 0$	H₀ : La fruta y el tiempo no tienen efecto de interacción sobre la cantidad destilada de alcohol etílico. H₁ : La fruta y el tiempo tienen efecto de interacción sobre la cantidad destilada de alcohol etílico.
FACTOR AC	$H_0 = \text{efecto_de_AC} = 0$ $H_1 = \text{efecto_de_AC} \neq 0$	H₀ : La fruta y la temperatura no tienen efecto de interacción sobre la cantidad destilada de alcohol etílico. H₁ : La fruta y la temperatura tienen efecto de interacción sobre la cantidad destilada de alcohol etílico.
FACTOR BC	$H_0 = \text{efecto_de_BC} = 0$ $H_1 = \text{efecto_de_BC} \neq 0$	H₀ : El tiempo y la temperatura no tienen efecto de interacción sobre la cantidad destilada de alcohol etílico. H₁ : El tiempo y la temperatura tienen efecto de interacción sobre la cantidad destilada de alcohol etílico.
FACTOR ABC	$H_0 = \text{efecto_de_ABC} = 0$ $H_1 = \text{efecto_de_ABC} \neq 0$	H₀ : La fruta el tiempo y la temperatura no tienen efecto de interacción triple sobre la cantidad destilada de alcohol etílico. H₁ : La fruta el tiempo y la temperatura tienen efecto de interacción triple sobre la cantidad destilada de alcohol etílico.

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.3: Planteamiento de las hipótesis

3.- NIVEL DE SIGNIFICANCIA

α : 0.05

4.- DESARROLLO DE UN DISEÑO 3^3

DATOS	
Suma total de los datos (y...)	1270,6
a (número de niveles del factor A)	3
b (número de niveles del factor B)	3
c (número de niveles del factor C)	3
n (número de numero de réplicas)	2
N (número total de observaciones en el experimento)	54

Se procede a calcular con las fórmulas citadas en el numeral 1.1.5 y resulta:

Suma de cuadrados

$$SC_T = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^2 y_{ijkl}^2 - \frac{(1270,6)^2}{(3^3)(2)}$$

$$SC_T = 7014,77$$

$$SC_A = \sum_{i=1}^3 \frac{560918,1}{(3)(3)(2)} - \frac{(1270,6)^2}{(3^3)(2)}$$

$$SC_A = 1265,37$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^3 \frac{547329,58}{(3)(3)(2)} - \frac{(1270,6)^2}{(3^3)(2)}$$

$$SC_B = 510,45$$

$$SC_C = \sum_{k=1}^3 \frac{540711,66}{(3)(3)(2)} - \frac{(1270,6)^2}{(3^3)(2)}$$

$$SC_C = 142,79$$

$$SC_{Subtotales(AB)} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{32320,573}{(3)(2)} - \frac{(1270,6)^2}{(3^3)(2)}$$

$$SC_{AB} = 2423,8259 - 1265,37 - 510,45$$

$$SC_{AB} = 648,00519$$

$$SC_{Subtotales(AC)} = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{33106,647}{(3)(2)} - \frac{(1270,6)}{(3^3)(2)}$$

$$SC_{AC} = 3209,8993 - 1265,37 - 142,79$$

$$SC_{AC} = 1801,74$$

$$SC_{Subtotales(BC)} = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{30884,623}{(3)(2)} - \frac{(1270,6)}{(3^3)(2)}$$

$$SC_{BC} = 987,87593 - 510,45 - 142,79$$

$$SC_{BC} = 334,64$$

$$SC_{Subtotales(ABC)} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \frac{36839,26}{(2)} - \frac{(1270,6)^2}{(3^3)(2)}$$

$$SC_{ABC} = 6942,5126 - 1265,37 - 510,45 - 142,79 - 648,01 - 1801,74 - 334,64$$

$$SC_{ABC} = 2239,52$$

$$SC_E = 7014,77 - 1265,37 - 510,45 - 142,79 - 648,01 - 1801,74 - 334,64 - 2239,52$$

$$SC_E = 72,26$$

Tabla de ANOVA

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Prueba F</i>	<i>Valor Crítico para F</i>	<i>Valor p o Probabilidad</i>
A (fruta)	1265,369259	2	632,68463	236,40306	3,354130829	7,75514E-18
B (tiempo)	510,4514815	2	255,22574	95,365278	3,354130829	5,7743E-13
C (temperatura)	142,7892593	2	71,39463	26,676654	3,354130829	4,03515E-07
AB	648,0051852	4	162,0013	60,531899	2,727765306	4,34266E-13
AC	1801,740741	4	450,43519	168,30542	2,727765306	1,14346E-18
BC	334,6351852	4	83,658796	31,259168	2,727765306	8,9122E-10
ABC	2239,521481	8	279,94019	104,59985	2,305313177	2,71894E-18
Error	72,26	27	2,6762963			
Total	7014,772593	53	132,3542			

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.4: Tabla de ANOVA para el diseño 3³

Interpretación de resultados

La conclusión a la que se llega a través del análisis de varianza en cada uno de los factores de estudio son:

➤ *Respecto a la hipótesis del factor A (fruta)*

En vista que el valor p (4,30E-19) es menor que el nivel de significancia (0,05) se rechaza Ho; es decir, la fruta influye significativamente en la cantidad destilada de alcohol etílico.

➤ *Respecto a la hipótesis del factor B (tiempo)*

En vista que el valor p (3,47E-14) es menor que el nivel de significancia (0,05) se rechaza Ho; es decir, el tiempo influye significativamente en la cantidad destilada de alcohol etílico.

➤ *Respecto a la hipótesis del factor C (temperatura)*

En vista que el valor p (8,64E-07) es menor que el nivel de significancia (0,05) se rechaza H_0 ; es decir, la temperatura influye significativamente en la cantidad destilada de alcohol etílico.

➤ *Respecto a la hipótesis del factor AB*

En vista que el valor p (3,74E-13) es menor que el nivel de significancia (0,05) se rechaza H_0 ; es decir, que la fruta y el tiempo tienen efecto de interacción en la cantidad destilada de alcohol etílico.

➤ *Respecto a la hipótesis del factor AC*

En vista que el valor p (2,11E-19) es menor que el nivel de significancia (0,05) se rechaza H_0 ; es decir, que la fruta y la temperatura tiene efecto de interacción en la cantidad destilada de alcohol etílico.

➤ *Respecto a la hipótesis del factor BC*

En vista que el valor p (2,59E-10) es menor que el nivel de significancia (0,05) se rechaza H_0 ; es decir, que la tiempo y la temperatura tiene efecto de interacción en la cantidad destilada de alcohol etílico.

➤ *Respecto a la hipótesis del factor ABC*

En vista que el valor p (7,83E-19) es menor que el nivel de significancia (0,05) se rechaza H_0 ; es decir, que la fruta, el tiempo y la temperatura tienen un efecto de interacción triple en la cantidad destilada de alcohol etílico.

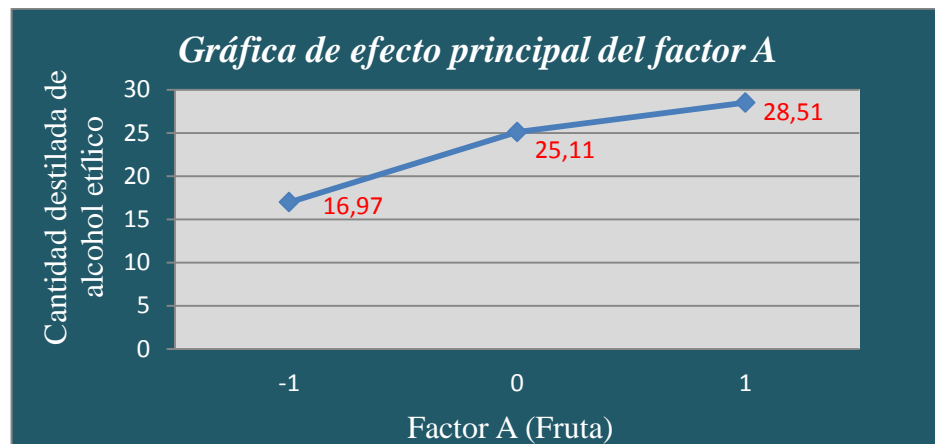
3.3 Gráficas de interacción

En la tabla de ANOVA se presencié la influencia de los factores: fruta, tiempo de fermentación y temperatura sobre la variable respuesta, la cual es la cantidad destilada de

alcohol etílico, por este motivo se procederá a realizar las gráficas de efectos principales, gráficas de interacción dobles y gráficas de interacción triples.

➤ *Gráficas de efectos principales:*

Gráfica de efecto principal del factor A (fruta)



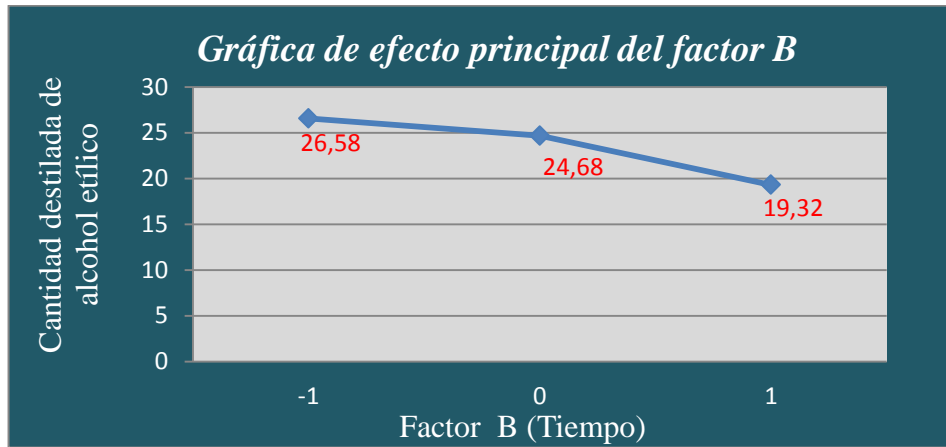
Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 31: Gráfica de efecto principal del factor A (fruta)

Al cambiar la fruta de tomate de árbol (nivel bajo) a frutilla (nivel medio), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta significativamente.

Cuando la fruta cambia de frutilla (nivel medio) a mora (nivel alto), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta.

Gráfica de efecto principal del factor B (tiempo)



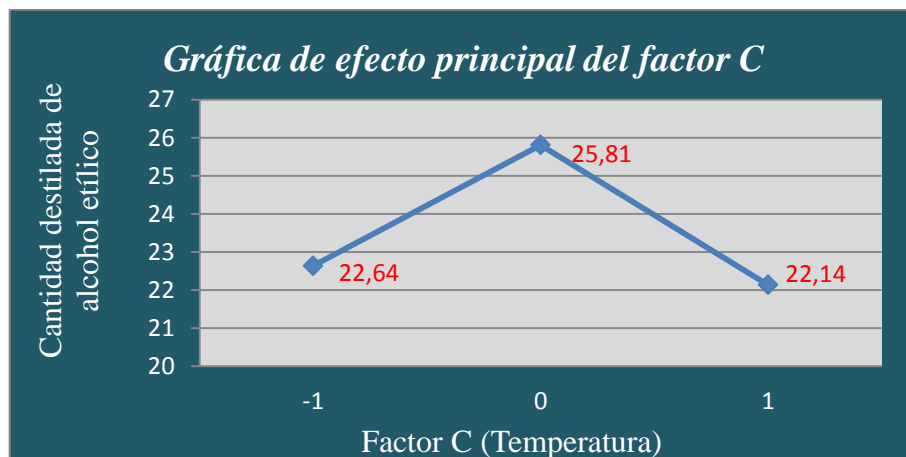
Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 32: Gráfica de efecto principal del factor B (tiempo)

Al cambiar el tiempo de 14 días (nivel bajo) a 21 días (nivel medio), la cantidad destilada de alcohol etílico disminuye.

Cuando el tiempo cambia de 21 días (nivel medio) a 28 días (nivel alto), la cantidad destilada de alcohol etílico disminuye significativamente.

Gráfica de efecto principal del factor C (temperatura)



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

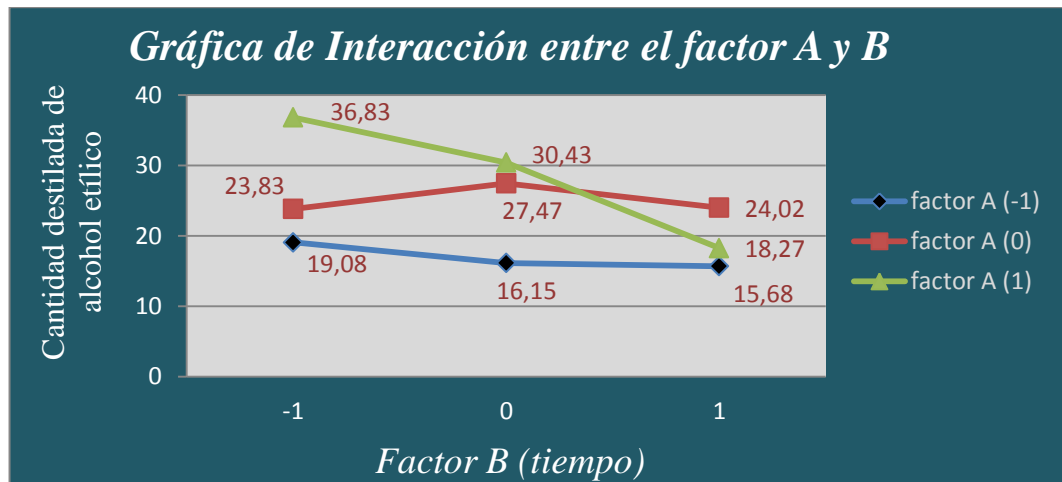
Figura 33: Gráfica del efecto principal del factor C (temperatura)

Al cambiar la temperatura de 20 °C (nivel bajo) a 25 °C (nivel medio), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta significativamente.

Cuando la temperatura cambia de 25 °C (nivel medio) a 30 °C (nivel alto), la cantidad destilada de alcohol etílico disminuye significativamente.

➤ *Gráficas de interacción dobles:*

Gráfica de interacción entre el factor A y B



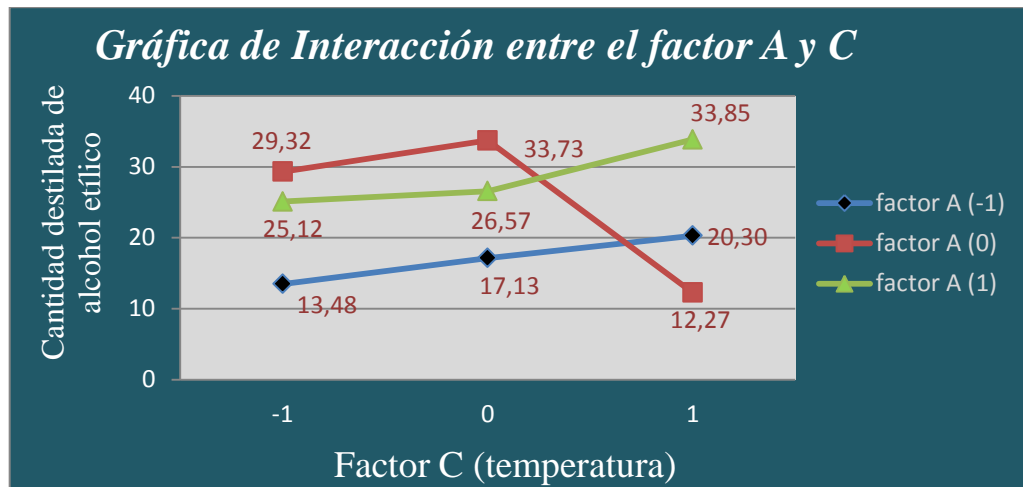
Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 34: Gráfica de interacción doble entre el factor A (fruta) y B (tiempo)

Al cambiar el tiempo (factor B) de 14 días (nivel bajo) a 21 días (nivel medio), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta levemente con la frutilla (Factor A, nivel medio), mientras que disminuye con el tomate de árbol (factor A, nivel bajo) y la mora (factor A, nivel alto).

Cuando el tiempo cambia de 21 días (nivel medio) a 28 días (nivel alto), la cantidad destilada de alcohol etílico disminuye significativamente con la Mora, mientras que con la frutilla y el tomate de árbol también disminuye pero muy levemente.

Gráfica de interacción entre el factor A y C



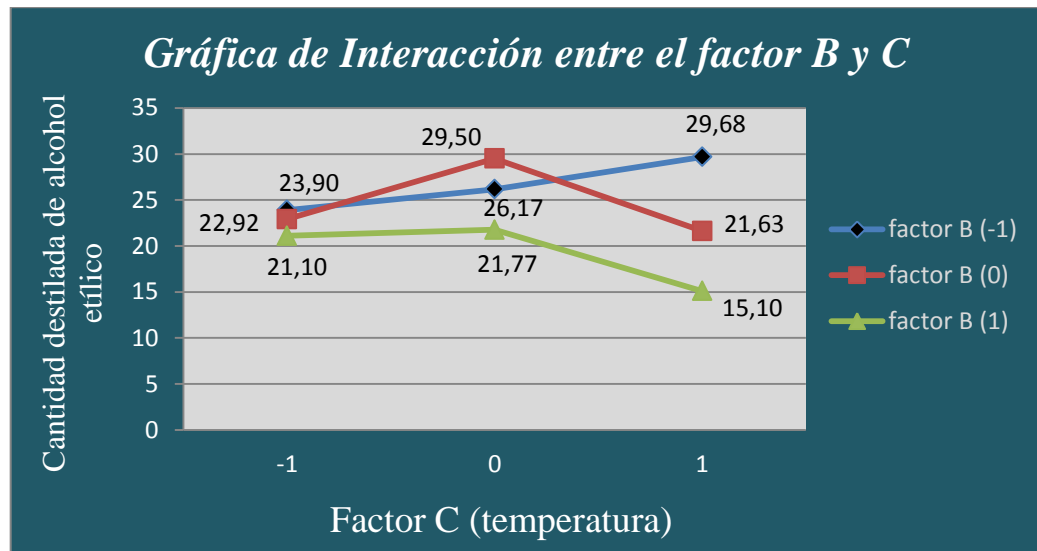
Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 35: Gráfica de interacción doble entre el factor A (fruta) y C (temperatura)

Al cambiar la temperatura (factor C) de 20 °C (nivel bajo) a 25 °C (nivel medio), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta levemente con el tomate de árbol (Factor A, nivel bajo), con la frutilla (Factor A, nivel medio) y con la mora (Factor A, nivel alto).

Cuando la temperatura cambia de 25 °C (nivel medio) a 30 °C (nivel alto), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta significativamente con la mora y el tomate de árbol, mientras que con la frutilla disminuye significativamente.

Gráfica de interacción entre el factor B y C



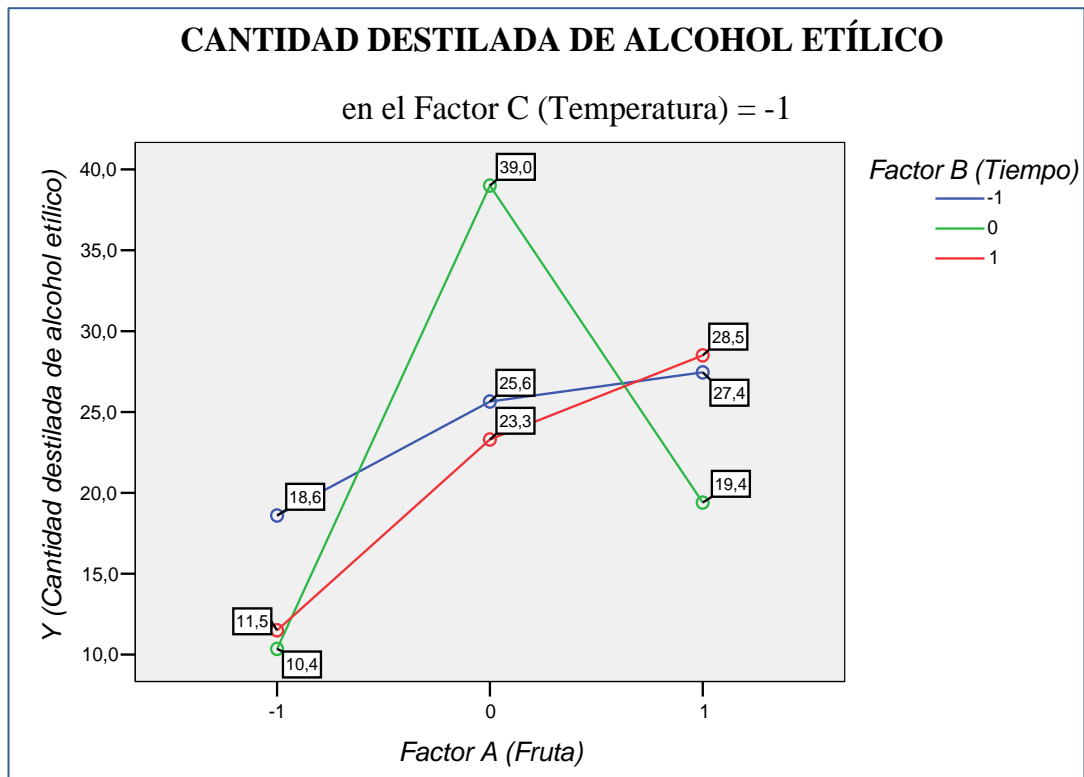
Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 36: Gráfica de interacción doble entre el factor B (tiempo) y C (temperatura)

Al cambiar la temperatura (factor C) de 20 °C (nivel bajo) a 25 °C (nivel medio), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta levemente con los 14 días de fermentación (Factor B, nivel bajo), mientras que aumenta significativamente con 21 días de fermentación (Factor B, nivel medio) y con 28 días de fermentación (factor A, nivel alto) aumenta levemente.

Cuando la temperatura cambia de 25 °C (nivel medio) a 30 °C (nivel alto), la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta significativamente con 14 días de fermentación, mientras que con 21 y 28 días de fermentación disminuye significativamente.

➤ Gráficas de interacción triple:



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 37: Gráfica de interacción triple entre el “factor A”, “factor B” y el “factor C” en su nivel bajo (-1)

Manteniendo la temperatura en 20 °C se observa que:

- Al cambiar la fruta de tomate de árbol a frutilla la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta en promedio de:

18.6 a 25.6 ml con un tiempo de fermentación de 14 días;

10.4 a 39.0 ml con un tiempo de fermentación de 21 días;

11.5 a 23.3 ml con un tiempo de fermentación de 28 días.

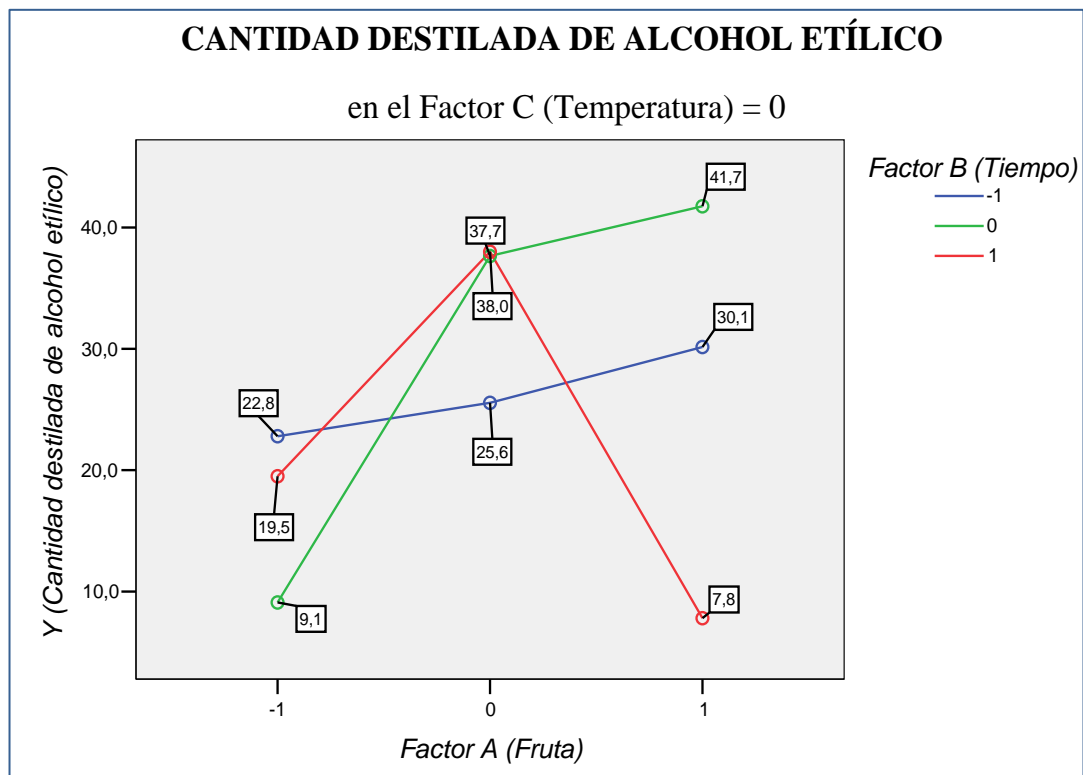
- Al cambiar la fruta de frutilla a mora la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta en promedio de:

25.6 a 27.4 ml con un tiempo de fermentación de 14 días;

23.3 a 28.5 ml con un tiempo de fermentación de 28 días;

Mientras que disminuye en promedio de:

39.0 a 19.4 ml con un tiempo de fermentación de 21 días.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 38: Gráfica de interacción triple entre el “factor A”, “factor B” y el “factor C” en su nivel medio (0)

Manteniendo la temperatura en 25 °C se observa que:

- Al cambiar la fruta de tomate de árbol a frutilla la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta en promedio de:

22.8 a 25.6 ml con un tiempo de fermentación de 14 días;

9.1 a 37.7 ml con un tiempo de fermentación de 21 días;

19.5 a 38.0 ml con un tiempo de fermentación de 28 días.

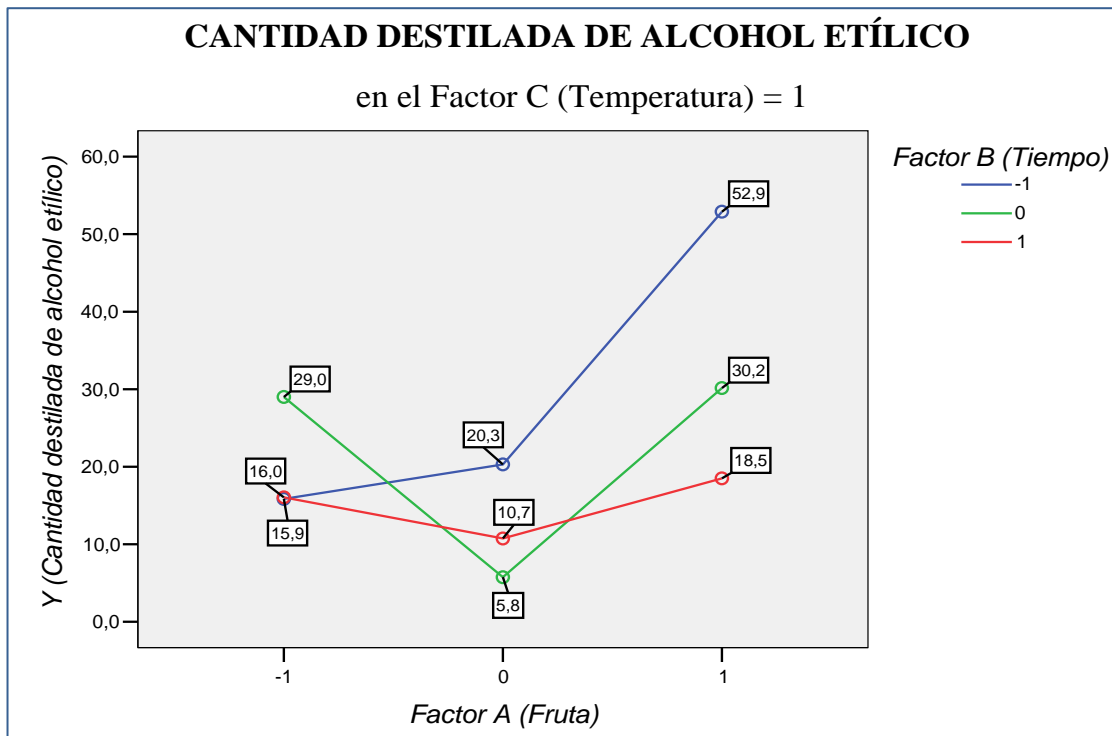
- Al cambiar la fruta de frutilla a mora la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta en promedio de:

25.6 a 30.1 ml con un tiempo de fermentación de 14 días;

37.7 a 41.7 ml con un tiempo de fermentación de 21 días;

mientras que disminuye en promedio de:

38.0 a 7.8 ml con un tiempo de fermentación de 28 días.



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 39: Gráfica de interacción triple entre el “factor A”, “factor B” y el “factor C” en su nivel alto (1)

Manteniendo la temperatura en 30 °C se observa que:

- Al cambiar la fruta de tomate de árbol a frutilla la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta en promedio de:

16.0 a 20.3 ml con un tiempo de fermentación de 14 días;

mientras que disminuye en promedio de:

29.0 a 5.8 ml con un tiempo de fermentación de 21 días;

15.9 a 10.7 ml con un tiempo de fermentación de 28 días.

- Al cambiar la fruta de frutilla a mora la cantidad destilada de alcohol etílico aumenta en promedio de:

20.3 a 52.9 ml con un tiempo de fermentación de 14 días;

5.8 a 30.2 ml con un tiempo de fermentación de 21 días;

10.7 a 18.5 ml con un tiempo de fermentación de 28 días.

Nota. De las tres gráficas precedentes la que contiene el promedio más alto de cantidad destilada de alcohol etílico es la última, promedio que corresponde al mejor tratamiento encontrado mediante el modelo de regresión.

3.4 Modelo de regresión asociado al modelo de efectos.

Se obtuvo el siguiente modelo de regresión ajustado

$$\hat{Y} = 23,53 + (5,77)A + (-3,63)B + (-0,25)C + (-3,79)AB + (0,48)AC + (-2,95)BC + (-5,34)ABC$$

3.5 Coeficientes de determinación y determinación ajustado

- Coeficiente de determinación

- Coeficiente de determinación ajustado

$$R^2 = \frac{SC_{Total} - SC_{Error}}{SC_{Total}} * 100\%$$

$$R_{aj}^2 = \frac{CM_{Total} - CM_{Error}}{CM_{Total}} * 100\%$$

$$R^2 = 98,97\%$$

$$R_{aj}^2 = 97,98\%$$

$$0 \leq R_{aj}^2 \leq R^2 \leq 100$$

$$0 \leq 97,98 \leq 98,97 \leq 100$$

El factor A (Fruta), factor B (tiempo) y el factor C (temperatura), están explicando una gran cantidad de variabilidad de la variable respuesta la cual es la cantidad destilada de alcohol etílico, ya que tenemos un COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN AJUSTADO DEL 97,98%.

En vista de que dicho valor es muy cercano al 100% decimos que el modelo es adecuado para hacer predicciones.

Nota: Se utilizó el coeficiente de determinación ajustado R_{aj}^2 para cuantificar el porcentaje de variabilidad presente en los datos, ya que existen más de 2 factores (variables independientes) presentes en nuestro análisis.

3.6 Tratamiento ganador

Para identificar el tratamiento ganador nos ayudamos del modelo de regresión asociado al modelo de efectos.

<i>A (Fruta)</i>	<i>B (Tiempo)</i>	<i>C(Temperatura)</i>	<i>Y[^]</i>
-1	-1	-1	20,73
0	-1	-1	24,46
1	-1	-1	28,20
-1	0	-1	18,49
0	0	-1	23,78
1	0	-1	29,07
-1	1	-1	16,25
0	1	-1	23,09
1	1	-1	29,94
-1	-1	0	17,60
0	-1	0	27,16
1	-1	0	36,72
-1	0	0	17,76
0	0	0	23,53
1	0	0	29,30
-1	1	0	17,92
0	1	0	19,90
1	1	0	21,88
-1	-1	1	14,47
0	-1	1	29,86
1	-1	1	45,24
-1	0	1	17,03
0	0	1	23,28
1	0	1	29,53
-1	1	1	19,59
0	1	1	16,70
1	1	1	13,82

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.5: Identificación del tratamiento ganador

En vista de que se desea obtener la mayor cantidad destilada de alcohol etílico, se recomienda utilizar, el factor *fruta* en su nivel alto el cual es la *Mora*, el factor *tiempo* en su nivel bajo en cual es *14 días* y el factor temperatura en su nivel alto el cual es 30 °C.

Tratamiento Ganador			
FACTOR:	Fruta (A)	Tiempo (B)	Temperatura (c)
NIVEL CODIFICADO:	1	-1	1
TRATAMIENTO GANADOR:	Mora	14 Días	30 °C

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.6: Tratamiento ganador con los niveles codificados y originales

3.7 Intervalos de confianza para la respuesta promedio en el mejor tratamiento.

Como ya tenemos identificado el tratamiento ganador, el cual se presenta en el literal anterior procedemos:

Primeramente procedemos a situar el punto donde se evaluará el modelo.

Factor	Nivel codificado del Tratamiento Ganador	Punto donde se evaluará el modelo
1	1	1
A	1	1
B	-1	-1
C	1	1
AB	-1	-1
AC	1	1
BC	-1	-1
ABC	-1	-1

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.7: Punto donde se evaluará el modelo

Cálculo del valor predicho utilizando los coeficientes del tratamiento ganador.

$$\hat{Y} = 23,53 + (5,77)A + (-3,63)B + (-0,25)C + (-3,79)AB + (0,48)AC + (-2,95)BC + (-5,34)ABC$$

$Y_0 = 45,24$ (cantidad promedio destilada de alcohol etílico en el mejor tratamiento)

Seguidamente se presenta los datos.

<i>Datos</i>	
P =	8
N =	54
N - P =	46
$Y_0 =$	45,24
$\sigma^2 =$	2,68
Intervalo de confianza =	95%
$t_{\alpha/2; (N-p)} =$	2,01

Punto donde se evaluará el modelo.

$$x_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Matriz de coeficiente de los contrastes de cada efecto incluido en el modelo, expresada en notación (-1 0 1) y aumentado con una primera columna de unos.

Son en total 54 datos experimentales ya que tenemos un diseño 3^3 con 2 réplicas

$$X = \begin{bmatrix} | & | & | & | & | & | & | & | \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ | & | & | & | & | & | & | & | \end{bmatrix}$$

➤ *Intervalo de confianza para la media al 95%*

$$\left[\hat{Y}_0 - t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (x_0' (X'X)^{-1} x_0)}, \hat{Y}_0 + t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (x_0' (X'X)^{-1} x_0)} \right]$$

LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
43,47	47,01

Con una confianza del 95% la cantidad destilada promedio de alcohol etílico está entre 43,47 y 47,01 mililitros en el mejor tratamiento (Mora, 14 Días, 30 °C).

➤ *Intervalo de predicción al 95%*

$$\left[\hat{Y}_0 - t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (1 + x_0' (X'X)^{-1} x_0)}, \hat{Y}_0 + t_{\alpha/2; N-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 (1 + x_0' (X'X)^{-1} x_0)} \right]$$

<i>LIMITE INFERIOR</i>	<i>LIMITE SUPERIOR</i>
41,50088611	48,97920648

Con una confianza del 95% se observarán en el futuro cantidades destiladas de alcohol etílico en el mejor tratamiento entre 41,50 y 48,98 mililitros.

3.9 ANOVA desglosado

1.- *Contraste:*

Con las formulas citadas en el numeral **1.1.12.2** se procedió a encontrar los contrastes.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Contraste</i>
A_L	207,7
A^2	-85,1
B_L	-130,7
B^2	-62,3
C_L	-9
C^2	-123,2
$A_L B_L$	-91
$A^2 B_L$	-134
$A_L B^2$	-49,4
$A^2 B^2$	65,2
$A_L C_L$	11,5
$A^2 C_L$	297,9
$A_L C^2$	37,9
$A^2 C^2$	342,7
$B_L C_L$	-70,7
$B^2 C_L$	14,1
$B_L C^2$	-51,5
$B^2 C^2$	136,9
$A_L B_L C_L$	-85,5
$A^2 B_L C_L$	-27,5

$A_L B^2 C_L$	58,9
$A^2 B^2 C_L$	-277,5
$A_L B_L C^2$	23,3
$A^2 B_L C^2$	169,3
$A_L B^2 C^2$	368,5
$A^2 B^2 C^2$	52,9

2.- Suma de cuadrados:

Con las fórmulas citas en el numeral **1.1.12.3** se procedió a encontrar las sumas de cuadrados.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>
A_L	1198,31
A^2	67,06
B_L	474,51
B^2	35,94
C_L	2,25
C^2	140,54
$A_L B_L$	345,04
$A^2 B_L$	249,39
$A_L B^2$	33,89
$A^2 B^2$	19,68
$A_L C_L$	5,51
$A^2 C_L$	1232,56
$A_L C^2$	19,95
$A^2 C^2$	543,72
$B_L C_L$	208,27
$B^2 C_L$	2,76
$B_L C^2$	36,84
$B^2 C^2$	86,77
$A_L B_L C_L$	456,89

$A^2 B_L C_L$	15,76
$A_L B^2 C_L$	72,28
$A^2 B^2 C_L$	534,77
$A_L B_L C^2$	11,31
$A^2 B_L C^2$	199,05
$A_L B^2 C^2$	943,00
$A^2 B^2 C^2$	6,48
Error	72,26
Total	7014,77

3.- Tabla de ANOVA DESGLODADO

Ayudados por el literal 1.1.12.4 encontramos la tabla de ANOVA DESGLOSADO

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Prueba F</i>	<i>Valor Crítico para F</i>	<i>Valor p o Probabilidad</i>
A_L	1198,3136	1	1198,313611	447,75073	4,21000847	2,4276E-18
A^2	67,055648	1	67,05564815	25,05539	4,21000847	3,0006E-05
B_L	474,51361	1	474,5136111	177,30235	4,21000847	2,2156E-13
B^2	35,93787	1	35,93787037	13,428211	4,21000847	0,00106761
C_L	2,25	1	2,25	0,8407141	4,21000847	0,3673105
C^2	140,53926	1	140,5392593	52,512593	4,21000847	8,5594E-08
$A_L B_L$	345,04167	1	345,0416667	128,92506	4,21000847	8,6994E-12
$A^2 B_L$	249,38889	1	249,3888889	93,184334	4,21000847	3,011E-10
$A_L B^2$	33,893889	1	33,89388889	12,664476	4,21000847	0,00140413
$A^2 B^2$	19,680741	1	19,68074074	7,3537227	4,21000847	0,01149788
$A_L C_L$	5,5104167	1	5,510416667	2,0589711	4,21000847	0,16279537
$A^2 C_L$	1232,5613	1	1232,56125	460,54738	4,21000847	1,694E-18
$A_L C^2$	19,950139	1	19,95013889	7,4543835	4,21000847	0,01100627
$A^2 C^2$	543,71894	1	543,7189352	203,16096	4,21000847	4,3989E-14
$B_L C_L$	208,27042	1	208,2704167	77,820388	4,21000847	1,9465E-09
$B^2 C_L$	2,76125	1	2,76125	1,031743	4,21000847	0,31876589
$B_L C^2$	36,836806	1	36,83680556	13,764098	4,21000847	0,00094821
$B^2 C^2$	86,766713	1	86,76671296	32,420444	4,21000847	4,7571E-06
$A_L B_L C_L$	456,89063	1	456,890625	170,7175	4,21000847	3,4561E-13
$A^2 B_L C_L$	15,755208	1	15,75520833	5,8869447	4,21000847	0,02220846

$A_L B^2 C_L$	72,275208	1	72,27520833	27,005683	4,21000847	1,7959E-05
$A^2 B^2 C_L$	534,76563	1	534,765625	199,81555	4,21000847	5,3652E-14
$A_L B_L C^2$	11,310208	1	11,31020833	4,2260673	4,21000847	0,04959499
$A^2 B_L C^2$	199,04507	1	199,0450694	74,373331	4,21000847	3,0736E-09
$A_L B^2 C^2$	943,00174	1	943,0017361	352,35326	4,21000847	5,0518E-17
$A^2 B^2 C^2$	6,4778009	1	6,477800926	2,4204349	4,21000847	0,13140678
Error	72,26	27	2,676296296			
Total	7014,7726	53	132,3541999			

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.8: Tabla de ANOVA desglosado para el diseño 3^3

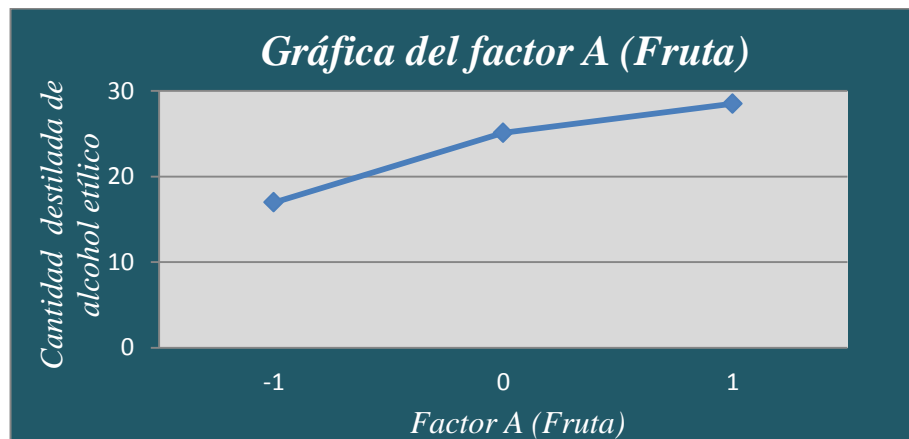
4.- Interpretación de resultados

FACTOR A (FRUTA)

➤ *Respecto al factor A*

En vista de que el valor p ($2,43E-18$) es menor que el nivel de significancia (0,05) se concluye que el factor A (Fruta) influye linealmente en la cantidad destilada de alcohol etílico.

Gráfica del efecto lineal del factor A (Fruta)



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

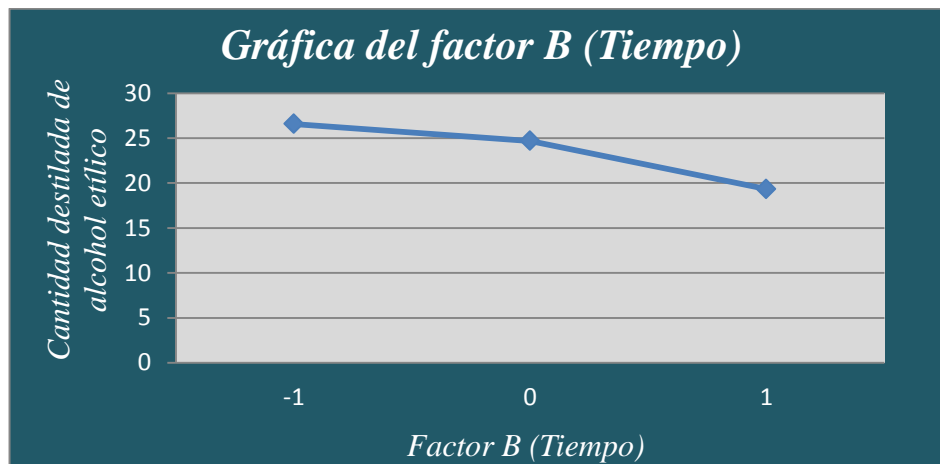
Figura 40: Identificación de la parte lineal o cuadrática del factor A (Fruta)

FACTOR B (TIEMPO)

➤ *Respecto al factor B*

En vista de que el valor p ($2,22E-13$) es menor que el nivel de significancia (0,05) se concluye que el factor B (Tiempo) influye linealmente en el cantidad destilada de alcohol etílico.

Gráfica del efecto lineal del factor B (Tiempo)



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

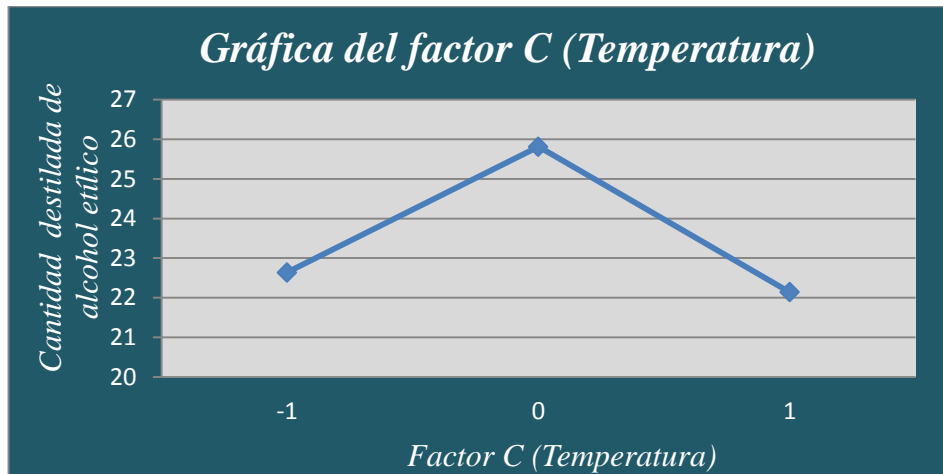
Figura 41: Identificación de la parte lineal o cuadrática del factor B (Tiempo)

FACTOR C (TEMPERATURA)

➤ *Respecto al factor C*

En vista de que el valor p ($8,56 E-08$) es menor que el nivel de significancia (0,05) se concluye que el factor C (Temperatura) influye cuadráticamente en la cantidad destilada de alcohol etílico.

Gráfica del efecto cuadrático del factor C (Temperatura)



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 42: Identificación de la parte lineal o cuadrática del factor C (Temperatura)

3.11 Diagnóstico del modelo

Para el diagnóstico del modelo se procede a hacer un Análisis Residual para probar gráficamente los respectivos supuestos citados en el capítulo 1; para ello se calcula los valores predichos mismos que son el resultado de los valores observados vs predichos.

3.11.1 Normalidad

1.- Método gráfico

Como primer paso procedemos a calcular los residuales los 54 tratamientos.

Y_{ijkl}	Y_{ijkl}	$e_{ijkl} = Y_{ijkl} - Y_{ijkl}$
18,9	20,73	-1,83
18,3	20,73	-2,43
26	24,46	1,54

25,3	24,46	0,84
27,9	28,20	-0,30
27	28,20	-1,20
9,7	18,49	-8,79
11	18,49	-7,49
41	23,78	17,22
37	23,78	13,22
18	29,07	-11,07
20,8	29,07	-8,27
12	16,25	-4,25
11	16,25	-5,25
22,6	23,09	-0,49
24	23,09	0,91
30	29,94	0,06
27	29,94	-2,94
22	17,60	4,40
23,6	17,60	6,00
25	27,16	-2,16
26,1	27,16	-1,06
30,3	36,72	-6,42
30	36,72	-6,72
8	17,76	-9,76
10,2	17,76	-7,56
36,5	23,53	12,97
38,8	23,53	15,27
41,5	29,30	12,20
42	29,30	12,70
17	17,92	-0,92
22	17,92	4,08
35	19,90	15,10
41	19,90	21,10
7,6	21,88	-14,28
8	21,88	-13,88
16,2	14,47	1,73
15,5	14,47	1,03
20,7	29,86	-9,16
19,9	29,86	-9,96

53	45,24	7,76
52,8	45,24	7,56
28	17,03	10,97
30	17,03	12,97
6,5	23,28	-16,78
5	23,28	-18,28
29,3	29,53	-0,23
31	29,53	1,47
17,1	19,59	-2,49
15	19,59	-4,59
9,5	16,70	-7,20
12	16,70	-4,70
20	13,82	6,18
17	13,82	3,18

Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Figura 43: Cálculo de los residuales

Una vez encontrado los residuales procedemos a ordenar de menor a mayor para la Verificación del supuesto de normalidad en el diseño 3^3

Residuos ordenados de menor a mayor	i	$\alpha = (i-0,5)/N$	Z_{α}
-18,2963	1	0,0092593	-2,355084
-16,7963	2	0,0277778	-1,914506
-14,74769	3	0,0462963	-1,681878
-14,34769	4	0,0648148	-1,515564
-11,44907	5	0,0833333	-1,382994
-9,997685	6	0,1018519	-1,27107
-9,535185	7	0,1203704	-1,173137
-9,197685	8	0,1388889	-1,085325
-8,649074	9	0,1574074	-1,00517
-8,376852	10	0,1759259	-0,931003
-7,335185	11	0,1944444	-0,861634
-7,194907	12	0,212963	-0,796183
-7,076852	13	0,2314815	-0,733977
-6,700463	14	0,25	-0,67449

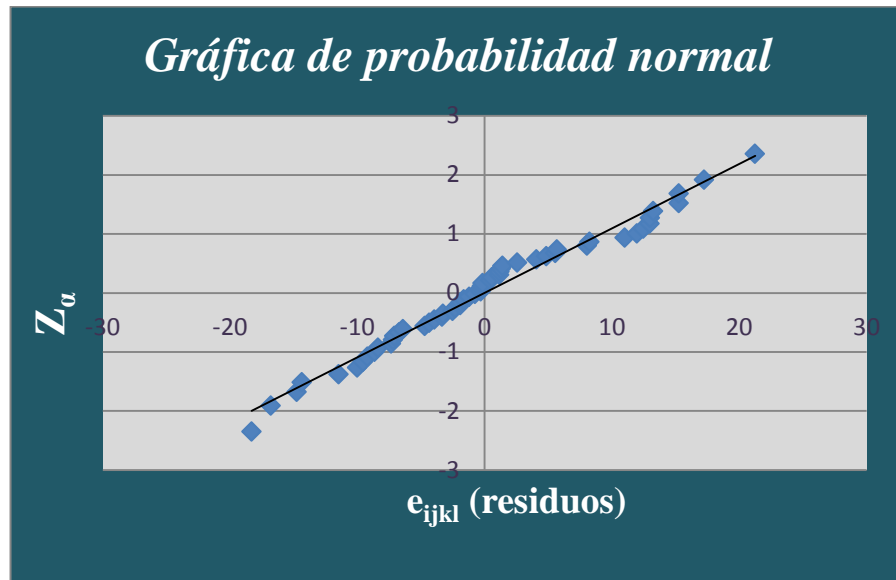
-6,400463	15	0,2685185	-0,6173
-4,694907	16	0,287037	-0,562062
-4,350463	17	0,3055556	-0,508488
-3,950463	18	0,3240741	-0,456336
-3,350463	19	0,3425926	-0,405398
-3,256019	20	0,3611111	-0,35549
-2,503241	21	0,3796296	-0,306454
-2,310185	22	0,3981481	-0,258143
-1,903241	23	0,4166667	-0,210428
-1,850463	24	0,4351852	-0,163188
-1,64213	25	0,4537037	-0,116309
-1,210185	26	0,4722222	-0,069685
-0,74213	27	0,4907407	-0,023212
-0,299074	28	0,5092593	0,0232116
-0,256019	29	0,5277778	0,0696849
-0,203241	30	0,5462963	0,1163093
-0,150463	31	0,5648148	0,1631881
0,4634259	32	0,5833333	0,2104284
0,5773148	33	0,6018519	0,2581433
1,1634259	34	0,6203704	0,3064537
1,1967593	35	0,6388889	0,3554904
1,2773148	36	0,6574074	0,4053977
1,4009259	37	0,6759259	0,4563363
2,5606481	38	0,6944444	0,5084881
4,0800926	39	0,712963	0,5620616
4,849537	40	0,7314815	0,6172997
5,5606481	41	0,75	0,6744898
5,6800926	42	0,7685185	0,7339767
8,0412037	43	0,787037	0,7961826
8,2412037	44	0,8055556	0,8616341
11,006481	45	0,8240741	0,9310033
11,975926	46	0,8425926	1,0051704
12,475926	47	0,8611111	1,0853249
12,97037	48	0,8796296	1,1731373
13,006481	49	0,8981481	1,2710701
13,237037	50	0,9166667	1,3829941
15,250926	51	0,9351852	1,515564
15,27037	52	0,9537037	1,6818775

17,237037	53	0,9722222	1,9145058
21,250926	54	0,9907407	2,355084

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 44: Ordenamiento de los residuales

Una vez obtenida la tabla procedemos a graficar:



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 45: Gráfico de dispersión para la normalidad

Al parecer los datos sí provienen de una distribución normal ya que los puntos de la gráfica tienden a situarse sobre la línea.

Como la interpretación de la gráfica puede ser subjetiva realizaremos una prueba analítica de normalidad para estar seguros de que el supuesto de normalidad se cumple.

2.- Método analítico

Para probar analíticamente la normalidad en los datos realizamos la prueba chi cuadrada de bondad de ajuste citada en el numeral 1.1.4.1.2

Tabla de datos:

N (total datos)	54
Número de clases	7,35
Mínimo	-18,28
Máximo	21,10
Amplitud del intervalo	5,36
Media (μ)	-2E-15
Desviación estándar (σ)	9,03

Ayudados de la tabla de datos se procede a formar los intervalos de clase como sigue:

Categorías	LI	LS	F_o
1	-18,28	-12,92	4
2	-12,92	-7,56	6
3	-7,56	-2,20	12
4	-2,20	3,16	15
5	3,16	8,52	7
6	8,52	13,87	6
7	13,87	19,23	3
8	19,23	24,59	1
Total:			54

Una vez identificado los intervalos de clase procedemos a encontrar las frecuencias esperadas (F_e).

Para la estandarización utilizaremos la siguiente expresión:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Categorías	LI	LS	Estandarización		Área		Probabilidad	Fe
1	-18,28	-12,92		-1,430471		0,076290892	0,076290892	4,119708165
2	-12,92	-7,56	-1,43047135	-0,837162	0,076290892	0,201250662	0,12495977	6,747827583
3	-7,56	-2,20	-0,83716234	-0,243853	0,201250662	0,403672208	0,202421546	10,93076347
4	-2,20	3,16	-0,24385333	0,3494557	0,403672208	0,63662638	0,232954173	12,57952532
5	3,16	8,52	0,349455679	0,9427647	0,63662638	0,827099361	0,190472981	10,28554096
6	8,52	13,87	0,942764687	1,5360737	0,827099361	0,937739847	0,110640485	5,974586216
7	13,87	19,23	1,536073696	2,1293827	0,937739847	0,983388695	0,045648848	2,465037807
8	19,23	24,59	2,129382704		0,983388695		0,016611305	0,897010477
Total:							1	54

En vista de que tenemos 3 frecuencias esperadas (F_e) menores a 5, las cuales se encuentran resaltadas en la tabla anterior, debemos tener cuidado al aplicar la chi cuadrada.

Existe una limitación de la prueba Chi cuadrada que dice que para más de 2 celdas el cual es nuestro caso, no debe aplicarse la prueba Chi cuadrada si más de 20% de las celdas de F_e tienen frecuencias esperadas menores que 5.

En nuestro caso 3 de las 8 frecuencias esperadas, o sea 37,5%, tiene un valor menor que 5, por esta razón no puedo utilizar la prueba Chi cuadrada.

Para resolver tal problema las categorías pueden ser combinadas, con el fin de satisfacer la regla del 20%.

A continuación se procede a combinar las categorías.

Categorías	LI	LS	F_o
1	-18,28	-12,92	4
2	-12,92	-7,56	6
3	-7,56	-2,20	12
4	-2,20	3,16	15
5	3,16	8,52	7
6	8,52	24,59	10
Total:			54

Categorías	LI	LS	Estandarización		Área		Probabilidad	F_e
1	-18,28	-12,92		-1,43047135		0,076290892	0,076290892	4,1197082
2	-12,92	-7,56	-1,430471	-0,83716234	0,076290892	0,201250662	0,12495977	6,7478276
3	-7,56	-2,20	-0,837162	-0,24385333	0,201250662	0,403672208	0,202421546	10,930763
4	-2,20	3,16	-0,243853	0,349455679	0,403672208	0,63662638	0,232954173	12,579525
5	3,16	8,52	0,3494557	0,942764687	0,63662638	0,827099361	0,190472981	10,285541
6	8,52	24,59	0,9427647		0,827099361		0,172900639	9,3366345
Total:							1	54

Una vez terminado de hacer las combinaciones necesarias ya sólo tenemos una de las 6 frecuencias esperadas es menor que 5, es decir que tenemos un 16,67% de celdas de frecuencias esperadas menor que 5.

Ahora si puedo aplicar la prueba Chi cuadrada porque se tiene menos del 20% de las celdas de Fe con frecuencias esperadas menores que 5.

1.- Planteamiento de las hipótesis

H₀: Los datos siguen una Distribución Normal

H₁: Los datos no siguen una Distribución Normal

2.- Nivel de significancia:

α: 0.05

3.- Estadístico de prueba

➤ Prueba chi-cuadrada de bondad de ajuste

$$x^2 = \sum_{i=1}^b \left(\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \right)$$

b = 1, 2, 3, 4, 5, 6

Categorías	LI	LS	F _o	F _e	(F _o - F _e) ²	$\frac{(F_o - F_e)^2}{F_e}$
1	-18,28	-12,92	4	4,119708165	0,014330045	0,003478413
2	-12,92	-7,56	6	6,747827583	0,559246094	0,082877947
3	-7,56	-2,20	12	10,93076347	1,143266747	0,104591665
4	-2,20	3,16	15	12,57952532	5,858697669	0,465732809
5	3,16	8,52	7	10,28554096	10,79477937	1,049510125
6	8,52	24,59	10	9,336634499	0,440053787	0,04713195
Total:			54	54	x² =	1,753322908

➤ Chi tabulado o valor crítico

Para determinar el valor crítico de la prueba Chi cuadrada se requiere saber los grados de libertad, para nuestro caso existen 6 categorías por lo que tales grados de libertad son 6-1 ($gl = k - 1$).

Como se calcularon a partir de la muestra, la media y la desviación estándar pierde un grado de libertad en cada cálculo.

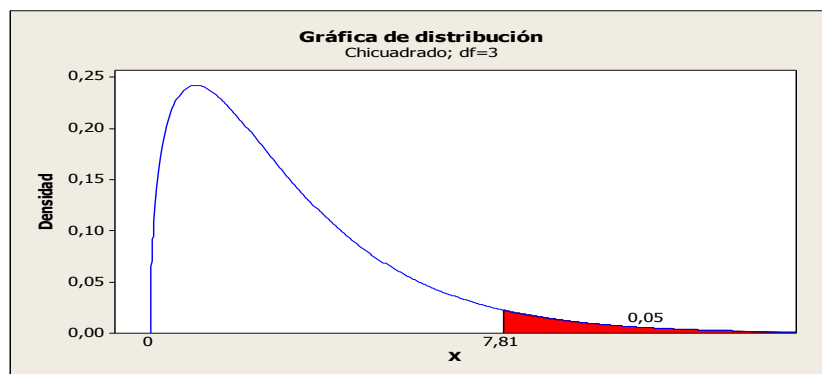
De modo que se pierden 2 grados de libertad adicionales para estimar la media poblacional y la desviación estándar de la población, así que el número de grados de libertad para nuestro caso es 3, que se obtiene por $k-2-1$ ($gl = k-p-1$).

k : Es el total de las categorías que en este caso son 6 categorías.

p : Parámetros estimados, en nuestro caso es 2 por el cálculo de la media y la desviación estándar.

$k =$	6
$p =$	2
G.L. =	$k - p - 1$
G.L. =	3

Chi tabulado = 7,81



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 46: Toma de decisión para la χ^2 de bondad de ajuste

Como nuestro valor del chi calculado (1,75) está cayendo en la región de no rechazo se procede a NO RECHAZAR H_0 .

4.- Conclusión

En vista de que no se Rechaza H_0 concluimos que los datos siguen una distribución normal y por ende se cumple el supuesto de *Normalidad*.

3.11.2 Varianza constante

1.- Método gráfico

Para la verificación del supuesto de varianza constante necesitamos los datos predichos y lo residuales.

Y_{ijkl}	e_{ijkl}
20,726157	-1,826157407
20,726157	-2,426157407
24,464352	1,535648148
24,464352	0,835648148
28,202546	-0,302546296
28,202546	-1,202546296
18,489352	-8,789351852
18,489352	-7,489351852
23,77963	17,22037037
23,77963	13,22037037
29,069907	-11,06990741
29,069907	-8,269907407
16,252546	-4,252546296
16,252546	-5,252546296
23,094907	-0,494907407
23,094907	0,905092593
29,937269	0,062731481
29,937269	-2,937268519
17,599074	4,400925926

17,599074	6,000925926
27,160185	-2,160185185
27,160185	-1,060185185
36,721296	-6,421296296
36,721296	-6,721296296
17,760185	-9,760185185
17,760185	-7,560185185
23,52963	12,97037037
23,52963	15,27037037
29,299074	12,20092593
29,299074	12,70092593
17,921296	-0,921296296
17,921296	4,078703704
19,899074	15,10092593
19,899074	21,10092593
21,876852	-14,27685185
21,876852	-13,87685185
14,471991	1,728009259
14,471991	1,028009259
29,856019	-9,156018519
29,856019	-9,956018519
45,240046	7,759953704
45,240046	7,559953704
17,031019	10,96898148
17,031019	12,96898148
23,27963	-16,77962963
23,27963	-18,27962963
29,528241	-0,228240741
29,528241	1,471759259
19,590046	-2,490046296
19,590046	-4,590046296
16,703241	-7,203240741
16,703241	-4,703240741
13,816435	6,183564815
13,816435	3,183564815

Fuente: Nelson Steve Rea Rea
Tabla 3.9: Predichos vs Residuales

Ayudados de la tabla procedemos a graficar:



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 47: Gráfico de dispersión para la varianza

Observando la gráfica podemos decir que se cumple la hipótesis de varianza constante ya que los datos se encuentran aleatoriamente distribuidos dentro de una banda horizontal alrededor de cero.

Como la gráfica puede ser algo subjetiva realizaremos una prueba analítica para saber si se cumple o no la hipótesis de varianza constante.

2.- Método analítico

Para demostrar analíticamente el supuesto de varianza constante en los datos nos ayudaremos de la prueba de *BARTLETT* citada en el numeral 1.1.4.2.2.

Este procedimiento consiste en calcular una estadística cuya distribución muestral es, aproximadamente, chi cuadrada con $a - 1$ grados de libertad cuando la muestra aleatoria proviene de una población normal independiente.

El estadístico de prueba es:

$$x_{Bartlett}^2 = \frac{\left[\ln\left(\frac{\sum s^2 (n-1)}{\sum (n-1)}\right) \sum (n-1) \right] - \sum (\ln(s^2))(n-1)}{1 + \frac{k+1}{3(k-1)(N-k)}}$$

1.- Planteamiento de las hipótesis

FORMA ESTADÍSTICA	FORMA VERBAL
$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \dots \sigma_a^2 = \sigma^2$ $H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 = \text{para } _a \text{lgun } _i \neq j$	H₀ : Los tratamientos tienen la misma varianza. H₁ : Los tratamientos no tienen la misma varianza.

2.- Nivel de significancia:

$\alpha: 0.05$

3.- Estadístico de prueba

Dónde:

$x_{Bartlett}^2$: Valor estadístico de prueba.

\ln : Logaritmo natural.

s : Varianza.

n : Tamaño de la muestra del grupo.

k : Número de grupos participantes.

N : Tamaño total

Datos	
n =	2
k =	27
N =	54

$$x_{Bartlett}^2 = \frac{\left[\ln\left(\frac{\sum s^2 (n-1)}{\sum (n-1)}\right) \sum (n-1) \right] - \sum (\ln(s^2))(n-1)}{1 + \frac{k+1}{3(k-1)(N-k)}}$$

La siguiente tabla nos indica cómo se aplicó el estadístico de prueba de *BARTLETT*.

Grupos	n	(n-1)	S	S²	S²(n-1)	Ln(S²)	Ln(S²)(n - 1)
1	2	1	0,4242641	0,18	0,18	-1,714798428	-1,71479843
2	2	1	0,4949747	0,245	0,245	-1,406497068	-1,40649707
3	2	1	0,6363961	0,405	0,405	-0,903868212	-0,90386821
4	2	1	0,9192388	0,845	0,845	-0,168418652	-0,16841865
5	2	1	2,8284271	8	8	2,079441542	2,079441542
6	2	1	1,979899	3,92	3,92	1,366091654	1,366091654
7	2	1	0,7071068	0,5	0,5	-0,693147181	-0,69314718
8	2	1	0,9899495	0,98	0,98	-0,020202707	-0,02020271
9	2	1	2,1213203	4,5	4,5	1,504077397	1,504077397
10	2	1	1,1313708	1,28	1,28	0,246860078	0,246860078
11	2	1	0,7778175	0,605	0,605	-0,502526821	-0,50252682
12	2	1	0,212132	0,045	0,045	-3,101092789	-3,10109279
13	2	1	1,5556349	2,42	2,42	0,88376754	0,88376754
14	2	1	1,6263456	2,645	2,645	0,972671065	0,972671065
15	2	1	0,3535534	0,125	0,125	-2,079441542	-2,07944154
16	2	1	3,5355339	12,5	12,5	2,525728644	2,525728644
17	2	1	4,2426407	18	18	2,890371758	2,890371758
18	2	1	0,2828427	0,08	0,08	-2,525728644	-2,52572864
19	2	1	0,4949747	0,245	0,245	-1,406497068	-1,40649707
20	2	1	0,5656854	0,32	0,32	-1,139434283	-1,13943428
21	2	1	0,1414214	0,02	0,02	-3,912023005	-3,91202301
22	2	1	1,4142136	2	2	0,693147181	0,693147181
23	2	1	1,0606602	1,125	1,125	0,117783036	0,117783036
24	2	1	1,2020815	1,445	1,445	0,368109322	0,368109322
25	2	1	1,4849242	2,205	2,205	0,790727509	0,790727509
26	2	1	1,767767	3,125	3,125	1,139434283	1,139434283
27	2	1	2,1213203	4,5	4,5	1,504077397	1,504077397
Totales:	54	27			72,26		-2,491387997

Como ya tenemos los cálculos requeridos, vamos aplicar la prueba X^2 Bartlett.

$$x_{Bartlett}^2 = \frac{\left[\ln\left(\frac{\sum s^2 (n-1)}{\sum (n-1)} \right) \sum (n-1) \right] - \sum (\ln(s^2))(n-1)}{1 + \frac{k+1}{3(k-1)(N-k)}}$$

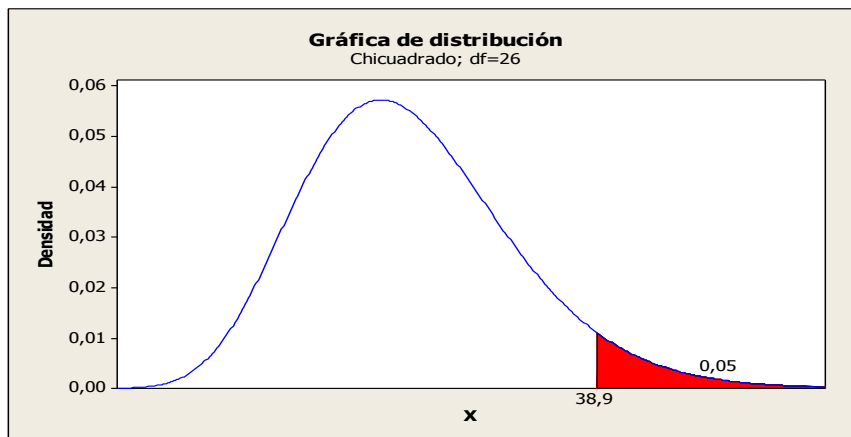
$$x_{Bartlett}^2 = \frac{\left[\ln\left(\frac{62,88}{27} \right) 27 \right] - (-10,39)}{1 + \frac{27+1}{3(27-1)(54-27)}}$$

$$x_{Bartlett}^2 = 28,69$$

➤ Chi tabulado o valor crítico

G.L. =	k-1
G.L. =	26

Chi tabulado = 38,89



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 48: Toma de decisión para la X^2 Bartlett

Como nuestro valor del chi calculado (28,69) está cayendo en la región de no rechazo, se procede a NO RECHAZAR H_0 .

4.- Conclusión

En vista de que no se Rechaza H_0 concluimos que los tratamientos tienen la misma varianza. Y por ende se cumple el supuesto de *Varianza Constante*.

3.11.3 Independencia

1.- Método gráfico

Para este supuesto necesitamos de la tabla de Orden aleatorizado de las corridas experimentales.

Orden de corrida	e_{ijkl}
1	15,10092593
2	-0,302546296
3	1,535648148
4	0,062731481
5	-0,921296296
6	12,97037037
7	-0,494907407
8	-14,27685185
9	17,22037037
10	-16,77962963
11	7,759953704
12	6,183564815
13	-0,228240741
14	-2,490046296
15	-4,252546296
16	-0,494907407
17	-2,160185185
18	15,27037037
19	-7,203240741
20	-13,87685185

21	13,22037037
22	-1,060185185
23	-5,252546296
24	-18,27962963
25	4,400925926
26	-2,937268519
27	1,728009259
28	-4,590046296
29	-1,202546296
30	4,078703704
31	-8,789351852
32	10,96898148
33	-11,06990741
34	-4,703240741
35	12,96898148
36	-9,156018519
37	-7,489351852
38	-9,956018519
39	21,10092593
40	6,000925926
41	12,20092593
42	-6,421296296
43	-9,760185185
44	-1,826157407
45	-8,269907407
46	1,028009259
47	12,70092593
48	-7,560185185
49	-6,721296296
50	0,835648148
51	7,559953704
52	3,183564815
53	-2,426157407
54	1,471759259

Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Tabla 3.10: Orden de corrida experimental

Una vez obtenida la tabla se procede a graficar:



Fuente: Nelson Steve Rea Rea

Figura 49: Gráfico de dispersión para la independencia

Al ver la gráfica es claro que los puntos se dispersan aleatoriamente lo que sugiere el cumplimiento de la hipótesis de independencia.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El *Diseño Estadístico de Experimentos* permitió manipular los niveles de los factores “Fruta”, “Tiempo de fermentación” y “Temperatura” con el propósito de maximizar la cantidad destilada de alcohol etílico.
- El diseño experimental adecuado para el desarrollo de esta investigación fue el diseño factorial 3^3 ya que en se estudiaron tres factores con 3 niveles cada uno.
- Luego de la planeación y organización del trabajo experimental se procedió a realizar el experimento y a registrar las cantidades destiladas de alcohol etílico para su respectivo análisis estadístico utilizando técnicas analíticas y gráficas.
- El tratamiento que maximizó la cantidad destilada de alcohol etílico fue la **Mora, con 14 días de fermentación a 30 °C**. Dicho tratamiento proporcionó en promedio 52.9 mililitros de alcohol etílico destilado.
- Con una confianza del 95% la cantidad destilada promedio de alcohol etílico está entre 43,47 y 47,01 mililitros en el mejor tratamiento (Mora, 14 Días, 30 °C) y con

una confianza del 95% se observarán en el futuro cantidades destiladas de alcohol etílico en el mejor tratamiento entre 41,50 y 48,98 mililitros.

4.2 Recomendaciones

Recomendaciones Estadísticas

- Hacer mayor énfasis en el estudio de la fermentación alcohólica con la ayuda del Diseño Experimental para optimizar recursos y mejorar la cantidad destilada de alcohol etílico.
- Continuar investigando otros factores y variables respuesta relacionadas con la producción de bebidas alcohólicas.
- Obtener datos experimentales de manera ética y responsable para garantizar resultados serios y coherentes.

Recomendaciones Experimentales

- Tener una instalación eléctrica óptima que cuente en lo posible con un conductor eléctrico mínimo calibre 10 AWG, ya que el consumo eléctrico de los reverberos es muy alto.
- Mantener un flujo de agua constante mientras se lleve a cabo la destilación.
- Prestar mucha atención al termómetro mientras se lleve a cabo la destilación.

RESUMEN

El análisis estadístico de la influencia de las frutas, Mora (“*Robus Glaucus Benth*”), Frutilla (“*Fragaria Vesca*”) y Tomate de Árbol (“*Cyphomandra Betacea*”) que se producen en las zonas rurales del cantón Guaranda, provincia de Bolívar, en la cantidad destilada de alcohol etílico.

Se realizó en un laboratorio implementado en la ciudad de Riobamba Panamericana Sur km 1½ barrio Juan Montalvo, con el asesoramiento del doctor en ciencias químicas Dr. Rubén Lara y el Ing. Darwin Pomaquero, en dicho laboratorio se llevó a cabo las fermentaciones alcohólicas para la obtención de alcohol etílico el mismo que se utiliza como materia prima para la elaboración de bebidas alcohólicas. La unidad de medida empleada para medir la cantidad destilada fue el mililitro (ml).

Se aplicó la técnica estadística conocida como *Diseño Estadístico Experimental* para comparar 27 tratamientos formados con las combinaciones de frutas, tiempos de fermentación y temperaturas, cada uno con 2 réplicas dando un total de 54 corridas experimentales, para estudiar los efectos sobre la cantidad destilada de alcohol etílico.

Fueron analizados los factores: a) “Fruta”: Tomate de árbol, Frutilla, Mora las cuales son producidas en las zonas rurales del cantón Guaranda. b) “Tiempo de Fermentación”: 14 días, 21 días, 28 días. c) “Temperatura”: 20 °C, 25 °C, 30 °C.

La investigación logró determinar que el tratamiento compuesto por:

- (Mora, 14 días de fermentación, 30 °C) consigue en promedio 52.9 ml de alcohol etílico.
- (Mora, 21 días de fermentación, 25 °C) consigue en promedio 41.75 ml de alcohol etílico.
- (Frutilla, 21 días de fermentación, 20 °C) consigue en promedio 39 ml de alcohol etílico.
- (Frutilla, 28 días de fermentación, 25 °C) consigue en promedio 38 ml de alcohol etílico.
- (Frutilla, 21 días de fermentación, 25 °C) consigue en promedio 37.65 ml de alcohol etílico.
- (Mora, 21 días de fermentación, 30 °C) consigue en promedio 30.15 ml de alcohol etílico.

Estos tratamientos consiguieron en promedio cantidades destiladas de alcohol etílico de mayor magnitud en relación a los demás.

Concluyo que debe llevarse a cabo la fermentación con la fruta mora por el tiempo de 14 días a 30 °C de temperatura para obtener la máxima cantidad destilada de alcohol etílico.

Recomiendo a los habitantes de las zonas rurales del cantón Guaranda la utilización de la fruta, tiempo de fermentación y temperatura propuestas anteriormente para optimizar tiempo y recursos económicos.

SUMMARY

This is a statistical analysis of the influence of the following fruits: Blackberry ("*Robus Glaucus Benth*"), Strawberry ("*Fragaria Vesca*"), and Tree Sweet Tomato ("*Cyphomandra Betacea*") produced in the rural areas of the City of Guaranda, Bolívar province, on the amount of ethylic alcohol obtained.

A laboratory placed in the city of Riobamba – Panamericana Sur km 1 ½ , Juan Montalvo Neighborhood with Mr. Rubén Lara (Chemist) and Mr. drawin pomaquero (Engineer) – was the site where all the alcoholic fermentations were carried out for obtaining the ethylic alcohol which is used as raw material for the marking of alcoholic beverages. The unit used was the milliliter (ml).

The statistic technique known as *Statistical Experimental Design* was applied to compare 27 treatment with 2 replicas resulting a total of 54 experimental races formed by the combination of fruits, fermentation times and temperature to test the presence of effects over the distilled amount of ethylic alcohol.

The following variables were analyzed: a) "Fruits": Tree Sweet Tomato, Strawberry Blackberry which are produced in the rural areas of Guaranda. b) "Fermentation time": 14 days, 21 days, and 28 days. c) "Temperature": 20 °C, 25 °C, and 30 °C.

The research determined the following results:

- Blackberry, 14 days of fermentation, 30 °C reach an average of 52.9 ml of ethylic alcohol.
- Blackberry, 21 days of fermentation, 25 °C reach an average of 41.75 ml of ethylic alcohol.
- Strawberry, 21 days of fermentation, 20 °C reach an average of 39 ml of ethylic alcohol.
- Strawberry, 28 days of fermentation, 25 °C reach an average of 38 ml of ethylic alcohol.
- Strawberry, 21 days of fermentation, 25 °C reach an average of 37.65 ml of ethylic alcohol.
- Blackberry, 21 days of fermentation, 30 °C reach an average of 30.15 ml of ethylic alcohol.

These treatments are the most relevant since the main objective is to maximize the distilled amount of ethylic alcohol; the other treatment results were lower.

As a conclusion, it was determined that blackberry with 14 days of fermentation at 30 °C of temperature should be used to obtain the maximum distilled amount of ethylic alcohol.

It is recommended that the people from the rural areas of Guaranda used the fruit, time of fermentation and temperature proposed here in order to optimize time and economical resources.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- GRACIA, G. Y OTROS.,** Biotecnología Alimentaria., s. ed., México DF-
México., Noriega Editores., 1993., Pp. 236-264

- 2.- GUTIÉRREZ, H.,** Análisis y Diseño de Experimentos., 2ª ed., Santa Fe-
México D.F., McGraw Hill/Interamericana editores, S.A. de C.V.,
2008., Pp. 210-218

- 3.- HANKE, J.,** Pronósticos en los negocios., 8ª. ed., Naucalpan de Juárez-
México., Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2006., Pp. 29-
30, 224,

- 4.- MONTGOMERY, C.,** Diseño y Análisis de experimentos., 2ª. ed.,
Balderas-México D.F., Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega
Editores., 1995., Pp. 363-372, 393

- 5.- MORRISON, R.,** Química Orgánica., 5ª. ed., Naucalpan de Juárez, Estado
de México., Addison Wesley Longman de México S.A. de C.V.,
1998., Pp. 625

- 6.- NORMAN, W.,** Elementos de la Tecnología de Alimentos., 1ª. ed., La

Joya, Delegación Tlalpa- México D.F., Compañía Editorial
Continental S.A. de C.V., 1983., Pp. 623

- 7.- WALPOLE, R Y OTROS.,** Probabilidad y Estadística para Ingeniería y
Ciencias., 9^a. ed., Naucalpan de Juárez, Estado de México., Pearson
Educación de México, S.A. de C.V., 2012., Pp. 563-564, 579-581

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

8.- DESTILACIÓN Y APARATO DE DESTILACIÓN

[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-
content/uploads/MARCO teorico1.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/MARCO_teorico1.pdf)

2013/09/19

9.- FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

<http://es.scribd.com/doc/31511164/fermentacion>

2013/08/14

10.- NOMBRE CIENTÍFICO DE LA FRUTILLA

[http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-
fresones- frutillas-fresales.htm](http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-fresones- frutillas-fresales.htm)

2013/ 07/25

11.- NOMBRE CIENTÍFICO DE LA MORA

[http://www.semigar.com/index.php?page=shop.product_details&cate-
gory_id=6&flypage=flypage_lite_pdf.tpl&product_id=36](http://www.semigar.com/index.php?page=shop.product_details&category_id=6&flypage=flypage_lite_pdf.tpl&product_id=36)

2013/ 08/07

12.- NOMBRE CIENTÍFICO DEL TOMATE DE ÁRBOL

http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pfrescos/TOMATEDEARBOL.HTM

2013/ 07/30

13.- PRUEBA DE BARTLETT PARA HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

http://www.raydesign.com.mx/psicoparaest/index.php?option=com_content&view=article&id=235:ji-bartlett&catid=52

2014/01/05

14.- TEMPERATURA

<http://nubiavalcarcel.wordpress.com/>

2013/09/07

15.- TIEMPO DE FERMENTACIÓN

<http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=5012>

2013/08/19

ANEXOS

ANEXO No. 1. TABLAS UTILIZADAS PARA EL EXPERIMENTO.

Tabla 1. Variables presentes en la investigación

FACTORES:	NIVELES CODIFICADOS	NIVELES ORIGINALES
A: Fruta	A bajo (-1)	Tomate de Árbol
	A medio (0)	Frutilla
	A alto (1)	Mora
B: Tiempo	B bajo (-1)	14 días
	B medio (0)	21 días
	B alto (1)	28 días
C: Temperatura	C bajo (-1)	20 °C
	C medio (0)	25 °C
	C alto (1)	30 °C

Variable respuesta: cantidad destilada de alcohol etílico

Factores de interés: frutas con tres niveles
tiempo de fermentación con tres niveles y
temperatura con tres niveles

Unidad experimental: fermentación alcohólica

Número de tratamientos: 27

Número de réplicas (n): 2

Tabla 2. Orden aleatorizado de las corridas experimentales

Orden de Corrida	Tratamiento			Tratamiento			Cantidad (ml)
	A	B	C	Fruta	Tiempo	Temperatura	
1	0	1	0	frutilla	28 días	25 °C	35
2	1	-1	-1	mora	14 días	20 °C	27,9
3	0	-1	-1	frutilla	14 días	20 °C	26
4	1	1	-1	mora	28 días	20 °C	30
5	-1	1	0	t. de árbol	28 días	25 °C	17
6	0	0	0	frutilla	21 días	25 °C	36,5
7	0	1	-1	frutilla	28 días	20 °C	22,6
8	1	1	0	mora	28 días	25 °C	7,6
9	0	0	-1	frutilla	21 días	20 °C	41
10	0	0	1	frutilla	21 días	30 °C	6,5
11	1	-1	1	mora	14 días	30 °C	53
12	1	1	1	mora	28 días	30 °C	20
13	1	0	1	mora	21 días	30 °C	29,3
14	-1	1	1	t. de árbol	28 días	30 °C	17,1
15	-1	1	-1	t. de árbol	28 días	20 °C	12
16	0	1	-1	frutilla	28 días	20 °C	24
17	0	-1	0	frutilla	14 días	25 °C	25
18	0	0	0	frutilla	21 días	25 °C	38,8
19	0	1	1	frutilla	28 días	30 °C	9,5
20	1	1	0	mora	28 días	25 °C	8
21	0	0	-1	frutilla	21 días	20 °C	37
22	0	-1	0	frutilla	14 días	25 °C	26,1
23	-1	1	-1	t. de árbol	28 días	20 °C	11
24	0	0	1	frutilla	21 días	30 °C	5
25	-1	-1	0	t. de árbol	14 días	25 °C	22
26	1	1	-1	mora	28 días	20 °C	27
27	-1	-1	1	t. de árbol	14 días	30 °C	16,2
28	-1	1	1	t. de árbol	28 días	30 °C	15
29	1	-1	-1	mora	14 días	20 °C	27
30	-1	1	0	t. de árbol	28 días	25 °C	22

31	-1	0	-1	t. de árbol	21 días	20 °C	9,7
32	-1	0	1	t. de árbol	21 días	30 °C	28
33	1	0	-1	mora	21 días	20 °C	18
34	0	1	1	frutilla	28 días	30 °C	12
35	-1	0	1	t. de árbol	21 días	30 °C	30
36	0	-1	1	frutilla	14 días	30 °C	20,7
37	-1	0	-1	t. de árbol	21 días	20 °C	11
38	0	-1	1	frutilla	14 días	30 °C	19,9
39	0	1	0	frutilla	28 días	25 °C	41
40	-1	-1	0	t. de árbol	14 días	25 °C	23,6
41	1	0	0	mora	21 días	25 °C	41,5
42	1	-1	0	mora	14 días	25 °C	30,3
43	-1	0	0	t. de árbol	21 días	25 °C	8
44	-1	-1	-1	t. de árbol	14 días	20 °C	18,9
45	1	0	-1	mora	21 días	20 °C	20,8
46	-1	-1	1	t. de árbol	14 días	30 °C	15,5
47	1	0	0	mora	21 días	25 °C	42
48	-1	0	0	t. de árbol	21 días	25 °C	10,2
49	1	-1	0	mora	14 días	25 °C	30
50	0	-1	-1	frutilla	14 días	20 °C	25,3
51	1	-1	1	mora	14 días	30 °C	52,8
52	1	1	1	mora	28 días	30 °C	17
53	-1	-1	-1	t. de árbol	14 días	20 °C	18,3
54	1	0	1	mora	21 días	30 °C	31

Tabla 3. Fechas de aplicación y permanencia de los tratamientos

Orden de Corrida	Tratamiento			Inicio		Final	
	A	B	C	Fecha	Hora	Fecha	Hora
1	0	1	0	16-Nov-2013	7:00	14-Dic-2013	7:00
2	1	-1	-1	16-Nov-2013	7:15	30-Nov-2013	7:15
3	0	-1	-1	16-Nov-2013	7:30	30-Nov-2013	7:30
4	1	1	-1	16-Nov-2013	8:00	14-Dic-2013	8:00
5	-1	1	0	16-Nov-2013	8:12	14-Dic-2013	8:12
6	0	0	0	16-Nov-2013	8:19	7-Dic-2013	8:19
7	0	1	-1	16-Nov-2013	11:00	14-Dic-2013	11:00
8	1	1	0	16-Nov-2013	11:10	14-Dic-2013	11:10
9	0	0	-1	16-Nov-2013	11:25	7-Dic-2013	11:25
10	0	0	1	16-Nov-2013	11:35	7-Dic-2013	11:35
11	1	-1	1	16-Nov-2013	11:40	30-Nov-2013	11:40
12	1	1	1	16-Nov-2013	11:45	14-Dic-2013	11:45
13	1	0	1	16-Nov-2013	15:00	7-Dic-2013	15:00
14	-1	1	1	16-Nov-2013	15:10	14-Dic-2013	15:10
15	-1	1	-1	16-Nov-2013	15:17	14-Dic-2013	15:17
16	0	1	-1	16-Nov-2013	15:25	14-Dic-2013	15:25
17	0	-1	0	16-Nov-2013	15:30	30-Nov-2013	15:30
18	0	0	0	16-Nov-2013	15:37	7-Dic-2013	15:37
19	0	1	1	17-Nov-2013	7:00	15-Dic-2013	7:00
20	1	1	0	17-Nov-2013	7:10	15-Dic-2013	7:10
21	0	0	-1	17-Nov-2013	7:17	8-Dic-2013	7:17
22	0	-1	0	17-Nov-2013	7:20	1-Dic-2013	7:20
23	-1	1	-1	17-Nov-2013	7:27	15-Dic-2013	7:27
24	0	0	1	17-Nov-2013	7:39	8-Dic-2013	7:39
25	-1	-1	0	17-Nov-2013	11:00	1-Dic-2013	11:00
26	1	1	-1	17-Nov-2013	11:10	15-Dic-2013	11:10
27	-1	-1	1	17-Nov-2013	11:20	1-Dic-2013	11:20
28	-1	1	1	17-Nov-2013	11:25	15-Dic-2013	11:25
29	1	-1	-1	17-Nov-2013	11:35	1-Dic-2013	11:35
30	-1	1	0	17-Nov-2013	11:40	15-Dic-2013	11:40
31	-1	0	-1	17-Nov-2013	15:00	8-Dic-2013	15:00

32	-1	0	1	17-Nov-2013	15:10	8-Dic-2013	15:10
33	1	0	-1	17-Nov-2013	15:17	8-Dic-2013	15:17
34	0	1	1	17-Nov-2013	15:25	15-Dic-2013	15:25
35	-1	0	1	17-Nov-2013	15:32	8-Dic-2013	15:32
36	0	-1	1	17-Nov-2013	15:39	1-Dic-2013	15:39
37	-1	0	-1	18-Nov-2013	7:00	9-Dic-2013	7:00
38	0	-1	1	18-Nov-2013	7:15	2-Dic-2013	7:15
39	0	1	0	18-Nov-2013	7:30	16-Dic-2013	7:30
40	-1	-1	0	18-Nov-2013	7:40	2-Dic-2013	7:40
41	1	0	0	18-Nov-2013	7:50	9-Dic-2013	7:50
42	1	-1	0	18-Nov-2013	7:58	2-Dic-2013	7:58
43	-1	0	0	18-Nov-2013	11:00	9-Dic-2013	11:00
44	-1	-1	-1	18-Nov-2013	11:15	2-Dic-2013	11:15
45	1	0	-1	18-Nov-2013	11:20	9-Dic-2013	11:20
46	-1	-1	1	18-Nov-2013	11:35	2-Dic-2013	11:35
47	1	0	0	18-Nov-2013	11:40	9-Dic-2013	11:40
48	-1	0	0	18-Nov-2013	11:50	9-Dic-2013	11:50
49	1	-1	0	18-Nov-2013	15:00	2-Dic-2013	15:00
50	0	-1	-1	18-Nov-2013	15:15	2-Dic-2013	15:15
51	1	-1	1	18-Nov-2013	15:25	2-Dic-2013	15:25
52	1	1	1	18-Nov-2013	15:35	16-Dic-2013	15:35
53	-1	-1	-1	18-Nov-2013	15:45	2-Dic-2013	15:45
54	1	0	1	18-Nov-2013	15:55	9-Dic-2013	15:55

Tabla 4. Fechas para llevar a cabo el experimento

Día	Fecha	Hora
1	16-nov-13	0:00
	17-nov-13	0:00
2	17-nov-13	0:00
	18-nov-13	0:00
3	18-nov-13	0:00
	19-nov-13	0:00
4	19-nov-13	0:00
	20-nov-13	0:00
5	20-nov-13	0:00
	21-nov-13	0:00
6	21-nov-13	0:00
	22-nov-13	0:00
7	22-nov-13	0:00
	23-nov-13	0:00
8	23-nov-13	0:00
	24-nov-13	0:00
9	24-nov-13	0:00
	25-nov-13	0:00
10	25-nov-13	0:00
	26-nov-13	0:00
11	26-nov-13	0:00
	27-nov-13	0:00
12	27-nov-13	0:00
	28-nov-13	0:00
13	28-nov-13	0:00
	29-nov-13	0:00
14	29-nov-13	0:00
	30-nov-13	0:00
15	30-nov-13	0:00
	01-dic-13	0:00
16	01-dic-13	0:00
	02-dic-13	0:00
17	02-dic-13	0:00
	03-dic-13	0:00
18	03-dic-13	0:00
	04-dic-13	0:00
19	04-dic-13	0:00
	05-dic-13	0:00
20	05-dic-13	0:00
	06-dic-13	0:00
21	06-dic-13	0:00
	07-dic-13	0:00
22	07-dic-13	0:00
	08-dic-13	0:00
23	08-dic-13	0:00
	09-dic-13	0:00
24	09-dic-13	0:00
	10-dic-13	0:00
25	10-dic-13	0:00
	11-dic-13	0:00
26	11-dic-13	0:00
	12-dic-13	0:00
27	12-dic-13	0:00
	13-dic-13	0:00
28	13-dic-13	0:00
	14-dic-13	0:00
29	14-dic-13	0:00
	15-dic-13	0:00
30	15-dic-13	0:00
	16-dic-13	0:00

FECHA DE INICIO	DÍAS DE FERMENTACIÓN		
	14 días	21 día	28 días
16-nov-13 (Sábado)	30-nov-13	07-dic-13	14-dic-13
17-nov-13 (Domingo)	01-dic-13	08-dic-13	15-dic-13
18-nov-13 (Lunes)	02-dic-13	09-dic-13	16-dic-13

Tabla 5. Matriz de diseño

N°	Tratamiento			Cantidad destilada de alcohol etílico (ml)	
	A (Fruta)	B (Tiempo)	C (Temperatura)	Primera Replica	Segunda Replica
1	-1	-1	-1	18,9	18,3
2	0	-1	-1	26	25,3
3	1	-1	-1	27,9	27
4	-1	0	-1	9,7	11
5	0	0	-1	41	37
6	1	0	-1	18	20,8
7	-1	1	-1	12	11
8	0	1	-1	22,6	24
9	1	1	-1	30	27
10	-1	-1	0	22	23,6
11	0	-1	0	25	26,1
12	1	-1	0	30,3	30
13	-1	0	0	8	10,2
14	0	0	0	36,5	38,8
15	1	0	0	41,5	42
16	-1	1	0	17	22
17	0	1	0	35	41
18	1	1	0	7,6	8
19	-1	-1	1	16,2	15,5
20	0	-1	1	20,7	19,9
21	1	-1	1	53	52,8
22	-1	0	1	28	30
23	0	0	1	6,5	5
24	1	0	1	29,3	31
25	-1	1	1	17,1	15
26	0	1	1	9,5	12
27	1	1	1	20	17

Tabla 6. Tabla de alcoholes de Morrion, R.

Tabla 17.1 ALCOHOLES

Nombre	Fórmula	P.f., °C	P.e., °C	Densidad relativa a 20 °C	Solubilidad g/100 g H ₂ O
Metílico	CH ₃ OH	- 97	64.5	0.793	∞
Etilico	CH ₃ CH ₂ OH	- 115	78.3	0.789	∞
<i>n</i> -Propílico	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	- 126	97	0.804	∞
<i>n</i> -Butílico	CH ₃ (CH ₂) ₂ CH ₂ OH	- 90	118	0.810	7.9
<i>n</i> -Pentílico	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₂ OH	- 78.5	138	0.817	2.3
<i>n</i> -Hexílico	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₂ OH	- 52	156.5	0.819	0.6
<i>n</i> -Heptílico	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₂ OH	- 34	176	0.822	0.2
<i>n</i> -Octílico	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₂ OH	- 15	195	0.825	0.05
<i>n</i> -Decílico	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₂ OH	6	228	0.829	
<i>n</i> -Dodecílico	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CH ₂ OH	24			
<i>n</i> -Tetradecílico	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ CH ₂ OH	38			
<i>n</i> -Hexadecílico	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ CH ₂ OH	49			
<i>n</i> -Octadecílico	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ CH ₂ OH	58.5			
Isopropílico	CH ₃ CHOHCH ₃	- 86	82.5	0.789	∞
Isobutílico	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	- 108	108	0.802	10.0
<i>sec</i> -Butílico	CH ₃ CH ₂ CHOHCH ₃	- 114	99.5	0.806	12.5
<i>t</i> -Butílico	(CH ₃) ₃ COH	25.5	83	0.789	∞
Isopentílico	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₂ OH	- 117	132	0.813	2
Amilico <i>activo</i>	(-)-CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)CH ₂ OH		128	0.816	3.6
<i>t</i> -Pentílico	CH ₃ CH ₂ C(OH)(CH ₃) ₂	- 12	102	0.809	12.5
Ciclopentanol	<i>ciclo</i> -C ₅ H ₉ OH		140	0.949	
Ciclohexanol	<i>ciclo</i> -C ₆ H ₁₁ OH	24	161.5	0.962	
Alílico	CH ₂ =CHCH ₂ OH	- 129	97	0.855	∞
Crotilico	CH ₃ CH=CHCH ₂ OH		118	0.853	16.6
Metilvinilmetanol	CH ₂ =CHCHOHCH ₃		97		
Bencilico	C ₆ H ₅ CH ₂ OH	- 15	205	1.046	4
α -Feniletílico	C ₆ H ₅ CHOHCH ₃		205	1.013	
β -Feniletílico	C ₆ H ₅ CH ₂ CH ₂ OH	- 27	221	1.02	1.6
Difenilmetanol (Bencidrol)	(C ₆ H ₅) ₂ CHOH	69	298		0.05
Trifenilmetanol	(C ₆ H ₅) ₃ COH	162.5			
Cinamílico	C ₆ H ₅ CH=CHCH ₂ OH	33	257.5		
1,2-Etanodiol	CH ₂ OHCH ₂ OH	- 16	197	1.113	
1,2-Propanodiol	CH ₃ CHOHCH ₂ OH		187	1.040	
1,3-Propanotriol	HOCH ₂ CH ₂ CH ₂ OH		215	1.060	
Glicerol	HOCH ₂ CHOHCH ₂ OH	18	290	1.261	
Pentaeritritol	C(CH ₂ OH) ₄	260			6

ANEXO No. 2. FOTOGRAFÍAS DE LA PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.



Figura 1: Diseño del circuito para el Relé.

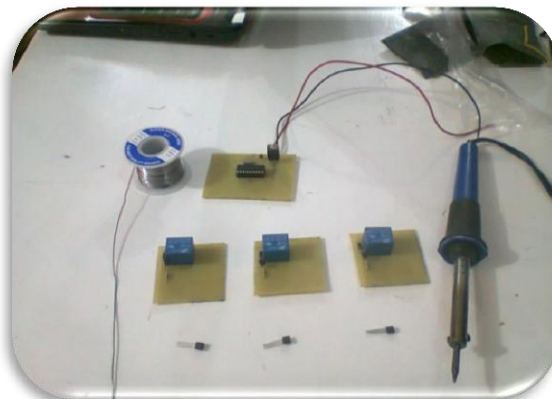


Figura 2: Terminación de los circuitos.



Figura 3: Materias a utilizar.



Figura 4: Papel aluminio.



Figura 5: Programación del Arduino (1).



Figura 6: Programación del Arduino (2).



Figura 7: Mora.



Figura 8: Frutilla.



Figura 9: Tomate de árbol.



Figura 10: balanza digital.

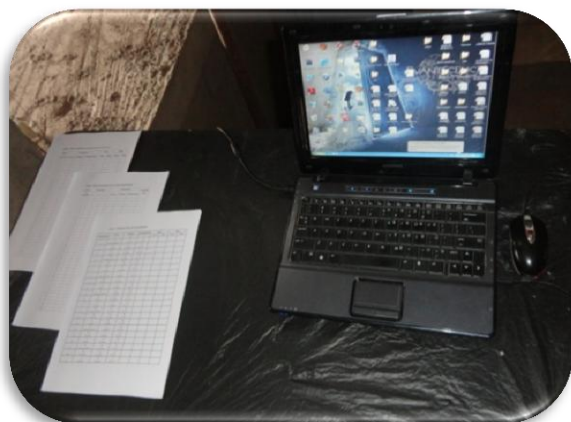


Figura 11: Materiales para el registro de datos.



Figura 12: Etiqueta para cada tratamientos.



Figura 13: Preparación para la aleatorización (1).



Figura 14: Preparación para la aleatorización (2).



Figura 15: Obtención del primer tratamiento.



Figura 16: Calendario para ejecutar el experimento.



Figura 17: Envases después de la destilación (1).



Figura 18: Envases después de la destilación (2).



Figura 19: Contenedor a 20 °C.



Figura 20: Búsqueda del tratamiento a destilar



Figura 21: Preparación para la destilación (1).



Figura 22: Preparación para la destilación (2).

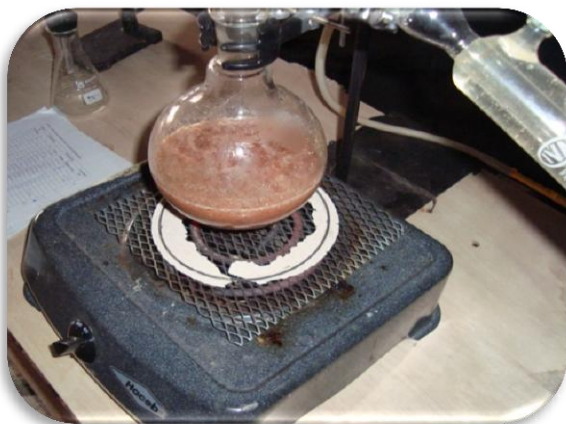


Figura 23: Puesta en marcha la destilación.



Figura 24: Visita al laboratorio.

ANEXO No. 3. ANÁLISIS URKUND

The screenshot displays the URKUND web interface in a Firefox browser. The document being analyzed is 'Nelson Steve Rea - Tesis 2014.docx' (ID: D10657361), submitted on 2014-04-27 09:30 (-05:00) by stvdj@hotmail.com to the receiver abvinan.espoch@analysis.orkund.com. The message indicates that 0% of the document's text is present in the sources.

The 'List of sources' table is as follows:

Rank	Path/Filename
1	http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1304/1/22670007.pdf
2	ESPOL EMP BARRIGA Y OTROS D-90729.pdf
3	http://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_md/lic/AE/EI/AM/10/Prueba_de_hipotesis.pdf
4	http://www.ecured.cu/index.php/Fermentaci%C3%B3n_alcoh%C3%B3lica
5	http://arduino.cc/es/Guide/Introduction
6	http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5804/5/CAP%C3%8DTULO%203.doc
7	http://javieremestosuarezvergara.files.wordpress.com/2010/11/dise%C3%B1o-y-an%C3%A1lisis-de-experimentos.pdf
8	GUIA veloz.docx
9	http://ocw.univalle.edu.co/ocw/ingenieria-electronica-telecomunicaciones-y-afines/investigacion-y-desarrollo
10	http://modelosdesimulacionr.wikispaces.com/file/view/Modelo%20de%20Regresi%C3%B3n%20M%C3%BAltiples
11	http://nubiavalcarcel.wordpress.com/
Alternative sources	
12	Enviar a rafa1.2.docx
13	https://sites.google.com/site/fermentacionalcoholica/fermentacion-alcoholica
14	BANDA TRANSPORTADORA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA VIEW Y ARDUINO.docx
15	http://caterina.udlap.mx/u_dla/tales/documentos/iii/granados_m_d/capitul05.pdf
16	http://www.espoch.edu.ec/Descargas/cinvestigacionpub/TESIS_ESCUELA_FISICA_Y_MATEMATICAS
Sources not used	

At the bottom of the interface, there is a status bar showing '1 Warnings', 'Reset', 'Export', and 'Share' buttons.