

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**UNIDAD DE POSTGRADO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL**

**MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL**

**CON MENCIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE**



**” OPTIMIZACIÓN POR DISEÑOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE  
FERMENTACIÓN DEL SUBSTRATO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS  
BIODEGRADABLES PARA OBTENER ETANOL”**

**T003\_23934085\_M**

**Bach: Edy AMBÍA VÁSQUEZ**

**ASESORA: MSc. Ing. Miriam SALAS PINO**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO:**

**Maestro en Ingeniería Civil con mención Recursos**

**Hídricos y Medio Ambiente**

Cusco, enero del 2017

## **Dedicatoria**

Este trabajo de investigación, te lo dedico, por darte un tiempo para leer esta tesis, estoy seguro que aprenderás algo que te servirá para aportar con un granito de arena, para salvar la Tierra nuestro pequeño y frágil hogar, para que los animales: el hombre y sus hermanos menores, puedan vivir en armonía en un mundo verde con agua y aire que pueda mantener la vida.

Edy Ambía Vásquez

## Agradecimiento

Agradecer al Nazareno que dejó huellas hace más de 2000 mil años, que intento seguir religiosamente a pesar que el camino es pedregoso, por eso le agradezco mil veces muchos más por permitirme seguir en esta lucha para poder aportar con un granito en ese mundo que cada vez está más loco.

A mis padres Edison y Delia por insistir que siguiera con los estudios de la maestría porque mis alegrías también son la de ellos.

A la MSc. Miriam Salas por sus acertados consejos, Janet Chalco por su apoyo incondicional y a mi sobrina Akasha Shamusa que nació el VI-III-MMXVII.

A todos los que estuvieron a mi lado en estos años de estudio para conquistar un laurel más y por sus buenos deseos y motivaciones que no permitieron que decayera.

No podría olvidar en agradecer a mis mascotas que son parte de mi familia que con sus travesuras alegraron esas noches de estudio, análisis y redacción de este trabajo de investigación.

Finalmente puedo decir trabajo terminado a las 2115 horas del día XXVIII-I-MMXVII.

Edy Ambía Vásquez

Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla, mientras el género humano no la escucha.

Víctor Hugo

No me importa si un animal es capaz de razonar. Sólo sé que es capaz de sufrir y por ello lo considero mi prójimo.

Albert Schweitzer

## PRESENTACIÓN

Señor director de la Escuela de Posgrado de la Maestría de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento con las disposiciones del reglamento de grados que norma el desarrollo de tesis para optar al grado académico de maestro en Ingeniería Civil con mención Recursos Hídricos y Medio Ambiente, presento a vuestra consideración la tesis intitulada:

**” OPTIMIZACIÓN POR DISEÑOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE  
FERMENTACIÓN DEL SUBSTRATO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS  
BIODEGRADABLES PARA OBTENER ETANOL”**

El propósito de este trabajo es optimizar el proceso de fermentación por diseños experimentales con la finalidad de maximizar la cantidad de obtención de etanol utilizando como materia prima los residuos biodegradables que vienen causando serios problemas de contaminación en los lugares de disposición final porque generan líquidos (lixiviados) que podrían contaminar los recursos hídricos y gases de efecto invernadero. Finalmente concentrar el etanol en una solución alcohólica por destilación simple estricta

Esperando que la presente sirva de referencia y consulta para posteriores investigaciones.

Edy Ambía Vásquez

**CONTENIDO**

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xvi

**CAPITULO I****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

<b>1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....</b>	<b>20</b>
3.1	TÉCNICA. ....	20
3.2	AMBIENTAL. ....	20
3.3	SALUD. ....	20
3.4	ECONÓMICA. ....	21
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
4.1	GENERAL .....	22
4.2	ESPECÍFICOS .....	22

**CAPITULO II****MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

<b>5</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>CONTAMINACIÓN.....</b>	<b>28</b>

<b>7</b>	<b>LAS CONFERENCIAS DE NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO .....</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>LOS RESIDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>30</b>
8.1	RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES .....	31
8.2	APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES.....	31
<b>9</b>	<b>PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA .....</b>	<b>32</b>
9.1	LIXIVIADOS.....	32
9.2	GASES.....	33
9.2.1	METANO .....	34
9.2.2	DIÓXIDO DE CARBONO .....	34
<b>10</b>	<b>LUGARES DE DISPOSICIÓN FINAL.....</b>	<b>35</b>
10.1	RELLENO SANITARIO .....	35
10.2	BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	36
<b>11</b>	<b>FERMENTACIÓN .....</b>	<b>36</b>
11.1	FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	36
11.2	LIMITANTES DE LA FERMENTACIÓN .....	36
11.2.1	CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL.....	37
11.2.2	ACIDEZ DEL SUBSTRATO.....	37
11.2.3	CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES.....	37
11.2.4	TEMPERATURA.....	37
11.2.5	CONTACTO CON EL AIRE.....	38

11.2.6	PRESIÓN.....	38
11.2.7	LUZ.....	38
11.3	AJUSTE DEL pH .....	39
11.3.1	ADICIÓN DE ÁCIDO TARTÁRICO O DE ÁCIDO CÍTRICO.....	39
<b>12</b>	<b>LAS LEVADURAS.....</b>	<b>39</b>
12.1	SACCHAROMYCES CEREVISIAE .....	40
<b>13</b>	<b>ALCOHOL .....</b>	<b>40</b>
13.1	CLASIFICACIÓN DE LOS ALCOHOLES .....	41
13.1.1	MONOL.....	41
13.2	ETANOL.....	43
13.3	OBTENCIÓN DEL ETANOL .....	43
13.4	BIOQUÍMICA DE LA REACCIÓN.....	44
13.5	USOS DEL ETANOL .....	45
13.6	EL ETANOL COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA.....	45
13.7	EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE .....	45
13.8	FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DEL ETANOL .....	45
13.9	LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES COMO FUENTE DE ETANOL .....	46
<b>14</b>	<b>DISEÑOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>46</b>
14.1	CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES .....	47
14.2	DISEÑOS FACTORIALES .....	47
14.2.1	DISEÑOS FACTORIALES 2 <sup>K</sup> .....	47
<b>15</b>	<b>DISEÑO PARA LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA .....</b>	<b>50</b>



15.1	DISEÑO FACTORIAL PARA LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	50
15.2	DISEÑO HEXAGONAL PARA LA FERMENTACION ALCOHÓLICA.....	52
<b>16</b>	<b>OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>52</b>
16.1	DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVA .....	52
16.2	SELECCIÓN DEL CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN .....	53
16.3	FORMA Y PARÁMETROS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO .....	53
16.4	ETAPAS DE OPTIMIZACIÓN.....	54
16.4.1	ETAPA I: SCREENING.....	54
16.4.2	ETAPA II: ESCALAMIENTO.....	54
16.4.3	ETAPA III: OPTIMIZACIÓN FINAL.....	54
<b>16.4.3.1</b>	<b>SUPERFICIE DE RESPUESTA .....</b>	<b>55</b>

### CAPITULO III

#### HIPÓTESIS Y VARIABLES

<b>17</b>	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>60</b>
<b>18</b>	<b>VARIABLES .....</b>	<b>60</b>
18.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	60
18.2	VARIABLE DEPENDIENTE .....	60
<b>19</b>	<b>PARÁMETROS .....</b>	<b>61</b>
<b>20</b>	<b>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>62</b>
20.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	62
20.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	62
20.3	MUESTRA ESTADÍSTICA.....	62

<b>21</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>62</b>
21.1	MATERIALES DE VIDRIO Y OTROS.....	62
21.2	INSTRUMENTOS.....	63
21.3	EQUIPOS.....	64
21.4	REACTIVOS Y OTROS.....	64
21.5	ACCESORIOS DE SEGURIDAD.....	64
<b>22</b>	<b>ESQUEMA DE OBTENCIÓN DE ETANOL Y SOLUCIÓN ALCOHÓLICA.....</b>	<b>65</b>
<b>23</b>	<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>67</b>
23.1	PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO PARA LA FERMENTACIÓN.....	67
23.2	CARACTERIZACIÓN DEL SUBSTRATO .....	68
23.3	HIDROLIZACIÓN .....	68
23.4	ESTERILIZACIÓN .....	69
23.5	ACONDICIONAMIENTO DEL pH.....	69
23.6	ACTIVACIÓN DE LA LEVADURA E INOCULACIÓN .....	70
23.7	FERMENTACIÓN .....	71
23.7.1	TIEMPO DE FERMENTACIÓN.....	72
23.7.2	TEMPERATURA DEL SUBSTRATO.....	72
23.7.3	pH .....	73
23.7.4	GRADOS BRIX .....	74
23.8	FILTRACIÓN.....	75
23.9	DESTILACIÓN SIMPLE .....	75
<b>24</b>	<b>ESQUEMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL Y DE LA OPTIMIZACIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>25</b>	<b>DISEÑO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>79</b>

25.1	PRUEBAS PARA LA APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL.....	79
25.2	PRUEBAS PARA EL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO.....	80
<b>26</b>	<b>PRUEBAS PARA EL ESCALAMIENTO .....</b>	<b>82</b>
<b>27</b>	<b>PRUEBAS PARA LA OPTIMIZACIÓN CON DISEÑO HEXAGONAL.....</b>	<b>85</b>

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

<b>28</b>	<b>OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>87</b>
28.1	LA FUNCIÓN OBJETIVA.....	87
28.2	EL CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN .....	87
28.3	ETAPAS DE LA OPTIMIZACIÓN.....	87
28.3.1	ETAPA I: DEPURACIÓN O “SCREENING” .....	87
28.3.2	ETAPA II: ESCALAMIENTO.....	90
28.3.3	ETAPA III: OPTIMIZACIÓN FINAL.....	90
<b>29</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO. ....</b>	<b>91</b>
<b>30</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL SUBSTRATO.....</b>	<b>92</b>
<b>31</b>	<b>DE LA DEPURACIÓN O “SCREENING” .....</b>	<b>93</b>
31.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA R-OH.....	93
31.2	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA R-OH.....	95
31.3	MODELO MATEMÁTICO.....	96
<b>32</b>	<b>DEL ESCALAMIENTO .....</b>	<b>100</b>
<b>33</b>	<b>DE LA OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>101</b>
33.1	ESTIMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO .....	102

<b>34</b>	<b>OPTIMIZACION CON SOFTWARE.....</b>	<b>103</b>
34.1	ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA R-OH.....	103
34.2	LOS EFECTOS ESTIMADOS PARA R-OH.....	103
34.3	COEFICIENTE DE REGRESIÓN PARA R-OH.....	105
34.4	MODELO MATEMÁTICO.....	106
34.5	SUPERFICIE RESPUESTA ESTIMADA PARA R-OH.....	106
34.6	RESPUESTA OPTIMIZADA.....	108
34.7	ANALÍTICAMENTE.....	110
34.8	DISCUSIÓN COMPARATIVA.....	111
<b>35</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>36</b>	<b>SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>37</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>115</b>
<b>38</b>	<b>APENDICES.....</b>	<b>121</b>
<b>39</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>152</b>

## Resumen

Se optimizó por diseños experimentales el proceso de fermentación utilizando como materia prima los residuos biodegradables con la finalidad de maximizar la cantidad de obtención de etanol y que las sustancias no deseadas que se generan también estén en proporciones no tan significativas. Las variables de estudio fueron: tiempo de fermentación (t), temperatura de fermentación (T), el potencial de hidrogeniones (pH) del substrato como variables independientes y como variable dependiente la cantidad de obtención de etanol expresado en % R-OH.

Se utilizó previamente el diseño factorial para identificar las variables más significativas que permitió formular la ecuación de regresión múltiple entre los rangos establecidos fue:

$$\%R - OH(tT) = -0.617041 + 0.00899852 * t + 0.0347086 * T + 0.151689 * pH - 0.000160688 * t * T - 0.000535626 * t * pH - 0.00449926 * T * pH + 0.0000267813 * t * T * pH$$

Seguidamente se utilizó el método ascendente para llegar a la región óptima y finalmente se utilizó el diseño hexagonal que sirvió para determinar las condiciones óptimas de los factores, que permitió encontrar el modelo matemático que mejor representó la optimización del proceso de fermentación alcohólica del substrato de los residuos biodegradable a pH constante = 5, con un  $R^2 = 98.12\%$  fue:

$$\%R - OH(tT) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.0002.2320 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

Se determinó los parámetros óptimos: tiempo de fermentación (t)= 102.406850 horas y temperatura de fermentación (T) = 31.709566 °C y con 1.21533 % R-OH

### Abstract

The fermentation process was optimized by experimental design using biodegradable waste as the raw material in order to maximize the amount of ethanol obtained and the unwanted substances generated are also in less significant proportions. The variables of study were: fermentation time (t), fermentation temperature (T), hydrogenation potential (pH) of the substrate as independent variables and as a dependent variable the amount of alcohol solution expressed in% R-OH. We used previously the factorial design that allowed to formulate the multiple regression equation to identify the most significant variables among the established ranges with an average of 66 ° GL was:

$$\%R - OH(tT) = -0.617041 + 0.00899852 * t + 0.0347086 * T + 0.151689 * pH - 0.000160688 * t * T - 0.000535626 * t * pH - 0.00449926 * T * pH + 0.0000267813 * t * T * pH$$

Then the ascending method was used to reach the optimum region and finally the hexagonal design was used to determine the optimal conditions of the factors, which allowed to find the mathematical model with a  $r^2 = 98.12\%$  that better represented the optimization of the process. Alcoholic fermentation of the substrate of biodegradable waste at constant pH = 5, with an average 66 ° GL was:

$$\%R - OH(tT) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.0002.2320 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

The optimum parameters were determined: fermentation time (t) = 102.406850 hours and fermentation temperature (T) = 31.709566 ° C and with 1.21533 % R-OH

## Résumé

Le procédé de fermentation a été optimisé par des modèles expérimentaux utilisant comme déchets biodégradables matière première afin de maximiser la quantité de production d'éthanol et de substances indésirables sont également produits dans des proportions moins importantes.

Les variables étudiées étaient les suivantes: temps de fermentation (t), la température de fermentation (T), le potentiel des ions hydrogène (pH) du substrat en tant que variables indépendantes et la variable dépendante de la quantité de solution alcoolique en% de R-OH. la conception factorielle qui a permis la formulation de l'équation de régression multiple pour identifier les variables les plus significatives entre les gammes établies avec une moyenne de 66 ° GL a déjà été utilisé:

$$\begin{aligned} \%R - OH(tT) = & -0.617041 + 0.00899852 * t + 0.0347086 * T + 0.151689 * pH - 0.000160688 * t * T \\ & - 0.000535626 * t * pH - 0.00449926 * T * pH + 0.0000267813 * t * T * pH \end{aligned}$$

Ensuite, la méthode bottom-up a été utilisé pour atteindre la région optimale et enfin la conception hexagonale qui a servi à déterminer les conditions optimales des facteurs qui ont permis de trouver le modèle mathématique avec  $r^2 = 98,12\%$ , ce qui représente le mieux le processus d'optimisation a été utilisé substrat de fermentation alcoolique des déchets biodégradables à pH constant = 5 avec une moyenne de 66 ° GL était:

$$\begin{aligned} \%R - OH(tT) = & -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.0002.2320 * t^2 - 0.00103389 * T^2 \\ & + 0.0000762301 * t * T \end{aligned}$$

Paramètres optimaux ont été déterminés: Temps de fermentation (t) = 31.709566 heures et à la température de fermentation (T) = 31.709566 ° C et 1.21533 % R-OH

## INTRODUCCIÓN

La optimización es buscar la manera de mejorar un proceso o una actividad. En las matemáticas, en las ciencias empíricas y en la economía, optimizar es encontrar el máximo o mínimo de una función real eligiendo sistemáticamente valores de entrada y calculando el valor de la función.

La optimización del proceso de la fermentación alcohólica requiere del uso de una metodología para encontrar los valores óptimos de la fermentación que por la acción de la levadura procesan los hidratos de carbono ( glucosa, fructosa, sacarosa, almidón), para obtener como productos finales: etanol( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en forma de gas y moléculas de ATP, que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico; es decir la fermentación consiste en convertir en alcohol la biomasa rica en carbohidratos.

El objetivo de la investigación fue optimizar por el método de diseños experimentales el proceso de la fermentación anaerobia del substrato de los residuos orgánicos biodegradables operando las variables de tiempo de fermentación, temperatura de fermentación y el pH del substrato para encontrar las condiciones más óptimas de las variables más significativas para obtener etanol del substrato de los residuos biodegradables y concentrar el etanol en una solución alcohólica por destilación simple en una solución alcohólica.



## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la fermentación alcohólica se produce etanol pero también se generan otras sustancias no deseadas muchas veces en cantidades significativas, es por eso que se debe optimizar el proceso de la fermentación alcohólica para encontrar las condiciones adecuadas del proceso bioquímico de la fermentación y establecer los parámetros óptimos para obtener mayor cantidad de etanol y que las sustancias no deseadas estén en proporciones no tan significativas.

El informe anual de residuos sólidos municipales en el Perú elaborado por municipios, universidades y diversas ONG refiere que en la Región del Cusco la composición de los residuos sólidos es: 53.91 % materia orgánica, 3.57 % Papel, 2.45 % cartón, 2.07 % vidrio, 9.51 % plásticos PET, 2.76 % Metal, 1.40 % cueros y trapos, 0.79 % madera y 23.54 % material inerte. (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2009)

Si se utiliza como materia prima el 53.91 % de materia orgánica del total de los residuos sólidos que se dispone en los lugares de disposición final en la Región del Cusco minimizará la contaminación ambiental porque al degradarse los residuos orgánicos generan lixiviados que contaminan: los suelos, los recursos hídricos que alteran la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, asimismo también generan gases de efecto invernadero como el metano ( $\text{CH}_4$ ) que atrapa 20 veces más el calor que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), considerado el principal gas de efecto invernadero (GEI).

El total de residuos sólidos municipales en el Perú estimados para el año 2012 fue de 7 millones 47 mil toneladas los cuales tuvieron la siguiente composición: 53.91% materia orgánica, 10.1% plástico, 8.5% de residuos peligrosos, 7.1% material inerte, 4.8% de papel, 3.4% de madera y restos de jardín, 3.3% de cartón, 3.2% de vidrio, 2.8% de metales, 1.8% de telas y textiles, 1.6% de caucho y cuero, 0.8% de huesos, 0.6% de tetra pack y 0.45% de residuos de aparatos electrónicos. (INEI, 2015)

## **2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las variables más significativas en el proceso de la fermentación del substrato de los residuos sólidos biodegradables para obtener etanol?

¿Cuáles son las condiciones óptimas de las variables más significativas en el proceso de la fermentación del substrato de los residuos biodegradables para obtener etanol?

### **3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

#### **3.1 TÉCNICA.**

Al optimizar se mejora el proceso bioquímico de la fermentación alcohólica encontrando las mejores condiciones y estableciendo los parámetros óptimos para maximizar la cantidad de obtención de etanol y que las sustancias no deseadas que se generan también estén en proporciones no tan significativas.

#### **3.2 AMBIENTAL.**

Si se utiliza el 53.91 % de materia orgánica que se dispone en los botaderos y/o rellenos sanitarios de la Región del Cusco, como materia prima para obtener etanol, se minimizará la contaminación ambiental porque al degradarse la materia biodegradable generan lixiviados que contaminan los suelos y los recursos hídricos. Asimismo se generan gases de efecto invernadero como el metano (CH<sub>4</sub>), el cual es uno de los 6 gases de efecto invernadero regulados por el Protocolo de Kyoto. Este gas atrapa 20 veces más el calor que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), considerado el principal gas de efecto invernadero (GEI).

#### **3.3 SALUD.**

El metano y el dióxido de carbono son gases liberados en el interior del vertedero por la descomposición anaeróbica de los residuos biodegradables que se combina con otros residuos sólidos liberando varios tipos de gases que escapan con solventes, pesticidas y volátiles clorados que se mezclan con el aire circundante, afectando la salud y la calidad de vida de los pobladores que radican cerca a los lugares de disposición final.

Los metales pesados: plomo (Pb), cobre (Cu), cadmio (Cd), Níquel (Ni) y algunos metaloides como el arsénico, se solubilizan en el suelo por los ácidos derivados de la descomposición de los residuos biodegradables y son arrastrados por los líquidos lixiviados contaminando los recursos hídricos, que en muchos casos son utilizados en la agricultura y consumo animal, es un riesgo en general que afecta la salud humana si se consume los productos que utilizan estas aguas y se consume diletantemente estas aguas contaminadas.

### **3.4 ECONÓMICA.**

Al optimizar el proceso de fermentación se mejora el proceso que minimizará los costos en la producción de etanol y al utilizar residuos sólidos orgánicos biodegradables como materia prima el cual es abundante y económico porque representa el 53.91 % de materia orgánica de los residuos sólidos dispuestos en los vertederos y es una alternativa energético sostenible que puede ofrecer ventajas económicas a largo plazo, en oposición a los combustibles fósiles.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 GENERAL**

Optimizar el proceso de la fermentación del substrato de los residuos sólidos biodegradables para obtener etanol.

### **4.2 ESPECÍFICOS**

- \* Caracterizar los residuos sólidos biodegradables para obtener etanol.
- \* Obtener etanol por el proceso de fermentación anaerobia.
- \* Concentrar el etanol en una solución alcohólica por destilación simple estricta.
- \* Evaluar las variables significativas involucrados en el proceso de la fermentación.
- \* Determinar las condiciones óptimas de las variables más significativas en el proceso de la fermentación.
- \* Medir la cantidad de etanol obtenida en la fermentación y la cantidad de solución alcohólica concentrada después de la destilación simple estricta.
- \* Establecer el modelo matemático del diseño experimental que mejor represente el proceso de la fermentación alcohólicas.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 5 ANTECEDENTES

\* Ambía & Farfán, (2012). OPTIMIZACIÓN POR DISEÑOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN AEROBIO DE LOS LIXIVIADOS DE HAQUIRA. Optimizaron el proceso de degradación de materia orgánica biodegradable de los lixiviados del botadero de Haquira, en bioreactores con contactador cilíndrico rotativo (CCR), considerando como variables independientes: la velocidad de rotación del CCR ( $v$ ), tiempo (residencia) de rotación CCR ( $t$ ) y el pH; y como variable dependiente el porcentaje eliminación de  $\text{DBO}_5$  (%DBOe). Previamente se caracterizó y homogenizó los lixiviados que dio valores de  $\text{DBO}_5$  1175  $\text{mgO}_2/\text{L}$ , DQO 5146.6  $\text{mg O}_2/\text{L}$ , pH 8.0 y un  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  de 0.2283. Determinándose los parámetros óptimos a:  $t=21.1993$  horas y  $v=12.2699$  rpm; para un máximo de 80.0509 % DBOe.

\* Quizhpi, (2008). OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA SECCIÓN DE FRUTAS DEL MERCADO MAYORISTA DE RIOBAMBA. Obtuvieron etanol a partir de los residuos orgánicos de la sección de frutas del mercado mayorista de Riobamba (Ecuador), determinando que a partir de 1.5Kg de residuo se obtuvieron 0.07525 L de etanol de 95°; y los parámetros físicos y químicos involucrados en el proceso de la fermentación alcohólica fueron la temperatura 30°C, pH 6, tiempo de fermentación 4 días y 21-22°B enriquecido con melaza.

\* Garzón & Hernández, (2009). ESTUDIO COMPARATIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL ENTRE *SACCHAROMYCES CEREVISIAE SILVESTRE*, *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ATCC 9763 Y *CANDIDA UTILIS* ATCC 9950. Compararon la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae silvestre*, *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 y *Candida utilis* ATCC 9950; realizaron ensayos a diferentes concentraciones de melaza (180, 200 y 250 g/L). Con la concentración de 250 g/L., las cepas *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 , ATCC 9080 y *Candida utilis* ATCC 9950 presentaron un porcentaje de alcohol del 8 % (V/V), mientras que la *Saccharomyces cerevisiae silvestre* mostro un porcentaje del 6,5 % (V/V) a la concentración de 250 g/L; el etanol obtenido fue cuantificado por alcoholimetría y cualificado por cromatografía de gases.

\* Rueda & Herrera, (20-06). DISEÑO PRELIMINAR DE UN PROCESO DE OBTENCION DE ETANOL A PARTIR DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO DE FRUTAS, APLICANDO LA TECNOLOGÍA DEHIDRÓLISIS TÉRMICA CATALIZADA. Diseñaron un proceso preliminar para la obtención de etanol a partir de material lignocelulósico de las cáscaras de frutas provenientes de la “Plaza de Mercado Guarín” de la ciudad de Bucaramanga, seleccionando un proceso en tres etapas: primramente se realizó un pretratamiento con ácido diluído e hidrólisis con ácido concentrado alta temperatura; seguidamente se fermentó con *saccharomyces cerevisiae* y finalmente se separó/purificó aplicando una destilación simple; implementando el desarrollo experimental para cada etapa. Realizarón el análisis de varianza (ANOVA con el paquete estadístico STATGRAPHICS 5.1 (versión demo), utilizando los datos de los diseños experimentales que se necesitaron para estimar los efectos de los factores categóricos con dos niveles de operación para cada uno.



\* Gutierrez, (2009). OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DEL MANGO CRIOLLO DEL IATMO DE TEHUANTEPEC. Obtuvieron etanol a nivel laboratorio utilizando *saccharomyces cerevisiae* como microorganismo fermentador; a partir de la fermentación del jugo de mango (mosto) “criollo” o conocido comúnmente como mango corriente, del Municipio de Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca, posteriormente llevaron a cabo el análisis cualitativo y cuantitativo por cromatografía de gases, de las muestras de condensado obtenidos durante las destilaciones del mosto fermentado. En el análisis cualitativo, se utilizaron los siguientes estándares metanol, etanol, 2-propanol, acetato de etilo y butanol, ya que éstos, son los posibles compuestos que se pueden producir además de etanol, durante el proceso de fermentación. Para el análisis cuantitativo de las muestras emplearon el método de las adiciones estándar, utilizándose butanol como estándar interno.

\* Alarcón A. V., (2010). PRODUCCIÓN DE BIOETANOL CON ZYMOMONAS MOBILIS. Se consideraron tres factores en el estudio de la hidrólisis ácida del almidón contenido en la harina de yuca y malanga los cuales fueron: temperatura, concentración de  $H_2SO_4$  y tiempo. Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) y un diseño factorial  $2^3$  para caracterizar dichos factores a un 95% de confianza, las mejores condiciones para la hidrólisis del almidón de yuca y malanga fueron: 5% de  $H_2SO_4$ , 5 horas y  $95^\circ C$ , los rendimientos de obtención de 0.52 g(glucosa)/g(harina) de yuca y 0.79 g(glucosa)/g(harina de malanga). En el caso de la hidrólisis enzimática se llevó a cabo un diseño factorial central  $2^3$ , un análisis de superficie de respuesta y un análisis de varianza. Esto con el fin de determinar las mejores condiciones para la hidrólisis enzimática de la harina de yuca y malanga usando a las enzimas  $\alpha$ -amilasa y amilogucosidasa en sinéresis. Tres de los factores considerados importantes para la reacción fueron estudiados:

temperatura, pH y tiempo de hidrólisis. El análisis de superficie de respuesta mostró que la respuesta fue mínima en los puntos centrales para ambos casos tubérculos y que, con un nivel de confianza del 95%, las mejores condiciones para la hidrólisis enzimática fueron: 73.6 ° C, pH 4.08 y 24h, con un rendimiento de 0.64 g glu / g de harina de yuca. Se evaluó la producción de etanol con el hidrolizado de la harina de yuca, utilizando tres diferentes medios de cultivos en una fermentación en lote. La adición de extracto de levadura,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y peptona de caseína en el medio de cultivo provocó un incremento significativo en la producción de etanol con esta cepa. *Z. mobilis* NRRL-806 produjo 13.27 g/L de etanol a partir de una concentración de azúcares de 20g/L, una temperatura de 28 °C, un pH 6.8, 72 h de fermentación y agitación de 100 rpm.

\* Perseo, (2007). AGROCOMBUSTIBLE, OTRO ENFOQUE AL DEBATE SOBRE BIOCOMBUSTIBLES. El proyecto Perseo busca producir bioetanol a partir de residuos orgánicos en la empresa valenciana Imecal. Se estima que con una tonelada de residuos orgánicos seco se pueden obtener 160 litros de etanol. Para la ciudad de México se produce 12 500 toneladas de basura diaria, se supone que la mitad es orgánica entonces quedan 6 250 toneladas de residuos sólidos urbanos tenemos: 1 Tonelada se obtiene 160 litros de bioetanol y 6250 toneladas se obtiene 1 000 000 litros de bioetanol diario lo cual al año generaría 1 000 000 litros de bioetanol diario X 365 días del año =365 000 000 litros de bioetanol.

\* Rios & Romero, (1987). OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL APATIR DE LA JORA DEL MAÍZ EN LA PLATA PILOTO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA. El objetivo del trabajo fue determinar los principios teóricos y los criterios técnicos para obtener etanol con las codiciones más optimas del proceso que vino a ser

uno de los puntos centrales de la investigación y abordaron la “evaluación técnica y experimental”, tecnología empleada, cálculos técnicos del proceso los que han sido realizados tomando en consideración a los parámetros de temperatura y presión de la ciudad del Cusco, presión de 512 mmHg, temperatura de 25°C y obtuvieron 1 litro de alcohol por 3 kilos de maíz.

## **6 CONTAMINACIÓN**

Contaminación, es la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas. (Microsoft Corporation, 2008)

La Organización Mundial de la Salud sobre contaminación, las cuales demuestran que una de cada ocho muertes en el mundo está relacionadas con la exposición a ambientes contaminados. María Neira, directora del departamento de Salud Pública y Medio Ambiente de la OMS refiere que las cifras son sorprendentes, son dramáticas. Y es un problema que afecta a todos, tanto a países en desarrollo como desarrollados. Pero tenerlas ya es un primer paso positivo, porque nos da el conocimiento para poder actuar y resolver el problema.” (Infobae, 2014)

## **7 LAS CONFERENCIAS DE NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO**

La primera Cumbre de la Tierra se realizó en Estocolmo (Suecia), del 5 al 16 de junio de 1972. Veinte años después se realizó la segunda en Río de Janeiro (Brasil), del 2 al 13 de junio de 1992. La tercera se realizó en Johannesburgo (Sudáfrica), del 23 de agosto al 5 de septiembre del 2002. La cuarta cumbre se reunió en junio de 2012 en Río de Janeiro, bajo la denominación de Conferencia de Desarrollo Sostenible Río+20.

En el programa 21 de la declaración de Rio sobre el medio ambiente y desarrollo establece en el artículo 21.40: Los gobiernos según la capacidad y los recursos de que dispongan y con la cooperación de las Naciones Unidas y de otras organizaciones competentes según proceda, deberían: a) Establecer mecanismos de financiación para el desarrollo de servicios de gestión de

los desechos en las zonas que carezcan de ellos, incluidos métodos adecuados de generación de recursos b) Aplicar el principio de que "quien contamina paga", cuando proceda, mediante el establecimiento de tarifas para la gestión de los desechos que refleje el costo de prestar el servicio y lograr que quienes generen los desechos paguen la totalidad del costo de su eliminación en forma inocua para el medio ambiente; y c) Fomentar la institucionalización de la participación de las comunidades en la planificación y aplicación de procedimientos para la gestión de los desechos sólidos. (Naciones Unidas, 1992) :

Río +20, es el nombre abreviado de la conferencia de las Naciones Unidas que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil (del 20 al 22 de junio de 2012), veinte años después de la histórica cumbre de la Tierra en Río en 1992. Río +20 fue también una oportunidad para mirar hacia el mundo que queremos tener en 20 años.

En el ordinal 124 señala: Destacamos que es necesario adoptar medidas para reducir considerablemente la contaminación del agua y aumentar su calidad, mejorar notablemente el tratamiento de las aguas residuales y el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos y reducir las pérdidas de agua. Destacamos que para lograr esos propósitos se necesita asistencia y cooperación internacionales. (Naciones Unidas, 2012)

En el ordinal 6.3 de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible señala: De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial. (Naciones Unidas, 2015)

## 8 LOS RESIDUOS SÓLIDOS

En el artículo 14 de la ley general de residuos sólidos N° 27314, define: Son residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos: (Congreso Legislativo, 2000)

Los efectos que producen los residuos sólidos en el medio ambiente, se pueden apreciar en: la atmósfera, el suelo, el agua, en la flora y fauna. La contaminación atmosférica por parte de los desechos se produce a través del metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), los cuales son gases que contribuyen al calentamiento global (efecto invernadero), los cuales se originan a partir de la quema indiscriminada de basura. Con respecto al suelo se ve afectada por el desecho de pilas, baterías, herbicidas, pesticidas, aceites, grasas, metales pesados y ácidos, estos residuos son los responsables de la alteración de los componentes físicos, químicos y de fertilidad del suelo. En lo que concierne al agua, se ve afectada por el vertimiento de aguas residuales y materia orgánica la cual reduce los niveles del oxígeno disuelto e incrementa la cantidad de nutrientes dando paso a la eutrofización (crecimiento acelerado de fitoplancton a causa del exceso de nutrientes). Finalmente, el efecto biótico de los residuos sólidos comprende a la flora y fauna de un ecosistema lo cual a su vez pone en peligro el sustento alimenticio de la población. (INEI, 2015)

## **8.1 RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES**

Denominados también residuos sólidos biodegradables o residuos orgánicos que por su naturaleza orgánica pueden descomponerse relativamente rápida para integrarse a la tierra y formar parte del ecosistema.

El informe anual de residuos sólidos municipales en el Perú elaborado por municipios, universidades y diversas ONG refiere que en la región del Cusco la composición de los residuos sólidos es: 53.91 % materia orgánica, 3.57 % Papel, 2.45 % cartón, 2.07 % vidrio, 9.51 % plásticos PET, 2.76 % Metal, 1.40 % cueros y trapos, 0.79 % madera y 23.54 % material inerte. (Ministerio del Ambiente - MINAN, 2009)

## **8.2 APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES**

En las ciudades se generan cantidades enormes de residuos biodegradables que proceden básicamente de restos de alimentos que no tienen valor económico y por ello se acumulan en vertederos, pero al ser tratados mediante biotecnológicas pueden tener algunos usos: como obtención de compost y alcohol en solución “etanol” entre otros.

## **9 PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA**

### **9.1 LIXIVIADOS**

Los lixiviados son líquidos provenientes de la misma humedad de los residuos biodegradables, y la descomposición de la materia orgánica, por consiguiente, presenta una elevada carga orgánica además de metales pesados, nitrógeno amoniacal, sales inorgánicas, una elevada toxicidad con un intenso color negro/marrón y desagradable olor. Son altamente contaminantes, si no son manejados adecuadamente contaminan los recursos hídricos alterando la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

“El problema de los lixiviados no es tanto un problema de ingeniería, es un problema de educación. Los ingenieros pueden hacer plantas de tratamiento de tal manera que los lixiviados lo devuelvan tan puro que pueden tomar esa agua en un vaso, pero ¿a qué costo?, unos costos superiormente altos porque se tiene que comprar elementos: químico, físicos y microbiológicos para poderlo purificar. Pero hay un método que sostengo; es disminuir la materia orgánica, no votar tanta papa, yuca, carne, arroz. (Collazos, 2010)

Los lixiviados generados en el proceso de degradación anaerobia de los residuos sólidos dispuesto en el botadero de Haqira, presentan alto contenido de materia orgánica biodegradable caracterizada como un valor elevado de  $DBO_5$  en razón de ello fue adecuado realizar un tratamiento biológico para eliminar dicho contaminante considerando que las normas para un agua de categoría III es de 15 mg/L de  $DBO_5$  de acuerdo al D.S 002-2008 MINAN que corresponde a los estándares nacionales de calidad ambiental para agua de categoría III, para



riego de vegetales y bebida de animales. (Ambía & Cruz, Seminario de investigación: Degradación de la materia organica del botadero de Haqira por aireación mediante agitación, 2010)



**Figura 1 Lixiviados discurriendo en el botadero de Haqira.**

## **9.2 GASES**

Los gases en los lugares de disposición final se podrían clasificar en gases principales y los oligogases. El metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) son los principales gases que se generan por la descomposición anaerobia de los componentes biodegradables de los residuos orgánicos por lo que se encuentran en mayor porcentaje. También se encuentran nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ), organosulfurados (C-S a menudo se asocian con malos olores) amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) mercaptanos (tiol o grupo sulfhidrilo.  $-\text{SH}$ ). También podrían encontrarse en presentes en pequeñas cantidades de: benceno, coclorometano, tolueno, tetracloroetileno, cloruro de vinilo, acetona clorobenceno, cloroformo, bromuro de etileno, xileno, entre otros:

### 9.2.1 METANO

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es un gas incoloro, inodoro y muy inflamable, más ligero que el aire, que en la naturaleza se produce por la descomposición de la materia orgánica, especialmente en los pantanos y es uno de los 6 gases de efecto invernadero los cuales son: vapor de agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) clorofluorcarbonos (CFC) y ozono ( $\text{O}_3$ ).

En el tercer informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) en inglés “intergovernmental panel on climate change”, refiere que este gas atrapa 23 veces más el calor que el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), considerado el principal gas de efecto invernadero (GEI), sin embargo hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que metano por lo que el metano contribuye de manera menos importante al efecto invernadero.

### 9.2.2 DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas incoloro, denso vital para la vida en la Tierra. Y se produce durante los procesos de descomposición de materiales orgánicos, la fermentación de azúcares y es un producto de la respiración de todos los organismos aerobios. También se produce por la combustión de madera (leña), carbohidratos y combustibles fósiles como el carbón, la turba, el petróleo y el gas natural.

Existen muchas evidencias empíricas que el aumento de la concentración del dióxido de carbono produce una intensificación del efecto invernadero. Los ensayos de laboratorio muestran que el dióxido de carbono absorbe radiación de onda larga. Las mediciones de satélite confirman que hay menos radiación de onda larga que escapa al espacio en las longitudes de onda en las que el

dióxido de carbono absorbe. El resultado de esta falta de balance es la acumulación de calor a lo largo de los últimos 40 años. (GPWayne, 2015)

## **10 LUGARES DE DISPOSICIÓN FINAL**

Ley general de residuos sólidos (Ley N° 27314), en su disposición complementaria, transitoria y finales, define que la disposición final, es el proceso u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura. En el capítulo IV de la Infraestructura de disposición final del reglamento Decreto Supremo N° 057-2004-PCM., en el artículo 82 señala, que la disposición final de residuos del ámbito de gestión municipal se realiza mediante el método de relleno sanitario. La disposición final de residuos del ámbito de gestión no municipal se realiza mediante el método de relleno de seguridad.

### **10.1 RELLENO SANITARIO**

Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental. (Congreso Legislativo, 2000)

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería que incluyen sistemas de prevención, control de vectores, programas de cobertura diaria, que permita la disposición segura de residuos sólidos, previa separación, clasificación y segregación, control de emisión de gases y tratamiento de lixiviados, pero antes de ser puesta en funcionamiento debe contar con el estudio de impacto ambiental debidamente aprobado.

## 10.2 BOTADERO DE RESIDUOS SÓLIDOS

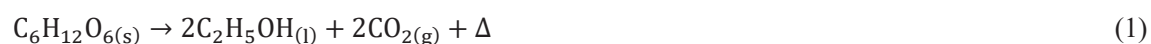
Acumulación inapropiada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria. (Congreso Legislativo, 2000)

## 11 FERMENTACIÓN

Son cambios químicos en las sustancias orgánicas producidos por la acción de las enzimas. Esta definición general incluye prácticamente todas las reacciones químicas de importancia fisiológica. Actualmente, los científicos suelen reservar dicha denominación para la acción de ciertas enzimas específicas, llamadas fermentos, producidas por organismos diminutos tales como el moho, las bacterias y la levadura. (Microsoft Corporation, 2008)

### 11.1 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Desde la antigüedad, el etanol se ha obtenido por fermentación de azúcares. El almidón de la papa, del maíz y de otros cereales constituye una excelente materia prima. La reacción de la fermentación es representada por la ecuación:



### 11.2 LIMITANTES DE LA FERMENTACIÓN

Los factores que limitan la glucólisis fermentativa del etanol son complejos debido a la interrelación existente y a la naturaleza de los parámetros intervinientes durante la fermentación y algunos de los más importantes que surgen en el proceso son:

### 11.2.1 CONCENTRACIÓN DE ALCOHOL

Una alta concentración de alcohol en el medio tiene efecto inhibitorio sobre el crecimiento de la célula de levadura y la producción de etanol durante el proceso de fermentación. “Algunos microorganismos como el *saccharomyces cerevisiae* pueden llegar a soportar hasta el 20% de concentración en volumen” (Riegel & Kent, 2003, citado en Wikipedia, 2015).

### 11.2.2 ACIDEZ DEL SUBSTRATO

El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación ya que las levaduras se encuentran afectadas claramente por el ambiente, bien sea alcalino o ácido. “El crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* se ve favorecido por un pH aproximado de 4.0 a 5.0 y no se desarrollan bien en medio alcalino a menos que se hayan adaptado al mismo” (Tuite & Oliver, 1991 citado en Fajardo & Sarmiento , 2007).

### 11.2.3 CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES

Las concentraciones altas de azúcares afectan los procesos de osmosis dentro de la membrana celular, el rango óptimo de concentración de azúcar es de 10 a 18%, puesto que a concentraciones de 22% las levaduras empiezan a tener problemas en su proceso de respiración celular (Ríos, et al 2005, citado en Garzón & Hernández, 2009).

### 11.2.4 TEMPERATURA

La fermentación alcohólica es una reacción exotérmica que desprende energía como calor que contribuye en el incremento de la temperatura y decrece la actividad celular notablemente a temperaturas mayores de 40° C y superiores a los 50 °C se produce la muerte de las levaduras

porque son seres mesófilos. “La temperatura óptima de crecimiento de las levaduras especialmente de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es de 30 a 35 °C” (Quintero, 1981, citado en Fajardo & Sarmiento , 2007).

### 11.2.5 CONTACTO CON EL AIRE

La razón por la que los recipientes fermentadores se cierran herméticamente, es porque el oxígeno afecta al proceso y se utilizan un air lock para dejar salir el bióxido de carbono pero evita que el oxígeno ingrese. Una intervención de oxígeno por mínima que sea, en el proceso, lo detiene por completo, es el denominado efecto Pasteur (Riegel & Kent, 2003, citado en Wikipedia, 2015).

### 11.2.6 PRESIÓN

En el proceso de fermentación además de producirse etanol también produce gas carbónico en la medida que su concentración crece al interior del recipiente, su presión también aumenta, esto trae como consecuencia una disminución de la actividad celular. Una forma de incentivar la actividad celular es retirando el CO<sub>2</sub> y con ello se disminuye el perjuicio de su elevada presión.

### 11.2.7 LUZ

En la luz diurna o a la luz eléctrica, las células de *accharomyces cerevisiae* y *saccharomyces ludwigii* sólo se multiplican a la mitad de intensidad que en la oscuridad. Es, sobre todo, la luz azul la que parece retardar la reproducción, mientras que en la luz roja las células se multiplican a la misma o a mayor velocidad que en la oscuridad. Además, se ha observado que por acción de los rayos ultravioletas el desarrollo de las células en una cámara húmeda sufre una inhibición que ya se nota a los 10 segundos y cesa por completo al cabo de los 3 minutos. (Hansen, 1959)

### **11.3 AJUSTE DEL PH**

El crecimiento de la levadura y la velocidad de fermentación no se ve afectado por variación de pH entre 3.5 y 6.0 en el medio, pero a valores de pH entre 3.05 hasta 3.50 en el medio, se logra alcanzar un máximo de rendimiento de acuerdo a la formación de producto y crecimiento de la levadura. Aleixandre, 1998 citado por (Ramirez & Pedroza, 2001)

#### **11.3.1 ADICIÓN DE ÁCIDO TARTÁRICO O DE ÁCIDO CÍTRICO**

Los dos únicos ácidos que se pueden usar tanto tecnológicamente como legalmente, son el ácido tartárico y el cítrico.

##### **11.3.1.1 DESACIDIFICACIÓN**

Los desacidificantes utilizables técnicamente en las fermentaciones son: el carbonato de calcio, el bicarbonato de potasio y el tartrato neutro de potasio.

##### **11.3.1.2 BUFFERS**

Los microorganismos al desarrollarse suelen provocar cambios en el pH de la solución, lo recomendable es adicionar al medio de cultivo un amortiguador de pH, actuando dentro de los límites máximos de pH; por lo tanto, se deben seleccionar amortiguadores para diferentes regiones de pH; es por ello que en los procesos industriales procuran mantener los niveles óptimos de acidez durante la fermentación mediante el empleo de disoluciones tampón.

## **12 LAS LEVADURAS**

Los microorganismos responsables de la fermentación son de tres tipos: bacterias, mohos y levaduras. Cada una de estos microorganismos posee una característica propia sobre la fermentación que en algunos casos son capaces de proporcionar un sabor característico al

producto final (como en el caso de los vinos o cervezas). A veces estos microorganismos no actúan solos, sino que cooperan entre sí para la obtención del proceso global de fermentación.

### **12.1 SACCHAROMYCES CEREVISIAE**

*Saccharomyces cerevisiae* es la especie de levaduras utilizada por excelencia para la obtención de etanol a nivel industrial puesto que es un microorganismo de fácil manipulación y recuperación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, en la fermentación produce bajos niveles de subproductos, es osmotolerante, capaz de utilizar altas concentraciones de azúcares, presenta alta viabilidad celular para el reciclado y características de floculación y sedimentación para el procesamiento posterior (Carballo, 2000, citado en Fajardo & Sarmiento , 2007).

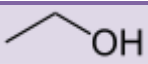
## **13 ALCOHOL**

En química se denomina alcohol aquellos hidrocarburos saturados, o alcanos que contienen un grupo hidroxilo (-OH) en sustitución de un átomo de hidrógeno enlazado de forma covalente. Los mono alcoholes derivados de los alcanos responden a la fórmula general  $C_nH_{2n+1}OH$ , si contienen varios grupos hidroxilos se denominan polialcoholes.

Los alcoholes son compuestos en los que un grupo hidroxilo, -OH, está unido a un átomo de carbono saturado  $R_3COH$ . El término hidroxilo se refiere a la especie de radical HO. (IUPAC, 1997)

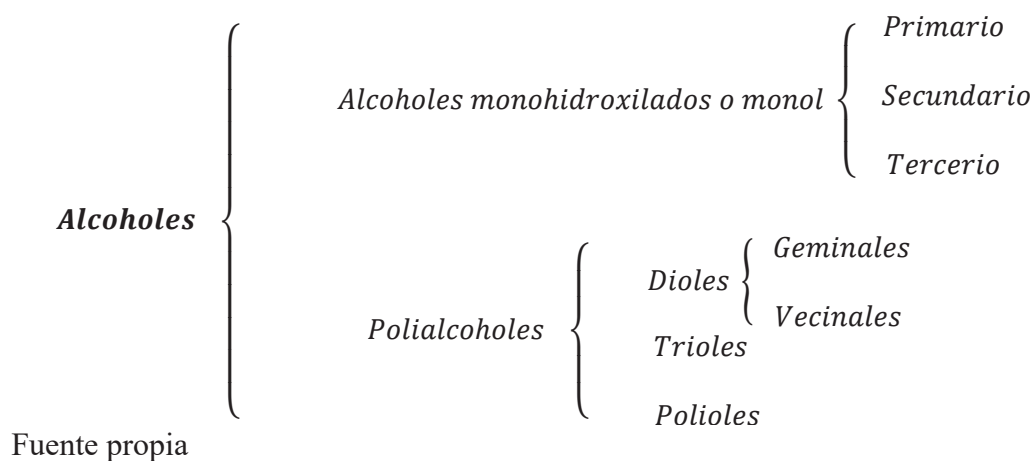


**Tabla 1. Función oxigenada (enlace carbono-oxígeno)**

Grupo funcional	Serie homólogo	Fórmula	Estructura	Prefijo	Sufijo	Ejemplo
Grupo hidroxilo	Alcohol	R-OH	$\begin{array}{c} \text{O} \\ / \quad \backslash \\ \text{R} \quad \text{H} \end{array}$	hidroxi-	-ol	 <u>Etanol</u>

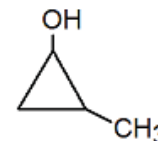
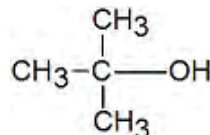
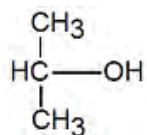
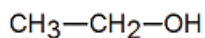
(McMurry, 2005)

### 13.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ALCOHOLES



#### 13.1.1 MONOL

Denominado también mono alcano o alcohol hidroxílico y son aquellos que contienen un grupo hidroxilo en sus moléculas



Etanol (alcohol etílico)    2-Propanol  
(alcohol isopropílico)    2-metil-2propanol    1,2-Propanodiol  
(alcohol terbutílico)

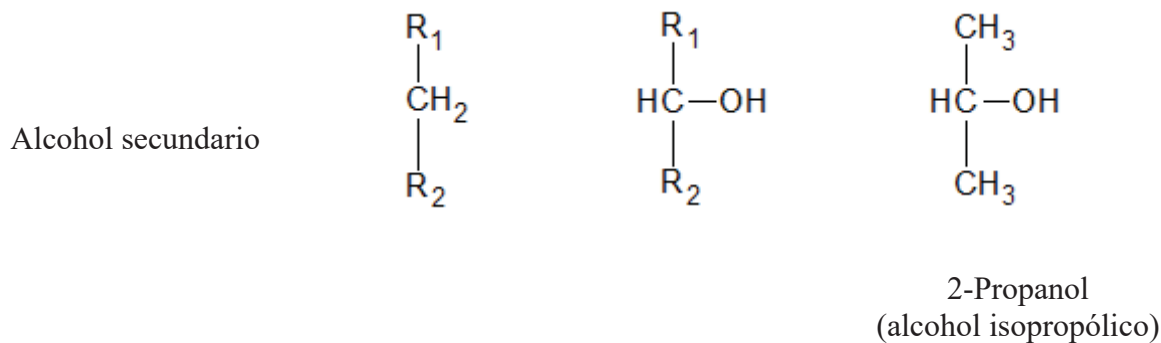
### 13.1.1.1 ALCOHOLES DE ACUERDO AL CARBONO ENLAZADO

En el libro de química orgánica clasifica también los alcoholes de acuerdo a carbono enlazado: como primarios, secundarios o terciarios de acuerdo con la posición del grupo hidroxilo en átomos de carbono, secundario o terciario. (Acuña, 2006)

\* **Primario:** Si el átomo de hidrogeno (H) sustituido por el grupo oxidrilo (-OH) pertenece a un carbón (C) primario, es decir un carbono con unido a 2 átomos de hidrogeno.

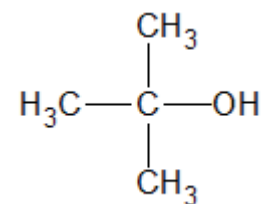
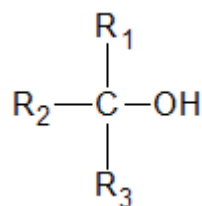
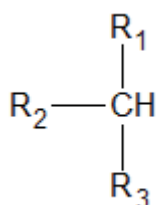


\* **Secundario:** El átomo de hidrogeno (H) sustituido por el grupo oxidrilo (-OH) pertenece a un carbón (C) secundario, es decir un carbono unido a 1 átomo de hidrogeno.



\* **Terciario:** El átomo de hidrogeno (H) sustituido por el grupo oxidrilo (-OH) pertenece a un carbón (C) terciario, es decir un carbono solo.

Alcohol terciario



2-metil 2-propanol  
(alcohol terbutílico)

## 13.2 ETANOL

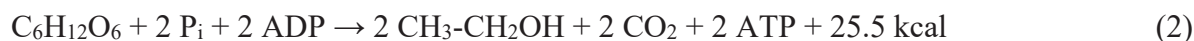
El etanol es un compuesto químico conocido como alcohol de vino o alcohol etílico cuya fórmula es, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH. El etanol a la presión de 1 atm y a la temperatura de 25 ° C, es un líquido transparente, incoloro, inflamable, con sabor a quemado y con un olor agradable. Su punto de fusión de -114,1 °C, un punto de ebullición de 78,5 °C y con una densidad relativa de 0,789 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C.

## 13.3 OBTENCIÓN DEL ETANOL

El etanol puede producirse de cualquier feedstock biológico que contenga cantidades apreciables de azúcar o materiales que puedan convertirse en azúcares simples como el almidón o la celulosa; y se concentra por destilación.

### 13.4 BIOQUÍMICA DE LA REACCIÓN

La glucólisis es la primera etapa de la fermentación, lo mismo que la respiración celular, y al igual que ésta necesita de enzimas para su completo funcionamiento. A pesar de la complejidad de los procesos bioquímicos una forma esquemática de la reacción se puede describir como unos glicólisis (vía Embden-Meyerhof-Parnes).



Se puede ver que la fermentación alcohólica es desde el punto de vista energético una reacción exotérmica, se libera una cierta cantidad de energía (Lehninger, 2004, citado por Wikipedia, 2015).

El rendimiento teórico de 1 gramo de glucosa es de 0.51 gramos de etanol y 0.49 gramos de CO<sub>2</sub>. Aproximadamente el 10% de la glucosa se transforma en biomasa y el rendimiento en etanol y CO<sub>2</sub> alcanzan el 90% del valor teórico. El ATP formado se utiliza para las necesidades energéticas de la célula. (Owen, 1991)

La estequiometría de la reacción es:



Tomando como base 100 g de glucosa producirán 51,11 g de etanol, si la densidad del etanol a 20°C es 0,7893 g/cm<sup>3</sup> entonces 100 g de glucosa producirán 64,753 ml de etanol; valor este que se conoce como el “Factor de Gay Lussac” y que se ha de utilizar en todos los cálculos de conversión de azúcares simples (hexosas) a volumen de alcohol etílico. (Alconoa, s.f.)

### **13.5 USOS DEL ETANOL**

El etanol es el constituyente de bebidas y materia prima para colorantes y explosivos y básicamente se utiliza como disolvente a nivel industrial, en fármacos y cosméticos; sus usos son muy numerosos. Debido a su bajo punto de congelación, ha sido empleado como fluido en termómetros para medir temperaturas inferiores al punto de congelación del mercurio,  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y como anticongelante en radiadores de automóviles.

### **13.6 EL ETANOL COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA**

El tratamiento de residuos orgánicos para la obtención de etanol se convertiría en una alternativa para disponer de energía, pues en su procesamiento no demanda de tecnología avanzada.

### **13.7 EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE**

El etanol puede utilizarse como combustible para automóviles sin mezclar o mezclado con gasolina en cantidades variables para reducir el consumo de derivados del petróleo. La ley de promoción del mercado de biocombustibles (Ley N° 28054), promueve la comercialización de los biocombustibles en su condición de puro o mezclado con otro combustible en el mercado de biocombustibles en el Perú.

### **13.8 FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DEL ETANOL**

Hoy en día se utilizan tres tipos de materias primas para la producción a gran escala de etanol:

1. Sustancias con alto contenido de sacarosa: caña de azúcar, remolacha melazas y sorgo dulce.
2. Sustancias con alto contenido de almidón: maíz, patata, yuca entre otros.
3. Sustancias con alto contenido de celulosa: madera, residuos agrícolas.

### 13.9 LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES COMO FUENTE DE ETANOL

Los residuos agrícolas y forestales (las frutas son alimentos vegetales que proceden del fruto de determinadas plantas, ya sean hierbas o árboles), residuos industriales (papel, agroalimentarios), cultivos energéticos (cultivos de corta rotación, herbáceos) y fracción orgánica de los residuos urbanos. Son recursos abundantes de origen residual que se puede utilizar como materia prima para obtener etanol con la ventaja que a la vez minimizara la contaminación del medio ambiente.

## 14 DISEÑOS EXPERIMENTALES

El diseño experimental se utiliza para planificar un experimento a diferentes condiciones para un determinado problema que se investiga para obtener la información deseada y así tomar decisiones correctas.

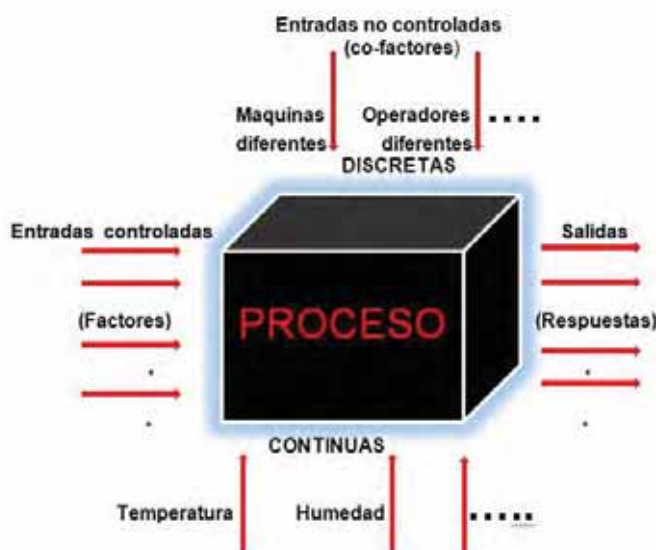


Figura 2 Esquema del modelo del proceso caja negra (black box)

El propósito del diseño experimental es seleccionar unidades experimentales y asignarlas a tratamientos de forma que se minimicen los términos de error. (Cáceres, 2009)

## 14.1 CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES

Muchos de los investigadores lo clasifican de acuerdo al tipo de aplicación; desde el punto de vista de la optimización por diseños experimentales se pueden clasificar teniendo en cuenta el orden del modelo matemático a obtenerse, siendo diseños experimentales de primer orden y segundo orden (Mina & Pardo, 1995).

## 14.2 DISEÑOS FACTORIALES

Los diseños factoriales se usan ampliamente en experimentos que incluyen varios factores y es necesario estudiar el efecto de dichos factores en forma conjunta de los factores sobre la respuesta. La necesidad de estudiar conjuntamente varios factores obedece a las siguientes razones:

- a. Encontrar un modelo que describa el comportamiento general del fenómeno en estudio. Esto se restringe al rango de variación de los niveles de los factores.
- b. Optimizar la función objetiva o variable respuesta, es decir, encontrar la combinación de niveles de los factores que minimicen o maximicen optimizan la función objetiva.

### 14.2.1 DISEÑOS FACTORIALES $2^k$

Con frecuencia los diseños factoriales  $2^k$  son útiles en la fase inicial de los trabajos de investigación experimental y se expresa:

$$N = m^k \tag{4}$$

Dónde:

N = Número de experimentos

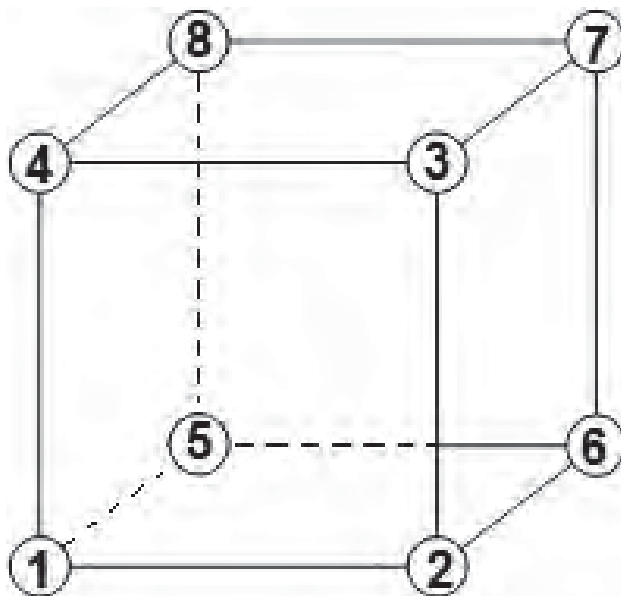
m = Número de niveles

$k$  = Número de variables o factores

A las variables experimentales se le denomina también factores ( $k$ ), por nivel se entiende a los diferentes valores que puede tomar los factores o variables ( $m$ ), y la combinación de factores que se utilizan en ciertos ensayos experimentales se les denomina experimento, ensayo o tratamiento ( $N$ ), y el resultado del ensayo se llama efecto. Si es necesario utilizar varios lotes de la materia en estudio cuyas características son similares pero no idénticas a cada lote se llama bloque; si el mismo experimento se repite en las mismas condiciones se llama replica.

#### 14.2.1.1 DISEÑO FACTORIAL $2^3$

Cuando se tienen tres factores: A, B y C, con dos niveles cada uno, entonces hay un total de 8 tratamientos en investigación, al diseño se le llama diseño factorial  $2^3$  y la representación geométrica de las ocho combinaciones de tratamientos puede hacerse con un cubo como se muestra en la figura 4. (Palacios, 2010)



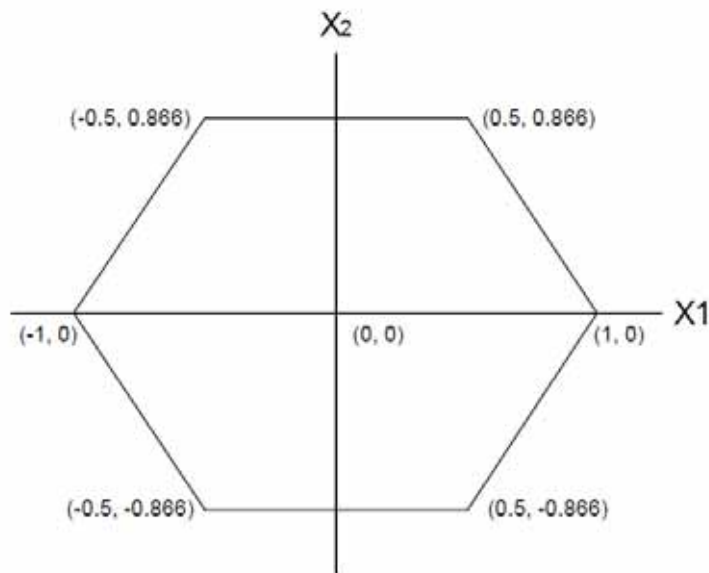
**Figura 3. Diseño factorial  $2^3$**



### 14.2.1.2 DISEÑO HEXAGONAL

El diseño hexagonal es un diseño experimental rotatable el cual tiene igual facultad de predicción en todas las direcciones a partir de un punto experimental central y donde los otros puntos experimentales están a una distancia constante del punto central, es utilizado para estimar modelos de segundo orden, el cual consiste en seis puntos experimentales correspondiente a un hexágono regular, más los puntos necesarios replicados en el centro para estimar la variancia del error experimental.

En la figura 4 se observa la estructura de diseño hexagonal con valores codificados. (Ayala & Pardo, 1995)



**Figura 4. Estructuras de diseño hexagonal con valores codificados**

La matriz del diseño para un diseño hexagonal es:

**Tabla 2. Diseño hexagonal**

<b>N</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>
1	1.0	0.0
2	0.5	0.866
3	-0.5	0.866
4	-1.0	0.0
5	-0.5	-0.866
6	0.5	-0.866
7	0.0	0.0
8	0.0	0.0
9	0.0	0.0

**Tabla 3. Valores codificados**

$X_{(-1)}$	-1
$X_{(-0.5)}$	-0.5
$X_0$	0
$X_{(0.5)}$	0.5
$X_{(1)}$	1
$X_{(-1)}$	-1
$X_{(-0.866)}$	-0.866
$X_0$	0
$X_{(0.866)}$	0.866
$X_{(1)}$	1

## 15 DISEÑO PARA LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

### 15.1 DISEÑO FACTORIAL PARA LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Los diseños factoriales más sencillas son de 2 factores: de  $m$  niveles del factor  $k$ , dispuestos en un diseño factorial. Las observaciones pueden describirse mediante el modelo estadístico lineal o de primer orden. (Montgomery, 1991), citado por (Cochran & Cox, 2001)

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (5)$$

Dónde:

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$k = 1, 2, \dots, n$

$\mu$  = es el efecto medio general

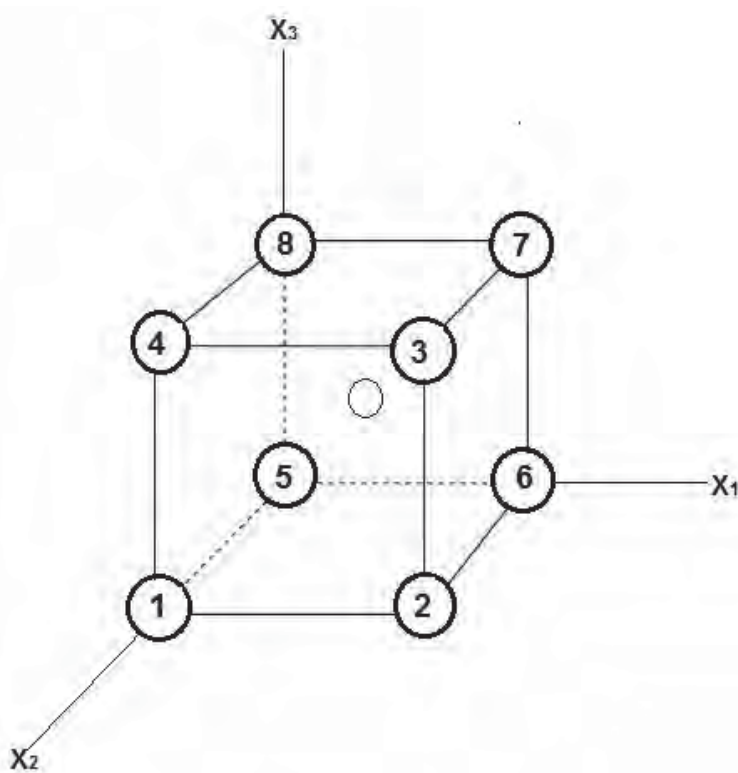
$\tau_i$  = es el efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor reglón A

$\beta_j$  = es el efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor columna B

$(\tau\beta)_{ij}$  = es el efecto de la interacción entre  $t$  y  $b$

$\varepsilon_{ijk}$  = es el componente del error aleatorio

El diseño factorial de  $N = m^k + 2$ , de 2 niveles y 3 factores, en el proceso de fermentación corresponde a 8 pruebas experimentales que son cada uno de los vértices de un cubo y dos pruebas replicados en el centro para identificar las variables más eficientes del proceso y sirve para explicar la posible existencia de una curvatura.



**Figura 5. Diseño factorial  $K=3$  replicado en el centro**

## **15.2 DISEÑO HEXAGONAL PARA LA FERMENTACION ALCOHÓLICA**

El diseño hexagonal es un diseño rotatable que pueden predecir en todas las direcciones a partir de un punto central donde los otros puntos experimentales están a una distancia constante del punto central. Este diseño hexagonal se utiliza para estimar modelos matemáticos de segundo orden que consiste en 6 puntos de un hexágono inscrito dentro de una circunferencia de radio unitario más los puntos necesarios replicados en el centro del diseño.

## **16 OPTIMIZACIÓN**

La optimización es encontrar las condiciones máximas o mínimas más favorables de las variables bajo estudio en un proceso por medio de diseños experimentales.

La optimización matemática (o bien, optimización o programación matemática) es la selección del mejor elemento (con respecto a algún criterio) de un conjunto de elementos disponibles. (INFORMS Computing Society, 2014)

La optimización de un proceso por medio de diseños experimentales requiere del uso de una metodología o estrategia adecuada, que nos lleve por el camino seguro y rápido para encontrar los valores óptimos de un proceso bajo estudio. (Ayala & Pardo, 1995)

### **16.1 DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVA**

La relación del criterio de optimización a las variables independientes consideradas en el estudio se denomina función objetivo. El principal objetivo en un proceso de optimización será maximizar o minimizar una función objetivo la cual se define por:

$$F_{(\max)} = \phi(x, u, h, z) \quad (6)$$

Dónde:

F : Criterio de optimización (técnico y económico)

x, u, h, z : Variables independientes

## 16.2 SELECCIÓN DEL CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN

La selección adecuada de un criterio de optimización en muchos casos es una tarea difícil de realizar, en ciertas ocasiones se requiere de un conocimiento profundo del proceso a optimizar así como un análisis exhaustivo de todas las alternativas productivas de la eficiencia del proceso. Desde el punto de vista de la optimización es recomendable definir un único criterio de optimización.

## 16.3 FORMA Y PARÁMETROS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

La selección de la forma y parámetros de la función objetivo, depende de la naturaleza del proceso en estudio, pudiendo utilizarse para ello modelos matemáticos teóricos, semi-empíricos o empíricos. Los modelos matemáticos se pueden representar geoméricamente mediante el método de las superficies de respuesta. El objetivo en todo proceso de optimización, es encontrar la cantidad óptima de las variables controlables, que permitan obtener el máximo valor del criterio de optimización.

## **16.4 ETAPAS DE OPTIMIZACIÓN**

### **16.4.1 ETAPA I: SCREENING**

Al principio de una investigación experimental generalmente no se tiene un conocimiento certero de las variables del proceso que pueden ser un número considerable que podrían influenciar en el criterio de optimización o en la respuesta del proceso; identificar las variables que son significativas depurando aquellas variables que resulten poco significativas con el fin de reducir el número de ensayos experimentales en las etapas posteriores de la optimización por económica y tiempo en la investigación es el objetivo de la primera etapa y generalmente en esta etapa se utiliza los diseños experimentales de primer orden

El objetivo principal en una primera etapa de optimización es la de identificar aquellas variables que tengan gran influencia en el proceso. (Alfaro, 1999)

### **16.4.2 ETAPA II: ESCALAMIENTO**

Cuando se tiene evidencia que la región óptima se encuentra lejos de los experimentos iniciales (etapa I: screening), se inicia una segunda etapa denominada de escalamiento de pendientes ascendentes o descendentes que permitirán acercarse a la denominada “región experimental de respuestas estacionarias” (región experimental que encierra el óptimo); es decir una zona en el cual ya no es posible mejorar la respuesta.

### **16.4.3 ETAPA III: OPTIMIZACIÓN FINAL**

Una vez definido el modelo matemático que represente satisfactoriamente la región óptima, se procede a optimizar dicho modelo. Es decir se determinan los valores de las variables independientes, que maximicen o minimicen el modelo matemático estimado. En ésta región los

efectos de segundo orden son mayores en valor absoluto a los efectos de primer orden, lo que indica, que esta región puede ser descrita apropiadamente, mediante modelos matemáticos de segundo orden.

#### 16.4.3.1 **SUPERFICIE DE RESPUESTA**

El método de las superficies de respuesta es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta (Cáceres, 2009).

La elección de un diseño adecuado del experimento a realizar es fundamental para modelar y explorar la superficie de respuesta usada para ajustar un modelo polinómico al conjunto de datos recogidos en los puntos del diseño (Montgomery, 1991).

La metodología de superficies de respuesta tiene dos etapas distintas, modelamiento y desplazamiento, que son repetidas tantas veces cuantas fueran necesarias, con el objetivo de alcanzar una región óptima de la superficie investigada. El modelamiento, generalmente es hecho ajustándose a modelos simples (en general, lineares o cuadráticos) una respuesta obtenida con planeamientos factoriales o con planeamientos factoriales ampliados. El desplazamiento se da siempre a lo largo del camino de máxima inclinación de un determinado modelo que es una trayectoria en la cual la respuesta varía de forma más pronunciada.

### 16.4.3.2 ANÁLISIS DE MÁXIMOS Y MÍNIMOS

En las diferentes profesiones se presenta problemas donde la función planteada debe maximizarse o minimizarse según la naturaleza del problema, esto equivale encontrar ciertos valores de  $x$  para las cuales la función  $y=f(x)$  ha de ser un máximo o un mínimo dentro de un intervalo. (Arce, 2006).

Como se quiere maximizar la obtención de etanol se deberá determinar previamente, si el modelo de segundo orden estimado tiene un máximo o un mínimo o no tiene un valor extremo; este análisis es fundamental en el estudio de las variables que se está investigando.

Cuando se tiene dos variables independientes y para determinar la existencia de un extremo relativo, se utiliza el método de segundo orden por medio de la matriz Hessiana, conocido también como Hessiano o el discriminante, que está definido:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (7)$$

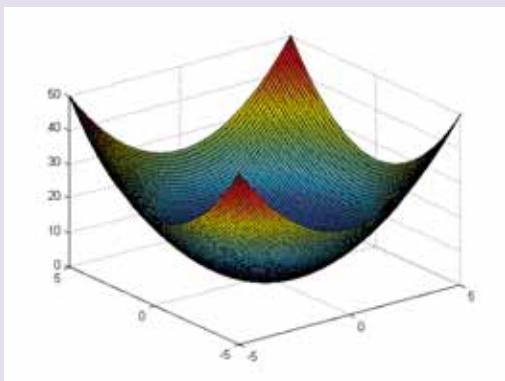
Esta ecuación puede adoptar distintas formas según los coeficientes  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_{11}$ ,  $b_{22}$  y  $b_{12}$ ; es decir, la ecuación tendrá un máximo, un mínimo o no tendrá un extremo de acuerdo al signo de sus coeficientes  $b_{11}$  y  $b_{22}$ :



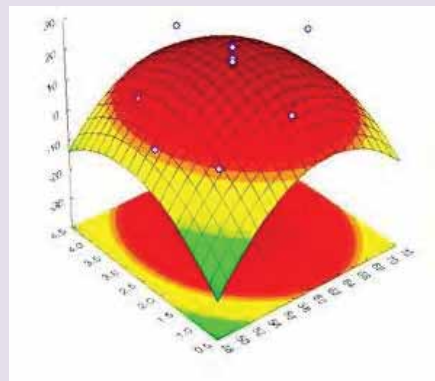
**Tabla 4. Análisis de Máximos y Mínimos**

N°	$b_{11}$	$b_{22}$	Tipo extremo	Tipo curva
1	-	-	Máximo	Elipse
2	+	-	Minimax	Silla de montar Hacia arriba
3	-	+	Minimax	Silla de montar Hacia abajo
4	+	+	Mínimo	Elipse invertido

Con signos iguales de  $b_{11}$  y  $b_{22}$  tendrá un mínimo en caso de ser ambos positivos (figura 6), o un máximo en caso de ser ambos negativos (figura 7).

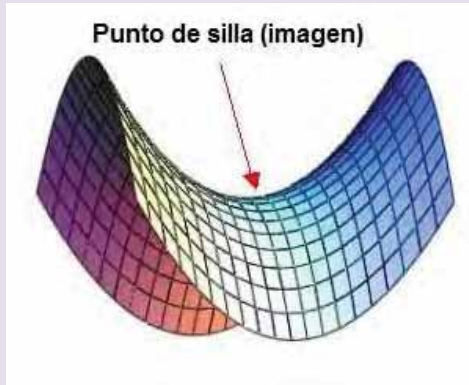


**Figura 6 Mínimo**

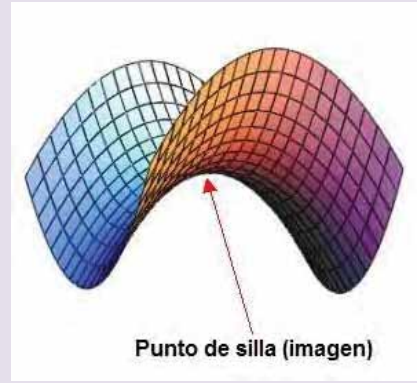


**Figura 7 Máximo**

Con signos diferentes de  $b_{11}$  y  $b_{22}$  no se tendrá un máximo ni un mínimo sino una silla de montar como de la figura 8 y 9:



**Figura 8 Punto silla**



**Figura 9 Punto silla invertida**

Para el análisis de la ecuación 6 se emplea la matriz Hessiana de orden  $2 \times 2$

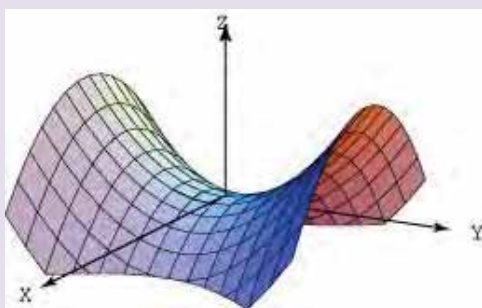
$$H_{22} = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} & \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} \\ \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} & \frac{\partial^2 Y}{\partial X_2^2} \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$H_{22} = \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} * \frac{\partial^2 Y}{\partial X_2^2} - \left| \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} \right|^2 \quad (9)$$

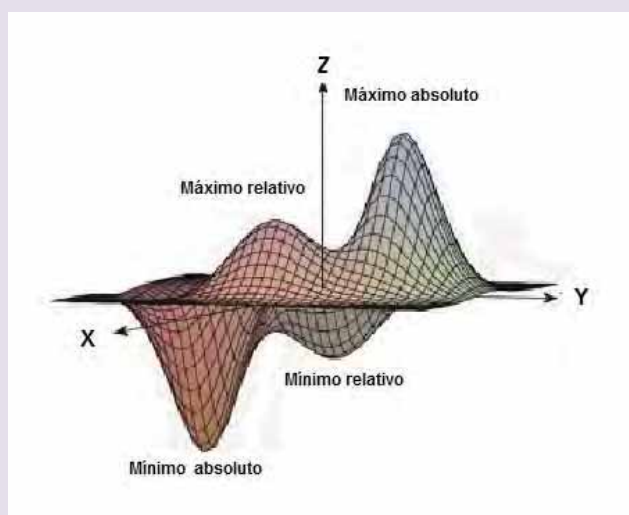
$$H_{11} = \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} \quad (10)$$

Si se cumple las siguientes condiciones entonces se tiene:

1. Si  $H_{11} > 0$  y  $H_{22} > 0$ ; existe un mínimo relativo.
2. Si  $H_{11} < 0$  y  $H_{22} > 0$ , existe un máximo relativo
3. Si el determinante  $H_{22} < 0$ , existe un punto silla
4. Si  $H_{22} = 0$ , puede existir o no máximo o mínimo relativo



**Figura 10. Punto silla**



**Figura 11. Punto silla con máximos y mínimos**

Punto silla es aquel punto donde  $f(x,y)$  presenta un máximo relativo con respecto a una variable y un mínimo relativo con respecto a la otra

## CAPITULO III

### HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 17 HIPÓTESIS

\* La cantidad de etanol que se genera en la fermentación del substrato de residuos sólidos biodegradables depende del tiempo de fermentación, temperatura de fermentación y el potencial de hidrogeniones del substrato.

\* Aumenta eficientemente la obtención de etanol al optimizar el proceso de la fermentación del substrato de los residuos sólidos biodegradables.

#### 18 VARIABLES

##### 18.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

X1 = Tiempo de fermentación (t)

X2 = Temperatura de fermentación (T)

X3 = Potencial de hidrogeniones (pH)

##### 18.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Y = Cantidad de etanol expresado en porcentaje (% R-OH)

## 19 PARÁMETROS

- \* Temperatura máxima y mínima de los meses que se practicaron los ensayos: abril 20 °C y 5 °C - mayo 20°C y 3°C
- \* Substrato de la masa de residuos procesados 300 g
- \* Densidad de etanol a 20°C es 0.7893 g/cm<sup>3</sup>

Las temperaturas de ebullición del etanol y agua a las condiciones del Cusco a una presión= 513 mm de Hg, son: temperatura de ebullición del etanol es 68.2 ° C y temperatura de ebullición del agua es 89.44 °C (Alarcón M. A., 1985)

## CAPITULO IV

### METODOLOGÍA

#### **20 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **20.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

- \* Por el proceso formal: es de razonamiento hipotético-deductivo,
- \* Por el tipo de datos: cuantitativo.

##### **20.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

- \* Por el objetivo: es experimental porque se manipuló las variables independientes; que sirvió para una estimación del proceso de producción de etanol a partir de los substratos de los residuos sólidos biodegradables a mayor escala.

##### **20.3 MUESTRA ESTADÍSTICA**

- \* **Universo:** Los residuos sólidos biodegradables de la Región de Cusco.
- \* **Población:** Los residuos sólidos biodegradables de la provincia de Cusco.
- \* **Muestra:** 300 gramos de residuos sólidos biodegradables del mercado Vinocanchon del distrito de-San Jerónimo.

#### **21 MATERIALES**

##### **21.1 MATERIALES DE VIDRIO Y OTROS**

- \* Matraz Erlenmeyer (500 ml y 1000 ml)
- \* Vasos de precipitados (50 ml, y 500 ml)

- \* Probetas (250 ml y 50 ml)
- \* Pipetas volumétricas (1 ml y 10 ml)
- \* Balón de fondo plano 5000 ml
- \* Tubos de ensayo
- \* Baguetas
- \* Recipientes de plástico (1 L, 10 L)
- \* Recipientes de vidrio para la fermentación (5000 ml)
- \* Recipiente de aluminio para esterilización térmica
- \* Frascos de incubación
- \* Goteros
- \* Pizeta
- \* Soporte universal y pinzas
- \* Refrigerante de agua con mangueras
- \* Tapones de caucho
- \* Embudos

## **21.2 INSTRUMENTOS**

- \* Reloj
- \* Balanza
- \* Termómetro
- \* Termostato
- \* pH metro
- \* Tiras de papel de pH

- \* Alcohólímetro
- \* Trampa de aire (airlock)

### **21.3 EQUIPOS**

- \* Incubadora
- \* Destilador
- \* Cocina
- \* Mechero

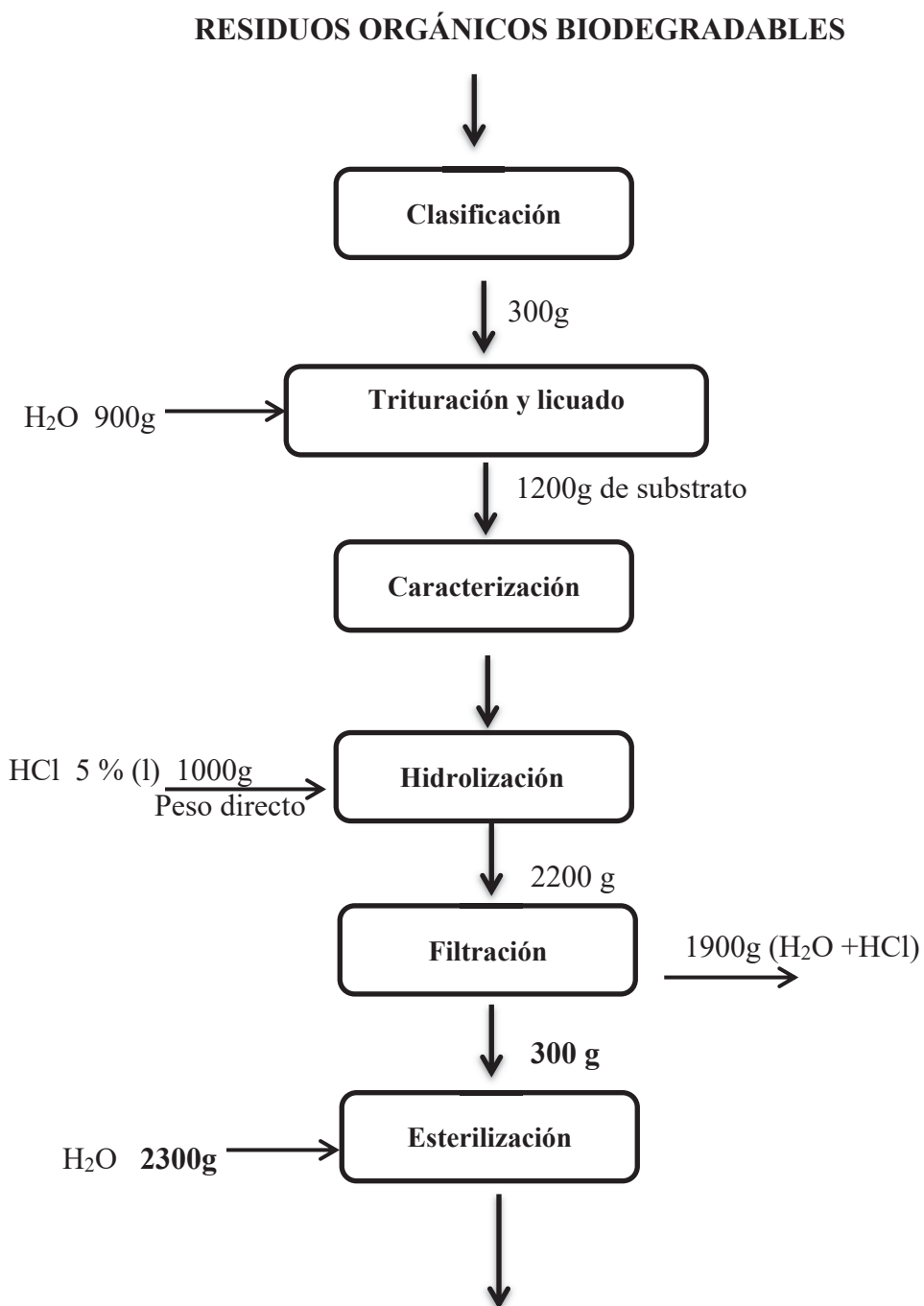
### **21.4 REACTIVOS Y OTROS**

- \* Ácido clorhídrico 5%
- \* Hidróxido de sodio (NaOH) 1N
- \* Permanganato de potasio
- \* Agua destilada
- \* Levadura de pan (*Saccharomyces cerevisiae*).

### **21.5 ACCESORIOS DE SEGURIDAD.**

- \* Guantes de latex
- \* Mascarilla antigases
- \* Lentes de seguridad química
- \* Guarda polvos



**22 ESQUEMA DE OBTENCIÓN DE ETANOL Y SOLUCIÓN ALCOHÓLICA**

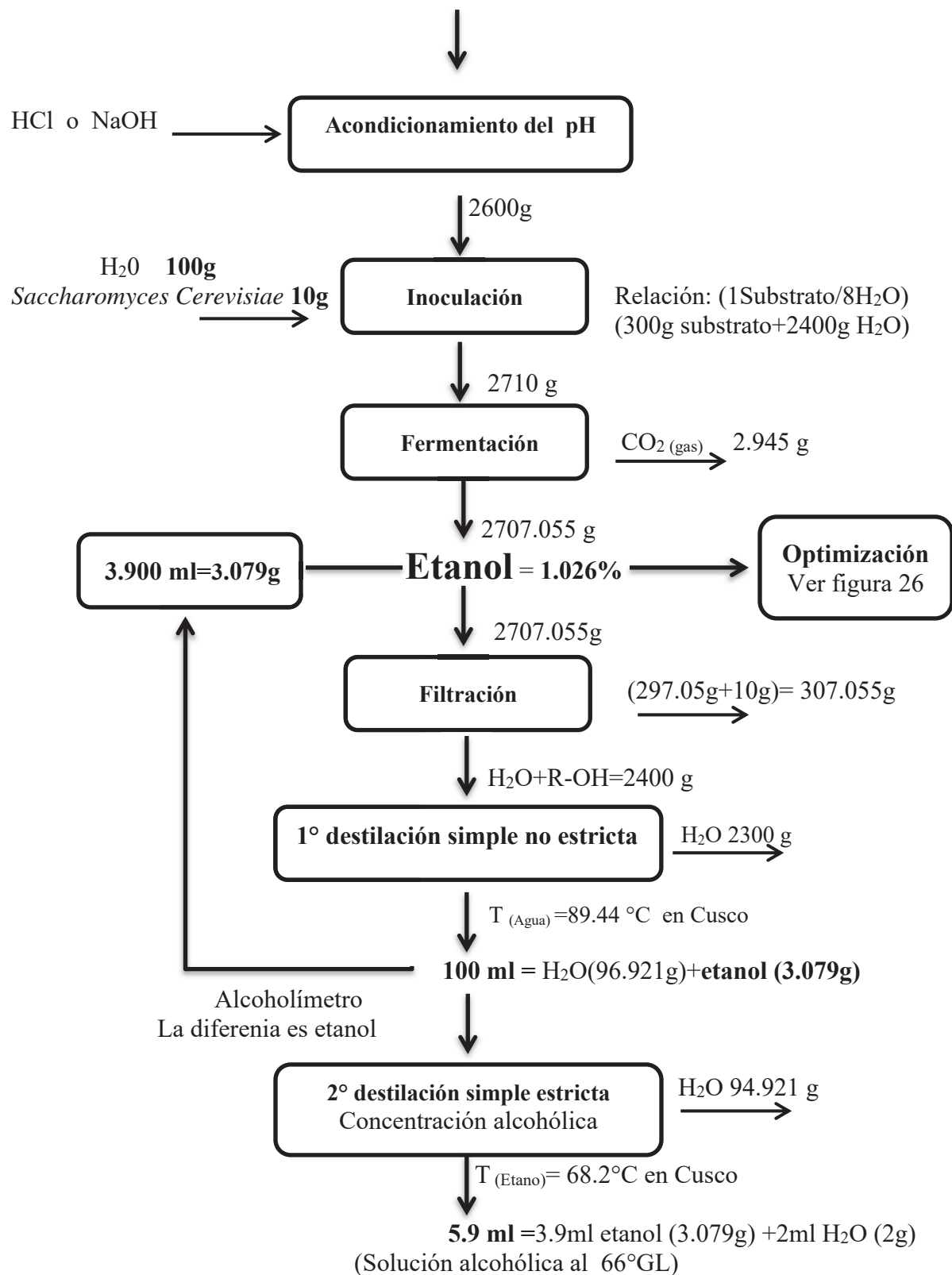


Figura 12. Diagrama de obtención de etanol y solución alcohólica.

## 23 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se seleccionó los residuos biodegradables del mercado del distrito de San Jerónimo de la provincia del Cusco, se trituraron para reducir los tamaños, luego se licuó hasta formar una pasta con la finalidad de aumentar el área de contacto.



**Figura 13. Residuos biodegradables**

### 23.1 PREPARACIÓN DEL SUBSTRATO PARA LA FERMENTACIÓN

El sustrato empleado fue a base de los residuos sólidos biodegradables generados del mercado Vinocanchón del distrito de San Jerónimo de la provincia del Cusco.



**Figura 14. Substrato de residuos biodegradables**

Previamente se clasificó, luego se procedió a la extracción del zumo de las frutas y reducción de tamaño a partir de las operaciones unitarias de trituración de los residuos y luego se procedió a licuar para reducir el tamaño

## 23.2 CARACTERIZACIÓN DEL SUBSTRATO

Se procedió a realizar los análisis fisicoquímicos de la muestra.

\* Peso de la muestra.- Al inicio se planteó trabajar con 1000 g. de concentrado y finalmente se tomó 300 gramos como base para el desarrollo de todas las pruebas.

\* Relación S/L.- Se efectuó la fermentación con relaciones de 1/8.

**Tabla 5 condiciones del concentrado**

Peso de concentrado g	300 g
Dilución S/L	1/8

## 23.3 HIDROLIZACIÓN

Las muestras se sometieron a hidrólisis con ácido clorhídrico al 5%, como lo reporta Sun & Cheng (2002); se utiliza para la obtención de azúcares reductores con la finalidad de obtener alcohol.

### 23.4 ESTERILIZACIÓN

El substrato se esterilizó utilizando el procedimiento térmico en un recipiente y se elevó la temperatura hasta  $70^{\circ}\text{C}$  por un término de 5 minutos para eliminar los microorganismos patógenos.



**Figura 15. Esterilizando el substrato**

### 23.5 ACONDICIONAMIENTO DEL pH

Se acondicionó el pH del substrato a las condiciones deseadas porque el substrato de las muestras dieron resultados de 5 y 6 de pH, con HCl o NaOH se acondicionó para cada una de las muestras, igualmente se midió los grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) que dieron 5.5, 4.5, y 3.0, se le tuvo que añadir almibar a todas las muestras para homogenizar a  $5.5^{\circ}\text{Bx}$ . Se recomienda que la concentración de grados Brix ideal para el proceso de fermentación alcohólica sea de  $18^{\circ}\text{Bx}$



**Figura 16. Midiendo el pH**



**Figura 17. Midiendo los grados Brix**

### 23.6 ACTIVACIÓN DE LA LEVADURA E INOCULACIÓN

Con 10 g de levadura *saccharomyces cerevisiae*, se activó en una solución azucarada con 10 gramos de sacarosa comercial y luego se depositó en un vaso de precipitado de 100 ml, en seguida se completó con agua caliente a una temperatura de 45 °C; y se dejó en reposar por un par de minutos hasta que se notara la presencia de gas (CO<sub>2</sub>).



**Figura 18. Levadura activada**

A la solución se le agregó 100 ml de la levadura activada de *Saccharomyces cerevisiae* para inocular el medio de cultivo.



**Figura 19. Muestra inoculado y rotulado con las condiciones del diseño**

### 23.7 FERMENTACIÓN

Se procedió a fermentar el sustrato acondicionando el fermentador a la temperatura deseada



**Figura 20. Control de temperatura**



**Figura 21 Fermentando las muestras**

### 23.7.1 TIEMPO DE FERMENTACIÓN

Se procedió a fermentar la muestra según el tiempo en horas planteados en el diseño experimental para determinar la cantidad de alcohol generado en la fermentación.

**Tabla 6. Tiempo de fermentación**

Nº	Tiempo (horas)
1	24.000
2	96.000
3	24.000
4	96.000
5	24.000
6	96.000
7	24.000
8	96.000
9	60.000
10	60.000

### 23.7.2 TEMPERATURA DEL SUBSTRATO

Las temperaturas se acondicionaron en grados centígrados conforme se planteó en el diseño experimental durante la fermentación, empleando para ello un fermentador con control de temperatura diseñado y fabricado para el experimento.



**Tabla 7 Control de temperatura.**

<b>N°</b>	<b>Temperatura</b>
	<b>°C</b>
1	20.000
2	20.000
3	40.000
4	40.000
5	20.000
6	20.000
7	40.000
8	40.000
9	30.000
10	30.000

### 23.7.3 pH

El potencial de hidrogeniones se acondiciono conforme se planteó en el diseño experimental antes de la fermentación. Se utilizó para medir el pH un potenciómetro de marca Hanna, se utilizó también papel peachímetro, agitando previamente de manera suave durante 30 segundos el substrato.

**Tabla 8 Control del pH**

<b>N°</b>	<b>pH</b>
1	4.000
2	4.000
3	4.000
4	4.000
5	6.000
6	6.000
7	6.000
8	6.000
9	5.000
10	5.000

#### 23.7.4 GRADOS BRIX

Los grados brix se midió antes de la fermentación empleando el refractómetro

**Tabla 9 Control de grados Brix**

<b>N°</b>	<b>°Bx</b>
1	5.00
2	5.00
3	5.00
4	5.00
5	5.00
6	5.00
7	5.00
8	5.00
9	5.00
10	5.00

## 23.8 FILTRACIÓN

Se filtró la solución fermentada.



**Figura 22. Filtrando**

## 23.9 DESTILACIÓN SIMPLE

Se destiló la solución por dos métodos:



**Figura 23. Destilando**

1.-Destilación no estricta o con arrastre del líquido no deseado. Este método facilitó medir porque el etanol tenía un volumen pequeño y con el fin de medir la cantidad de etanol generado en la fermentación se destiló hasta la temperatura de ebullición del agua y a las condiciones del Cusco es  $89.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta un volumen de 100 ml y se utilizó el alcoholímetro para determinar la cantidad de etanol.



**Figura 24. Destilando con arrastre del líquido no deseado**

2.-Destilación estricta o controlada con arrastre mínimo del líquido no deseado. El destilado de 100 ml solución alcohólica (etanol-agua) que se obtuvo, se procedió luego a realizar una destilación estricta controlando la temperatura de ebullición del etanol y a las condiciones de la ciudad del Cusco es a  $68.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con el objetivo de obtener solo el líquido deseado. Una vez que se va incrementando la temperatura se paró la destilación, con el fin de no arrastrar el líquido no deseado ( $\text{H}_2\text{O}$ ), pero por ser azeótropo el etanol y el agua siempre en la destilación estricta se arrastra un poco de agua.

Las temperaturas de ebullición del etanol y agua a las condiciones del Cusco a una presión= 513 mm de Hg, son: temperatura de ebullición del etanol es 68.2 ° C y la temperatura de ebullición del agua es 89.44 °C (Alarcón M. A., 1985)



**Figura 25. Destilado con arrastre mínimo de agua.**

Para obtener un resultado más cercano se procedió de la siguiente forma: se realizó una destilación no estricta y se midió con el alcoholímetro que dio un resultado  $(x \text{ } ^\circ\text{GL}) = V_1 \text{ (R-OH)}$ , luego una destilación estricta, y se midió el volumen en el tubo de centrifuga “eppendorf milimetrada” que dio un resultado  $V_2 \text{ (R-OH)}$ . Los resultados son cercanos aclarando que el  $V_2 \text{ (R-OH)}$  es mayor que  $(x \text{ } ^\circ\text{GL}) = V_1 \text{ (R-OH)}$  porque arrastra agua, por lo que se decidió tomar los resultados de  $(x \text{ } ^\circ\text{GL}) = V_1 \text{ (R-OH)}$  del destilado simple no estricto para los cálculos, porque a pesar que se utilice (n) destilaciones o destilaciones fraccionadas solo se llega a concentrar más etanol pero sigue siendo una solución alcohólica, porque no se obtiene alcohol absoluto, se tiene que utilizar otras alternativas como la deshidratación pero es muy caro obtener etanol absoluto al 100 % porque una vez que entra en contacto con el aire recupera el agua, es por ello que se denomina alcohol absoluto o alcohol deshidratado, o etanol absoluto, al alcohol puro que no contiene más de uno por ciento de agua.

## 24 ESQUEMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL Y DE LA OPTIMIZACIÓN

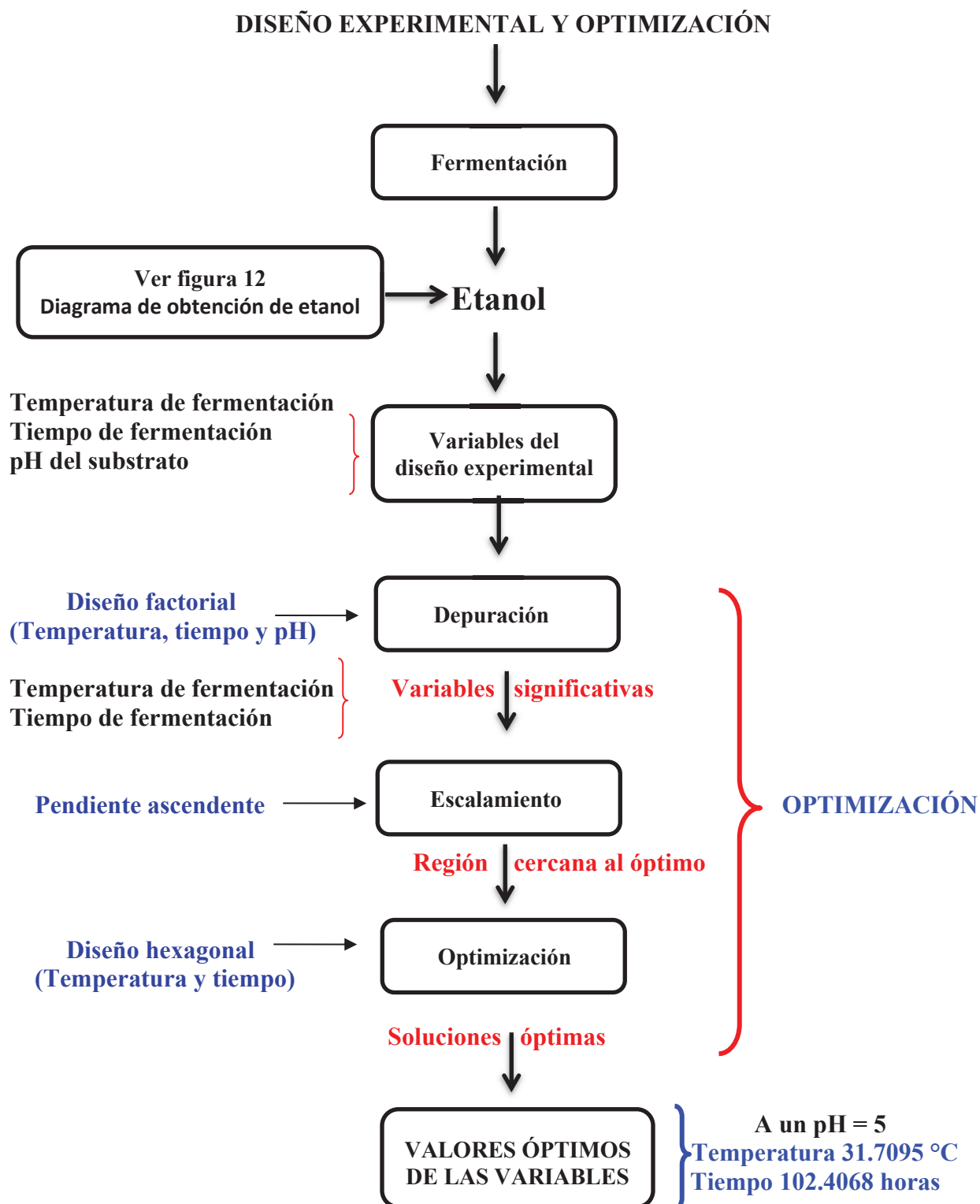


Figura 26. Diagrama diseño experimental y de la optimización

## 25 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el diseño factorial  $2^k$  completo a 2 niveles compuesto por tres factores y que está representada por el modelo matemático lineal; este modelo a 2 niveles (inferior, superior), en cada factor debe predecir todos los puntos del diseño incluyendo el punto medio (central). El modelo matemático lineal (supone linealidad), no explica las respuestas en que región se encuentra las variables asignadas en los niveles considerados (puede que exista curvatura), por ello se realizan pruebas experimentales en el punto central del diseño que permite la predicción de la posible existencia de curvatura.

### 25.1 PRUEBAS PARA LA APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL

La fermentación del sustrato de los residuos sólidos biodegradables es un proceso bioquímico que puede ser desarrollado adecuadamente a través de un modelo matemático empírico definido por:

$$Y = f(x, u, z, h) \quad (11)$$

Para la fermentación se ha considerado en la etapa preliminar el diseño factorial completo a 2 niveles con 3 variables más puntos centrales definido por la ecuación

$$N = 2^k + n_0 \quad (12)$$

Dónde:

$N$  = Número total de pruebas

$2^k$  = Parte factorial (diseño factorial completo)

2 representa los dos niveles de cada factor

$k$  son los factores

$n_0$  = Puntos centrales

$$N = 2^k + n_0 = 2^3 + 2 = 10$$

El total de pruebas experimentales son 10, siendo 8 pruebas que corresponde a los vértices de un cubo y 2 pruebas en el centro del cubo.

## 25.2 PRUEBAS PARA EL DISEÑO FACTORIAL COMPLETO

Al analizar cada uno de los factores y a las condiciones fijadas de operación se procedió a seleccionar las 3 variables más significativas y sus correspondientes niveles para aplicar la etapa inicial de diseños experimentales. Ver tabla 10

**Tabla 10 Variables y niveles para el diseño experimental**

VARIABLES	NIVELES	
	Inferior	Superior
$X_1$ Tiempo de fermentación(h): t	24	96
$X_2$ Temperatura de fermentación (T): °C	20	40
$X_3$ Potencial de hidrogeniones: pH	4	6

Se planteó una matriz codificada y escala natural de variables independientes para las pruebas de fermentación del sustrato de los residuos sólidos biodegradables considerando como criterio de optimización la obtención del etanol expresado en % R-OH.



Tabla 11 Matriz codificada y escala natural de variables independientes

VARIABLES	NIVELES					
	Inferior		Central		Superior	
	X <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>
Tiempo de fermentación(h): t	-	24	0	60	+	96
Temperatura de fermentación (T): °C	-	20	0	30	+	40
Potencial de hidrogeniones: pH	-	4	0	5	+	6

Tabla 12 Para diseños factorial

N°	Tiempo	Temperatura	pH	Substrato	R-OH			R-OH
	Horas	°C		g	ml	g	mg/g	%
1	24.000	20.000	4.000	300.000				
2	96.000	20.000	4.000	300.000				
3	24.000	40.000	4.000	300.000				
4	96.000	40.000	4.000	300.000				
5	24.000	20.000	6.000	300.000				
6	96.000	20.000	6.000	300.000				
7	24.000	40.000	6.000	300.000				
8	96.000	40.000	6.000	300.000				
9	60.000	30.000	5.000	300.000				
10	60.000	30.000	5.000	300.000				

## 26 PRUEBAS PARA EL ESCALAMIENTO

Las pruebas experimentales se efectuaron teniendo como referencia la ecuación de regresión ajustada a las variables en estudio, donde se procedió a escalar mediante el método de pendiente ascendente desde el radio de diseño hacia la región óptima, y se hallaron de la siguiente forma.

$$\Delta Z_j = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{2} \quad (13)$$

Para el cálculo del radio se utilizó la ecuación 13, los resultados se muestran en la Tabla 13

**Tabla 13. Radio de diseño**

$\Delta z_j$	<b>Zmax.</b>	<b>Zmin.</b>
$\Delta z_t$	$t_3 = 96$	$t_1 = 24$
$\Delta z_T$	$T_3 = 40$	$T_1 = 20$

Reemplazando los datos de la tabla 13 se tiene:

$$\Delta Z_t = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{2} = \frac{96 - 24}{2} = 36$$

$$\Delta Z_T = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{2} = \frac{40 - 20}{2} = 10$$

Se asignó un incremento a una de las variables  $\Delta \varepsilon_j$  ( $\Delta \varepsilon_t$ ,  $\Delta \varepsilon_T$ ):  $\Delta \varepsilon_T = 3$

Se calculó el incremento de la temperatura del fermentador ( $\Delta \varepsilon_T$ ) en forma proporcional con la ecuación 13, de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta \varepsilon_t}{b_t \cdot \Delta z_t} = \frac{\Delta \varepsilon_T}{b_T \cdot \Delta z_T} = \dots = \frac{\Delta \varepsilon_k}{b_k \cdot \Delta z_k} \quad (14)$$

Despejando se obtiene:

$$\Delta \varepsilon_{\text{tiempo}} = \frac{\Delta \varepsilon_T \cdot b_t \cdot \Delta z_t}{b_T \cdot \Delta z_T} \quad (15)$$

**Tabla 14 Constantes de la ecuación de regresión**

<b>T</b>	0.0347086
<b>t</b>	0.00899852

Reemplazando con las constantes de la ecuación de regresión ajustada (tabla 14), radio de diseño, y el incremento de regresión de la variable ( $\Delta \varepsilon$ ) en la ecuación 15, se tiene los resultados de la tabla 15

**Tabla 15. Incremento del escalamiento**

<b>T</b>	3.000000 = 3
<b>t</b>	2.79 9998 = 3

Los pasos ascendentes o la planificación de experiencias a lo largo de la pendiente más empinada, se hallaron con la ecuación 15, de la siguiente manera:

$$Z_j^1 = Z_j^0 \pm \Delta \varepsilon_j \quad (16)$$

El centro de diseño  $Z_j^0$  ( $t_2$ ,  $T_2$ ), se obtuvo a partir de los puntos medios.

Reemplazando los resultados  $v_2$ ,  $t_2$  y  $\Delta \varepsilon_j$ :

$$Z_t^1 = t_2 + \Delta \varepsilon_t = 60 + 3 = 63$$

$$Z_T^1 = T_2 + \Delta \varepsilon_T = 30 + 2 = 32$$

Este tratamiento se efectuó hasta que la variable respuesta (% R-OH) se aproximó a la región óptima, es decir hasta que el % R-OH se hizo constante y no aumente más. Las experiencias de ascenso hacia el óptimo se sintetizan en la tabla 16.

**Tabla 16. Datos para el análisis de pruebas experimentales de escalamiento**

N	300g	Tiempo	Temperatura	R-OH			R-OH
	de RSB	t	T				
Experiencia	g	Horas	° C	ml	g	mg/g	%
<b>origen</b>		<b>t<sub>2</sub>=60</b>	<b>T<sub>2</sub>= 30</b>				
$\Delta$		3	3				
<b>1</b>	300	63	33				
<b>2</b>	300	66	36				
<b>3</b>	300	69	39				
<b>4</b>	300	72	42				
<b>5</b>	300	75	45				
<b>6</b>	300	78	48				
<b>7</b>	300	81	51				
.							
<b>N</b>							

## 27 PRUEBAS PARA LA OPTIMIZACIÓN CON DISEÑO HEXAGONAL

Con los cálculos de los valores naturales para el diseño hexagonal se proceden de la siguiente manera:

$X_{(-1)}$	-1	$X_{(-1)}$	-1
$X_{(-0.5)}$	-0.5	$X_{(-0.866)}$	-0.866
$X_0$	0	$X_{(0)}$	0
$X_{(0.5)}$	0.5	$X_{(0.866)}$	0.866
$X_{(1)}$	1	$X_{(1)}$	1

$$\frac{X_{(1)} - X_0}{X_{(0.5)} - X_0} = \frac{1 - 0}{0.5 - 0}$$

$$X_{(0.5)} = 0.5 * 75 - 0.5 * 60 + 60 = 71.25$$

$$\frac{X_{(-1)} - X_0}{X_{(-1)} - X_{(-0.5)}} = \frac{-1 - 0}{-1 - (-0.5)}$$

$$X_{(-0.5)} = 0.5 * 60 + 0.5 * 67.5 + 67.5 = 131.25$$

$$\text{Punto central} = (60 + 75) / 2 = 67.5$$

$$\frac{X_{(1)} - X_0}{X_{(0.866)} - X_0} = \frac{1 - 0}{0.866 - 0}$$

$$X_{(0.866)} = 40 * 0.866 - 35 * 0.866 + 35 = 39.3$$

$$\frac{X_{(-1)} - X_0}{X_{(-0.866)} - X_0} = \frac{-1 - 0}{-0.866 - 0}$$

$$X_{(-0.866)} = 0.866 * 30 - 0.866 * 35 + 35 = 30.67$$

$$\text{Punto central} = (35 + 35) / 2 = 35$$

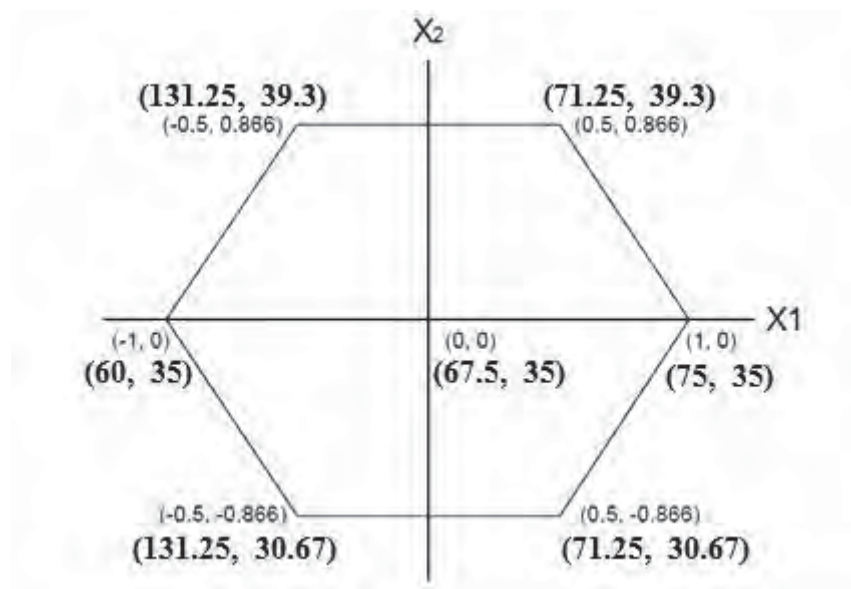


Figura 27. Valores codificados y naturales de los vértices del hexágono y punto central.

Las pruebas experimentales se proyectan en los vértices angulares del hexágono (6 pruebas), más las pruebas replicadas en el centro del diseño (3 pruebas). Ver Tabla N° 17

**Tabla 17. Diseño hexagonal**

N°	tiempo	Temperatura	Substrato	R-OH			R-OH
	Horas	°C	g	ml	g	mg/g	%
1	75.000	35.000	300.00				
2	71.250	39.300	300.00				
3	131.250	39.300	300.00				
4	60.000	35.000	300.00				
5	131.250	30.670	300.00				
6	71.250	30.670	300.00				
7	67.500	35.000	300.00				
8	67.500	35.000	300.00				
9	67.500	35.000	300.00				

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 28 OPTIMIZACIÓN

##### 28.1 LA FUNCIÓN OBJETIVA

La relación del criterio de optimización con las variables independientes fueron: el potencial de hidrogeniones del substrato (pH), el tiempo de fermentación (t), la temperatura de fermentación y la función objetiva fue obtener etanol en solución expresado en % R-OH.

$$\%R - OH_{(o)} = \phi(t, T, pH) \quad (17)$$

##### 28.2 EL CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN

El criterio de la optimización fue la cantidad obtenida de solución alcohólica “etanol-agua” expresado en % R-OH (criterio de optimización)

##### 28.3 ETAPAS DE LA OPTIMIZACIÓN

###### 28.3.1 ETAPA I: DEPURACIÓN O “SCREENING”

Para la prueba se planteó una matriz de tres variables independientes: tiempo de fermentación, temperatura de fermentación y el potencial de hidrogeniones. Para el cálculo del % R-OH se utilizó la ecuación 17, conociendo las condiciones del proceso de fermentación se procedió a la experimentación, que se dio a partir del diseño factorial, cuyos resultados se observan en la tabla 18 y se expresan como porcentaje de solución alcohólica “etanol-agua” obtenido (% R-OH).

Si:

La densidad del  $C_2H_5OH$  a  $20\text{ }^\circ C = 0.789\text{ g/cm}^3$

El substrato (RSB) = 300 g

Entonces:

$$\rho_{R-OH} * V(\text{destilado}) = R-OH\text{ g} \quad (18)$$

$$0.789 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * R-OH\text{cm}^3 = R-OH(\text{g})$$

Se determinó el % R-OH

$$x = \frac{R-OH_g * 100\%}{300_g} = \%R-OH \quad (19)$$

**Tabla 18 Pruebas experimentales**

N°	Tiempo	Temperatura	pH	Substrato	R-OH			R-OH
	Horas	°C		g	ml	g	mg/g	%
1	24.000	20.000	4.0	300.000	1.759	1.388	4.628	0.463
2	96.000	20.000	4.0	300.000	3.341	2.638	8.793	0.879
3	24.000	40.000	4.0	300.000	2.931	2.314	7.713	0.771
4	96.000	40.000	4.0	300.000	4.221	3.332	11.107	1.111
5	24.000	20.000	6.0	300.000	2.228	1.759	5.862	0.586
6	96.000	20.000	6.0	300.000	3.810	3.008	10.027	1.003
7	24.000	40.000	6.0	300.000	2.814	2.221	7.404	0.740
8	96.000	40.000	6.0	300.000	4.397	3.471	11.570	1.157
9	60.000	30.000	5.0	300.000	3.634	2.869	9.564	0.956
10	60.000	30.000	5.0	300.000	3.752	2.962	9.873	0.987

Por definición el porcentaje es la proporción (en partes) por cada 100 partes de un todo. Si se aplica este concepto a las disoluciones podemos definir la concentración de una solución como



partes de soluto en 100 partes de solución. Las “partes” pueden ser expresada en masa (g) o volúmenes (ml, l).

En el primer ensayo

Cantidad de alcohol = 1.38834 g

Residuos orgánicos biodegradables = ROB

Alcohol = R-OH

300 g ROB-----1.38834 g R-OH

1 g ROB----- X

X = 0.0046278 g R-OH

Entonces:

$$\left( \frac{0.0046278 \text{ g R-OH}}{1 \text{ g ROB}} \mid \frac{1000 \text{ mg R-OH}}{1 \text{ g R-OH}} \right) = \frac{4.6278 \text{ mg R-OH}}{\text{g ROB}}$$

4.6278 mg R-OH/ g de ROB

Y la concentración expresada en porcentaje:

$$\text{El primer ensayo } \frac{\text{g soluto}}{\text{g solución}} \times 100 \text{ entonces} = \frac{1.388 \text{ g soluto}}{300 \text{ g solución}} \times 100 = 0.463 \%$$

Conociendo los resultados del R-OH obtenido, se determina la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas (t, T y pH), el efecto de sus interacciones y se descarta la variable menos significativa.

### 28.3.2 ETAPA II: ESCALAMIENTO

Se aproximó a la región óptima, es decir hasta que la variable respuesta (% R-OH) se hizo constante y no aumente más. Las experiencias de ascenso hacia el óptimo se aprecian en la tabla 19.

**Tabla 19. Datos para el análisis de pruebas experimentales de escalamiento**

N° Ensayos	Substrato 300 g origen $\Delta$	Tiempo	Temperatura	R-OH			R-OH
		T Horas $t_2=60$ 3	T ° C $T_2=30$ 3	ml	g	mg/g	%
1	300	63	33	3.600	2.842	9.473	0.947
2	300	66	36	3.700	2.921	9.737	0.974
3	300	69	39	3.800	3.000	10.000	1.000
4	300	72	42	3.800	3.000	10.000	1.000
5	300	75	45	3.800	3.000	10.000	1.000
6	300	78	48	2.500	1.974	6.577	0.658
7	300	81	51	1.900	1.900	6.333	0.633
8	300	84	54	0.633	0.633	2.110	0.211
9	300	87	57	0.000	0.000	0.000	0.000

### 28.3.3 ETAPA III: OPTIMIZACIÓN FINAL

Para la optimización del proceso de fermentación del sustrato de los residuos sólidos biodegradables se aplicó el diseño hexagonal para la optimización del proceso el cual consiste en una figura geométrica regular con los lados iguales que está inscrito en una circunferencia, cuyo centro da origen al sistema de coordenadas X1 vs. X2 de radio es igual a la unidad. Las pruebas

experimentales se proyectaron en los vértices angulares del hexágono (6 pruebas), más las pruebas replicadas en el centro del diseño (3 pruebas), que son estimaciones muy importantes para determinar la varianza del error experimental. Ver tabla N° 20.

**Tabla 20. Pruebas experimentales**

N°	Tiempo	Temperatura	Substrato	R-OH			R-OH
	Horas	°C	g	ml	g	mg/g	%
1	75.000	35.000	300.000	3.700	2.921	10.263	0.974
2	71.250	39.300	300.000	3.500	2.763	9.210	0.921
3	131.250	39.300	300.000	3.600	2.842	9.868	0.947
4	60.000	35.000	300.000	3.000	2.368	7.895	0.789
5	131.250	30.670	300.000	3.700	2.921	10.263	0.974
6	71.250	30.670	300.000	3.850	3.039	10.000	1.013
7	67.500	35.000	300.000	3.500	2.763	9.210	0.921
8	67.500	35.000	300.000	3.450	2.724	9.079	0.908
9	67.500	35.000	300.000	3.600	2.842	9.473	0.947

## 29 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se utilizó el software (MINITAB), que fue diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas, es uno de los más antiguos (1972), que ha sobrevivido al paso del tiempo. El MINITAB fue desarrollado por sus instructores del programa de análisis estadísticos de la Universidad Estatal de Pensilvania (Pennsylvania State University), como una versión ligera de OMNITAB, un programa de análisis estadístico del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos.

Se utilizó este programa estadístico Minitab 16 statistical software, que permitió identificar las variables que controlan la reacción bioquímica del proceso de fermentación alcohólica.

### 30 CARACTERIZACIÓN DEL SUBSTRATO.

En la tabla 21 se puede observar la caracterización fisicoquímica de los residuos orgánicos biodegradables de la muestra que se utilizó para los ensayos conforme al diseño experimental establecido.

**Tabla 21. Análisis del sustrato de residuos biodegradables de la muestra.**

<b>Humedad %</b>	78.30
<b>Proteínas %</b>	1.36
<b>Grasas %</b>	1.80
<b>Cenizas %</b>	0.72
<b>Fibra %</b>	9.30
<b>Carbohidratos %</b>	17.82
<b>Glucosa %</b>	3.75

Fuente propia: Unidad de prestación de servicios de análisis químico-UNSAAC.

En la tabla 21 de los análisis del sustrato de residuos biodegradables de la muestra se establece que la suma de: humedad (78.30%), proteínas (1.36%), grasas (1.80%), cenizas (0.72) y carbohidratos (17.82%) dan un resultado del 100%.

La fibra está dentro de los hidratos de carbono, pero hay un grupo de hidratos de carbono complejos que nuestro organismo no es capaz de digerir y por lo tanto se engloban dentro de la fibra alimentaria. Además de esta fibra, existen otros componentes que no son de naturaleza

glucídica (no son hidratos de carbono) y esta fibra (9.30%), se suele analizar a parte. La glucosa (3.75%), es parte del carbohidrato o hidratos de carbono, también llamados glúcidos o azúcares y normalmente se les encuentra en las partes estructurales de los vegetales y también en los tejidos animales, como glucosa o glucógeno.

### 31 DE LA DEPURACIÓN O “SCREENING”

Usando la tabla se prepara la matriz de diseño a escala codificada y natural para las pruebas experimentales definidas para el diseño factorial y los resultados de las pruebas. Ver tabla 22.

**Tabla 22. Matriz de diseño a escala codificada y natural**

	Escala codificada			Escala natural			% R-OH
N	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Y <sub>(respuesta)</sub>
1	-1	-1	-1	24	20	4	0.463
2	1	-1	-1	96	20	4	0.879
3	-1	1	-1	24	40	4	0.771
4	1	1	-1	96	40	4	1.111
5	-1	-1	1	24	20	6	0.586
6	1	-1	1	96	20	6	1.003
7	-1	1	1	24	40	6	0.740
8	1	1	1	96	40	6	1.157
9	0	0	0	60	30	5	0.956
10	0	0	0	60	30	5	0.987

#### 31.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA R-OH

Los datos de la tabla 18 fueron sometidos a un tratamiento estadístico en el software MINITAB 16, donde se determinaron los efectos de las variables en estudio sobre la obtención de etano expresado en % R-OH, que se muestra en la tabla 23.

**Tabla 23. Efectos estimados y coeficientes para el R-OH**

<b>Estimated Effects and Coefficients for R-OH (coded units)</b>					
<b>Términos</b>	<b>Effect</b>	<b>Coef</b>	<b>SE Coef</b>	<b>T</b>	<b>P</b>
<b>Constante</b>		0.83879	0.007713	108.75	0.006
<b>Tiempo</b>	0.39722	0.19861	0.007713	25.75	0.025
<b>Temperatura</b>	0.21211	0.10605	0.007713	13.75	0.046
<b>pH</b>	0.06556	0.03278	0.007713	4.25	0.147
<b>tiempo*Temperatura</b>	-0.01928	-0.00964	0.007713	-1.25	0.430
<b>tiempo*pH</b>	0.01928	0.00964	0.007713	1.25	0.430
<b>Temperatura*pH</b>	-0.05785	-0.02892	0.007713	-3.75	0.166
<b>tiempo*Temperatura*pH</b>	0.01928	0.00964	0.007713	1.25	0.430
<b>Ct Pt</b>		0.13305	0.017247	7.71	0.082

S = 0.0218157

R-Sq = 99.89%

R-Sq(adj) = 99.05%

El  $R^2$  (siempre se encuentra entre 0 y 100%), es el porcentaje de variación de la variable de respuesta que explica su relación con una o más variables predictoras, puede parecer que un modelo con más términos tiene un mejor ajuste porque incluye más términos. El  $R^2$  ajustado es importante porque el  $R^2$  de cualquier modelo siempre aumentará cuando se agregue un nuevo término. Se utiliza el  $R^2$  ajustado para determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos cuando desee ajustar el número de predictores del modelo.

El  $R^2$  es 99.89 % y el  $R^2$  ajustado es 99.09 tiene una variación pequeña y se debe decidir, si se va considerar el pH en eliminar del modelo matemático o mantenerlo. En este caso vamos a considerar el pH porque a pesar que no es significativo, pero es importante en el proceso.

### 31.2 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA R-OH

Para determinar el significado real de los efectos de las variables se realizó mediante el análisis de varianza.

**Tabla 24. Análisis de varianza para el R-OH**

Analysis of Variance for R-OH (coded units)						
Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Efectos principales	3	0.414144	0.414144	0.138048	290.06	0.043
Tiempo	1	0.315568	0.315568	0.315568	663.06	0.025
Temperatura	1	0.089980	0.089980	0.089980	189.06	0.046
pH	1	0.008596	0.008596	0.008596	18.06	0.147
Interacción 2 direcciones	3	0.008180	0.008180	0.002727	5.73	0.296
tiempo*Temperatura	1	0.000744	0.000744	0.000744	1.56	0.430
tiempo*pH	1	0.000744	0.000744	0.000744	1.56	0.430
Temperatura*pH	1	0.006693	0.006693	0.006693	14.06	0.166
Interacción 3 direcciones	1	0.000744	0.000744	0.000744	1.56	0.430
tiempo*Temperatura*pH	1	0.000744	0.000744	0.000744	1.56	0.430
Curvatura	1	0.028323	0.028323	0.028323	59.51	0.082
Error residual	1	0.000476	0.000476	0.000476		
Error puro	1	0.000476	0.000476	0.000476		
Total	9	0.451867				

Los valores de p de los factores tiempo y temperatura son menores de 0.05 por lo que se considera que son factores de mayor significancia que el factor pH que tiene un valor p mayor de 0.05.

### 31.3 MODELO MATEMÁTICO

Se procede a determinar el modelo matemático que represente al proceso de fermentación alcohólica con el diseño factorial a dos niveles.

**Tabla 25. Coeficientes estimados para R-OH**

Estimated Coefficients for R-OH using data in uncoded units

Términos	Coefficientes
Constante	-0.617041
Tiempo	0.00899852
Temperatura	0.0347086
pH	0.151689
tiempo*Temperatura	-1.60688E-04
tiempo*pH	-5.35626E-04
Temperatura*pH	-0.00449926
tiempo*Temperatura*pH	2.67813E-05
Ct Pt	0.133050

El cálculo de los valores de los coeficientes de la ecuación matemática es:

**Tabla 26. Cálculo de los valores de los coeficientes**

$X_0$	Constante	-	0.617041
$X_1$	T	Tiempo	0.00899852
$X_2$	T	Temperatura	0.0347086
$X_3$	pH	pH	0.151689
$X_1X_2$	t-T	Interacción t-t	-1.60688E-04
$X_1X_3$	t-pH	Interacción t-pH	-5.35626E-04
$X_2X_3$	T-pH	Interacción t-pH	-0.00449926
$X_1X_2X_3$	t-T-pH	Interacción t-T-pH	2.67813E-05



$$Y = -0.617041 + 0.00899852X_1 + 0.0347086X_2 + 0.151689X_3 - 0.000160688X_1X_2 - 0.000535626X_1X_3 - 0.00449926X_2X_3 + 0.0000267813X_1X_2X_3$$

Si se aplica estrictamente la tabla 24 se observa que el factor pH tiene un valor p mayor de 0.05; entonces no se debería considerar el pH en el modelo matemático porque su p valor es 0.147 > 0.05 pero también se debe tener presente que el R-Sq = 99.89% y el-Sq(adj) = 99.05% no varía significativamente esto quiere decir que es mejor considerarlo y que esta decisión se debe resolver con criterio objetivo, asimismo el diseño experimental solo determinó cual es la menos significativa de las tres variables; es decir el pH es relativamente significativo y es recomendable considerar el pH en el modelo matemático.

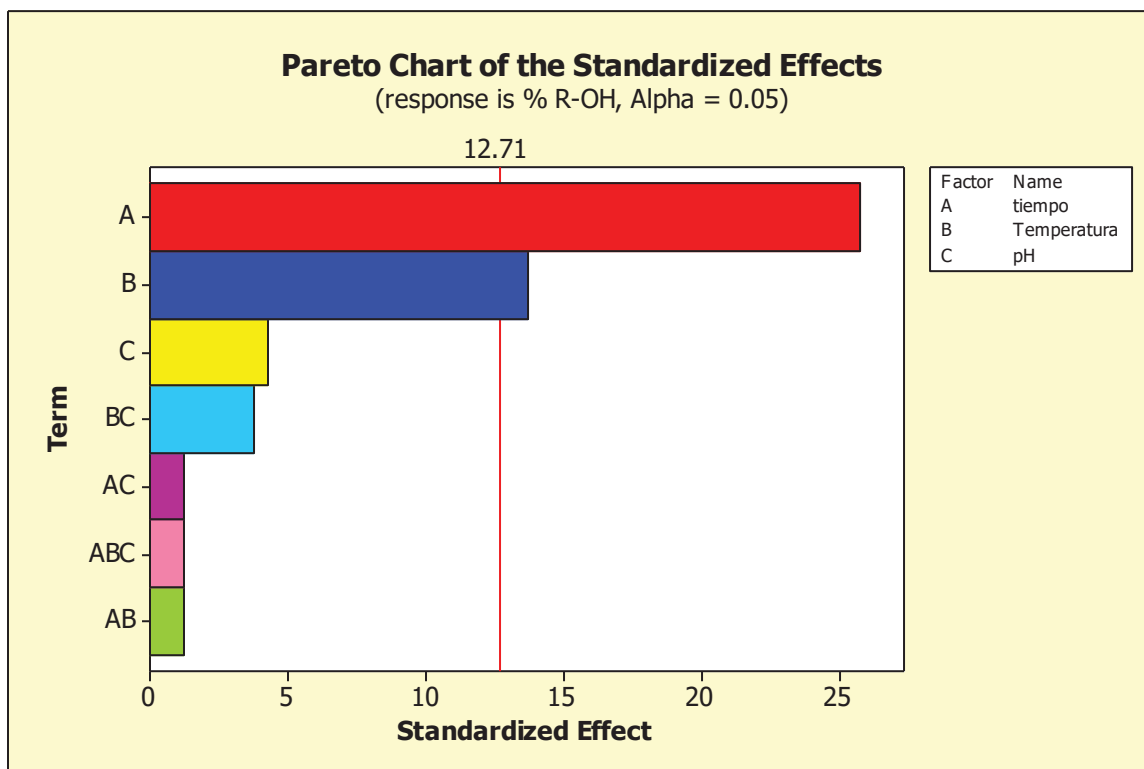
La ecuación está dada para:

**Tabla 27. Intervalos de los factores de la ecuación**

Temperatura	20	40	°C
Tiempo	24	96	horas
pH	4	6	

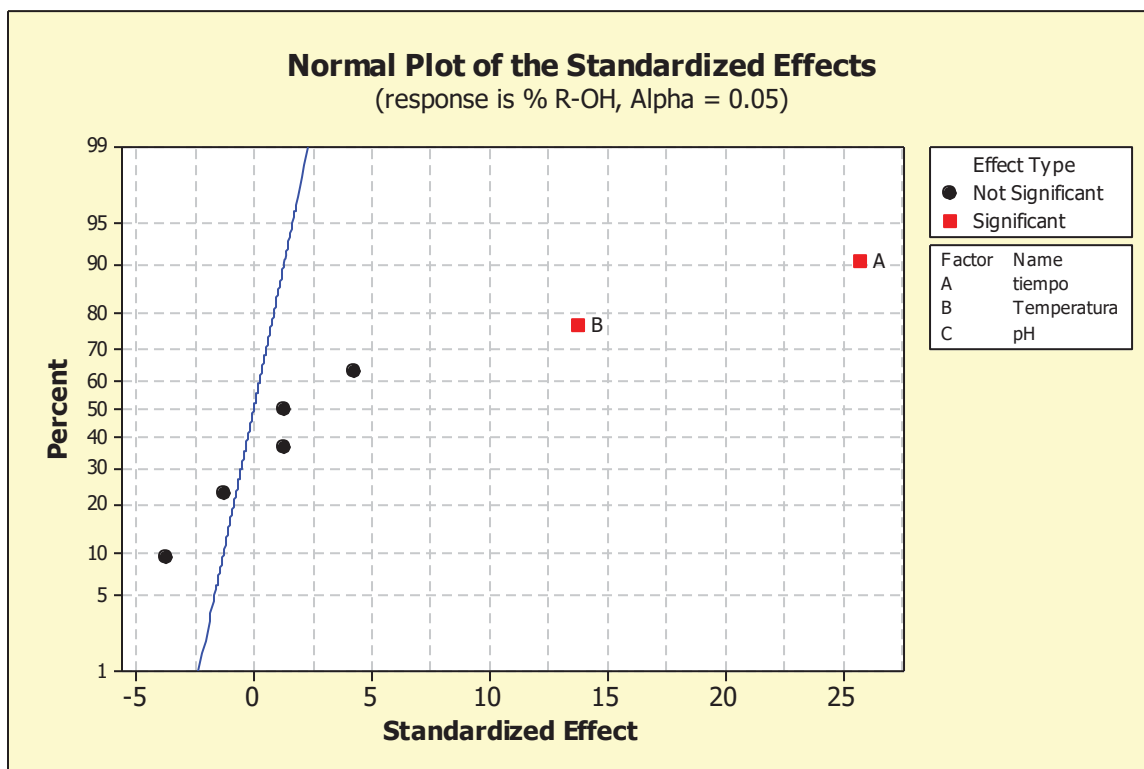
A un  $R^2 = 99.89\%$ , el modelo matemático que mejor representó el proceso de fermentación alcohólica para el diseño factorial completo fue:

$$\%R-OH = -0.617041 + 0.00899852(t) + 0.0347086(T) + 0.151689(pH) - 0.000160688(t*T) - 0.000535626(t*pH) - 0.00449926(T*pH) + 0.0000267813(t*T*pH)$$



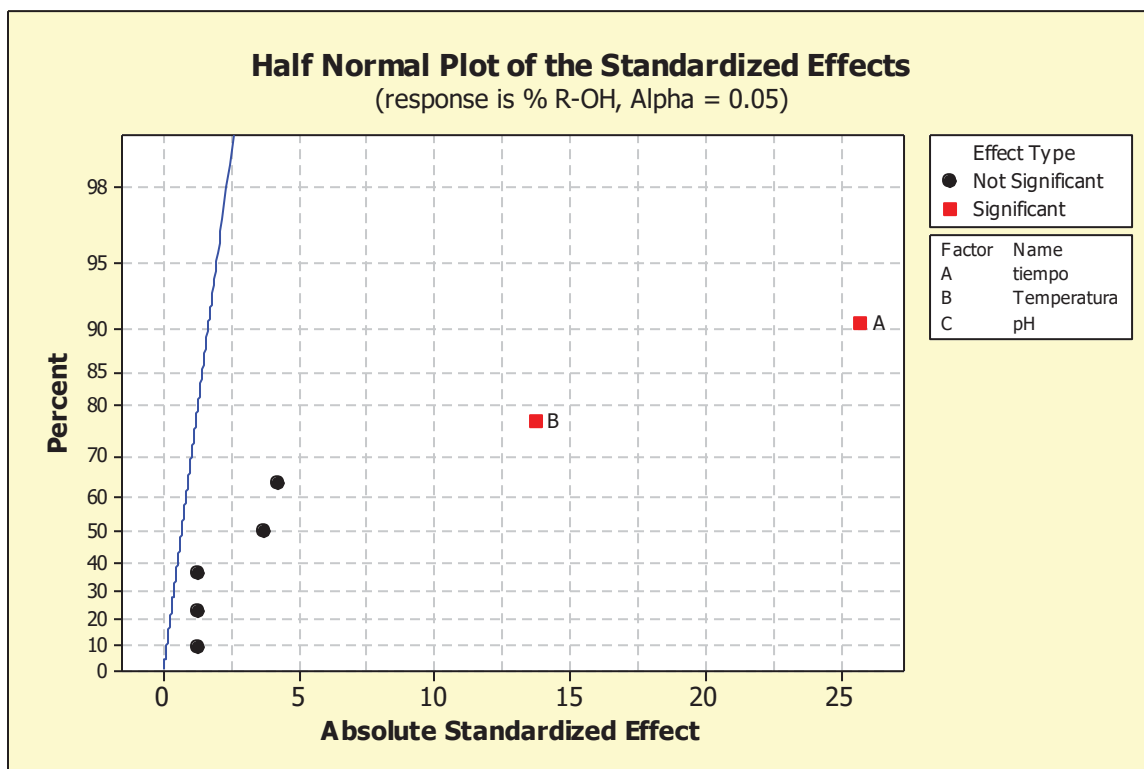
**Figura 28. Grafica de Pareto**

En la figura 28 se muestra el valor absoluto de los efectos y traza una línea de referencia en la gráfica; es decir las barras que pasan la línea vertical de referencia es potencialmente importante para el proceso en estudio.



**Figura 29. Gráfica de probabilidad normal de los efectos estandarizados**

En la figura 29 se muestra que los efectos negativos se ubican en el lado izquierdo de la gráfica y los efectos positivos en el lado derecho de la gráfica, lo que hace difícil comparar la magnitud de los efectos positivos y negativos. En este caso, la gráfica de probabilidad normal muestra que los factores de tiempo y temperatura; asimismo que algunos los efectos positivos no son significativos y otros tienen efectos negativos no significativos.



**Figura 30. Gráfica de probabilidad de normales (absolutos) de los efectos.**

.En la figura 30 se muestra el valor absoluto de los efectos, positivos y negativos, asimismo los efectos significativos y todo ello están en el lado derecho del origen de la gráfica, lo que permite comparar sus magnitudes relativas. En este caso, como el factor tiempo es el punto más distante a la derecha, representa el efecto más significativo.

## 32 DEL ESCALAMIENTO

Las pruebas experimentales se efectuaron teniendo como referencia la ecuación de regresión ajustada a las variables en estudio, donde se procedió a escalar mediante el método de pendiente ascendente desde el radio de diseño. Este tratamiento se efectuó hasta que la variable respuesta se aproximó a la región óptima, es decir que % R-OH se hizo constante y no aumento más. Las experiencias de ascenso hacia la región óptima se sintetizan en la tabla 24

**Tabla 28. Resultados de las pruebas experimentales de escalamiento**

N	Tiempo	Temperatura	R-OH
Experiencia	(horas)	(° C )	%
origen	t <sub>2</sub> =60	T <sub>2</sub> = 30	
Δ	3	3	
1	63	33	0.947
2	66	36	0.974
3	69	39	1.000
4	72	42	1.000
5	75	45	1.000
6	78	48	0.658
7	81	51	0.633
8	84	54	0.211
9	87	57	0.000

En la tabla 28, se muestra que las experiencias para la determinación del % R-OH, en las pruebas 1 al 2 va incrementándose el % R-OH en forma ascendente hasta la prueba 3 al 9 que % R-OH, se hizo constante. A partir de la prueba 4 es constante y por consiguiente se delimita el intervalo de la prueba 3 a la prueba 5 que permitió una aproximación a la región óptima.

### 33 DE LA OPTIMIZACIÓN

Esta etapa se realizó empleando el diseño hexagonal que permitió encontrar una solución óptima, y se seleccionó las dos variables más significativas en el proceso de investigación determinando la región óptima para el proceso de fermentación de los residuos orgánicos biodegradables.

### 33.1 ESTIMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO

Las dos variables más importantes del proceso en los siguientes niveles:

**Tabla 29. Variables más importantes del proceso**

VARIABLES		NIVELES	
		Inferior	Superior
$Z_1$ =Significativa	t = horas	24	96
$Z_2$ =Significativa	T = °C	4	6
$Z_3$ =Constante	pH = 5		

En las pruebas experimentales se ha considerado el pH como una constante en el proceso de fermentación de los residuos orgánicos.

**Tabla 30. Matriz de diseño a escala codificada y natural**

N	Codificado		Natural		% R-OH
	X1	X2	Z1	Z2	Y
1	1.0	0	75.000	35.000	1.026
2	0.5	0.866	71.250	39.300	0.921
3	-0.5	0.866	131.250	39.300	0.987
4	-1	0	60.000	35.000	0.789
5	-0.5	-0.866	131.250	30.670	1.026
6	0.5	-0.866	71.250	30.670	1.000
7	0	0	67.500	35.000	0.921
8	0	0	67.500	35.000	0.908
9	0	0	67.500	35.000	0.947

Los niveles para las variables independientes consideradas a escala codificada y a escala natural, se observa que 75 horas y a 35 °C el % R-OH es 1.026 y a 131 horas ya 30.670 °C el % R-OH es

1.026, ambos resultados son iguales. Asimismo, en la tabla 30 se muestra todos los resultados de las pruebas para el diseño hexagonal que se alimentaron al programa para optimizar

### 34 OPTIMIZACION CON SOFTWARE

#### 34.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA R-OH

Los datos de la tabla 30 fueron sometidos a un tratamiento estadístico con el software MINITAB, el cual permitió encontrar la relación entre el diseño de experimentos y determinar la regresión múltiple.

#### 34.2 LOS EFECTOS ESTIMADOS PARA R-OH

La regresión de superficie respuesta: R-OH versus tiempo, Temperatura

**Tabla 31. Coeficientes de regresión estimados para % R-OH**  
**Los análisis fueron utilizados unidades codificadas**

The analysis was done using coded units.				
Estimated Regression Coefficients for R-OH				
Término	Coef	SE Coef	T	P
Constante	1.19228	0.027510	43.341	0.000
Tiempo	0.11675	0.012468	9.364	0.003
Temperatura	-0.03145	0.008502	-3.700	0.034
tiempo*tiempo	-0.28327	0.029972	-9.451	0.003
Temperatura*Temperatura	-0.01925	0.015234	-1.264	0.296
tiempo*Temperatura	0.01172	0.009923	1.181	0.323

S = 0.0167131

R-Sq = 98.12%

R-Sq(adj) = 95.00%

**Tabla 32. Análisis de varianza para R-OH**

Analysis of Variance for R-OH						
Source / Fuente	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
<b>Regression / regresión</b>	5	0.043827	0.043827	0.008765	31.38	0.009
<b>Linear / lineal</b>	2	0.017736	0.028315	0.014158	50.69	0.005
<b>Tiempo</b>	1	0.014224	0.024491	0.024491	87.68	0.003
<b>Temperatura</b>	1	0.003512	0.003823	0.003823	13.69	0.034
<b>Square / cuadrado</b>	2	0.025701	0.025695	0.012847	45.99	0.006
<b>tiempo*tiempo</b>	1	0.025257	0.024951	0.024951	89.33	0.003
<b>Temperatura*Temperatura</b>	1	0.000444	0.000446	0.000446	1.60	0.296
<b>Interaction / interacción</b>	1	0.000390	0.000390	0.000390	1.39	0.323
<b>tiempo*Temperatura</b>	1	0.000390	0.000390	0.000390	1.39	0.323
<b>Residual error/error residual</b>	3	0.000838	0.000838	0.000279		
<b>Lack-of-Fit / falta de ajuste</b>	1	0.000030	0.000030	0.000030	0.07	0.811
<b>Pure Error / error puro</b>	2	0.000808	0.000808	0.000404		
<b>Total</b>	8	0.044665				

Un modelo de regresión exhibe falta de ajuste cuando no logra describir de manera adecuada la relación funcional entre los factores experimentales y la variable de respuesta. Si valor  $p < \alpha$  o igual a  $\alpha$  (el modelo no ajusta los datos), es decir el modelo no ajusta los datos de manera adecuada y para obtener un mejor modelo quizá se deba incluir términos importantes del modelo, tales como interacciones, términos cuadráticos o puede ocurrir si al ajustar el modelo, se producen numerosos residuos extrañamente grandes; en este caso, no hay falta de ajuste porque el valor  $p > \alpha$  (no existe evidencia de que el modelo no ajuste los datos), por consiguiente al modelo de regresión no se le debe excluir ningún factor o interacciones porque logra describir de manera adecuada el modelo de regresión. En la tabla 32 se muestra que el factor tiempo y temperatura sus valores  $p < \alpha$  (significativos), y las interacciones de temperatura y tiempo-



temperatura sus valores  $p > \alpha$  (no son significativas), pero no se puede excluir porque no hay falta de ajuste por su valor de  $p$  es 0.811, es decir, es mayor a 0.05 y no es significativa, por lo que se concluye que se debe incluir todo los factores y sus interacciones en el modelo matemático, más aun cuando temperatura es significativa por lo tanto no se debe excluir la interacción de temperatura–temperatura.

### 34.3 COEFICIENTE DE REGRESIÓN PARA R-OH

Los coeficientes de regresión que se ajustaron a los datos del R-OH y se muestran en la tabla 33 y 34.

**Tabla 33. Coeficientes de regresión estimados para R-OH Usando datos en unidades no codificadas**

Estimated Regression Coefficients for R-OH using data in uncoded units	
Término	Coefficientes
Constante	-1.91745
Tiempo	0.0432974
Temperatura	0.0577619
tiempo*tiempo	-2.23201E-04
Temperatura*Temperatura	-0.00103389
tiempo*Temperatura	7.62301E-05

**Tabla 34. Coeficientes del modelo para R-OH**

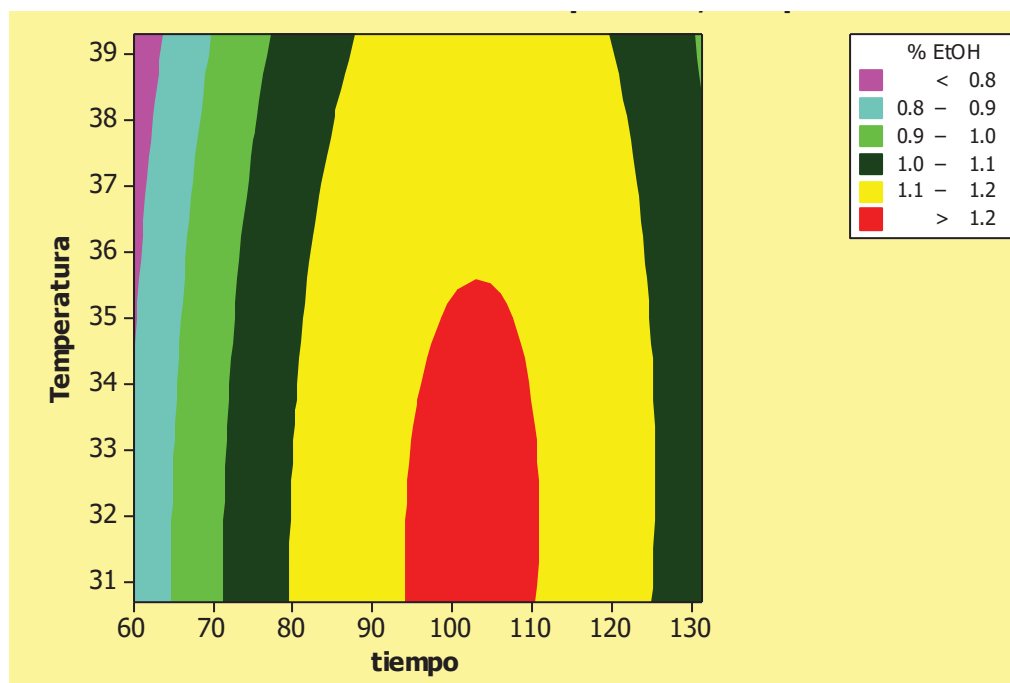
$X_0$	Constante	-1.91745
$X_1$	t Tiempo	0.0432974
$X_2$	T Temperatura	0.0577619
$X_1X_1$	t-t Interacción t-t	-2.23201E-04
$X_2X_2$	T-T Interacción T-T	-0.00103389
$X_1X_2$	t-T Interacción t-T	7.62301E-05

### 34.4 MODELO MATEMÁTICO

La ecuación de la regresión que se ajustó a los datos que fue:

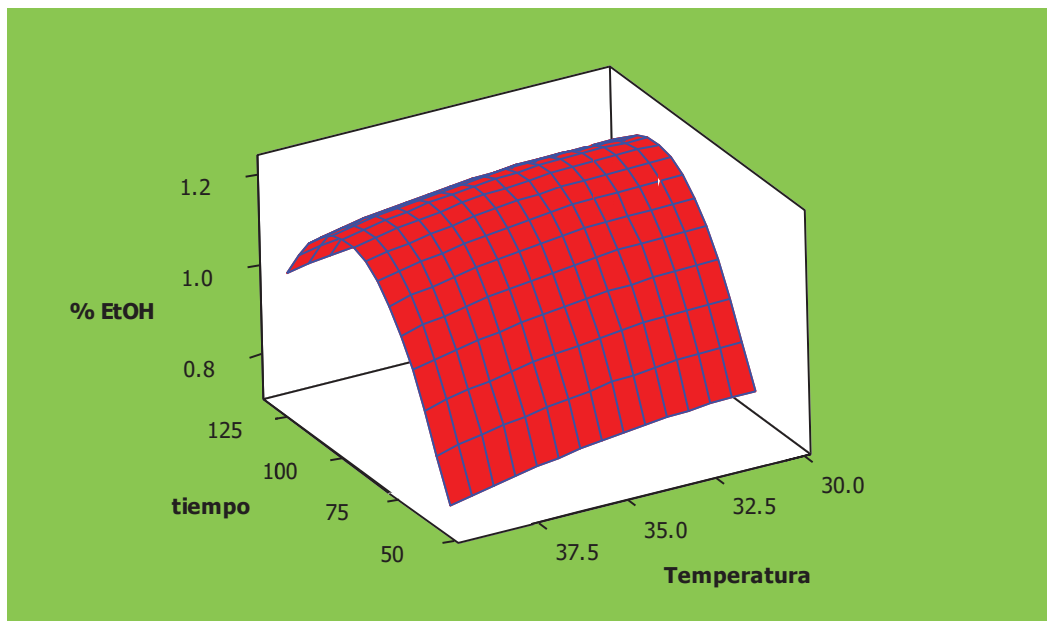
$$Y = -1.91745 + 0.0432974X_1 + 0.0577619X_2 - 2.23201E-04X_1X_1 - 0.00103389X_2X_2 + 7.62301E-05X_1X_2$$

### 34.5 SUPERFICIE RESPUESTA ESTIMADA PARA R-OH



**Figura 31. Contornos de la superficie respuesta estimada (% R-OH)**

En la Figura 31, se muestra el contorno central de superficie color rojo, en el cual se produce un máximo % R-OH, esto se da cuando tiempo de fermentación aproximado está en el rango de 95 a 112 horas y la temperatura está entre 30 y 35 °C para un porcentaje mayor a 1.2 de % R-OH



**Figura 32. Gráfico de la superficie respuesta estimada (% R-OH)**

La Figura 32 representan una superficie sólida en espacio tridimensional y existe un máximo relativo. Se determina la cercanía al punto óptimo, en el que se analizó que la variable respuesta % R-OH está en función del tiempo de fermentación aproximadamente a 100 horas y la temperatura de fermentación aproximadamente de 31° C para un % R-OH de 1.2.

## 34.6 RESPUESTA OPTIMIZADA

## Response Optimization

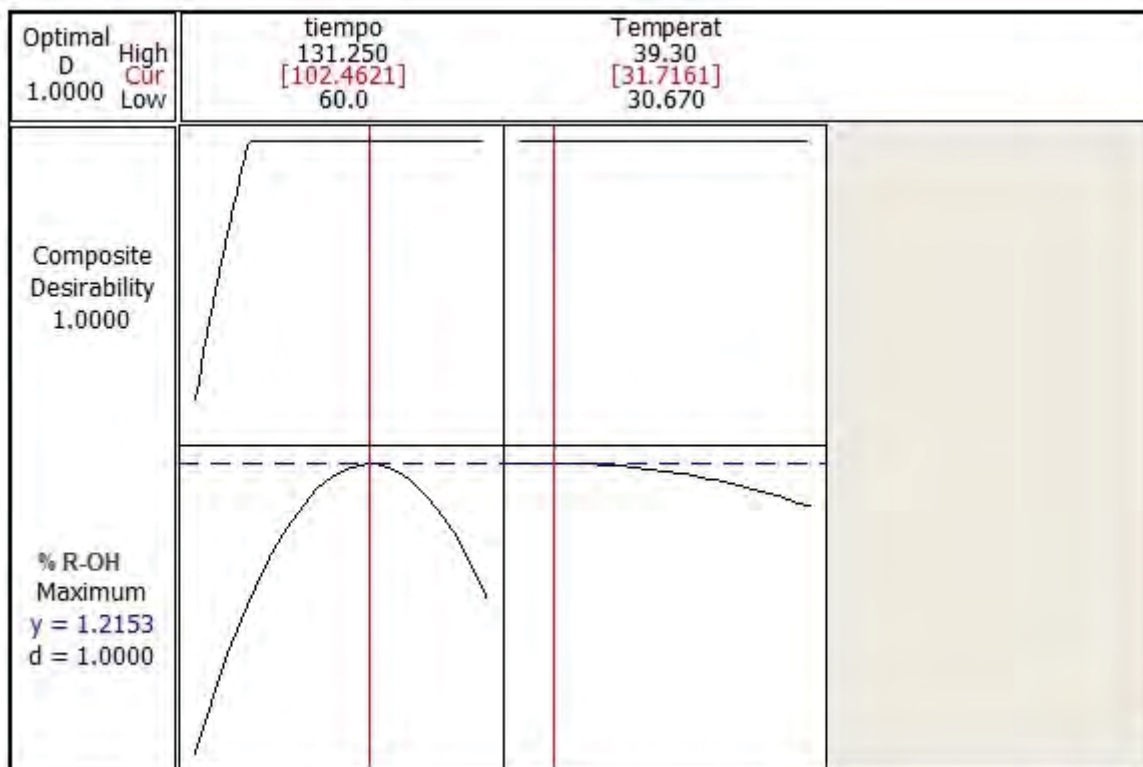


Figura 33. Respuesta optimizada

En la figura 33 se muestra la respuesta optimizada que determina que a un tiempo de 102.4621 horas y a una temperatura de 31.7161 °C, dio un resultado de 1.2153 % de R-OH

Tabla 35. Respuesta optimizada

Parameters = Parámetros						
Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import	
Meta	Bajo	Objetivo	Alto	Peso	Importancia	
% R-OH Maximum	0.789	1.026	1.026	1	1	

Predicted responses/Respuestas pronosticadas		Global solution/Solución global	
% R-OH	1.21533	Tiempo	102.462
Desirability	1.000000	Temperatura	31.7161
Composite Desirability	1.000000	pH constante = 5	

En la Tabla 35, se muestran los factores óptimos calculados con el software MINITAB 16: tiempo de fermentación  $t=102.462$  horas y temperatura de fermentación  $T= 31.7161^{\circ}\text{C}$  con un **% R-OH = 1.21533**

$$Y = -1.91745 + 0.0432974X_1 + 0.0577619X_2 - 2.23201E-04(X_1)^2 - 0.00103389(X_2)^2 + 7.62301E-05X_1X_2$$

La ecuación de regresión a un  $R^2 = 98.12\%$ , con pH constante = 5, el modelo matemático que mejor describió el proceso fermentación alcohólica de los substratos de los residuos biodegradables fue:

$$\%R - OH(tT) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.0002.2320 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

## 34.7 ANALÍTICAMENTE

Tabla 36. Analíticamente

$$\%R - OH(tT) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.0002.2320 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

$$\%R - OH(tT) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.000223201 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

$$R-OH = \% 1.21533$$

$$\frac{\partial R - OH}{\partial t}(t)_T = 0.0432974 - 0.000446402 * t + 0.0000762301 * T \quad \frac{\partial R - OH}{\partial T}(T)_t = 0.0577619 - 0.00206778 * T + 0.0000762301 * t$$

$$0.0432974 - 0.000446402 * t + 0.0000762301 * T = 0$$

$$0.0577619 + 0.0000762301 * t - 0.00206778 * T = 0$$

$$t = 102.40685077$$

$$T = 31.70956663$$

El modelo matemático de regresión describe adecuadamente entre los rangos que se dio en la optimización de la superficie respuesta cuyos valores bajos y altos de los factores son:

Factores	Bajo	Alto
Temperatura	30°C	40°C
Tiempo	60 h	131

### 34.8 DISCUSIÓN COMPARATIVA

De 1000 kg del substrato de residuos biodegradables sin deshidratar (78.30% de humedad), se obtiene 15.4 litros de etanol

Etanol =15.4L/1000kg residuos biodegradables sin deshidratar (78.30% de humedad)	
<p>Quizhpi, (2008). De 1.5Kg de residuos orgánicos (frutas) con 21-22°Bx enriquecido con melaza, se obtuvieron 0.07525 L de etanol de 95° GL.</p> <p>Etanol (95°GL) =50L/1000kg enriquecido</p>	<p>La diferencia del resultado con Quizhpi, es porque utilizaron solo residuo orgánico (fruta) y lo enriquecieron previamente con melaza hasta 21-22°Bx, además tomaron el resultado del destilado al 95°C, es decir con un porcentaje de agua.</p>
<p>El proyecto Perseo, (2007). Estimaron que con una tonelada de residuos orgánicos seco se pueden obtener 160 litros de etanol</p> <p>Etanol =160L/1000kg (seco)</p>	<p>La diferencia del resultado con el proyecto Perseo, es porque utilizaron el residuo orgánico deshidratado (seco) y la materia orgánica está conformada aproximadamente por más del 70% de agua y la diferencia está en la materia seca que utilizaron.</p>

### 35 CONCLUSIONES

1. El substrato de residuos orgánicos biodegradables presentó en promedio las siguientes características: un valor de pH de 6.5, un grado brix de 4. Asimismo el análisis fisicoquímico dio una humedad de 78.30%. y 17.82 % de carbohidratos con un contenido de 3.75 % de glucosa.
2. Se obtuvo por fermentación anaerobia 3.9 ml de etanol de 300 g substrato de los residuos orgánicos biodegradables.
3. Se concentro por destilación simple estricta a 5.9 ml de solución alcohólica al 66 °GL (etanol 3.9 ml - agua 2 ml ).
4. Se utilizó el diseño factorial completo  $N = 2^3 + 2$ , que permitió formular la ecuación de regresión del proceso de fermentación alcohólica, dentro de los rangos establecidos fue:

$$\%R - OH(tT) = -0.617041 + 0.00899852 * t + 0.0347086 * T + 0.151689 * pH - 0.000160688 * t * T - 0.000535626 * t * pH - 0.00449926 * T * pH + 0.0000267813 * t * T * pH$$

5. Las variables mas significativas del proceso de fermentación de los residuos biodegradables para obtener etanol fueron tiempo (t) y temperatura (T) a pH constante.
6. Se utilizó el diseño hexagonal para la optimización el cual permitió encontrar la relación entre el diseño de experimentos y el análisis de regresión múltiple para el proceso de fermentación alcohólica del substrato de los residuos biodegradables y el modelo matemático



con  $R^2 = 98.12\%$  que mejor representó el % R-OH en la optimización a un pH constante = 5, fue:

$$\%R - OH(tT) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.0002.2320 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

7. Los parámetros a un pH = 5 fueron: tiempo de fermentación (t)= 102.406850 horas y temperatura de fermentación (T) = 31.709566 °C, con 1.21533 % etanol.

### 36 SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

1. Se sugiere contar con equipos apropiados y de alta fidelidad para obtener resultados confiables para que sean mínimas los errores introducidos a causa de estos equipos de prueba a prueba.
2. Se recomienda implementar los diseños experimentales para todo tipo de investigaciones empíricas para contar con resultados confiables y tengan menores costos económicos.
3. Se recomienda optimizar todo lo procesos para encontrar las mejores condiciones en las investigaciones empíricas para que los procesos sean más eficientes.
4. Se sugiere que se realice investigaciones en la hidrólisis para determinar el tiempo óptimo para producir mayor cantidad azúcares reductores para obtener alcohol.
5. Se sugiere que se realice investigaciones para determinar que cantidad de lixiviado y de gases se generará de un peso determinado de residuos biodegradables para obtener un modelo matemático o ecuación de regresión que mejor represente el proceso de degradación de la materia orgánica biodegradable.

### 37 Bibliografía

- Acuña, F. (2006). *Química orgánica*. San Jose, Costa Rica: Editorial Universal Estatal a Distancia EUNED. Recuperado el 2017 de enero de 23, de Libros:  
[https://books.google.com.pe/books?id=TL98uAXZ3JQC&pg=PA97&lpg=PA97&dq=qui+en+clasifica+los+alcoholes+primarios+secundarios+o+terciarios&source=bl&ots=xuGNvtJJNi&sig=ynRznVbLNjTEDUzO9uArXnR8\\_18&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjivbeU\\_9jRAhXCwiYKHSnyCXg4ChDoAQggMAE#v=o](https://books.google.com.pe/books?id=TL98uAXZ3JQC&pg=PA97&lpg=PA97&dq=qui+en+clasifica+los+alcoholes+primarios+secundarios+o+terciarios&source=bl&ots=xuGNvtJJNi&sig=ynRznVbLNjTEDUzO9uArXnR8_18&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjivbeU_9jRAhXCwiYKHSnyCXg4ChDoAQggMAE#v=o)
- Alarcón, A. V. (Junio de 2010). *Producción de bioetanol con Zymomonas mobilis*. México, D.F., México.
- Alarcón, M. A. (1985). *Producción de alcohol por fermentación*. Cusco, Perú.
- Alconoa. (s.f.). *Compañía de Tabacal*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de [www.alconoa.com.ar](http://www.alconoa.com.ar):  
<http://www.alconoa.com.ar/documentos/Elaboracion%20Alcohol%20Etilico.pdf>
- Alconoa. (s.f.). *Es una compañía de Tabacal*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2014, de [www.alconoa.com.ar](http://www.alconoa.com.ar):  
<http://www.alconoa.com.ar/documentos/Elaboracion%20Alcohol%20Etilico.pdf>
- Alfaro, E. (1999). *Estadística aplicada*. Arequipa, Peru: UNSA.
- Ambía, E., & Cruz, M. I. (2010). Seminario de investigación: Degradación de la materia organica del botadero de Haqaira por aireación mediante agitación. Cusco: UNSAAC.

- Ambía, E., & Farfán, M. (2012). Tesis para optar el título de ingeniero químico: *Optimización por diseños experimentales del proceso de degradación aerobio de los lixiviados de Haqira*. Cusco: UNSAAC.
- Arce, A. (2006). *Calculo diferencial e integral y matematica basica: sus aplicaciones* (Segunda ed.). Cusco, Peru: Centro Bartolome de las Casas.
- Area Metropolitana del Valle de Aburra. (Enero de 2008). *Guia para el manejo integral de residuos*. Medeliin, Colombia: Digital Express.
- Ayala, J., & Pardo, R. (1995). *Optimización por diseños experimentales con aplicacion en ingeniería*. Lima: CONCYTEC.
- Cáceres, N. (2009). *Análisis de datos y diseños experimentales aplicados en investigación*. Cusco: UNSAAC.
- Cochran, W., & Cox, G. (2001). *Disseños experimentales*. Trillas.
- Collazos, H. (Enero de 2010). *Planta sistema de traamiento de lixividos*. (Olaya, & Natalie, Entrevistadores) Bogota.
- Congreso Legislativo. (21 de Julio de 2000). *Ley general de residuos sólidos*. Recuperado el 17 de noviembre de 2016, de [http://www.indeci.gob.pe/norma\\_leg/nor\\_con/ley\\_n27314\\_ley\\_gen\\_res\\_sol.pdf](http://www.indeci.gob.pe/norma_leg/nor_con/ley_n27314_ley_gen_res_sol.pdf)
- Congreso Legislativo. (20 de Julio de 2000). *Ley general de residuos sólidos*. El Peruano.
- Congreso Legislativo. (20 de Julio de 2000). *Ley N° 27314*. El Peruano.
- Fajardo, E., & Sarmiento , S. (Agosto de 2007). <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/>. Obtenido de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>

- Garzón, S., & Hernández, C. (2009). *Estudio comparativo para la producción de etanol entre Saccharomyces cerevisiae silvestre, Saccharomyces cerevisiae ATCC 9763 Y Candida utilis ATCC 9950*. Pereira, Risaralda, Colombia.
- GPWayne. (Julio de 2015). *Skeptical science*. Recuperado el 2 de Enero de 2017, de How do we know more CO2 is causing warming: <https://www.skepticalscience.com/empirical-evidence-for-co2-enhanced-greenhouse-effect.htm>
- Gutierrez, S. (Junio de 2009). *Obtención de bioetanol a partir del mango criollo del Iatmo de Tehuantepec*. Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México.
- Hansen, A. (1959). *Microbiología de las fermentaciones Industriales*. Zaragoza: Acribia.
- INEI. (Diciembre de 2015). *INEI Instituto Nacional de Estadística Informática*. Recuperado el Noviembre de 02 de 2016, de Perú: Anuario de estadísticas ambientales 2015: [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1342/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/libro.pdf)
- Infobae. (25 de Marzo de 2014). *Infobae América*. Recuperado el 2 de Enero de 2017, de La contaminación ya mata a más de 7 millones de personas por año: <http://www.infobae.com/2014/03/25/1552572-la-contaminacion-ya-mata-mas-7-millones-personas-ano/>
- INFORMS Computing Society. (2014). *Internet Archive - wayback kmachine*. Recuperado el 2 de enero de 2017, de Mathematical Programming Glossary: <http://web.archive.org/web/20140305080324/http://glossary.computing.society.informs.org/index.php?page=nature.html>
- IUPAC. (1997). *IUPAC Gold book*. Recuperado el 2 de enero de 2017, de alcohols: <http://goldbook.iupac.org/A00204.html>

Kennedy, J., & Neville, A. (1982). *Estadística para ciencias e ingeniería*. Harla, Harper & Row Latinoamericana.

Ley general de residuos solidos. (s.f.).

McMurry, J. (2005). *Química orgánica*. Cengage Learning Editores.

Microsoft Corporation. (2008). *Microsoft student con encarta premium*.

Mina, J., & Pardo, R. (1995). *Optimización por diseños experimentales*. A&B S.A. Lima, Perú. 1995. Lima: A&B S.A.

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2009). Obtenido de

<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos>

MINITAB. (s.f.). Obtenido de <http://www.minitab.com/>

Montgomery, D. (1991). *Diseños y analisis de experimentos*. Iberoamericana.

Municipalida del Cusco. (2004). Los residuos sólidos. *SELIP*.

Naciones Unidas. (Junio de 1992). *Declaración de Rio sobre el medio ambiente y de desarrollo*.

Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de Programa 21:

<http://web.archive.org/web/20090212181220/http://un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter21.htm>

Naciones Unidas. (27 de Julio de 2012). *Asamblea General*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/66/288>

Naciones Unidas. (22 de Junio de 2014). *Decenio internacional para la acción. El agua fuente de vida 2005-2015*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de Departamento de asuntos económicos y sociales de la Naciones Unidas:

<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

- Naciones Unidas. (25 de Septiembre de 2015). *La Agenda 2030*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de <http://www.ipu.org/splz-e/unga16/2030-s.pdf>
- Owen, W. (1991). *Biotecnología de la fermentación*. Zaragoza, España: Acribia S.A.
- Palacios, S. (2010). *Estadística experimental aplicada a ciencia e ingeniería*. Lima: CONCYTEC.
- Perseo. (2007). *Agrocombustible, otro enfoque al debate sobre biocombustibles*. Revista ecológica, cuaderno de debate internacional(34).
- Peruano, E. (22 de julio de 2004). *Ley general de residuos sólidos*.
- Quizhpi, L. F. (2008). *Obtención de etanol a partir de los residuos orgánicos de la sección de frutas del mercado mayorista de Riobamba*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Ramirez, G., & Pedroza, J. (2001). *Desarrollo de una fermentación alcohólica a pH regulado y temperatura de 25 °C en el biorreactor bioflo 3000m1227 y estudio inicial de fermentación en sistema continuo*. Bogotá.
- Rios, M. d., & Romero, M. T. (1987). *Optimización de la producción de alcohol a partir de la jora del maíz en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Química*. Cusco, Perú.
- Rueda, D., & Herrera, W. (2006). *Diseño preliminar de un proceso de obtención de etanol a partir de material lignocelulósico de frutas, aplicando la tecnología de hidrólisis térmica catalizada*. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Wikipedia. (2015). Recuperado el 15 de Octubre de 2014, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n\\_alcoh%C3%B3lica#cite\\_note-Riegel-20](http://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n_alcoh%C3%B3lica#cite_note-Riegel-20)
- SELIP. (2004). *Los residuos sólidos son recursos*. Cusco. 2004. *Municipalidad del Cusco*.
- Wikipedia. (2015 de Febrero de 2015). *Wikipedia*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n\\_alcoh%C3%B3lica#cite\\_note-28](http://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n_alcoh%C3%B3lica#cite_note-28)

*Wikipedia. La enciclopedia libre.* (s.f.). Recuperado el 2 de enero de 2016, de Dióxido de carbono: [https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido\\_de\\_carbono#cite\\_note-NOAA-2](https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono#cite_note-NOAA-2)

WWAP. (2009). *Decenio internacional para la acción: el agua fuente de vida 2005-2015.*

Recuperado el 1 de Noviembre de 2016, de Departamento de asuntos económicos,sociales de Naciones Unidas:

<http://www.miaschaco.com.py/puntopy/themes/default//media/calidad-agua.pdf>



# APENDICES

## APENDICE 1

### Cálculo del incremento del tiempo ( $\Delta t$ ) y temperatura ( $\Delta T$ ) para el escalamiento

$$\Delta Z_j = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{2}$$

$$\Delta Z_t = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{2} = \frac{96 - 24}{2} = 36$$

$$\Delta Z_T = \frac{Z_{\max} - Z_{\min}}{2} = \frac{40 - 20}{2} = 10$$

Se asignó un incremento a una de las variables  $\Delta \epsilon_j$  ( $\Delta \epsilon_t$ ,  $\Delta \epsilon_T$ ):  $\Delta \epsilon_T = 3$

Despejando se obtiene:

$$\Delta \epsilon_{\text{tiempo}} = \frac{\Delta \epsilon_T * b_t * \Delta z_t}{b_T * \Delta z_T}$$

$$\begin{aligned} \%R-OH &= -0.617041 + 0.00899852(t) + 0.0347086(T) + 0.151689(pH) - 0.000160688(t * T) - \\ &0.000535626(t * pH) - 0.00449926(T * pH) + 0.0000267813(t * T * pH) \end{aligned}$$

Reemplazando con las constantes de tiempo y temperatura de la ecuación de regresión.

$$\Delta \epsilon_t = \frac{3 * 0.00899852 * 36}{0.0347086 * 10} = 2.799998$$

### Incremento del escalamiento

$$\Delta T \quad 3.000000 = 3$$

$$\Delta t \quad 2.79 \ 9998 = 3$$

## APENDICE 2

### Cálculo de los valores codificados del diseño hexagonal

---

$X_{(-1)}$	-1	$X_{(-1)}$	-1
$X_{(-0.5)}$	-0.5	$X_{(-0.866)}$	-0.866
$X_{(0)}$	0	$X_{(0)}$	0
$X_{(0.5)}$	0.5	$X_{(0.866)}$	0.866
$X_{(1)}$	1	$X_{(1)}$	1

---

$X_{(-1)}$	-1
$X_{(-0.5)}$	-0.5
$X_0$	0
$X_{(0.5)}$	0.5
$X_{(1)}$	1

$$\frac{X_{(1)} - X_0}{X_{(0.5)} - X_0} = \frac{1 - 0}{0.5 - 0}$$

$$(X_{(1)} - X_0)(0.5 - 0) = (1 - 0)(X_{(0.5)} - X_0)$$

$$X_{(1)} * 0.5 - X_0 * 0.5 = X_{(0.5)} - X_{(0)}$$

$$X_{(0.5)} = 0.5 * X_{(1)} - 0.5 * X_{(0)} + X_{(0)}$$

$$X_{(0.5)} = 0.5 * 75 - 0.5 * 60 + 60 = 71.25$$

$$\frac{X_{(-1)} - X_0}{X_{(-1)} - X_{(-0.5)}} = \frac{-1 - 0}{-1 - (-0.5)}$$

$$(X_{(-1)} - X_0)(-1 + 0.5) = (-1 - 0)(X_{(-1)} - X_{(-0.5)})$$

$$-X_{(-1)} + 0.5 * X_{(-1)} + X_0 - 0.5 * X_0 = -X_{(-1)} + X_{(-0.5)}$$

$$0.5 + X_{(-1)} + X_0 - 0.5 * X_0 = +X_{(-0.5)}$$

$$X_{(-0.5)} = 0.5 * X_{(-1)} - 0.5 * X_0 + X_0$$

$$X_{(-0.5)} = 0.5*60 + 0.5*67.5 + 67.5 = 131.25$$

$$X_{(-1)} \quad -1$$

$$X_{(-0.866)} \quad -0.866$$

$$X_{(0)} \quad 0$$

$$X_{(0.866)} \quad 0.866$$

$$X_{(1)} \quad 1$$

$$\frac{X_{(1)} - X_0}{X_{(0.866)} - X_0} = \frac{1 - 0}{0.866 - 0}$$

$$(X_{(1)} - X_0)(0.866 - 0) = (1 - 0)(X_{(0.866)} - X_{(0)})$$

$$0.866 * X_{(1)} - 0.866 * X_{(0)} = X_{(0.866)} - X_{(0)}$$

$$0.866 * X_{(1)} - 0.866 * X_{(0)} + X_{(0)} = X_{(0.866)}$$

$$X_{(0.866)} = 0.866 * X_{(1)} - 0.866 * X_0 + X_0$$

$$X_{(0.866)} = 40*0.866 - 35*0.866 + 35 = 39.3$$

$$\frac{X_{(-1)} - X_0}{X_{(-0.866)} - X_0} = \frac{-1 - 0}{-0.866 - 0}$$

$$(X_{(-1)} - X_0)(-0.866 - 0) = (-1 - 0)(X_{(-0.866)} - X_0)$$

$$-X_{(-1)} * 0.866 + X_0 * 0.866 = -X_{(-0.866)} + X_0$$

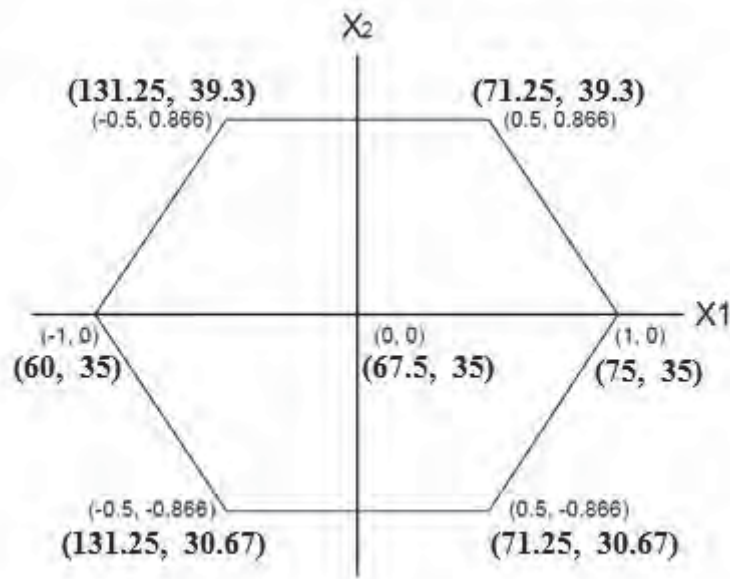
$$-0.866 * X_{(-1)} + 0.866 * X_0 - X_0 = -X_{(-0.866)}$$

$$-X_{(-0.866)} = -0.866 * X_{(-1)} + 0.866 * X_0 - X_0$$

$$X_{(-0.866)} = 0.866 * X_{(-1)} - 0.866 * X_0 + X_0$$

$$X_{(-0.866)} = 0.866 * 30 - 0.866 * 35 + 35 = 30.67$$

Puntos centrales:  $(60+75)/2 = 67.5$  y  $(35+35)/2 = 35$



### APENDICE 3

#### CALCULO ANALÍTICO

$$\%R - OH(t,T) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.000223201 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

$$R - OH(t,T) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.000223201 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

$$\frac{\partial R - OH}{\partial t}(t)_T = 0.0432974 - 0.0000446402 * t + 0.0000762301 * T$$

$$0.0432974 - 0.0000446402 * t + 0.0000762301 * T = 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$R - OH(t,T) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.000223201 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

$$\frac{\partial R - OH}{\partial T}(T)_t = 0.0577619 - 0.00206778 * T + 0.0000762301 * t$$

$$0.0577619 - 0.00206778 * T + 0.0000762301 * t = 0 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$0.0000762301 * [0.0432974 - 0.000446402 * t + 0.0000762301 * T = 0]$$

$$0.000446402 * [0.0577619 + 0.0000762301 * t - 0.00206778 * T = 0]$$

$$0.000003300565131 - 0.000000034029269100 * t + 0.00000000581102814601 * T = 0$$

$$0.000025789 + 0.00000003429269100 * t - 0.00000092306 * T = 0$$

$$0.0000290856 - 0.00000091725 * T = 0$$

$$T = 31.709566639411$$

Reemplazando (T=31.709566639411) en la ecuación 1

$$0.0432974 - 0.000446402 * t - 0.0000762301 * (T) = 0$$

$$0.0432974 - 0.000446402 * t + 0.0000762301 * (31.709566639411) = 0$$

$$0.0432974 - 0.000446402 * t + 0.002417223458 = 0$$

$$-0.000446402 * t + 0.045714623458 = 0$$

$$t = 102.40685077575$$

Con el criterio de la segunda derivada se determinó que hay un máximo:

$$\frac{\partial R - OH}{\partial t}(t)|_T = 0.0432974 - 0.0000446402 * t + 0.0000762301 * T$$

$$\frac{\partial^2 R - OH}{\partial v^2}(t) = -0.0000446402$$

$$\frac{\partial R - OH}{\partial T}(T)|_t = 0.0577619 - 0.00206778 * T + 0.0000762301 * t$$

$$\frac{\partial R - OH}{\partial t}(T) = -0.00206778$$

Por consiguiente la ecuación:

$$\%R - OH(t,T) = -1.91745 + 0.0432974 * t + 0.0577619 * T - 0.000223201 * t^2 - 0.00103389 * T^2 + 0.0000762301 * t * T$$

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2$$

Para el análisis de la ecuación de regresión se emplea la matriz Hessiana de orden 2x2.

$$\frac{\partial^2 R - OH}{\partial v^2}(t) = -0.0000446402$$

$$H_{11} = \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} = -0.0000446402$$

$$\frac{\partial R - OH}{\partial t}(T) = -0.00206778$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_2^2} = -0.00206778$$

$$\frac{\partial R - OH}{\partial t \partial T}(t, T) = 0.0000762301$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} = 0.0000762301$$

$$H_{22} = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} & \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} \\ \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} & \frac{\partial^2 Y}{\partial X_2^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0.0000446402 & 0.0000762301 \\ 0.0000762301 & -0.00206778 \end{vmatrix}$$

$$H_{22} = \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} * \frac{\partial^2 Y}{\partial X_2^2} - \left| \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} \right|^2 = (-0.0000446402 * -0.00206778) - |0.0000762301|^2 = 0.0000000864950846$$

$$H_{22} = (-0.0000446402 * -0.00206778) - |0.0000762301|^2 = 0.0000000864950846$$

Si se cumplen las siguientes condiciones:

- Si  $H_{11} > 0$  y  $H_{22} > 0$ , existe un mínimo relativo.
- Si  $H_{11} < 0$  y  $H_{22} > 0$ , existe un máximo relativo.
- Si  $H_{22} < 0$ , existe un punto de silla.
- Si  $H_{22} = 0$ , puede existir o no máximo o mínimo relativo.

Sí  $H_{11} = -0.0000446402$ , entonces  $H_{11} < 0$ , y si la determinante  $H_{22} = 0.0000000864950846$ ,

entonces  $H_{22} > 0$ , por lo tanto existe un máximo relativo.



## APENDICE 4

Fotografías de los ensayos experimentales en el laboratorio particular DO UT DES.



**Figura 1. Peso de la muestra**



**Figura 2. Residuos biodegradables**



**Figura 3. Peso del sustrato**



**Figura 4. Sustrato**



**Figura 5. Guantes  
y kit de papel peachímetro**



**Figura 6. Reactivos**



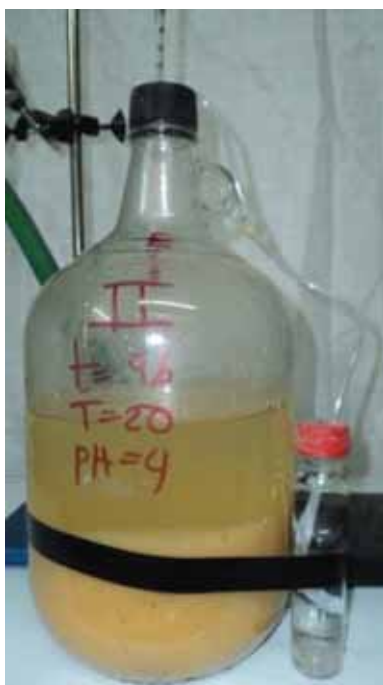
**Figura 7. Cocina y olla de presión**



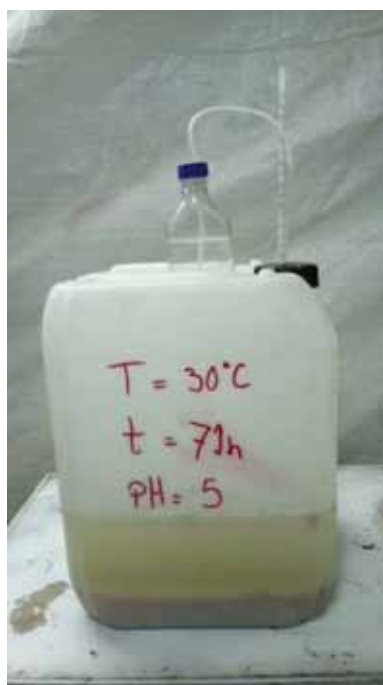
**Figura 8. Fermentador**



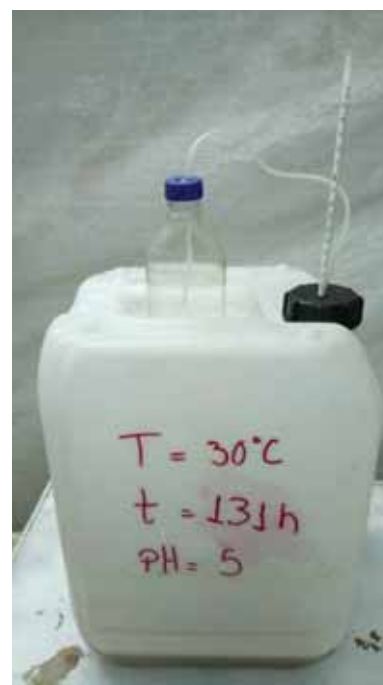
**Figura 9. Equipo de destilación**



**Figura. 10 Envase**



**Figura. 11 Envase**



**Figura. 12 Envase**



**Figura 13. Recipiente de fermentación, air lock y termómetro.**



**Figura 14 Filtrando**



**Figura 15. Residuo sólido**



**Figura 16. Residuo sólido**



**Figura 14. Midiendo la solución**



**Figura 15. Solución R-OH – H<sub>2</sub>O**



**Figura16. Destilando**

**Fotografías de los equipos de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco**



**Figura 17. Cromatógrafo de gases**



**Figura 18. Muestras en el cromatógrafo**





**Figura 19. Espectómetro de masas**

## APENDICE 5

### Etapas de la optimización

	N° corridas	Tiempo horas	Temperatura °C	pH	RSB g	R-OH ml	R-OH g	R-OH	
								mg/g	%
<b>Factorial</b>	1	24.000	20.000	4.000	300	1.759	1.388	4.628	0.463
	2	96.000	20.000	4.000	300	3.341	2.638	8.793	0.879
	3	24.000	40.000	4.000	300	2.931	2.314	7.713	0.771
	4	96.000	40.000	4.000	300	4.221	3.332	11.107	1.111
	5	24.000	20.000	6.000	300	2.228	1.759	5.862	0.586
	6	96.000	20.000	6.000	300	3.810	3.008	10.027	1.003
	7	24.000	40.000	6.000	300	2.814	2.221	7.404	0.740
	8	96.000	40.000	6.000	300	4.397	3.471	11.570	1.157
	9	60.000	30.000	5.000	300	3.634	2.869	9.564	0.956
	10	60.000	30.000	5.000	300	3.752	2.962	9.873	0.987
<b>Escalamiento</b>	1	63.000	33.000	5.000	300	3.600	2.842	9.473	0.947
	2	66.000	36.000	5.000	300	3.700	2.921	9.737	0.974
	3	69.000	39.000	5.000	300	3.800	3.000	10.000	1.000
	4	72.000	42.000	5.000	300	3.800	3.000	10.000	1.000
	5	75.000	45.000	5.000	300	3.800	3.000	10.000	1.000
	6	78.000	48.000	5.000	300	2.500	1.974	6.577	0.658
	7	81.000	51.000	5.000	300	1.900	1.900	6.333	0.633
	8	84.000	54.000	5.000	300	0.633	0.633	2.110	0.211
	9	87.000	57.000	5.000	300	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Hexagonal</b>	1	75.000	35.000	5.000	300	3.900	3.079	10.263	1.026
	2	71.250	39.300	5.000	300	3.500	2.763	9.210	0.921
	3	131.250	39.300	5.000	300	3.750	2.960	9.868	0.987
	4	60.000	35.000	5.000	300	3.000	2.368	7.895	0.789
	5	131.250	30.670	5.000	300	3.900	3.079	10.263	1.026
	6	71.250	30.670	5.000	300	3.800	3.000	10.000	1.000
	7	67.500	35.000	5.000	300	3.500	2.763	9.210	0.921
	8	67.500	35.000	5.000	300	3.450	2.724	9.079	0.908
	9	67.500	35.000	5.000	300	3.600	2.842	9.473	0.947

## APENDICE 6

### Análisis fisicoquímicos


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
 Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú


**UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA**  
**INFORME DE ANÁLISIS**

Nº0762-16-LAQ

**SOLICITANTE:** EDY AMBIA VASQUEZ  
**MUESTRA :** RESIDUOS BIODEGRADABLES  
**FECHA :** 0/03/11/2016  
**RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:**

=====	
Humedad %	78.30
Proteína %	1.36
Grasa %	1.80
Cebiza %	0.72
Fibra %	9.30
Carbohidratos %	17.82
Glucosa %	3.75
=====	

\*  
 Cusco, 10 de Noviembre 2016


  
 Melisandra Marcano Arce  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
 DE ANÁLISIS QUÍMICO



## APENDICE 7

### Análisis del porcentaje de etanol

En la destilación simple estricta se concentró etanol y para determinar el porcentaje de etanol se utilizó un alcoholímetro centesimal de Gay-Lussac a una temperatura a  $20^{\circ}\text{C}$  y dio un resultado de  $66^{\circ}\text{GL}$



## APENDICE 8

### Resultados del análisis de la cromatografía

Del apéndice 7 se observa que el alcoholímetro centesimal de Gay-Lussac dio un resultado de 66 °GL y en el apéndice 8 todo los resultados del análisis cromatógrafo de gases el cual determinó que el compuesto en mayor cantidad fue etanol al 95.081 % y la diferencia de este porcentaje son compuestos no significativos por consiguiente se puede concluir que de la concentración 66°GL de etanol que se obtuvo el 95.081% es etanol.

$$\begin{array}{r}
 66\text{-----}100\% \\
 x \text{ -----}95.084\% \\
 x = 62.753 \text{ es etanol}
 \end{array}$$

Lo que quiere que de la concentración del 66° GL el 62.753, sea etanol y el 3.246 está conformado por otros compuestos no tan significativos. Aclarando que el cromatógrafo de gases no analiza el agua por lo que se concluye:

Etanol.....66.753 %

Otros compuestos.....3.256 %

## APENDICE 9

### Lab Cromatografia UNSAAC Library Search Report

Data Path : D:\DATA MSD\VOLATILES\2016\  
 Data File : ALCOHO-F.D  
 Acq On : 26 Sep 2016 16:15  
 Operator :  
 Sample: Alcohol Fermentado  
 Misc :  
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1  
 Search Libraries: C:\Database\NIST11.L Minimum Quality:0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: RTE Integrator - RT-AG.P

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.198	1.31	C:\Database\NIST11.L			
			1-Phenyl-1-butene	14034	000824-90-8	46
			Benzene, (1-methyl-1-propenyl)-, (E)-	14096	000768-00-3	38
			3a,6-Methano-3aH-indene, 2,3,6,7-tetrahydro-	14103	098640-29-0	38
2	6.394	95.03	C:\Database\NIST11.L			
			Ethanol	95	000064-17-5	86
			Ethanol	94	000064-17-5	86
			Ethanol	96	000064-17-5	86
3	9.216	0.86	C:\Database\NIST11.L			
			1-Propanol, 2-methyl-	855	000078-83-1	72
			1-Propanol, 2-methyl-	857	000078-83-1	56
			Acetic acid, hydrazide	780	001068-57-1	9
4	12.526	2.80	C:\Database\NIST11.L			
			1,5-Pentanediol, 3-methyl-	8844	004457-71-0	64
			1-Butanol, 3-methyl-	2122	000123-51-3	64
			1-Butanol, 3-methyl-	2123	000123-51-3	59

Alcoholes.M Fri Oct 28 13:02:10 2016 UNSAAC



  
 Jorge Choquendra Pari  
 C.Q.P. N° 914

## Lab Cromatografia UNSAAC Library Search Report

Data Path : D:\DATA MSD\VOLATILES\2016\  
 Data File : ALCOHO-F.D  
 Acq On : 26 Sep 2016 16:15  
 Operator :  
 Sample: Alcohol Fermentado  
 Misc :  
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1  
 Search Libraries: C:\Database\NIST11.L Minimum Quality:0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: RTE Integrator - RT-AG.P

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.198	1.31	C:\Database\NIST11.L			
			1-Phenyl-1-butene	14034	000824-90-8	46
			Benzene, (1-methyl-1-propenyl)-, (E)-	14096	000768-00-3	38
			3a,6-Methano-3aH-indene, 2,3,6,7-tetrahydro-	14103	098640-29-0	38
2	6.394	95.03	C:\Database\NIST11.L			
			Ethanol	95	000064-17-5	86
			Ethanol	94	000064-17-5	86
			Ethanol	96	000064-17-5	86
3	9.216	0.86	C:\Database\NIST11.L			
			1-Propanol, 2-methyl-	855	000078-83-1	72
			1-Propanol, 2-methyl-	857	000078-83-1	56
			Acetic acid, hydrazide	780	001068-57-1	9
4	12.526	2.80	C:\Database\NIST11.L			
			1,5-Pentanediol, 3-methyl-	8844	004457-71-0	64
			1-Butanol, 3-methyl-	2122	000123-51-3	64
			1-Butanol, 3-methyl-	2123	000123-51-3	59

Alcoholes.M Fri Oct 28 13:02:10 2016 UNSAAC



*Jorge Choquenaira Pari*  
 C.O.P. N° 914

## Lab Cromatografia UNSAAC Library Search Report

Data Path : D:\DATA MSD\VOLATILES\2016\  
 Data File : ALCOHO-F.D  
 Acq On : 27 Sep 2016 16:15  
 Operator :  
 Sample : Alcohol Fermentado  
 Misc :  
 ALS Vial : 3 Sample Multiplier: 1  
 Search Libraries: C:\Database\Flavor2.L Minimum Quality:  
 0 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: RTE Integrator - RT-AG.P

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.198	1.31	C:\Database\Flavor2.L Indole	66	000120-72-9	7
			3-Phenyl-1-propanol	292	000122-97-4	1
			Hexyl hexanoate	176	006378-65-0	1
2	6.394	95.03	C:\Database\Flavor2.L Ethyl alcohol	26	000064-17-5	86
			Isopropyl alcohol	35	000067-63-0	2
			2-Heptanol	180	000543-49-7	1
3	9.216	0.86	C:\Database\Flavor2.L isobutyl alcohol	62	000078-83-1	50
			Isobutylacetate	269	000110-19-0	1
			Pyruvic acid; 2-oxopropanoic acid	393	000127-17-3	1
4	12.526	2.80	C:\Database\Flavor2.L Isoamyl alcohol	27	000123-51-3	72
			1-Decanol	86	000112-30-1	12
			Heptane	402	000142-82-5	4

Alcoholes.M Fri Oct 28 13:02:10 2016 UNSAAC



  
 Jorge Choquendra Part  
 C.Q.P. N° 814

File :D:\DATA MSD\VOLATILES\2016\ALCOHO-F.D

Operator :

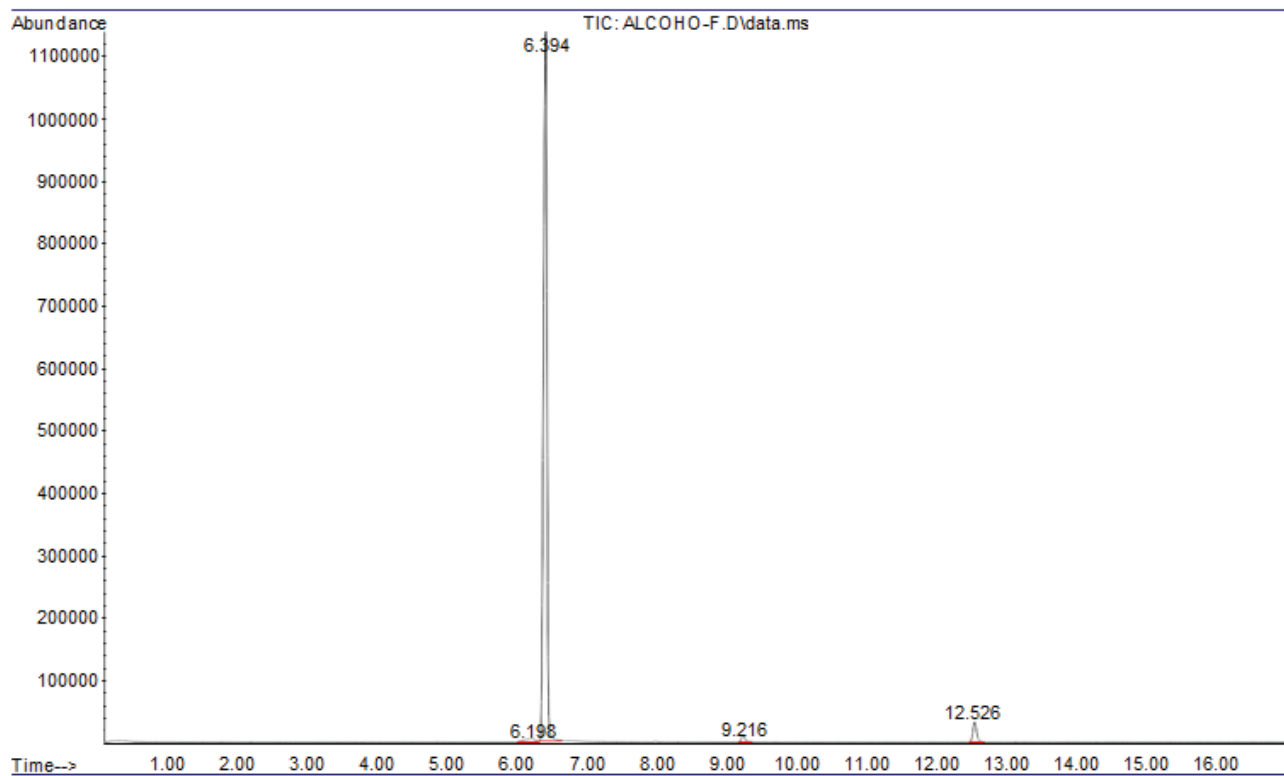
Acquired : 26 Sep 2016 16:15 using

AcqMethod Alcoholes.M

Instrument :UNSSAC

Sample Name: Alcohol Fermentado Misc Info :

Vial Number: 3



Jorge Chaquana Pañi  
C.Q.P. N° 914

## APENDICE 10

### LIXIVIADOS DISCURRIENDO

El botadero de Haqira está ubicado en la localidad de Jaqira a 7.7 km de la ciudad imperial del Cusco, y tiene una extensión de 5 Hectáreas (Has); los residuos sólidos ocupan un área de 4.4 hectáreas, área que viene siendo ampliada por el proceso de coladura que se efectúa en la zona para extraer material de cobertura del botadero. El relieve que presenta es de quebradas abruptas de alta pendiente presentado una morfología típica de valle en V, lo que facilita la disposición de los residuos sólidos en forma descendente. ( SELIP, 2004)

#### Fotografías del botadero de Haqira 2010



**Figura 1. Pendiente del botadero**



**Figura 2. Lixiviado**



**Figura 3. Chimenea**



**Figura 4. Surcos con lixiviados**



**Figura 5. Acumulación de residuos**



**Figura 6. Lixiviado**



**Fotografías del botadero de Haqira 2012(ubicado en la comunidad de Jaqira).**



**Figura 7. Disposición de residuos**



**Figura 8. Disposición de residuos**



**Figura 9. Poza de lixiviados**



**Figura 10. Disposición de residuos**



**Figura 11. Poza de lixiviado**



**Figura 12. Lixiviado discurriendo**

**Fotografías del botadero de Haqira 2016 (ubicado en la comunidad de Jaqira).**



**Figura 13. Diagrama de Haqira**



**Figura 14. Mallas**



**Figura 15. Geo membranas**



**Figura 16. Geo membranas y chimeneas**



**Figura 17. Poza de lixiviado**



**Figura 18. Camino con gravas**





**Figura 19. Lixiviado**



**Figura 20. Lixiviado**



**Figura 21. Toma de lixiviado**



**Figura 22. Muestra del lixiviado en un frasco sobre una mesa reciclada**

## APENDICE 11

### EL VOLUMEN DE ETANOL DE 1000 Kg DE RESIDUOS BIODEGRADABLES

Composición (%) de la caracterización de residuos sólidos en la Región Cusco

<b>Materia Orgánica</b>	<b>53.91</b>
Huesos	-----
Papel	3.57
Cartón	2.45
Tetrapak	-----
Tecknopor	-----
Vidrio	2.07
Plásticos PET	9.51
Plásticos blandos	-----
Metal	2.76
Cueros y trapos	1.40
Madera	0.79
Material inerte	23.54
Residuos peligrosos	-----
Otros	-----
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fuente: Estudios de caracterización de residuos sólidos en el ámbito nacional elaborado por municipios, universidades y diversas ONG

En la etapa de optimización se determinó que los factores óptimos en el proceso de fermentación alcohólica fueron: tiempo de 102.4 horas y a una temperatura de 31.7 °C, para obtener 1.2153 % R-OH. Entonces se puede determinar cuánto de etanol aproximadamente se podría obtener de 554 ton/día que contiene 53.91 % de materia orgánica.

1. Las toneladas de materia orgánica en 544 toneladas/día de residuos sólidos en la región

Cusco es:

$$554 \text{ ton} \text{-----} 100\%$$

$$x \text{ -----} 53.91\%$$

$$x = 298.6614 \text{ toneladas de material orgánica}$$

298.6614 ton	1000 kg	298661.4 kg
	1 ton	

2. Si se obtiene 1.2153 % (3.6459 g) de R-OH de 300 g del substrato del residuo biodegradable entonces se determinó.

$$0.3 \text{ kg} \text{ -----} 0.0036459 \text{ kg R-OH}$$

$$298\ 661.4 \text{ kg} \text{ -----} x$$

$$x = 3696.6 \text{ kg R-OH}$$

3. Se determinó el volumen de R-OH

$$V(\text{destilado}) = \frac{EtOH \text{ kg}}{\rho_{EtOH}}$$

$$EtOH m^3 = \frac{EtOH(kg)}{\rho_{EtOH} \frac{kg}{m^3}}$$

$$EtOH m^3 = \frac{3629.63 \text{ kg EtOH}}{789 \frac{kg}{m^3}} = 4.60029 m^3 * 1000 l = 4600.29 l$$

$$EtOH = \frac{1000kg * 4600.29 L \text{ de EtOH}}{298661.4 kg} = 15.40 \frac{L}{1000kg}$$

4. Por otro procedimiento.

4.1. Base de cálculo.

1000 kg de residuos biodegradables previamente clasificado y caracterizado.

4.2. Se determinó el volumen de etanol del substrato del residuos biodegradables

300 g ----- 100%                      300 g ----- 3.645 g R-OH

x ----- 1.215 % R-OH                      1000 g ----- y

x = 3.645 g R-OH

y = 12.15 g R-OH

$$EtOH_{cm^3} = \frac{12.153 \text{ g EtOH}}{789 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 15.399 \text{ cm}^3 * 0.001L = 0.015399 \text{ l}$$

# ANEXOS



## ANEXO 1

**LA REACCIÓN EN LA QUE LA GLUCOSA  
DA LUGAR A DIÓXIDO DE CARBONO Y ETANOL**

En este ejercicio resuelto de termodinámica química se calcula la variación de entalpía de la reacción de fermentación de la glucosa, es decir, la reacción en la que la glucosa da lugar a dióxido de carbono y etanol. Para ello utilizaremos las entalpías de combustión y se aplica la Ley de Hess.

El enunciado completo es el siguiente:

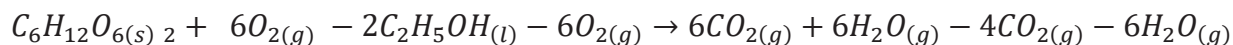
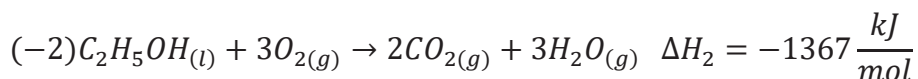
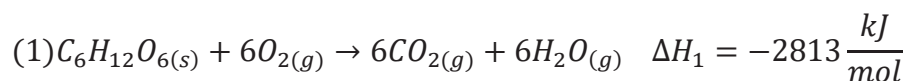
La reacción de fermentación de la glucosa,  $C_6H_{12}O_6$  (s), produce etanol,  $C_2H_5OH$  (l), y dióxido de carbono. Calcular la variación de entalpía de la reacción a partir de los datos siguientes:

$$\Delta H_c^\circ (\text{glucosa}) = -2813 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_c^\circ (\text{etanol}) = -1367 \text{ kJ/mol}$$

Ojo el símbolo ( $^\circ$ ) significa valor estándar termoquímica: temperatura  $25^\circ\text{C}$  y 1 atm de presión

Las reacciones de combustión de la glucosa y del etanol respectivamente son:



$$\Delta H_3 = 1 \cdot \Delta H_1 - 2 \cdot \Delta H_2$$

$$\Delta H_3 = 1(-2813) - 2(-1367)$$

$$\Delta H_3 = -2813 + 2734 = -79 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Cuando 1 mol de glucosa fermenta para dar 2 moles de etanol y 2 moles de dióxido de carbono se desprenden  $-79 \text{ kJ/mol}$  y al tener el signo negativo significa que se trata de una reacción exotérmica

## ANEXO 2

## CONDICIONES ESTÁNDAR Y CONDICIONES NORMALES

**Condiciones estándar para gases (aceptadas por convención):** temperatura, 273.15 K (0 °C) y presión de  $10^5$  pa. La IUPAC recomienda que el uso anterior de presión de 1 atm como presión estándar (equivalente a  $1.01325 \times 10^5$  Pa) se debe interrumpir.

Los datos de las entalpías de las reacciones están tabuladas por lo general a 25 °C y 1 atm, al igual que el resto de funciones de estado. Las condiciones de 0°C y 1 atm sólo las usábamos en lo referente al cálculo de volúmenes, puesto que sabemos que a esa temperatura 1 mol de cualquier gas ocupa un volumen de 22,4 L.

Por ejemplo, el volumen de un mol de gas ideal en condiciones normales de presión y temperatura “ojo” debemos tener mucho cuidado en no confundir: entendemos por presión normal a la presión del nivel del mar es 1atm pero la temperatura normal no es 0°C frecuentemente es 25 °C por lo que muchas veces es error de traducción por lo que no se refiere a la temperatura normal si no a la temperatura estándar 273.15 k (0°C):

$$P * V = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{1 \text{ mol} * 0,082 \text{ 06} \frac{\text{L. atm}}{\text{mol. K}} * 273.15 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 22,44341 \text{ L}$$

Esto nos lleva al valor clásico del volumen molar:  $V = 22,44$  L.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Condiciones\\_normales\\_de\\_presi%C3%B3n\\_y\\_temperatura](http://es.wikipedia.org/wiki/Condiciones_normales_de_presi%C3%B3n_y_temperatura)

**Condiciones normales:** Término cualitativo, dependiente de la preferencia del investigador; frecuentemente implica presión y temperatura ambientales del lugar-"de laboratorio"- donde se esté haciendo el experimento, estudio o medición; comúnmente para la presión es 1 atm a nivel del mar o sea,  $1.01325 \times 10^5$  Pa (en el S.I.), y la temperatura dependerá de las condiciones reales de lugar: 25 °C, 20 °C ó 15 °C.

[http://fjarabo.webs.ull.es/Biomasa/Bio04/Bio04\\_41.htm](http://fjarabo.webs.ull.es/Biomasa/Bio04/Bio04_41.htm)

## ANEXO 3

## TRES GRUPOS DE BIOMASA PARA SER FERMENTADA

Azucaradas	<p>Mostos y jugos de diversas frutas</p> <p>Remolacha y caña de azúcar</p> <p>Sorgo azucarado</p> <p>Algarroba</p> <p>Mandioca</p>	
Amiláceas	Cereales	<p>Maíz</p> <p>Cebada</p> <p>Malta</p> <p>Trigo</p> <p>Avena</p> <p>Centeno</p> <p>Arroz</p>
	Tubérculos	<p>Patata</p> <p>Boniato</p> <p>Pataca</p>
	Raíz de girasol	
Celulósicas	<p>Madera</p> <p>Bagazo de caña de azúcar</p> <p>Residuos de paja de trigo</p> <p>Despojos de maíz</p> <p>Líquidos residuales del papel</p> <p>Pulpa de remolacha</p>	

## ANEXO 4

**La densidad del etanol a diferentes temperaturas**

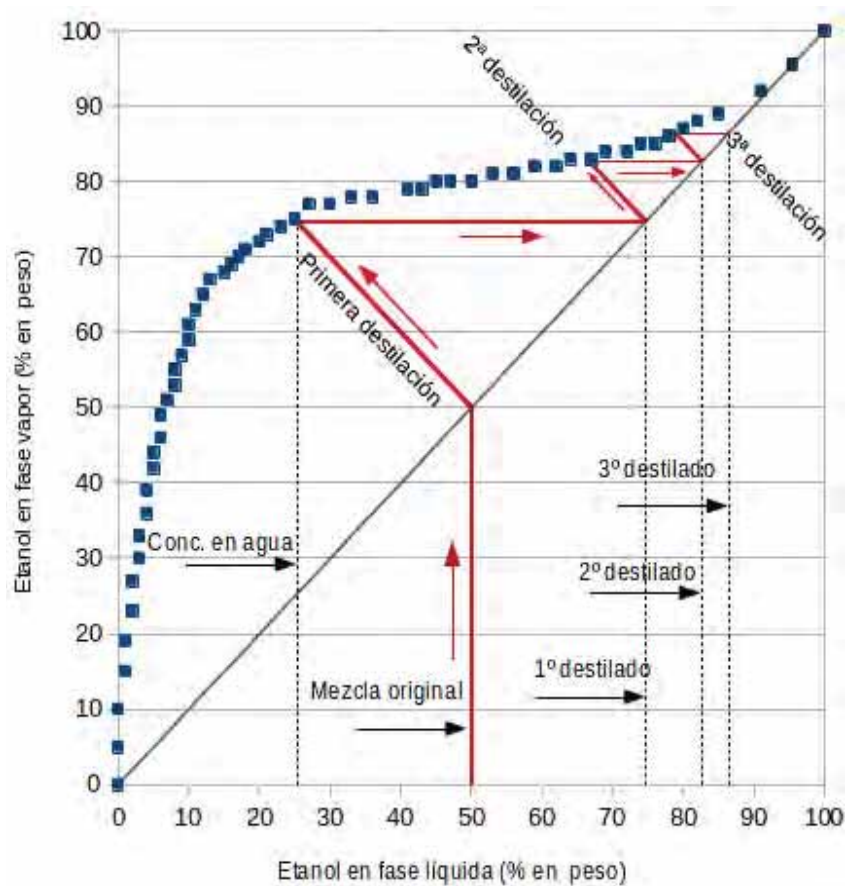
Data obtained from Lange's Handbook of Chemistry, 10th ed.

T	P	T	P	T	P
3 °C	0.80374	16 °C	0.79283	29 °C	0.78182
4 °C	0.80290	17 °C	0.79198	30 °C	0.78097
5 °C	0.80207	18 °C	0.79114	31 °C	0.78012
6 °C	0.80123	19 °C	0.79029	32 °C	0.77927
7 °C	0.80039	20 °C	0.78945	33 °C	0.77841
8 °C	0.79956	21 °C	0.78860	34 °C	0.77756
9 °C	0.79872	22 °C	0.78775	35 °C	0.77671
10 °C	0.79788	23 °C	0.78691	36 °C	0.77585
11 °C	0.79704	24 °C	0.78606	37 °C	0.77500
12 °C	0.79620	25 °C	0.78522	38 °C	0.77414
		39 °C	0.77329	40 °C	0.77244

These data correlate as  $\text{Density (g/cm}^3\text{)} = -8.461834\text{E-}4 \text{ T (}^\circ\text{C)} + 0.8063372$  with an  $R^2$  coefficient of determination of 0.99999.

## ANEXO 5

## Destilación discontinua etanol - agua



The following is the plain text of the GFDL. See "[GNU Free Documentation License](https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gfdl.html)" on [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:GFDL) for an encyclopedia article about the license.  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16921674>

## ANEXO 6

## Generación de residuos sólidos por regiones (ton/día)



Fuente: Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos en el ámbito nacional elaborado por municipios, universidades y diversas ONG

**ANEXO 7**  
**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA REGION CUSCO**

Región	Materia Orgánica	Huesos	Papel	Cartón	Tetrapak	Tecknopor	Vidrio	Platicos PET	Plásticos blandos	Metal	Cueros y trapos	Madera	Material inerte	Residuos peligrosos	Otros	Total
Cusco	53.91		3.57	2.45			2.07	9.51		2.76	1.40	0.79	23.54			100

Fuente: Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos en el ámbito nacional elaborado por municipios, universidades y diversas

**El hámster no pude juzgar la técnica de vuelo del colibrí.**

Edy Ambía Vásquez

XVIII-V-MMXVII