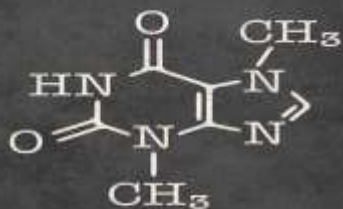




**“DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS”**



| chocolate |  
theobromine

**Carmen Erazo**

## Problema de investigación



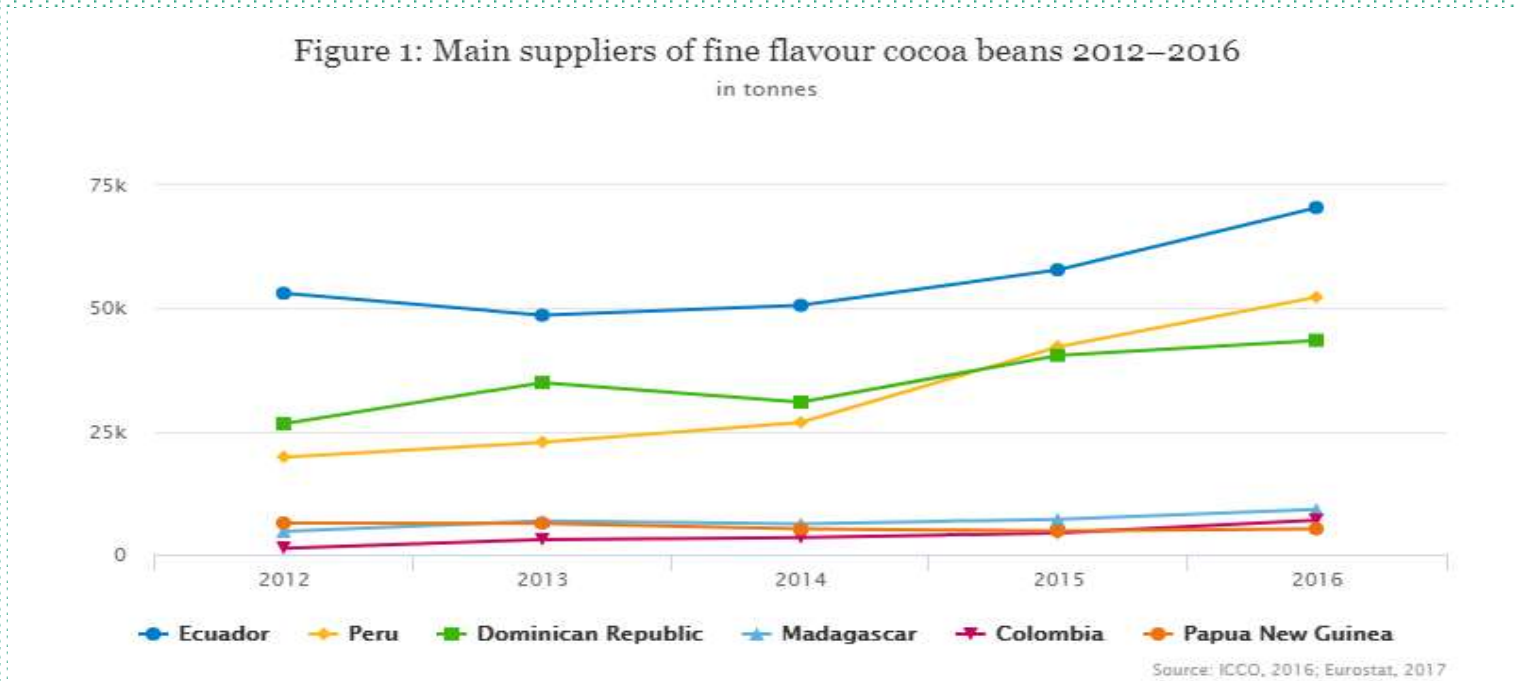
**CACAO NACIONAL**



**CACAO CCN51**

# Justificación

El presente estudio realizará un procedimiento para el proceso de fermentación de cacao Nacional y Ramilla (CCN-51) y un correcto tratamiento de secado.



# Hipótesis

Si el índice de fermentación se encuentra sobre el 53% el fermentador y secador aseguraran la calidad del chocolate fino o arriba (sabor y aroma).





## **Objetivo General**

Evaluar el grado de fermentación de la almendra de cacao Ecuatoriano, mediante el uso de dos modelos cinéticos, para el mejoramiento de las propiedades organolépticas.

## Objetivos Específicos

Analizar la situación actual del cacao Ecuatoriano, mediante información de producción y exportaciones, para seleccionar una metodología que mejore el grado de fermentación.

Analizar experimentalmente el proceso de fermentación del cacao, mediante técnicas de replicación del modelos cinético 1 de Kresnowati et al. (2015), para mejorar el índice de fermentación.

Evaluar el proceso experimental de fermentación del cacao Ecuatoriano mediante el modelo el Kresnowati et al. (2015), para confirmar que se logra muy buena fermentación.

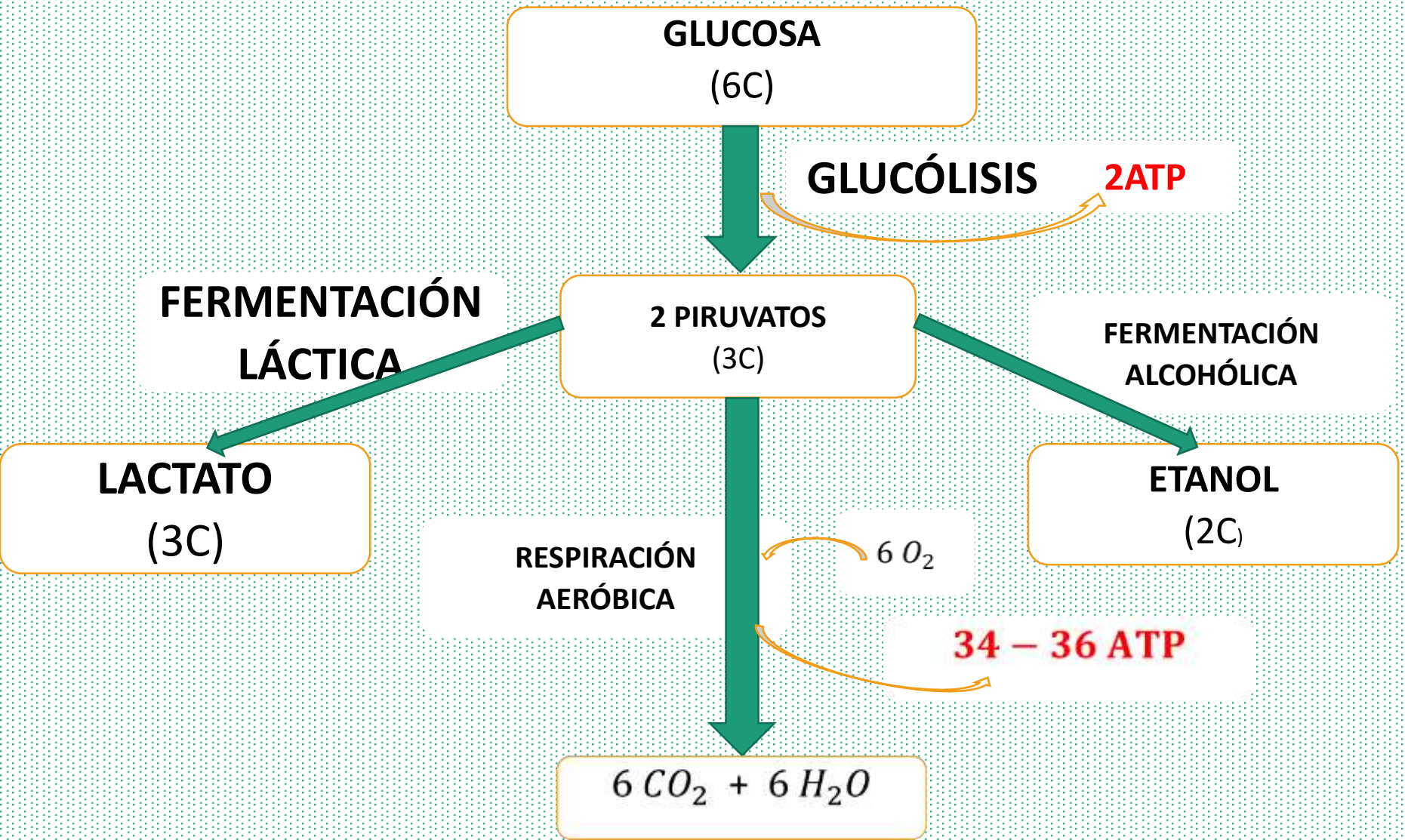
# Materiales y Métodos

**Tabla 1. Requisitos físicos y calidad para granos de cacao.**

REQUISITOS	CACAO FINO			CACAO CCN51		METODO DE
	A.S.S.S	A.S.S	A.S.E	C.S.S	C.S.C	ENSAYO
Humedad, %	7	7	7	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos, g	>130	> 120 a 130	100 a 120	>125	110-125	
Granos fermentados, mínimo, %	75	65	53	68	55	NTE INEN-ISO 1114
Granos violetas, máximo, %	15	21	25	18	26	NTE INEN-ISO 1114
Granos pizarrosos, máximo, %	9	12	18	12	15	NTE INEN-ISO 1114
Granos mohosos, máximo, %	1	2	4	2	4	NTE INEN-ISO 1114
TOTALES (análisis sobre 100 granos), mínimo	100	100	100	100	100	

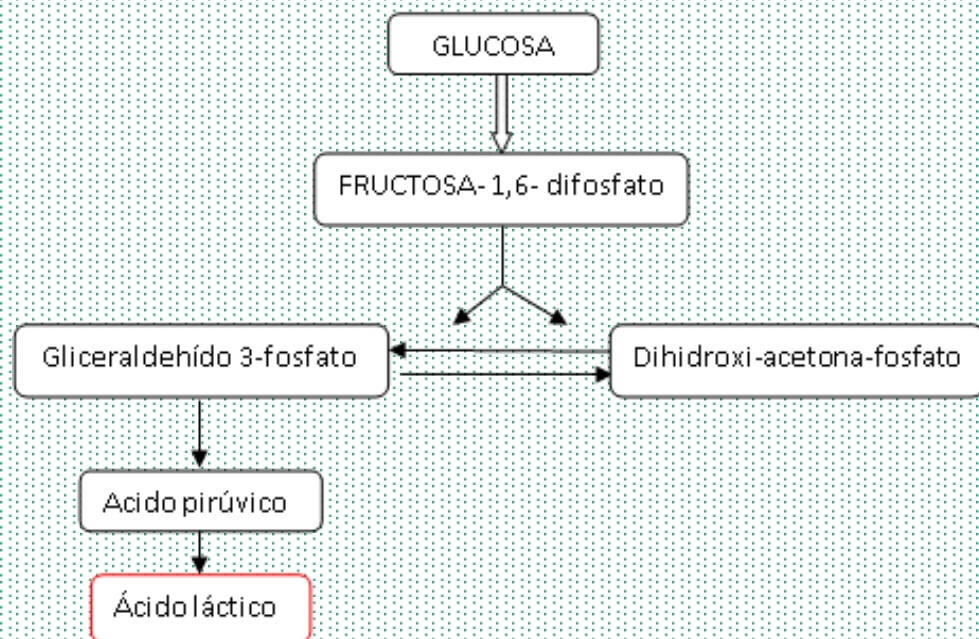
Fuente: NTE INEN 176, pg. 4.

# Proceso de Fermentación

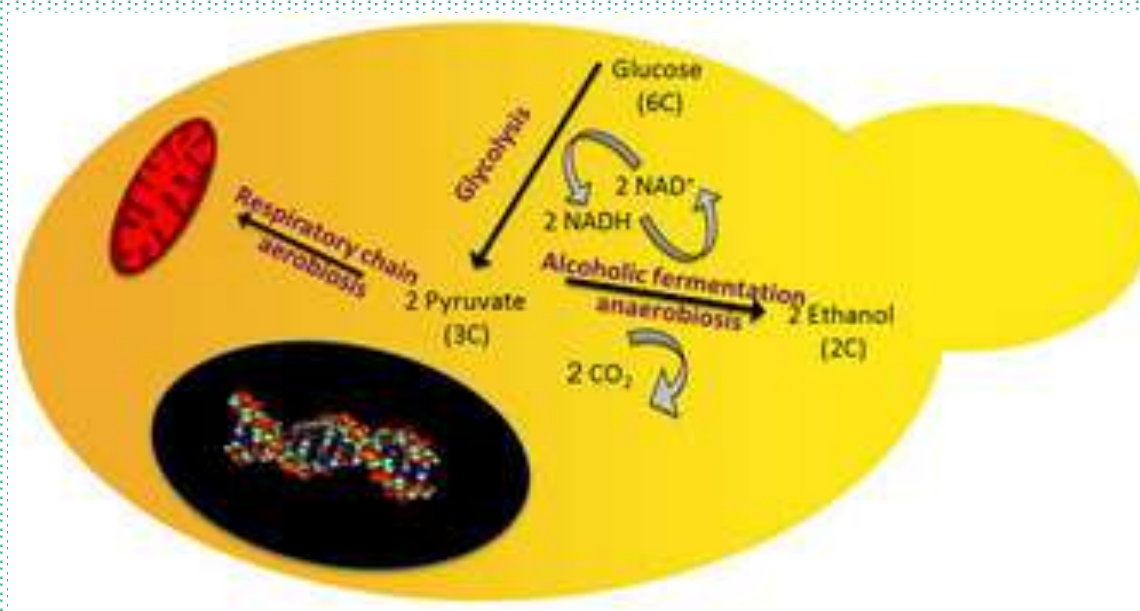
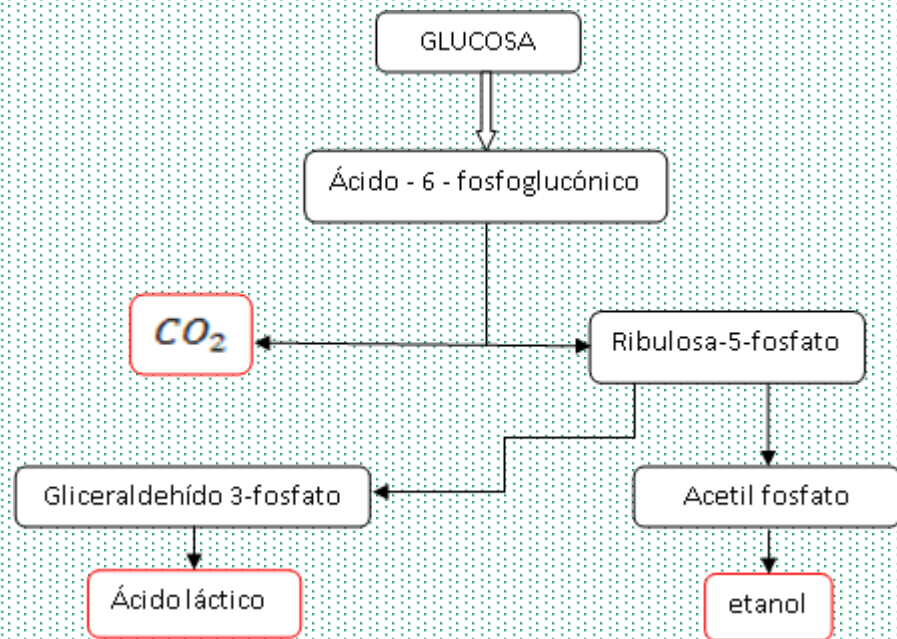




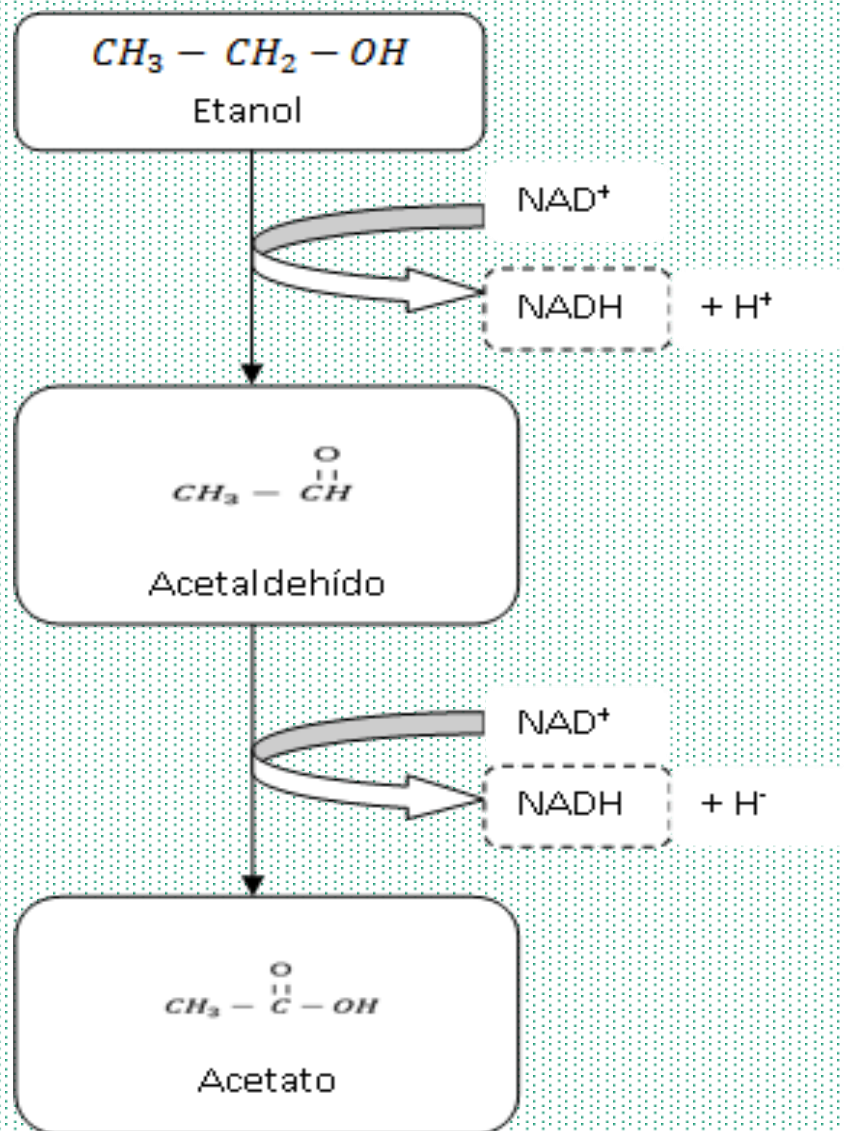
## Fermentación Láctica Homofermentativa



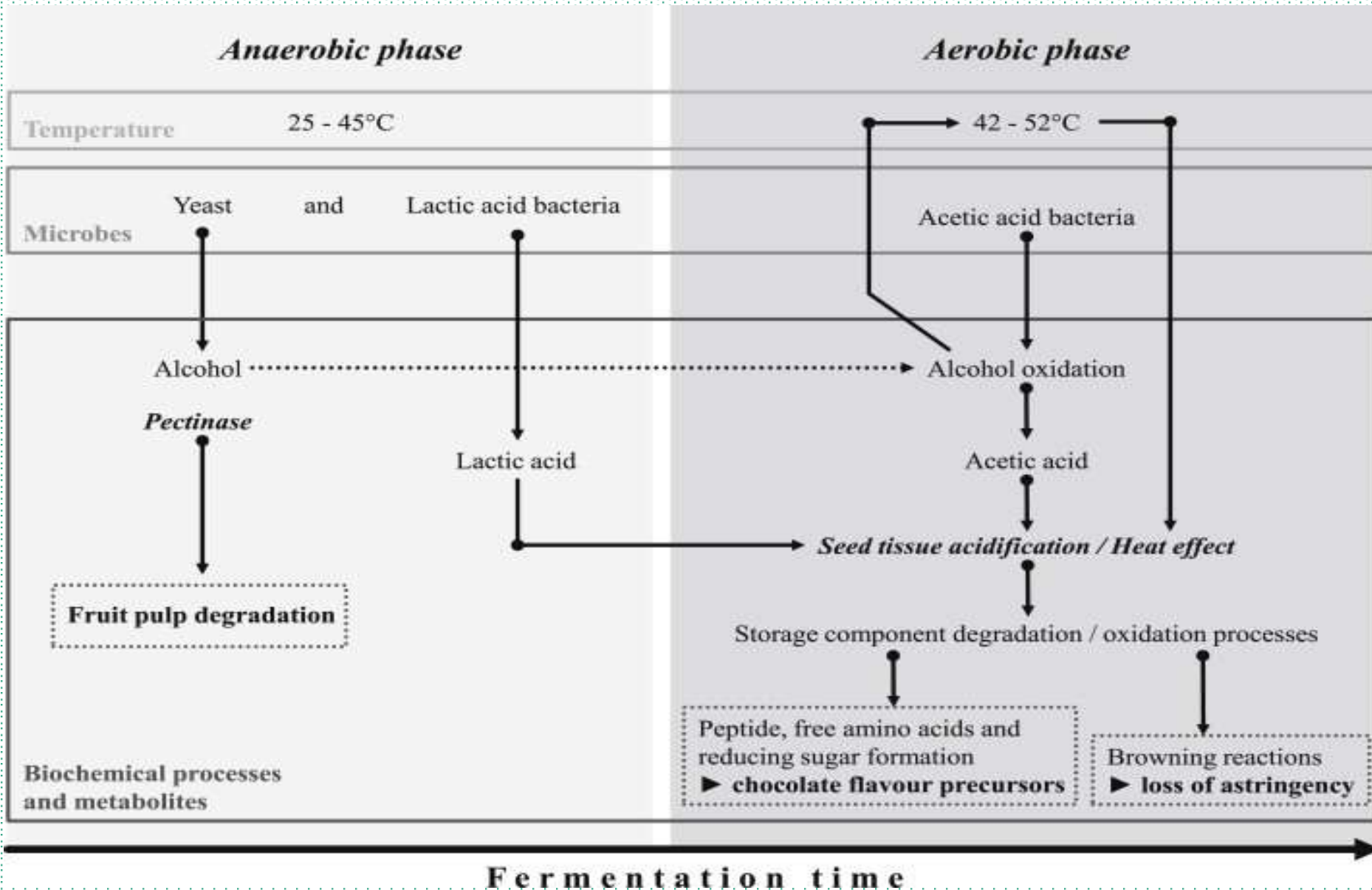
## Fermentación Láctica Heterofermentativa



# Fermentación Láctica



# Fases de la Fermentación



## MODELO CINETICO PARA LA FERMENTACION DE ALMENDRAS DE CACAO

$$-\frac{d[G]}{dt} = \vartheta_{1R}v_1 + \vartheta_{2BL}v_2 + \vartheta_{3E}v_3 + \vartheta_{6AL}v_6 + D_{azúcar} \cdot [G] \quad (1)$$

Tabla 1

Velocidad	Modelo 1	Modelo 2
$-\frac{d[G]}{dt}$	$\vartheta_{1R}v_1 + \vartheta_{2BL}v_2 + \vartheta_{3E}v_3 + \vartheta_{6AL}v_6$	$\vartheta_{1R}v_1 + \vartheta_{2BL}v_2 + \vartheta_{3E}v_3 + \vartheta_{6AL}v_6 + D_{azúcar} \cdot [G]$
$\frac{d[E]}{dt}$	$\vartheta_3 - \vartheta_{4BA}v_4 - \vartheta_{5AA}v_5$	$\vartheta_3 - \vartheta_{4BA}v_4 - \vartheta_{5AA}v_5 - D_{etanol}[E]$
$\frac{d[AA]}{dt}$	$v_5$	$v_5 - D_{ácidoacético} \cdot [AA]$
$\frac{d[AL]}{dt}$	$v_6$	$v_6 - D_{ácido láctico} \cdot [AL]$
$\frac{d[R]}{dt}$	$v_1[R] - k_{d1}[R]$	$v_1[R] - k_{d1}[R]$
$\frac{d[BAA]}{dt}$	$v_4[BAA] - k_{d2}[BAA]$	$v_4[BAA] - k_{d2}[BAA]$
$\frac{d[BAL]}{dt}$	$v_2[BAL] - k_{d3}[BAL]$	$v_2[BAL] - k_{d3}[BAL]$

## Valores de los Modelos Cinéticos 1 y 2

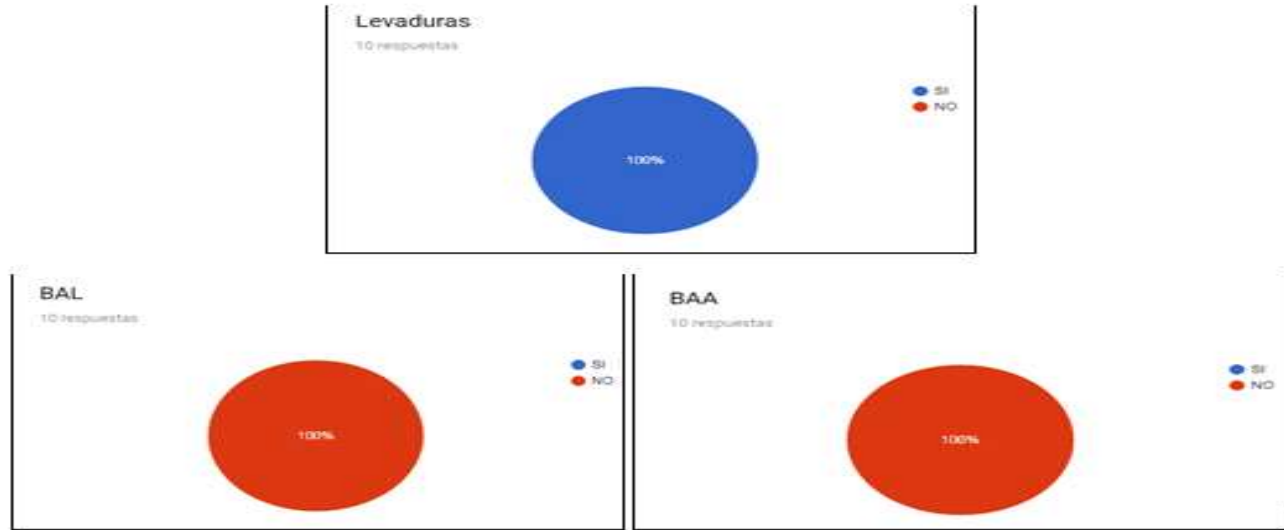
Tabla 2

Nº	PARAMETRO	MODELO 1	MODELO 2
1	$V_{1max} (h^{-1})$	0.902	0.902
2	$V_{2max} (h^{-1})$	0.547	0.547
3	$V_{4max} (h^{-1})$	0.02	0.02
4	$\alpha_3 \left( \frac{g \text{ de etanol}}{\mu g \text{ de levadura}} \right)$	40.576	40.576
5	$\alpha_5 \left( \frac{g \text{ de AA}}{\mu g \text{ de AAB}} \right)$	25.0003	25.0003
6	$\alpha_6 \left( \frac{g \text{ de AL}}{\mu g \text{ de LAB}} \right)$	30	30
7	$k_{s1} \left( \frac{g}{g \text{ de pulpa}} \right)$	3.966	3.966
8	$k_{s2} \left( \frac{g}{g \text{ de pulpa}} \right)$	3	3
9	$k_{s4} \left( \frac{g}{g \text{ de pulpa}} \right)$	9.008	9.008
10	$k_{d1} (h^{-1})$	$2.6 \times 10^{-6}$	$2.6 \times 10^{-5}$
11	$k_{d2} (h^{-1})$	$5 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-6}$
12	$k_{d3} (h^{-1})$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$

# Resultados

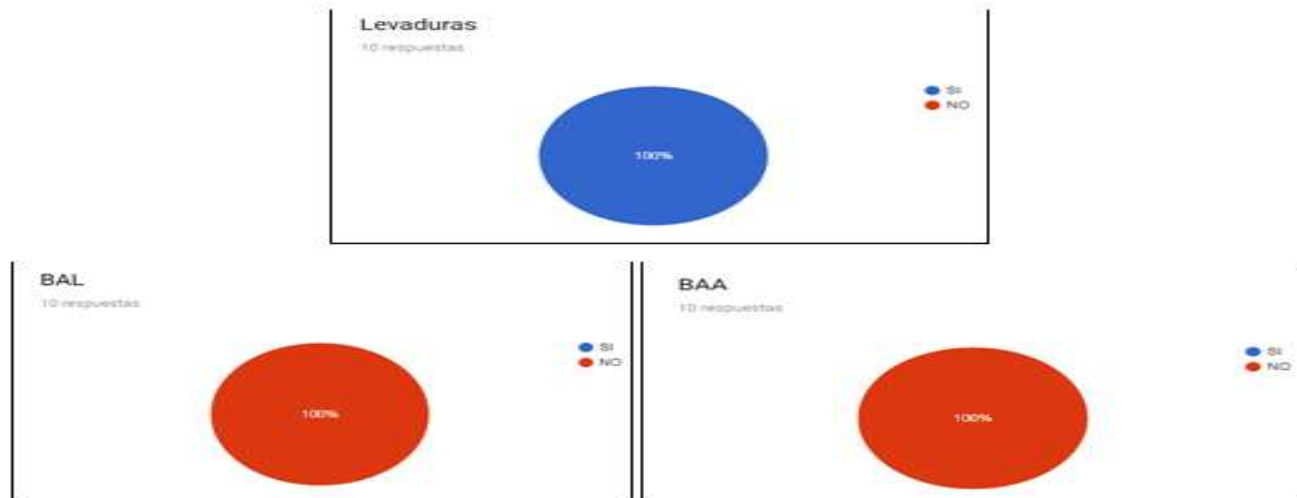
## Tratamientos 1,2,3,4 Quito

Figura 23. Identificación de microorganismos Tratamiento 4- Cacao Nacional



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Identificación de microorganismos Tratamiento 4- Cacao CCN-51



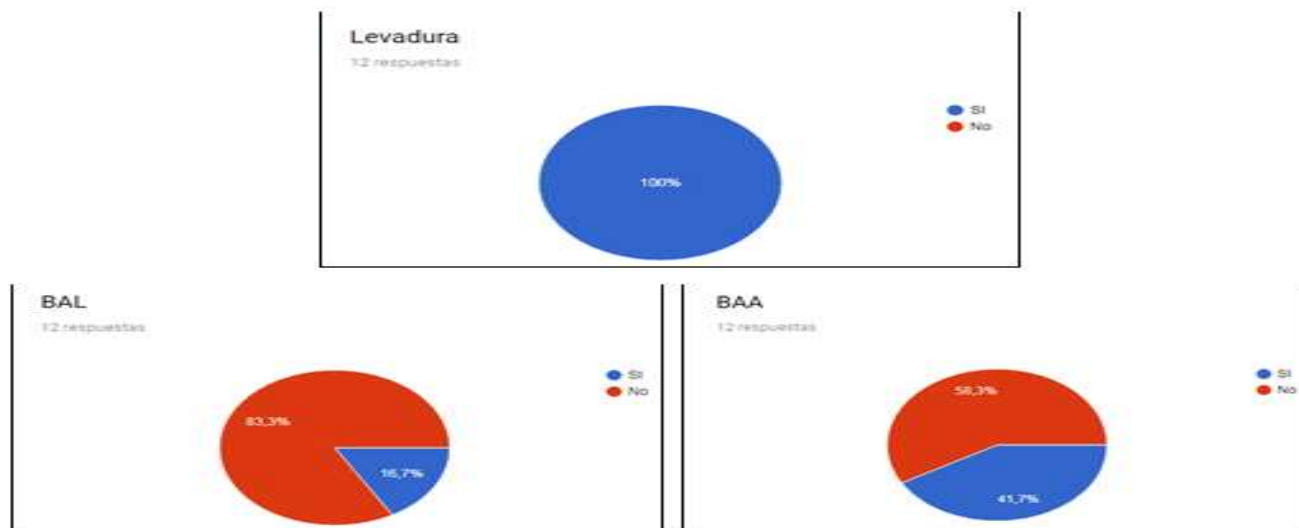
Fuente: Elaboración propia.



# Resultados

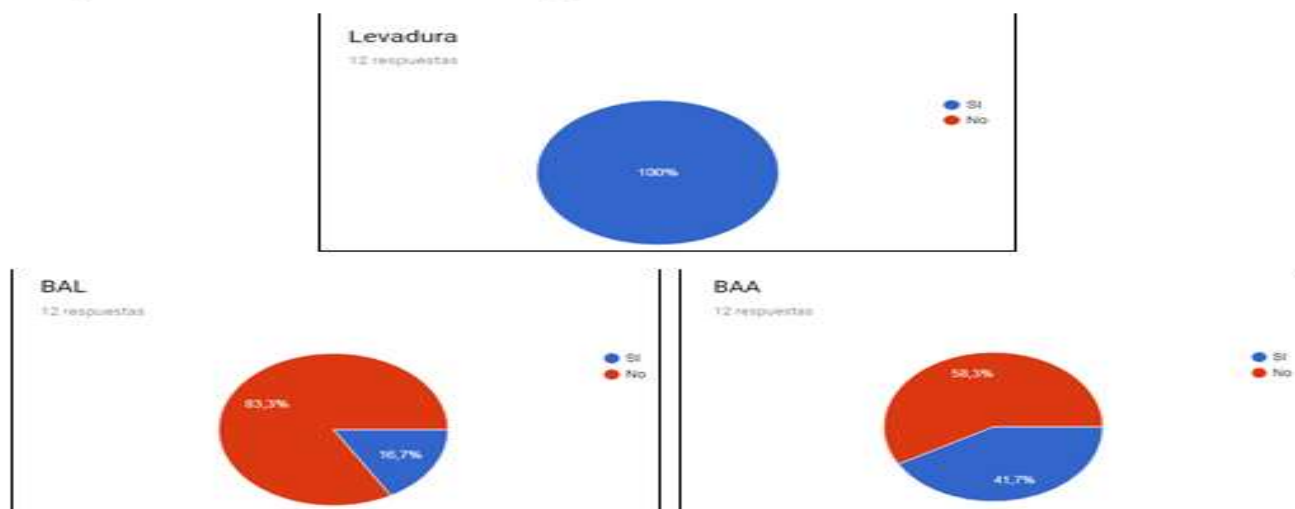
## Tratamiento 5 Empalme-Guayas

Figura 25. Identificación de microorganismos Tratamiento 5- Cacao Nacional



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Identificación de microorganismos Tratamiento 5- Cacao CCN-51



Fuente: Elaboración propia.

# Resultados

Figura 34. Variación de pH y temperatura en el tiempo cacao Nacional

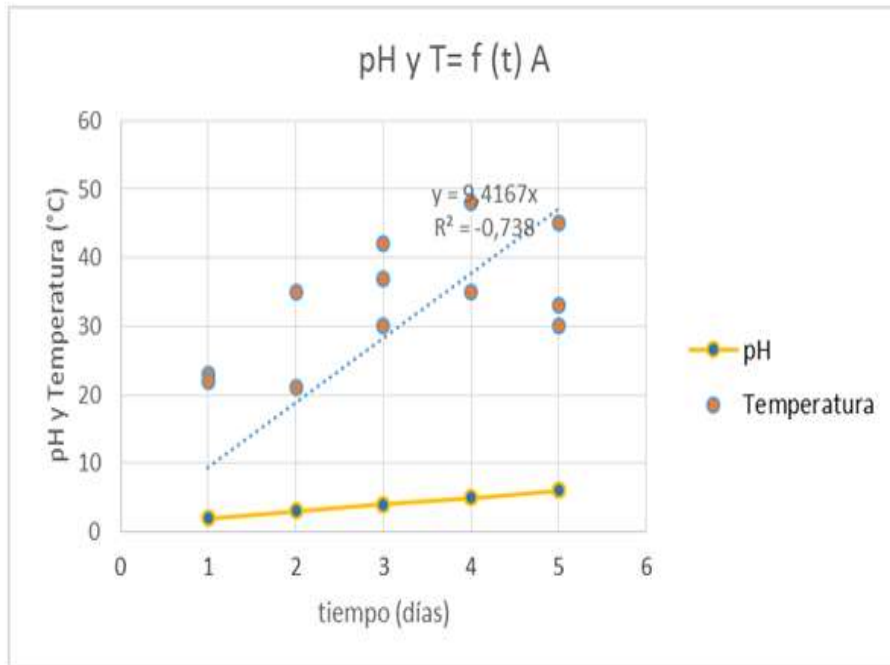
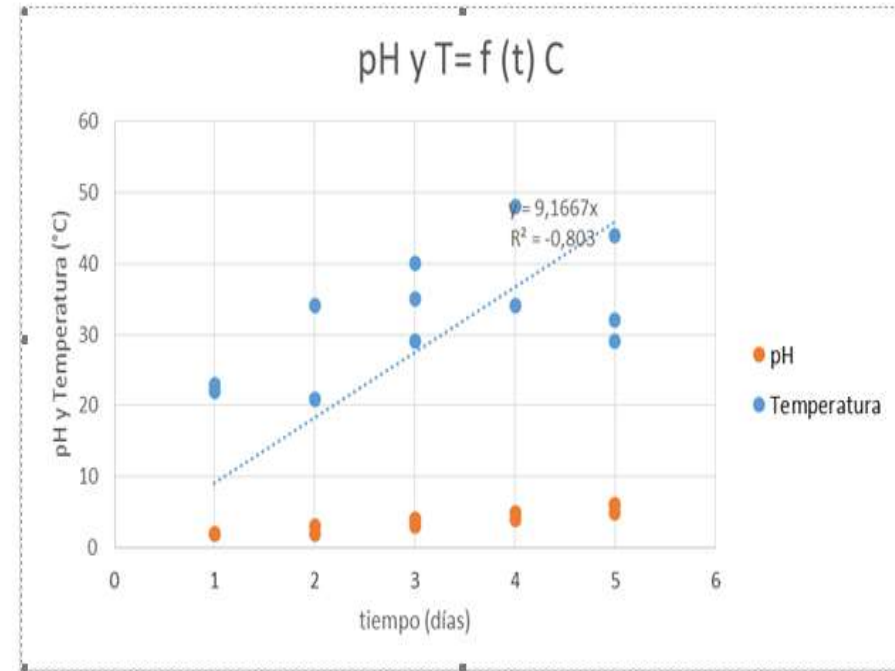


Figura 37. Variación de pH y temperatura en el tiempo Cacao CCN-51 (C).



# Resultados

Figura 38. Comparación de perfiles de temperatura del Cacao Nacional y CCN51

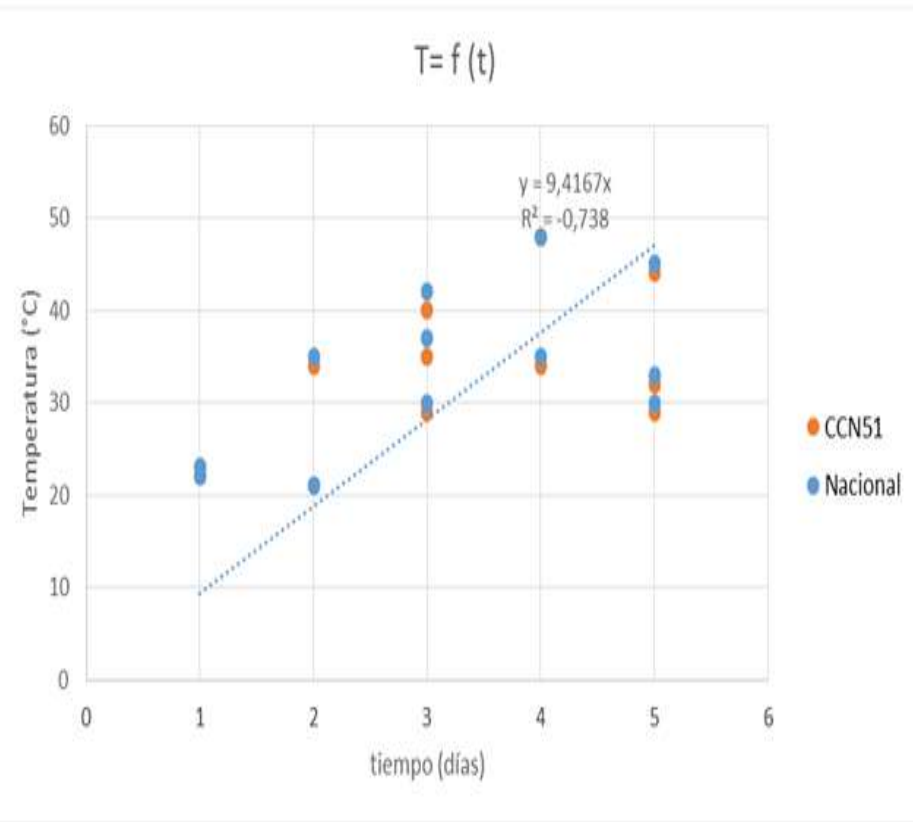
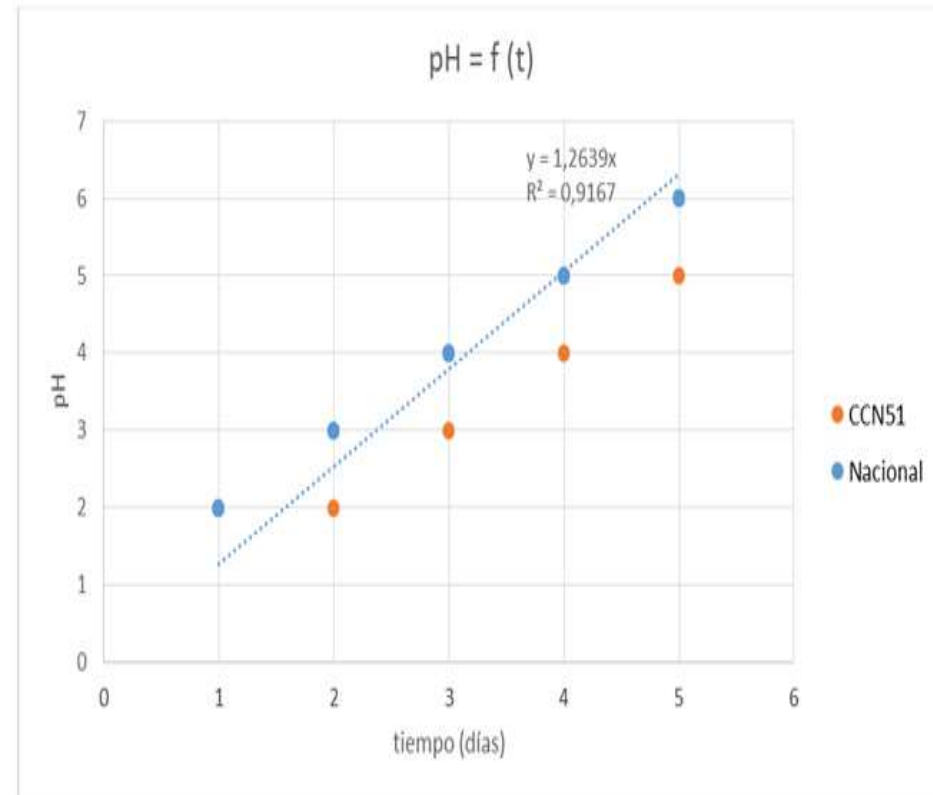
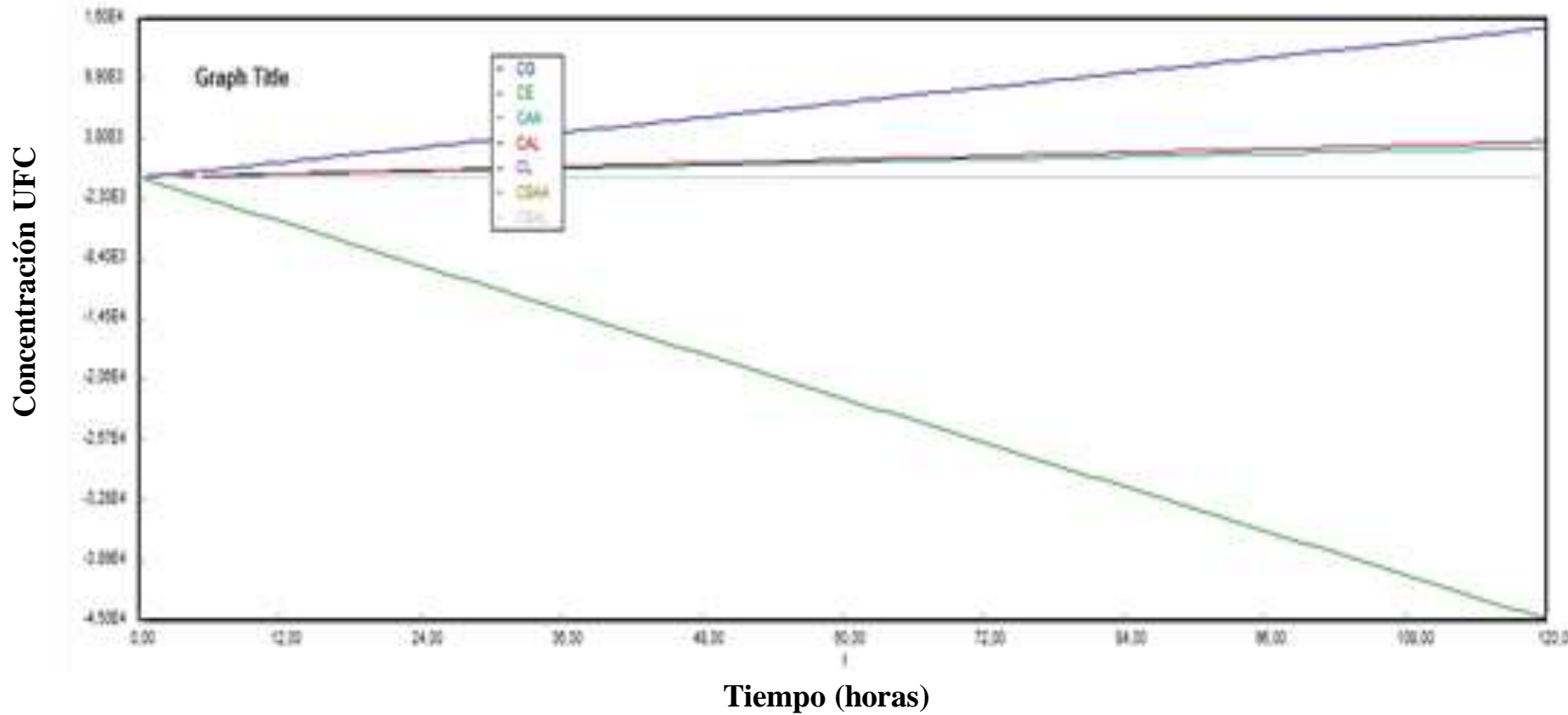


Figura 39. Comparación de perfiles de pH del Cacao Nacional y CCN51



# Resultados

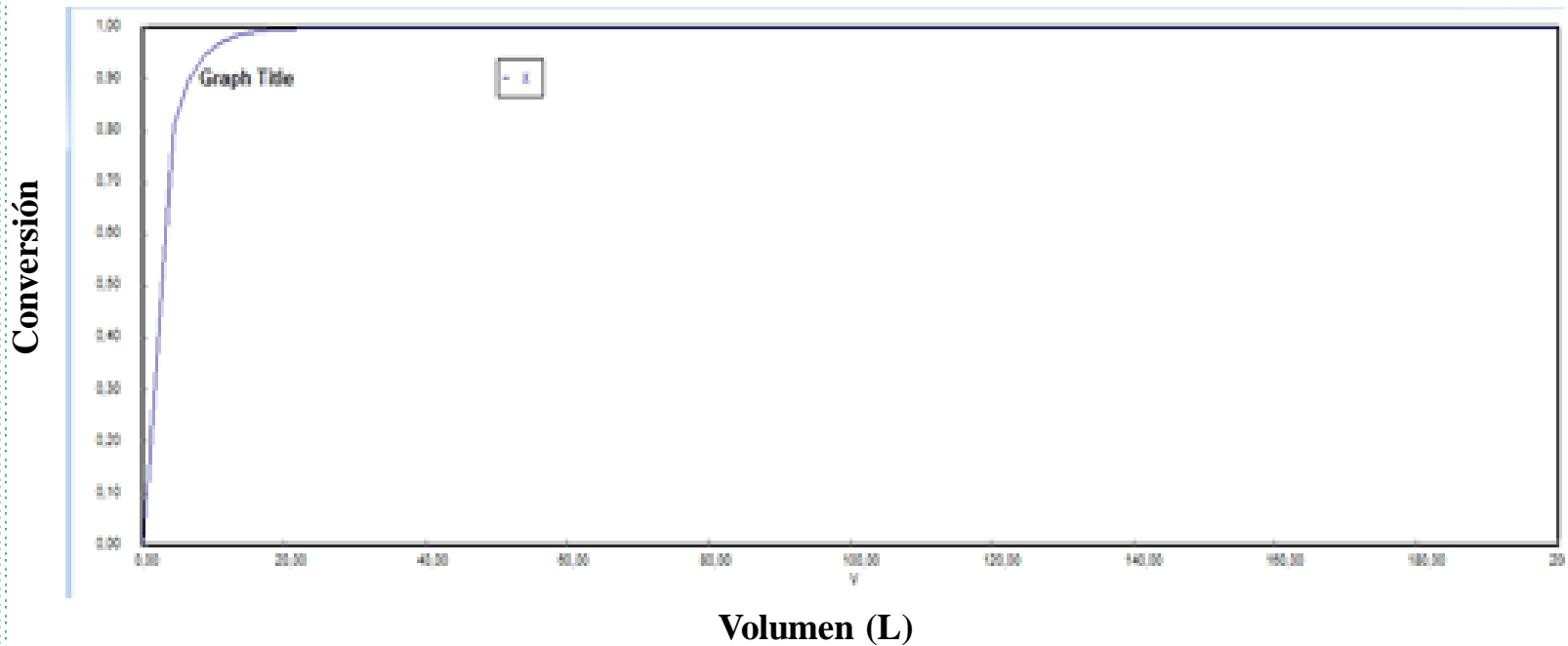
Figura 47. Concentraciones de microorganismos y productos las primeras 120 horas (5 días).



Fuente: Elaboración propia

# Resultados

Figura 48. Gráfica Conversión en función del Volumen



**El volumen que se recomienda es de 20 L**

## **Resultados más relevante**

- En los Tratamientos 1, 2, 3, y 4 realizados en la ciudad de Quito, no se identificaron todos los microorganismos del consorcio levaduras – bacterias
- Al comparar el pH y la temperatura del cacao CCN51 la actividad (producción de metabolitos) es más lenta que en el cacao Nacional.
- La fermentación del Cacao Nacional es de 4 días y la fermentación del cacao CCN51 es de 5 días controlando las variables de temperatura y pH.



## Conclusiones

- Se analizó experimentalmente los modelos cinéticos 1 y 2 de Kresnowati et al. (2015) y se seleccionó el modelo cinético 1 que nos dio índices de fermentación del 77,6% para el cacao Nacional y 72,33% para cacao CCN51 (Tabla 37 y 40).
- Los indicadores de pH, temperaturas y producción de ácido láctico, ácido acético y etanol que nos ayudaron a monitorear el proceso para lograr los índices de fermentación adecuados con una conversión del 0.7 - 0.8 de los granos de cacao ecuatorianos.
- Al simular el modelo cinético 1 en el programa POLYMATH 5.1 y compararlo con los resultados experimentales obtenidos se comprobó que es factible utilizar este modelo cinético 1.

# Conclusiones

- El volumen de 20L recomendado nos ayudó a monitorear las variables físico - químicas y biológicas para obtener las mejores conversiones (77,6% para cacao Nacional y 72,33% para cacao CCN51).
- El cacao Ecuatoriano no cumple con su cuota de exportación porque su índice de fermentación es del 56%, ya que los productores siguen aplicando técnicas tradicionales de fermentación.

## Recomendaciones

- Se recomienda que la fermentación de granos de cacao debe realizarse in situ.
- Se recomienda aplicar el modelo cinético 2 de Kresnowati et al. Para evaluar si se logra incrementar los índices de fermentación obtenidos.
- Se recomienda partir de un inóculo cuantitativo del consorcio de microorganismos (levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias del ácido acético) para monitorear adecuadamente el proceso y alcanzar mayores conversiones que se traduzca en índices de fermentación del 100%.

## Recomendaciones

- Se recomienda que la operación unitaria de secado se realice en camas adecuadas (secador de madera laurel con una luz de malla 5,0 mm (ISO 2451:2017)) y no en carreteras de asfalto, cemento, tierra u otros medios, para que el proceso de fermentación pueda conservarse en la cadena de valor del mismo.
- Se recomienda que se difunda la metodología de la norma INEN para determinar el grado de fermentación y asegurar así el grado de calidad de los granos de cacao Ecuatorianos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Branch, A., Byrne, P., Costa, A., Entzminger, C., Fredericq, A., Gilmour, M., ... Ruiz, S. (2015). Cacao en Grano: Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao. 2015, 110. Retrieved from [http://www.cocoaquality.eu/data/Cacao en Grano Requisitos de Calidad de la Industria Apr 2016\\_es.pdf](http://www.cocoaquality.eu/data/Cacao%20en%20Grano%20Requisitos%20de%20Calidad%20de%20la%20Industria%20Apr%202016_es.pdf)
- Fabián, W., & Llerena, T. (2016). Mejoramiento del proceso de Fermentación del Cacao, 138. <https://doi.org/978-84-7993-319-7>
- Kresnowati, M. T. A. P., Gunawan, A. Y., & Muliadini, W. (2015). Kinetics Model Development of Cocoa Bean Fermentation, 030004. <https://doi.org/10.1063/1.4938289>

## BIBLIOGRAFÍA

- México, I. (n.d.). IMCO. Retrieved from <http://www.imco.mx/productos/cacao/>
- *NTE INEN 176 GRANOS DE CACAO. REQUISITOS COCOA BEANS. REQUIREMENTS 6 Páginas.* (2018). Retrieved from [http://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_176-5.pdf](http://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf)
- Pereira, J. K. H. (2015). “ *Obtención a escala laboratorio de polifenoles a partir de la cáscara de cacao y su utilidad como aditivo conservante de aceites vegetales comestibles .*” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/38266>



GRACIAS