



CIENCIA Y TECNOLOGÍA



ISSN:1390 - 4051

e-ISSN:1390 - 4043

Vol. 16, Num. 1 | Junio 2023



UTEQ
UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE
QUEVEDO

Labranza mecanizada y fertilización del suelo: efectos sobre el comportamiento agronómico y productividad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Mechanized tillage and soil fertilization: effects on the agronomic behavior and productivity of the corn crop (*Zea mays* L.)

Daniel Vera Aviles¹, Martin Orrala Icaza¹, Cristian Mendoza Hernandez¹, Freddy Sabando Avila¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Autor de correspondencia: dvera@uteq.edu.ec

Recibido: 12/04/2023. Aceptado: 27/05/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

El manejo de la fertilización edáfica como foliar, así como su aplicación de acuerdo con los cambios generados por la mecanización del suelo son factores determinantes de la producción maicera. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la mecanización y fertilización del maíz en las propiedades físicas del suelo y rendimiento. El ensayo se realizó en el departamento de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). El diseño experimental utilizado fue bloques completo al azar con tres repeticiones. Se identificó que el comportamiento agronómico del cultivo varía en cada tratamiento para las variables diámetro del tallo y la altura de planta. Sin embargo, el peso de 100 semillas y mazorcas más largas se presentaron en el T6: NPK+ SL + CFF. (51.15 g y 17.05 cm) y el diámetro de las mazorcas fue mayor en T8: NPK + CL + CFF (4.79 cm). La combinación de fertilización completa en ausencia de labranza y en ausencia de fertilización foliar permitió la obtención de un mayor nivel de rendimiento en el híbrido de maíz en estudio (3,597.86 kg ha⁻¹). El beneficio económico fue mayor al combinar la fertilización completa con ausencia de labranza y la ausencia de fertilización foliar, con un 64.05% de rentabilidad.

Palabras claves: fertilización completa, laboreo de suelos, mecanización del suelo, rendimiento.

Abstract

The management of edaphic and foliar fertilization, as well as its application according to the changes generated by soil mechanization are determining factors in corn production. The objective of this research was to evaluate the effect of mechanization and fertilization of corn on soil physical properties and yield. The trial was conducted at the soil department of the National Institute of Agricultural Research (INIAP). The experimental design used was completely randomized blocks design with three replications. It was possible to identify that the agronomic behavior of the crop varied in each treatment for the variables stem diameter and plant height. However, the weight of 100 seeds and longer cobs were presented in T6: NPK+ SL + CFF. (51.15 g and 17.05 cm) and the diameter of the cobs was greater in T8: NPK + CL + CFF (4.79 cm). The combination of complete fertilization in no-tillage and in the absence of foliar fertilization allowed obtaining a higher yield level in the maize hybrid under study (3,597.86 kg ha⁻¹). The economic benefit was higher when combining complete fertilization with no-tillage and no foliar fertilization, with a 64.05% profitability.

Keywords: complete fertilization, soil tillage, soil mechanization, yield.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L) es uno de los cultivos más importantes para la alimentación de los ecuatorianos ya que su producción provee la materia prima para la agroindustria y la alimentación humana. Según los datos del Sistema de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), durante el ciclo de invierno de 2022, en el país se sembraron alrededor de 380 mil hectáreas, que significa un 9% menos que en el período 2021; es decir, unas 20 mil hectáreas, aproximadamente. Por cada hectárea, se cultiva siete toneladas de maíz. En la actualidad, la producción nacional está orientada principalmente a los tipos duro y suave de color amarillo; el rendimiento promedio del maíz amarillo duro fue de 5.76 t ha⁻¹ según estimaciones del Ministerio de Agricultura (Caviedes, 2019).

La inversión limitada en insumos para reponer los nutrientes del suelo, la labranza continua, las precipitaciones escasas son las principales causas de la disminución de la productividad agrícola en la mayoría de los países mundo. Esto se debe en parte a la extracción continua de nutrientes a través de la cosecha de cultivos, las pérdidas de nutrientes a través de la escorrentía y la erosión sin una reposición proporcional a través de la aplicación externa de insumos que mejoran la fertilidad del (Kiboi *et al.*, 2019).

El laboreo del suelo es una práctica mecanizada empleada para removerlo está dirigida a acondicionar el terreno para facilitar diversas labores agrícolas en provecho del crecimiento y desarrollo de cultivos (García *et al.*, 2018); una labranza adecuada debe favorecer la producción de los cultivos a la vez mantener la fertilidad del suelo en cuanto a materia orgánica, N, P, K, capacidad de intercambio catiónico y la estructura; sin embargo, el uso intensivo e inapropiado de los implementos de labranza puede provocar procesos de degradación del suelo (Kirkegaard *et al.*, 2020).

El impacto negativo de la labranza convencional en la fertilidad del suelo puede ser mitigado mediante sistemas de labranza menos agresivos tal como la labranza reducida usando arado de cincel y labranza cero (Barut y Celik, 2017); ambos son sistemas de labranza de conservación practicada en la producción agrícola, se diferencian en cuanto a residuos administrados; en labranza reducida, el residuo se incorpora según la profundidad de arado y en labranza cero, el residuo retenido se encuentra en la superficie del suelo (Singh *et al.*, 2020).

La labranza reducida o vertical, comprende la utilización de un arado que rompa el suelo en forma vertical sin voltearlo, esta intervención facilita la infiltración sin dañar la estructura del suelo, sin embargo, debido a que no se utilizan aperos apropiados del suelo, podría limitar la germinación de las plantas (Gómez-Calderón *et al.*, 2018).

El determinar los procesos de manejo como la mecanización y la fertilidad permitirá la optimización de los recursos disponibles por el agricultor, de esta manera verificar

los efectos directos sobre la producción del híbrido de maíz INIAP H-554. Este estudio permitió validar alternativas de labranza mecanizada y así minimizar los efectos causados por el sistema de labranza, sin que esto implique disminuir los rendimientos en el cultivo de maíz, por tal motivo el objetivo de esta investigación es evaluar las variaciones en el comportamiento agronómico de plantas de maíz por efecto de mecanización del suelo y fertilización, así como identificar la interacción que provoca los mejores rendimientos del maíz híbrido INIAP-H554, por efecto de la mecanización y fertilización, por último, realizar un análisis económico en relación beneficio costo de los tratamientos basado en los niveles de mecanización y fertilización del cultivo del maíz.

Materiales y métodos

Descripción del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo durante la época lluviosa del año 2021 en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador, ubicado en el km. 5.5 de la vía Quevedo – El Empalme, en las coordenadas geográficas 1°04'36.5" latitud Sur y 79°29'18.1" longitud Oeste, a una altitud de 80 m.s.n.m. El sitio se caracteriza por un clima tropical húmedo con una precipitación media anual de 2,252 mm, temperatura media anual de 26 °C, Heliofanía de 1,213 horas luz año y la humedad relativa del 85%. El tipo de suelo es de textura franco arcilloso y arenoso.

Diseño Experimental y Tratamientos

Se evaluaron dos prácticas de labranza: sin labranza (SL) y labranza convencional (CL); tres fuentes de fertilización edáfica: Sin fertilización edáfica (SFE), N-P-K (F-NPK) y fertilización completa (FC); Fertilización foliar: Sin fertilización foliar (SFF) y con fertilización foliar (CFF). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con doce tratamientos y tres repeticiones para cada tratamiento (Tabla 1).

Manejo del experimento

Se utilizó como material genético el híbrido de maíz INIAP H-554, obtenido en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP. La preparación del suelo se realizó de acuerdo con las prácticas de labranza a evaluar. En la labranza convencional se realizó un primer pase longitudinalmente y un segundo pase transversalmente usando un arado de disco a una profundidad de 50 cm. En el sistema sin labranza se procedió a la limpieza del terreno manualmente.

La siembra se efectuó de forma manual depositando una semilla por sitio, con distanciamiento de 0.80 m entre hileras y 0.20 m entre plantas, dando una población de 62,500 plantas ha⁻¹.

Las aplicaciones de los fertilizantes edáficos estuvieron basadas en las dosis usadas por pequeños productores y por la

recomendación técnica de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (Tabla 2)

Tabla 1. Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamientos	Fertilización Edáfica	Mecanización (labranza)	Fertilización Foliar
T1	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Sin fertilización foliar
T2	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Con fertilización foliar
T1	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Sin fertilización foliar
T2	Sin fertilización edáfica	Sin labranza	Con fertilización foliar
T3	Sin fertilización edáfica	Con labranza	Sin fertilización foliar
T4	Sin fertilización edáfica	Con labranza	Con fertilización foliar
T5	N-P-K	Sin labranza	Sin fertilización foliar
T6	N-P-K	Sin labranza	Con fertilización foliar
T7	N-P-K	Con labranza	Sin fertilización foliar
T8	N-P-K	Con labranza	Con fertilización foliar
T9	Fertilización completa	Sin labranza	Sin fertilización foliar
10	Fertilización completa	Sin labranza	Con fertilización foliar
11	Fertilización completa	Con labranza	Sin fertilización foliar
12	Fertilización completa	Con labranza	Con fertilización foliar

Tabla 2. Descripción de los tipos de fertilización y dosis aplicadas

Tipo de fertilización	Fertilizantes	Dosis (kg ha ⁻¹)
Fertilización convencional del Productor	Nitrógeno	101
	P ₂ O ₅	23
	K ₂ O	30
Fertilización completa	Nitrógeno	180
	P ₂ O ₅	46
	K ₂ O	63
	MgO	34
	SO ₄	44
	B	1.5
	Zn	4.0
	Mn	2.5
	Cu	1.0

La fertilización del ensayo en los tratamientos se realizó aplicando el 100% del P, K, S y Mg a la siembra; el nitrógeno

fraccionado en tres aplicaciones 15, 25 y 40 días después de la siembra. La fertilización foliar se efectuó a los 25 y 40 días después de la siembra utilizando fosfito de potasio en dosis de 1.5 L ha⁻¹, tratando de completar las necesidades de potasio, elemento que la planta necesita en mayor proporción.

Variables y análisis estadísticos

Se evaluó la altura de planta, diámetro de tallo, diámetro

de mazorca, longitud de mazorca, peso de 100 semillas y rendimiento de grano. Para la medición de la variable de rendimiento de grano, los granos se lo ajustó al 13% de humedad. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software R Commander (R Development Core Team. 2013). Para la comparación de medias de tratamientos, se utilizó la prueba de diferencia múltiple de Tukey con ($p =$

≤ 0.05). El análisis económico se realizó de acuerdo con lo referido por Aguilera (2017), con base al rendimiento y los costos de cada uno de los tratamientos se determinó la relación beneficio/costo.

$$R(B/C) = IB / CTP$$

Dónde:

R (B/C): Relación beneficio – costo

IB: Ingreso Bruto

CTP: Costo Total de producción

Resultados

Altura de la planta

La variable altura de planta muestra diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos para cada una de las frecuencias de evaluaciones realizada. Durante los primeros 15 días la mayor altura fue encontrada en el

tratamiento 10 (CFC-SL-CFF) con promedio de altura de 27.40 cm, mientras que, la menor altura de planta fue para el tratamiento 4 (SFE-CL-CFF) con 17.06 cm. A los 30 días fue posible identificar que la mayor altura de la planta lo obtuvo el tratamiento 9 (CFC-SL-SFF) con 93.30 cm. y la menor altura obtenida fue para el tratamiento 4 (SIN-CON-CON) con 47 cm. A los 45 días, se verificó que la mayor altura de la planta la obtuvo el tratamiento 10 (CFC-SL-CFF) con 199.40 cm y la menor altura fue el tratamiento 2 (SFE-SL-CFF) con 99.00 cm. Para la última evaluación realizada a los 60 días posteriores a la siembra se observó que la altura de las plantas de maíz fue mayor en el tratamiento 7 (NPK-CL-SFF) con 313.40 cm y la menor altura fue para el tratamiento 1 (SFE-SL-SFF) con 222.9 cm. El coeficiente de variación para cada evaluación fue diferente y varió entre el 11.21% y el 25.89% (Tabla 3).

Tabla 3. Variable altura de plantas en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Altura de plantas (cm)							
				15 DDS		30 DDS		45 DDS		60 DDS	
T1	SFE	SL	SFF	20.14	cd	49.33	c	108.70	cd	222.90	d
T2	SFE	SL	CFF	18.31	d	48.44	c	99.00	d	241.20	cd
T3	SFE	CL	SFF	18.41	d	49.67	c	111.60	cd	248.90	cd
T4	SFE	CL	CFF	17.06	d	47.00	c	101.10	d	259.80	c
T5	NPK	SL	SFF	22.83	bc	92.30	a	191.00	b	278.80	bc
T6	NPK	SL	CFF	21.27	cd	85.30	ab	197.50	ab	278.90	bc
T7	NPK	CL	SFF	19.52	cd	70.50	b	169.00	c	313.40	a
T8	NPK	CL	CFF	19.60	cd	74.50	b	185.70	bc	312.70	a
T9	CFC	SL	SFF	26.58	ab	93.20	a	195.90	ab	290.10	bc
T10	CFC	SL	CFF	27.40	a	90.33	ab	199.40	a	310.00	ab
T11	CFC	CL	SFF	20.00	cd	69.89	bc	172.60	c	307.00	b
T12	CFC	CL	CFF	19.65	cd	68.20	bc	181.70	bc	309.50	ab
Coeficiente de variación (%)				15.31		25.67		25.89		11.21	

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$). DDS: días después de la siembra

Diámetro del tallo

Los resultados muestran que en cada una de las evaluaciones existe diferencias significativas entre los tratamientos, con coeficiente de variación de 15.31; 25.67; 25.89 y 14.46% a los 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra, respectivamente. Cuando el cultivo alcanzó los 15 días de edad, el mayor diámetro del tallo se registró en T10: CFC + SL + CFF, con un promedio de 15.26 mm, mientras que el menor diámetro se obtuvo en T4: SFE + CL + CFF, con un promedio de 9.68 mm. Para los 30 días de edad del cultivo, el mayor diámetro correspondió a T5: NPK + SL + SFF, con un promedio de 25.09 mm, mientras que el menor diámetro se presentó en T2: SFE + SL + CFF, con 16.60 mm. Posteriormente cuando el cultivo alcanza los 45 días de edad, el mayor diámetro del tallo se registró en T10: CFC + SL + CFF, con un promedio de 25.17 mm y las plantas con menor diámetro del tallo se obtuvieron en T1: SFE + SL + SFF, con un promedio de 16.76 mm. Finalmente, para la última evaluación, realizada a los 60 días de edad del cultivo, en

T10: CFC + SL + CFF, con un promedio de 25.89 mm de diámetro del tallo, mientras que el menor diámetro del tallo correspondió al tratamiento a T1: SFE + SL + SFF (Tabla 4).

Diámetro y longitud de la mazorca

De acuerdo con los resultados obtenidos para las variables diámetro y longitud de la mazorca fue posible encontrar diferencias significativas entre los tratamientos. El diámetro de la mazorca, el T8: NPK + CL + CFF registró el mayor promedio, con un valor de 4.79 cm, mientras que el menor valor correspondió a T2: SFE + SL + CFF, con un promedio de 4.04 cm. El coeficiente de variación para este parámetro fue de 4.55%. En lo correspondiente a la longitud de la mazorca, las mazorcas de mayor longitud se obtuvieron en el T6: NPK + SL + CFF, con un promedio de 17.05 cm, mientras que el menor promedio correspondió a T2: SFE + SL + CFF, con 13.32 cm. El coeficiente de variación fue 9.33% (Tabla 5).

Tabla 4. Variable diámetro del tallo en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Diámetro del tallo (mm)							
				15 DDS		30 DDS		45 DDS		60 DDS	
T1	SFE	SL	SFF	10.51	c	16.67	d	16.76	d	16.84	d
T2	SFE	SL	CFF	10.59	c	16.60	d	16.71	d	16.97	d
T3	SFE	CL	SFF	10.49	cd	16.96	d	18.19	cd	18.93	d
T4	SFE	CL	CFF	9.68	d	17.45	d	17.90	cd	18.01	cd
T5	NPK	SL	SFF	11.59	b	25.09	a	25.15	b	25.78	b
T6	NPK	SL	CFF	11.16	bc	24.01	b	24.90	bc	25.13	a
T7	NPK	CL	SFF	10.79	c	22.41	c	22.58	c	23.69	ab
T8	NPK	CL	CFF	10.56	c	22.95	c	23.43	b	23.71	b
T9	CFC	SL	SFF	14.28	ab	24.06	b	24.83	bc	24.95	bc
T10	CFC	SL	CFF	15.26	a	24.37	ab	25.17	a	25.89	a
T11	CFC	CL	SFF	10.79	c	21.69	cd	22.78	ab	22.95	cd
T12	CFC	CL	CFF	11.27	bc	23.01	bc	23.24	a	23.61	c
Coeficiente de variación (%)				15.31		25.67		25.89		14.46	

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$). DDS: días después de la siembra

Tabla 5. Variables diámetro y longitud de la mazorca en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza

Trat.	Fert.Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Diámetro de la mazorca (cm)	Longitud de la mazorca (cm)
T1	SFE	SL	SFF	4.05 c	13.53 d
T2	SFE	SL	CFF	4.04 c	13.32 d
T3	SFE	CL	SFF	4.09 c	13.78 d
T4	SFE	CL	CFF	4.45 bc	14.65 cd
T5	NPK	SL	SFF	4.70 a	16.45 bc
T6	NPK	SL	CFF	4.63 ab	17.05 a
T7	NPK	CL	SFF	4.60 ab	16.88 b
T8	NPK	CL	CFF	4.79 a	16.97 ab
T9	CFC	SL	SFF	4.55 b	16.80 b
T10	CFC	SL	CFF	4.73 a	16.57 bc
T11	CFC	CL	SFF	4.74 a	16.77 bc
T12	CFC	CL	CFF	4.55 b	15.82 c
Coefficiente de variación (%)				6.17	9.33

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$)

Tabla 6. Variables peso de 100 semillas y rendimiento por hectárea en el cultivo de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Peso de 100 semillas (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
T1	SFE	SL	SFF	40.60 d	868.55 e
T2	SFE	SL	CFF	39.95 e	1,207.45 de
T3	SFE	CL	SFF	41.35 cd	1,232.61 de
T4	SFE	CL	CFF	43.95 cd	1,428.70 d
T5	NPK	SL	SFF	49.35 bc	3,083.65 c
T6	NPK	SL	CFF	51.15 a	2,772.38 cd
T7	NPK	CL	SFF	50.65 ab	3,245.05 b
T8	NPK	CL	CFF	50.90 ab	2,811.63 cd
T9	CFC	SL	SFF	50.40 ab	3,597.86 a
T10	CFC	SL	CFF	49.70 bc	3,108.81 bc
T11	CFC	CL	SFF	50.30 b	3,167.99 bc
T12	CFC	CL	CFF	47.45 c	3,575.16 ab
Coefficiente de variación (%)				9.33	40.46

Promedios con la misma letra en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \geq 0.05$)

Peso de 100 semillas (g) y rendimiento (kg ha⁻¹)

El análisis estadístico muestra diferencias significativas entre los tratamientos para ambas variables. Para el peso de 100 semillas, el T6: NPK + SL + CFF registró el mayor promedio, con un valor de 51.15 g, mientras que el menor valor correspondió a T2: SFE + SL + CFF, con un promedio de 39.95 g. El coeficiente de variación para este parámetro fue de 9.33%. Para el rendimiento por hectárea, el mayor promedio se obtuvo en el T9: CFC + SL + SFF, con 3,597.86 kg ha⁻¹, mientras que el menor promedio correspondió a T1: SFE + SL + SFF, con 868.55 kg ha⁻¹. Para esta variable el coeficiente de variación fue de 40.46% (Tabla 6).

Análisis económico

Costo de los tratamientos

A continuación, se presentan todos los elementos que se utilizaron en los tratamientos del presente proyecto, según lo reflejado en la Tabla 7:

Ingresos totales por tratamientos

Para determinar de forma correcta los ingresos totales por cada uno de los tratamientos, se tomó como referencia el precio oficial (2021) de quintal de maíz \$ 14.60 (45.36 kg), en su correcta etapa de cosecha, granos amarillos con un 13% de humedad y 1% de impureza. Se logró establecer a partir de los datos expuestos anteriormente, los ingresos generados por cada uno de los tratamientos aplicados a la investigación, según se muestra en la Tabla 8, de entre todos los mejores y/o rentables en términos de producción fueron los tratamientos 9 (CFC + SL + SFF) y 12 (CFC + CL + CFF) con valores de \$ 1,151.32 y \$ 1,144.05 dólares respectivamente y la opción con el ingreso más bajo fue el tratamiento 1 (SFE + SL + SFF) con \$ 277.94 dólares generado de su producción.

Tabla 7. Costos de cada uno de los tratamientos en estudio

Rubros	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Alquiler de terreno	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
INIAP H-554	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Arado			100.0	100.0			100.0	100.0			100.0	100.0
Atrazina	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
Pendimethalin	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Glufosinato De Amonio	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
King	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
Urea									7.5	7.5	7.5	7.5
Muriato De Potasio					23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
Abono Foliar		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0
Cosecha + Transporte	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0
Jornales de trabajo	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0
Total	671.3	689.3	771.3	789.3	694.3	712.3	794.3	812.3	701.8	719.8	801.8	819.8

Tabla 8. Ingresos totales por cada uno de los tratamientos en estudio

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Ingresos totales (\$)
T1	SFE	SL	SFF	868.55	277.94
T2	SFE	SL	CFE	1207.45	386.38
T3	SFE	CL	SFF	1232.61	394.44
T4	SFE	CL	CFE	1428.70	457.18
T5	NPK	SL	SFF	3083.65	986.77
T6	NPK	SL	CFE	2772.38	887.16
T7	NPK	CL	SFF	3245.05	1,038.42
T8	NPK	CL	CFE	2811.63	899.72
T9	CFC	SL	SFF	3597.86	1,151.32
T10	CFC	SL	CFE	3108.81	994.82
T11	CFC	CL	SFF	3167.99	1,013.76
T12	CFC	CL	CFE	3575.16	1,144.05

Tabla 9. Indicadores económicos de la producción de maíz en respuesta la aplicación de fertilización edáfica, foliar y labranza

Trat.	Fert. Edáfica	Mec.	Fert. Foliar	Ingresos totales (\$)	Costos totales (\$)	Ingresos netos (\$)	Relación B/C	Rentabilidad (%)
T1	SFE	SL	SFF	277.94	671.30	-393.36	0.41	-58.60
T2	SFE	SL	CFE	386.38	689.30	-302.92	0.56	-43.95
T3	SFE	CL	SFF	394.44	771.30	-376.86	0.51	-48.86
T4	SFE	CL	CFE	457.18	789.30	-332.12	0.58	-42.08
T5	NPK	SL	SFF	986.77	694.30	292.47	1.42	42.12
T6	NPK	SL	CFE	887.16	712.30	174.86	1.25	24.55
T7	NPK	CL	SFF	1038.42	794.30	244.12	1.31	30.73
T8	NPK	CL	CFE	899.72	812.30	87.42	1.11	10.76
T9	CFC	SL	SFF	1151.32	701.80	449.52	1.64	64.05
T10	CFC	SL	CFE	994.82	719.80	275.02	1.38	38.21
T11	CFC	CL	SFF	1013.76	801.80	211.96	1.26	26.44
T12	CFC	CL	CFE	1144.05	819.80	324.25	1.40	39.55

Relación beneficio/costo

Para concluir con el análisis económico del efecto de la mecanización y fertilización en la serie de suelos evaluados sobre el comportamiento agronómico de plantas de maíz híbrido INIAP H-554, considerando las variables de los tratamientos, de acuerdo con lo contrastado en la Tabla 9, se puede apreciar un ventaja considerable de los tratamientos 9 (CMPL-SIN-SIN) y 5 (NPK-SIN-SIN), de 1.64 y 1.42, respectivamente en relación con B/C, evidenciando el T1 con

la puntuación más baja de entre todos los tratamientos con 0.41).

Discusión

Las prácticas de campo que implican el uso de la mecanización en las plantaciones de interés económico pueden resultar en una compactación del suelo que altera las propiedades físicas del suelo y crea problemas de densidades.

En el presente estudio fue posible identificar que la aplicación de labranza en el cultivo de maíz aporta a la disminución tanto de la altura como del diámetro del tallo, mostrando restricción del desarrollo de las plantas de maíz, sin embargo, esto se puede atribuir a una labranza muy intensa (Acevedo & Martínez, 2014). lo que se traduce en un menor desarrollo de las plantas debido a que pierde su anclaje por lo que no puede asimilar correctamente los nutrientes (Demuner *et al.*, 2012). Por otra parte, se pudo apreciar que la adición de la fertilización completa aumenta notablemente el desarrollo de las plantas de maíz, que, en combinación con la fertilización foliar, promueven un mayor desarrollo tanto en términos de crecimiento como en engrose del tallo. Esto es un factor importante, puesto que plantas con una buena arquitectura (Volveras, Amézquita & Campo, 2016) y con un tallo de un grosor adecuado que les permita sobrevivir a vientos fuertes, ayudando de esta manera al sostenimiento de las plantas (López, 2016).

El análisis de las dimensiones de la mazorca mostró que éstas aumentan al eliminarse la fertilización foliar, lo que se puede atribuir a una baja tasa de asimilación del cultivo en lo que respecta al fosforo de potasio (Baca, 2016), ya que este fertilizante foliar solo aporta dos elementos. Esto adquiere relevancia al observarse que la fertilización edáfica completa, por contener más elementos que pueden ser aprovechados por el cultivo para su nutrición (Sandal, 2014). En lo que respecta a la labranza, la aplicación de esta promovió el desarrollo de las mazorcas, lo que se puede atribuir a que la labranza en el grado que se aplicó en el presente estudio no afectó negativamente al desarrollo de las mazorcas (Vera, 2018).

Diferentes estudios mostraron que la temperatura del suelo, la densidad aparente del suelo y el nitrógeno disponible fueron los factores más importantes que afectaron el rendimiento del grano de maíz. Sin embargo, otros indicadores de la calidad del suelo, como la compactación del suelo, la estabilidad del suelo, mostraron una menor influencia en el rendimiento de grano de maíz. Estos resultados demostraron que la labranza cero con cobertura de paja no podía lograr la sinergia entre el mantenimiento de los rendimientos de los cultivos y la mejora de la calidad del suelo a corto plazo (Li *et al.*, 2022).

Sun *et al.* (2020) también informó que algunas regiones más frías tienen pérdidas de rendimiento y pérdidas de C del suelo tan probables como ganancias de C del suelo. Aunque el tratamiento con CN mejoró la calidad del suelo hasta cierto punto, los rendimientos de grano más bajos y la densidad aparente del suelo más alta pueden restringir la aplicación de la práctica de labranza cero y cobertura de paja bajo la gestión de pequeños agricultores en el noreste de China (Corbeels, 2020). Alternativamente, la labranza mínima, es decir, labranza del subsolado, con cobertura de paja podría minimizar el efecto de las bajas temperaturas del suelo y la densidad aparente sobre el rendimiento del maíz, así como mejorar la calidad del suelo, que puede ser la labranza de conservación adecuada en la región semiárida de noreste de China.

El presente estudio mostró que el rendimiento del maíz se vio afectado significativamente cuando se utiliza laboreo mecanizado del suelo, lo cual concuerda con Li *et al.* (2022) quien descubrió que la ausencia de labranza con cobertura de paja aumenta el rendimiento del maíz en el noreste de China. Estudios previos reportaron que la no labranza en el corto plazo condujo a un aumento en la densidad aparente del suelo, el endurecimiento de la capa de arado, el enriquecimiento de materia orgánica del suelo en la capa superficial y la falta de nutrientes en la capa profunda, lo que resultó en la disminución e inestabilidad del rendimiento de los cultivos (Adimassu, 2019; Javurek, 2022). Además del aumento de la densidad aparente del suelo y el menor suministro de nitrógeno disponible en el suelo con prácticas de labranza cero, las condiciones climáticas frías en el noreste de China son otro factor importante que obstaculiza el rendimiento del maíz.

El cultivo mecanizado continuo disminuye sustancialmente la tasa de infiltración. La compactación del suelo es más severa en los puntos de inflexión del tractor a lo largo del borde de la parcela (Pimenta *et al.*, 2019). Se ha demostrado que la erosión por labranza es tan degradante como la erosión hídrica, ya que aumenta la susceptibilidad del suelo al romper agregados de una forma más uniforme aumentando la erosión, inclusive con lluvias de baja intensidad. Al evaluarse la respuesta agronómica del cultivo de maíz, se pudo identificar que un mayor grado de labranza afecta al volcamiento de las plantas, generando más acame, lo que consecuentemente da origen a mermas del rendimiento. Este efecto fue observado por Olguín *et al.* (2017), quienes identificaron que, al incrementar la intensidad de la labranza, se produce mayor grado de acame en plantas de maíz, condicionando los componentes del rendimiento, esta práctica no se la recomienda a los productores. En concordancia con esto, se puede puntualizar con lo evidenciado en el análisis económico de manera que al aplicarse la labranza los costos se incrementaron, pero no justificó la inversión. de manera que al labrar la ganancia disminuyó (Upendra *et al.*, 2006).

El costo y el beneficio son la prioridad de los agricultores en la producción agrícola y la toma de decisiones de inversión, mientras que la pequeña escala de las tierras de cultivo puede dar lugar a incentivos insuficientes para la inversión a largo plazo, y es más fácil ignorar el aumento del costo social debido a la agricultura no puntual, fuente de contaminación. Estudios recientes han demostrado que existe una relación negativa entre la escala de las tierras de cultivo y productos químicos como fertilizantes y pesticidas (Qin y Lu, 2020; Wang *et al.*, 2021).

Conclusiones

El comportamiento agronómico del cultivo varió en cada tratamiento para las variables diámetro del tallo y la altura de planta, sin embargo, el peso de 100 semillas y mazorcas que

fueron superiores se presentaron en el T6: NPK+ SL + CFF y el diámetro de las mazorcas fue mayor en T8: NPK + CL + CFF.

La combinación de fertilización completa en ausencia de labranza y en ausencia de fertilización foliar permitió la obtención de un mayor nivel de rendimiento en el híbrido de maíz en estudio.

El beneficio económico fue mayor al combinar la fertilización completa con ausencia de labranza y la ausencia de fertilización foliar, con un 64.05% de rentabilidad.

El enfoque del suelo en la labranza y la fertilización debe ser vinculado al sistema suelo-raíz con mayores interacciones con los microorganismos del suelo y mínima fractura del suelo para contribuir aún más a la cantidad de materia orgánica en el suelo en comparación con la nutrición convencional. Por lo tanto, la investigación futura puede centrarse en lo mencionados, que también son las principales direcciones de investigación de este artículo en el futuro próximo.

Referencias bibliográficas

- Adimassu, Z. Alemu, G. Tamene, L. 2019. Effects of tillage and crop residue management on runoff, soil loss and crop yield in the Humid Highlands of Ethiopia. *Agric. Syst.* 168. 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.10.007>
- Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana* 11(2): 322-343. <http://scielo.sld.cu/pdf/cofin/v11n2/cofin22217.pdf>
- Baca, L. 2016. La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador. 84 p. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12652>
- Barut, Z. and Celik, I. 2017. Tillage effects on some soil physical properties in semi-arid Mediterranean region of Turkey. *Chemical Engineering Transactions* 58:217-222. doi:10.3303/CET1758037
- Caviedes, G. 2019. Producción de semilla de maíz en el Ecuador: retos y oportunidades. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías.* 11(1). 116–123. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100>
- Corbeels, M. Naudin, K. Whitbread, A. Kühne, R. Letourmy, P. 2020. Limits of conservation agriculture to overcome low crop yields in Sub-Saharan Africa. *Nat. Food.* 1. 447–454. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0114-x>
- Demuner, G. Cadena, M. Campos, S. Zermeno, A. & Pérez, F. 2012. Efectos de tres sistemas de labranza y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad y volumen de exploración de raíces. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3(4): 719-727. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263125299014>
- García, D. Cárdenas, J. y Silva, A. 2018. Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en un inceptisol. *Revista de ciencias agrícolas* 34(1):16-25. doi:10.22267/rcia.183501.79
- Gómez-Calderón, N. Villagra-Mendoza, K. y Solórzano-Quintana, M. 2018. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo. *Tecnología en Marcha* 31(1):170-180. doi:10.18845/tm.v31i1.3506
- Javurek, M. Tajnsek, A. 2022. Impact of conservation tillage on grain yield of field crops comparing to conventional tillage at different sites. *Sci. Agric. Bohem.* 33. 135-140. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CZ2003000155>
- Kirkegaard, J. Kirkby, C. Oates, A. Van der Rijt, V. Poile, G. and Conyers, M. 2020. Strategic tillage of a long-term, no-till soil has little impact on soil characteristics or crop growth over five years. *Crop and Pasture Science* 71(12):945 - 958. doi:10.1071/cp20334
- López, M. 2016. Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífuga para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. 79 p. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8068>
- Kiboi, M. Ngetich, K. Fliessbach, A. Muriuki, A. Mugendi, D. 2019. Soil fertility inputs and tillage influence on maize crop performance and soil water content in the Central Highlands of Kenya. *Agricultural Water Management.* Volume 217. Pages 316-331. ISSN 0378-3774. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.014>
- Olguin, J. Guevara, R. Carranza, J. Scopel, E. Barreto, O. Mancilla, O. & Talavera, A. 2017. Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia (Arica)* 35(1): 51-61. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000018>
- Pimenta, R. Bergamin, A. Santos, L. Costa, M. Cazetta, J. Prates, A. & Damacena, E. 2019. Changes in the physical properties of an Amazonian Inceptisol induced by tractor traffic. *Chilean journal of agricultural research* 79(1): 103-113. DOI: 10.4067/S0718-58392019000100103
- Qin, S. y Lu, X. 2020. Do large-scale farmers use more pesticides? Empirical evidence from rice farmers in five Chinese provinces. *Journal of Integrative Agriculture.* Volume 19. Issue 2. 590–599. doi:10.1016/s2095-3119(19)62864-9
- R Development Core Team. (2013). An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics. Version 3.02. R Development Core Team. <http://cran.r-project.org/doc/manuals/R-intro.pdf>
- Sandal, M. (2014). Comportamiento agronómico de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Pueblo Viejo provincia de Los Ríos. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 93 p. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/478>

- Singh, D. Lenka, S. Lenka, N. Trivedi, S. Bhattacharjya, S. Sahoo, S. Saha J. and Patra, A. 2020. Effect of reversal of conservation tillage on soil nutrient availability and crop nutrient uptake in soybean in the Vertisols of Central India. *Sustainability* 12:6608. doi:10.3390/su12166608
- Sun, W. Canadell, J. Yu, L. Yu, L. Zhang, W. Smith, P. Fischer, T. Huang, Y. 2020. Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Glob. Chang. Biol.* 26. 3325–3335. <https://doi.org/10.1111/gcb.15001>
- Vera, J. 2018. Efecto de la fertilización orgánica y algas marinas en el rendimiento del maíz dulce (*Zea mays* L.). en la zona de Babahoyo”. Universidad Técnica de Babahoyo. 55 p. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/5146>
- Volverás-Mambuscay, B. Amézquita-Collazos, É. & Campo-Quesada, J. 2016. Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño. Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 17(3): 361-377. DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:513
- Wang, S. Bai, X. Zhang, X. Reis, S. Chen, D. Xu, J. 2021. Urbanization can benefit agricultural production with large-scale farming in China. *Nat Food* 2. 183–191. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00228-6>



Dinámica de la frontera agrícola del sistema de cuencas hidrográficas del zapotal mediante herramientas de teledetección

Dynamics of the agricultural frontier of the zapotal hydrographic basin system using remote sensing tools

Yoansy García Ortega^{1,2}, Danilo Valdez Rivera², Daniel Mancero Castillo^{1,2}

¹Instituto de Investigación Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, Ph.D, ²Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador.

Autor de correspondencia: yogarcia@uagraría.edu.ec

Recibido: 03/03/2022. Aceptado: 29/05/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

La deforestación es uno de los problemas más críticos que enfrenta la humanidad. Ecuador es uno de los países latinoamericanos con mayor tasa de tala de bosques en comparación con su tamaño, debido principalmente al aumento de la superficie agrícola. Este trabajo tuvo como objetivo determinar la dinámica y cambios ocurridos en la frontera agrícola en los últimos 30 años en las cuencas hidrográficas pertenecientes al Zapotal utilizando herramientas de teledetección. Las imágenes fueron obtenidas de los satélites Sentinel 2 y Landsat desde 1990 hasta 2020. Se utilizó el software libre QGIS para analizar, clasificar y procesar las imágenes satelitales; a través de una matriz de confusión y el índice de kappa se evaluó la precisión. Se obtuvieron y procesaron imágenes satelitales de alta calidad y resolución correspondientes al periodo de 1990 a 2020. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) permitió conocer la dinámica de la conformación de la vegetación del período estudiado y, en consecuencia, los usos del suelo en función de la cobertura vegetal. La dinámica de la frontera agrícola, determinada mediante las herramientas de teledetección utilizadas en este estudio, evidencia una disminución de aproximadamente un 15%. La metodología utilizada en este estudio demostró ser efectiva y económica para conocer la dinámica de la frontera agrícola, lo que proporciona una herramienta eficaz para monitorear, planificar y ejecutar diversos proyectos de ordenamiento territorial y desarrollo local.

Palabras clave: sistema información geográfica, agricultura, uso de suelo

Abstract

Deforestation is one of the most critical problems facing humanity. Ecuador is one of the Latin American countries with the highest rate of forest clearing compared to its size, mainly due to the increase in agricultural area. The objective of this work was to determine the dynamics and changes that have occurred in the agricultural frontier in the last 30 years in the hydrographic basins belonging to the Zapotal using remote sensing tools. The images were obtained from the Sentinel 2 and Landsat satellites from 1990 to 2020. The free QGIS software was obtained to analyze, classify and process the satellite images; Through a confusion matrix and the kappa index, precision was evaluated. High-quality satellite images and resolutions corresponding to the period from 1990 to 2020 will be needed and processed. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) allowed us to know the dynamics of the vegetation conformation of the studied period and, consequently, the uses of the soil depending on the vegetation cover. The dynamics of the agricultural frontier, determined through the remote sensing tools used in this study, shows a decrease of approximately 15%. The methodology used in this study will prove to be effective and economical to understand the dynamics of the agricultural frontier, which provides an effective tool to monitor, plan, and execute various territorial planning and local development projects.

Keywords: geographic information system, agriculture, land use

Introducción

Los bosques son conocidos por ser importantes para el secuestro de dióxido de carbono atmosférico (CO₂). Ellos juegan un papel vital en almacenamiento de carbono atmosférico (emisiones tanto naturales como antropogénicas) y así ayudan en la mitigación del cambio climático (Cooray *et al.* 2021).

En los últimos años la deforestación y el incremento del área dedicada a la agricultura han visto un incremento significativo. En 2019 se consideró a Ecuador como el país con la mayor tasa de deforestación de Latinoamérica en comparación con su tamaño, incluso comparado con Brasil (Se estima que se talan 70000 ha/año a nivel nacional, la mayoría para uso en actividades agropecuarias). La falta de información y de control es uno de los principales problemas que tiene el país, se estima, según datos de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Semplades, 2013), que el 95 % de los suelos de la costa ecuatoriana ha sido talados para actividades agropecuarias y, hasta en esa fecha, se registraba un incremento del 5% anual de la frontera agrícola.

La situación ha empeorado con la construcción del Transvase Chongón San Vicente, donde la actividad agrícola ha tenido un despegar vertiginoso ya que la disponibilidad de agua permite sembrar cultivos que antes no se podían.

Junto a ello, el incremento de la plusvalía de esas tierras, y la alta demanda; ha provocado que se talen extensiones considerables de bosque sin un estudio ambiental y agropecuario que avalen estas decisiones.

En Brasil Lopes *et al.* (2020) usaron una técnica de teledetección para conocer la dinámica de la frontera agrícola del periodo de 1985-2017. Esta metodología - según la conclusión de estos autores- fue “eficiente, ágil, imparcial y precisa”, ya que permitió conocer la dinámica del uso de suelo a nivel municipal de un estado. Se pudo apreciar en esa investigación un incremento intenso de las áreas dedicadas a pastos, cultivos anuales y caña de azúcar, lo que lo convierte en un agroecosistema frágil. Una de las causas identificadas en el estudio de esta situación es por malas políticas públicas en el control de la producción agrícola.

En este sentido, diversas investigaciones han demostrado la efectividad del uso de las imágenes satelitales para detectar los cambios de la vegetación en series temporales de tiempo. Liu *et al.* (2019) se refieren a las imágenes tipo radar de apertura sintética (SAR) como una de las más promisorias para este tipo de estudios, ya que su calidad no se ve afectada por las condiciones climáticas; también describen su uso en tres categorías principales: identificación de cultivos y estadísticas del área de plantación de cultivos, extracción de parámetros de tierras de cultivo, y estimación de rendimiento de cultivos.

Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y usos del suelo se encuentran en el centro de la atención de la investigación ambiental actual. La mayor parte de los

cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres se deben a: a) conversión de la cobertura del terreno, b) degradación del terreno y c) intensificación en el uso del terreno. Estos procesos, usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas (López-Pérez *et al.*, 2015).

Las premisas básicas para usar datos de percepción remota para la detección de cambios es que los cambios en los objetos de interés se traducirán en cambios en los valores de reflectancia, y estos cambios dependerán también de factores como la humedad, las condiciones atmosféricas, la iluminación y en el ángulo de inclinación solar. El efecto de algunos de estos factores puede ser minimizado seleccionando las imágenes adecuadas. Por ejemplo, el uso de imágenes de la misma época reduce las diferencias en el ángulo de iluminación y además elimina las diferencias estacionales en áreas con vegetación (Panuju *et al.*, 2020)

Debido a lo anterior, surge la necesidad de evaluar si con técnicas de teledetección se puede detectar el incremento de la frontera agrícola de los últimos 30 años en las cuencas hidrográficas pertenecientes a Zapotal.

Materiales y métodos

Obtención de la información de teledetección

La información se obtuvo a partir de las imágenes satelitales provenientes de los satélites Landsat-8 OLI, Landsat-7 ETM + y Landsat-5 TM para la evaluación de los cambios de uso de la tierra en la región de las cuencas del Zapotal, las mismas se obtuvieron desde la página oficial, la USGS Earth Explorer (en el sitio web oficial earthexplorer.usgs.gov).

Las imágenes satelitales cumplieron con el requisito de tener menos del 10% de nubosidad para incrementar la exactitud de la clasificación supervisada.

Pre-Procesamiento

El preprocesamiento de datos de imágenes es la rama del procesamiento de imágenes digitales. Es una técnica que mejora imágenes recibidas de sensores de cámara colocados en satélites, sondas espaciales y aviones, o imágenes tomadas en condiciones normales para diversas aplicaciones (Panuju *et al.*, 2020). En este estudio, el pre-procesamiento se realizó utilizando la Corrección geométrica y Corrección atmosférica mediante el uso del complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) (Congedo, 2021) de QGIS v3.26.2 (QGIS Development Team, 2022).

La corrección geométrica es un método esencial para el pre-procesamiento de las imágenes satelitales cuyo objetivo es eliminar la distorsión geométrica (Dr.S.Santhosh & M.Renuka, 2011). La corrección atmosférica es un método que permite reducir la reducir la perturbación atmosférica. El objetivo de la

corrección atmosférica es recuperar la reflectancia de la superficie de las imágenes de satélite eliminando los efectos atmosféricos (Cui *et al.* 2014).

Sistema de clasificación de imágenes satelitales

En este estudio, se utilizó el modelo para la clasificación y evaluación de cambios en el uso del suelo propuesto por Kumar *et al.* (2020). El cual consiste en que las imágenes de satélite pueden examinarse con el fin de obtener la información deseada mediante los métodos de clasificación de imágenes (Karakus *et al.*, 2015). Las características de uso de suelo / cobertura vegetal se extrajeron de datos de los satélites Landsat multiespectrales - temporales utilizando una clasificación supervisada basada en píxeles (MLC). La técnica MLC se aplicó para clasificar las imágenes satelitales pre-procesadas en este estudio, para ello se usó el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) de QGIS v3.26.2.

Estudios anteriores (Hegazy & Kaloop, 2015; Rawat *et al.*, 2013) muestran que la mayoría de los investigadores utilizan el método MLC para píxeles.

La clasificación y evaluación de la detección de cambios del uso del suelo es más preciso cuando se usan datos de imágenes satelitales multiespectrales. La cantidad de cambio en el uso de la tierra se calculó mediante las siguientes ecuaciones (Islam *et al.* 2018).

$$C = (Y - X) * 100 / X$$

(C= % de Cambio, X= Valor base del año, Y= Valor nuevo del año)

$$Tasa\ de\ Cambio = \frac{(Fy - Iy)}{Ny}$$

(Fy= valor del año final, Iy= valor el año inicial, Ny= número de años)

El MLC es un método de clasificación basado en píxeles y capaz de detectar cambios en los usos del suelo y cobertura vegetal utilizando datos de imágenes multitemporales y multiespectrales con la máxima precisión. En la evaluación de precisión, los datos primarios (levantamiento de campo, mapa topográfico y datos auxiliares) son útiles para la identificación y clasificación de objetos en el área de estudio. La matriz de confusión es un método de clasificación posterior y se utilizó para el análisis de precisión de imágenes clasificadas multitemporales. El análisis de precisión de clasificación se llevó a cabo a través de la referencia de imágenes clasificadas del periodo de estudio y datos precedentes de fuentes verificadas. En la clasificación MLC, a menudo numerosos píxeles permanecen mal clasificados debido a la distribución irregular de las imágenes. La precisión de la clasificación debe completarse con datos reales sobre el terreno o mediante un estudio de campo.

Evaluación de la precisión

El método de las matrices de confusión es el enfoque más significativo utilizado en la evaluación de la precisión ya que reduce el error de la imagen clasificada causado por la similitud de la respuesta espectral de las clases distribuidas. En la matriz de confusión, la fila representa la categoría de la imagen clasificada y la columna representa la categoría reconocida por la evaluación de referencia.

La matriz diagonal representa la consistencia “desde-hasta” de la categoría de la clasificación y los valores de referencia. Las líneas no diagonales indican inconsistencias en la categoría “desde-hasta”, lo que indica errores aún presentes entre la clasificación y los datos de referencia (errores de omisión y comisión).

La precisión de la clasificación completa se calculó mediante el método de matriz de confusión, se distribuyó la suma de las entradas que constituyen la diagonal principal por el No total de píxeles examinados (Kaur *et al.*, 2017). Esto se realizó con el programa SAGA GIS 7.8.2. (Conrad *et al.*, 2015); los datos referenciales o de control se tomaron de mapas temáticos interactivos alojados en el sitio web <http://suia.ambiente.gob.ec/>.

Resultados

Obtención de la información de los últimos 30 años mediante herramientas de teledetección

Se lograron obtener las imágenes con los requisitos descritos en la metodología (nubosidad menor del 10% y que el rango de fechas coincidiera con la etapa final de la época lluviosa de la costa (febrero a mayo)). Las imágenes con su respectiva identificación se muestran en la Tabla 1. Debido a que el área es muy grande se tuvieron que usar dos cuadrantes el 011061 y el 011062, los cuales fueron unidos posteriormente para conformar la imagen que se iba a procesar.

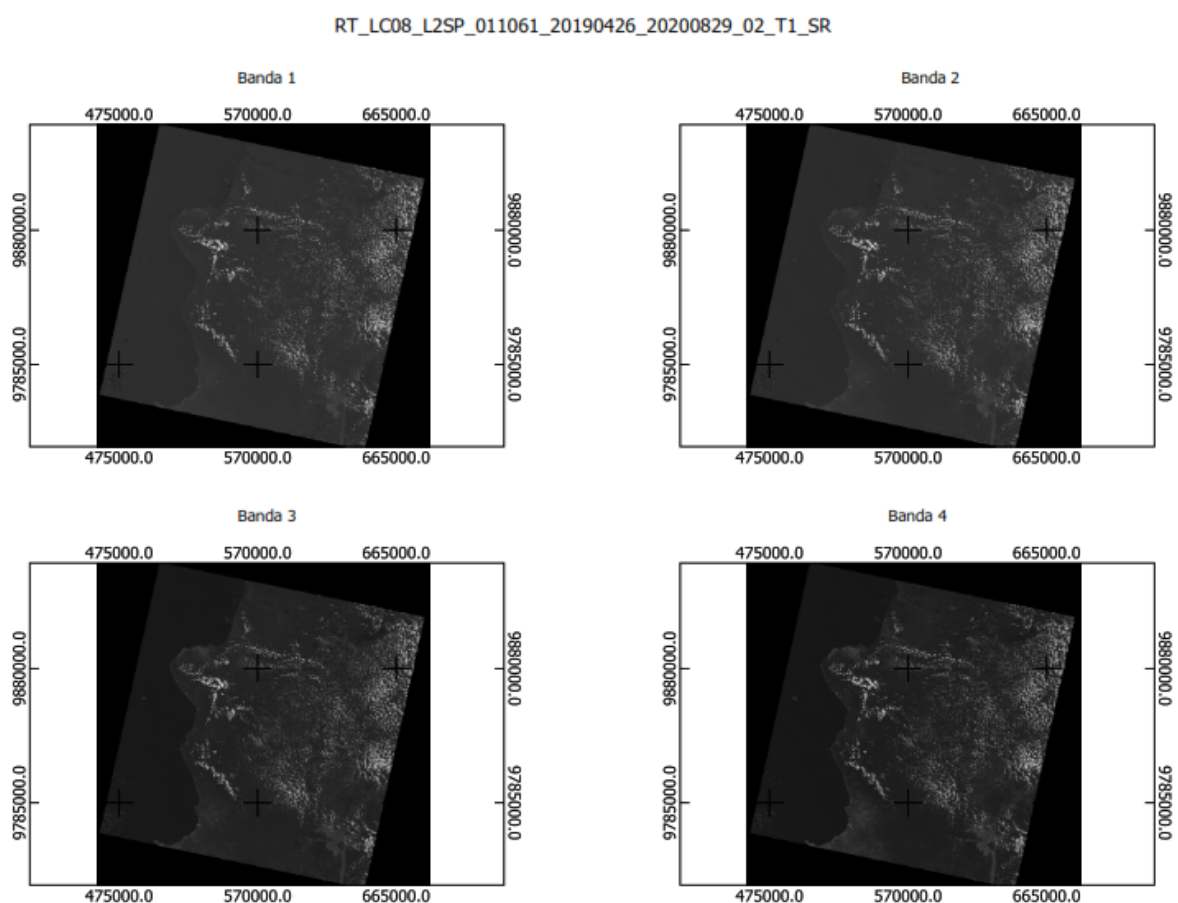
A posteriori las imágenes fueron corregidas, y se obtuvo cada cuadrante por cada una de las imágenes satelitales; esto permitió realizar el proceso posterior de unir dos imágenes de tipo ráster.

En la Figura 1. se muestran las diferentes imágenes corregidas correspondientes al año 2019; en este caso se presentan las principales bandas que conforman la imagen, ello permitió realizar una clasificación de imágenes con mayor precisión.

Como se mencionó anteriormente, se tuvieron que utilizar dos cuadrantes; en la Figura 2 se observan las imágenes del cuadrante 011062 y las imágenes ya corregidas, las cuales fueron usadas en el proceso de clasificación de imágenes y en el proceso del cálculo del NDVI, se usaron las bandas del rojo e infrarrojo cercano (banda 3 y banda 4 respectivamente).

Tabla 1. Resumen de las imágenes satelitales descargadas

Fecha de la imagen	Código de referencia de la imagen
26 de abril de 2019	LC08_L2SP_011061_20190426_20200829_02_T1
26 de abril de 2019	LC08_L2SP_011062_20190426_20200829_02_T1
8 de mayo de 2003	LE07_L2SP_011061_20030508_20200915_02_T1
8 de mayo de 2003	LE07_L2SP_011062_20030508_20200915_02_T1
19 de abril de 1999	LT05_L2SP_011061_19990419_20200908_02_T1
19 de abril de 1999	LT05_L2SP_011062_19990419_20200908_02_T1
21 de febrero de 1990	LT05_L2SP_011061_19900221_20200916_02_T1
21 de febrero de 1990	LT05_L2SP_011062_19900221_20200916_02_T1


Figura 1. Juego de bandas del cuadrante 011061 de la imagen del 26 de abril de 2019

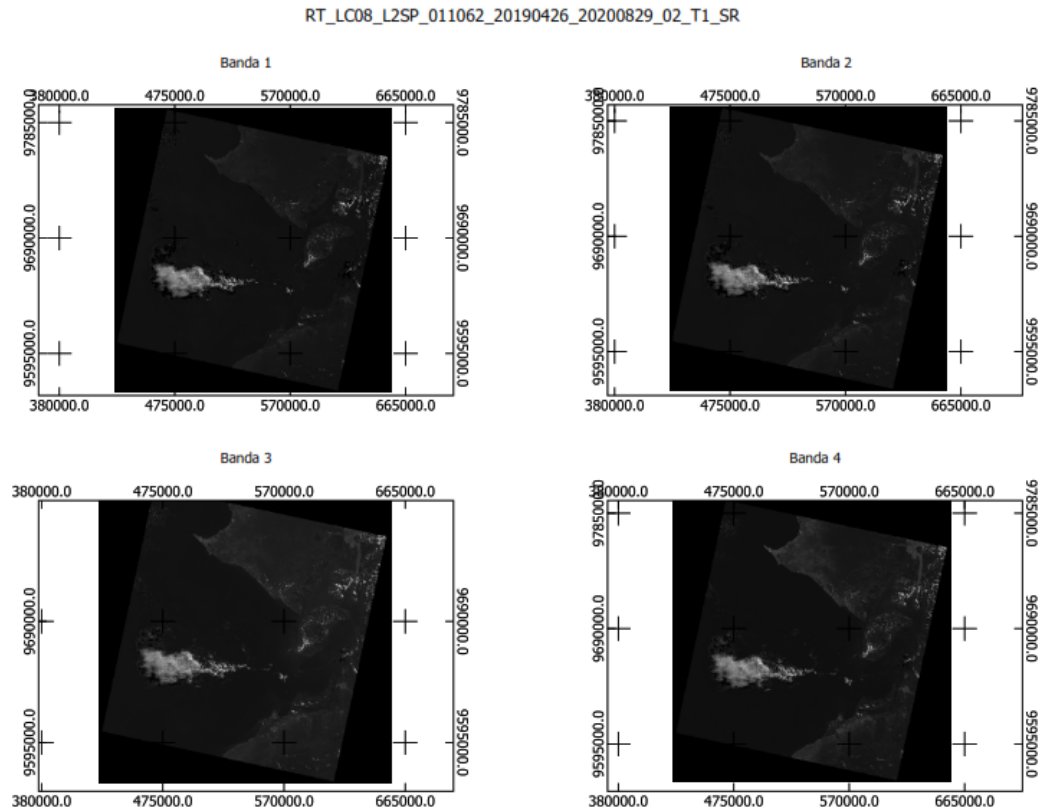


Figura 2. Juego de bandas del cuadrante 011062 de la imagen del 26 de abril de 2019

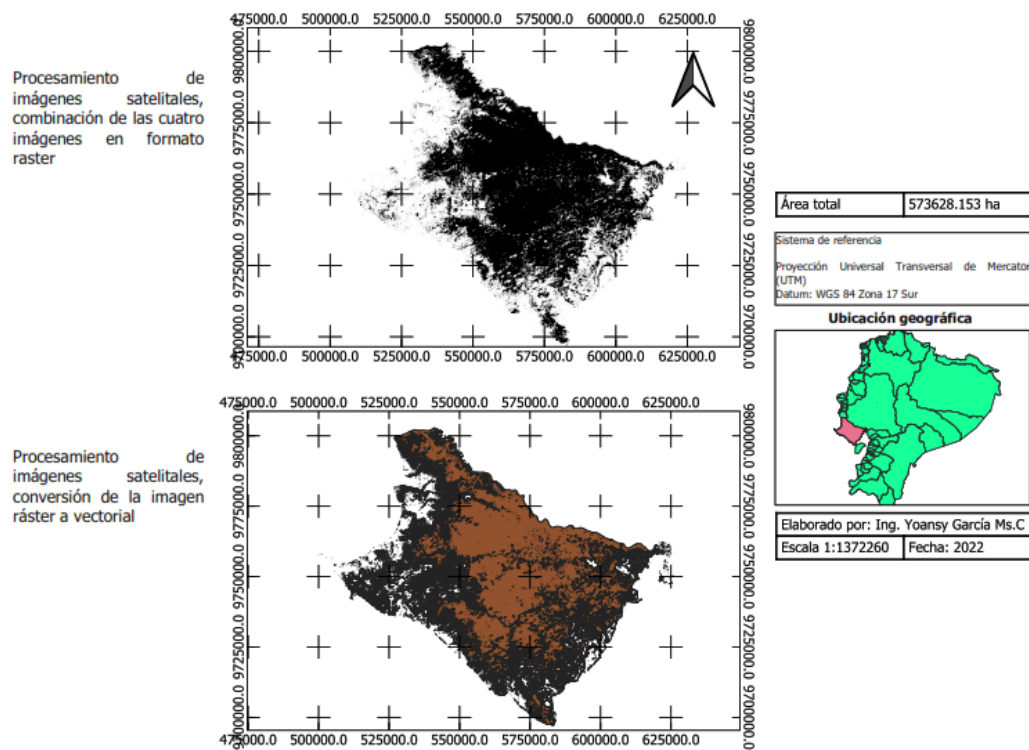


Figura 3. Mapas posteriores a su procesamiento

Posteriormente, se unieron los cuadrantes de las imágenes satelitales para cada banda, el conjunto de todas las bandas se utilizó para realizar la clasificación de las imágenes, donde se usaron dos clases. La clase 1 corresponde a los píxeles de la imagen ráster que contiene la firma espectral de la vegetación, la clase 2 corresponde a los píxeles que no contenían vegetación. Esto se hizo con la finalidad de detectar cual fue la dinámica de la vegetación en el periodo analizado.

Por otro lado, con las bandas correspondientes al rojo e infrarrojo cercano (estas bandas son diferentes para cada tipo de satélite), se realizó el proceso del NDVI, cabe mencionar que posteriormente a ese paso se realizó la extracción mediante capa, la reclasificación de imágenes y la conversión de ráster a vectorial; además, se calculó el área mediante la utilización de las bases de datos en SQL.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de los mapas que fueron obtenidos en el proceso de reclasificación de imágenes. Se observa el mapa en formato ráster y su posterior conversión a vectorial.

Identificación del uso de los suelos de las zonas de estudio en el periodo de tiempo asignado

La identificación de los usos de suelo se realizó mediante la conformación de los índices de NDVI, para ello se usó la escala propuesta por López-Pérez *et al.* (2015) y Merg *et al.* (2011) la cual se detalla en la Figura 4.

En el mapa de NDVI del año 1990 (Figura 5) se procesaron 573617.16 ha de un total de 573628.15 ha lo que representa el 99.99%. La distribución del NDVI estuvo conformada por: vegetación alta 8.31 %, mediana el 44.31%, vegetación ligera

el 24.95%, sin vegetación 20.54%, y nubes y agua el 2.45%. En la Figura 6 se evidencia un análisis del NDVI del año 1990 más detallado donde se aprecia que la vegetación más alta fue de 1.08%.

En el siguiente mapa de NDVI del año 1999 (Figura 7) se procesaron 573601.05 ha de un total de 573628.15 ha lo que representa el 99.99%. La distribución del NDVI estuvo conformada por: vegetación alta 48.55 %, mediana el 38.03%, vegetación ligera el 5.68%, sin vegetación 5.07%, y nubes y agua el 2.37%. En la Figura 8 se evidencia un análisis del NDVI del año 1999 más detallado donde se aprecia que la vegetación más alta fue de 26.48%.

En el siguiente mapa de NDVI del año 2003 (Figura 9) se procesaron 573624.99 ha de un total de 573628.15 ha lo que representa el 99.99%. La distribución del NDVI estuvo conformada por: vegetación alta 14.33 %, mediana el 48.97%, vegetación ligera el 23.66%, sin vegetación 9.86%, y nubes y agua el 3.18%.

En la Figura 10 se evidencia un análisis del NDVI más detallado del año 2003 donde se aprecia que la vegetación más alta fue de 2.84%.

En el mapa de NDVI del año 2019 (Figura 11) se procesaron 573606.63 ha de un total de 573628.15 ha, lo que representa el 99.99%. La distribución del NDVI estuvo conformada por: vegetación alta 30.40%, mediana el 41.37%, vegetación ligera el 19.44%, sin vegetación 5.07%, y nubes y agua el 3.71%. En la Figura 12 se evidencia un análisis del NDVI más detallado del año 2019 donde se aprecia que la vegetación más alta fue de 2.84%.

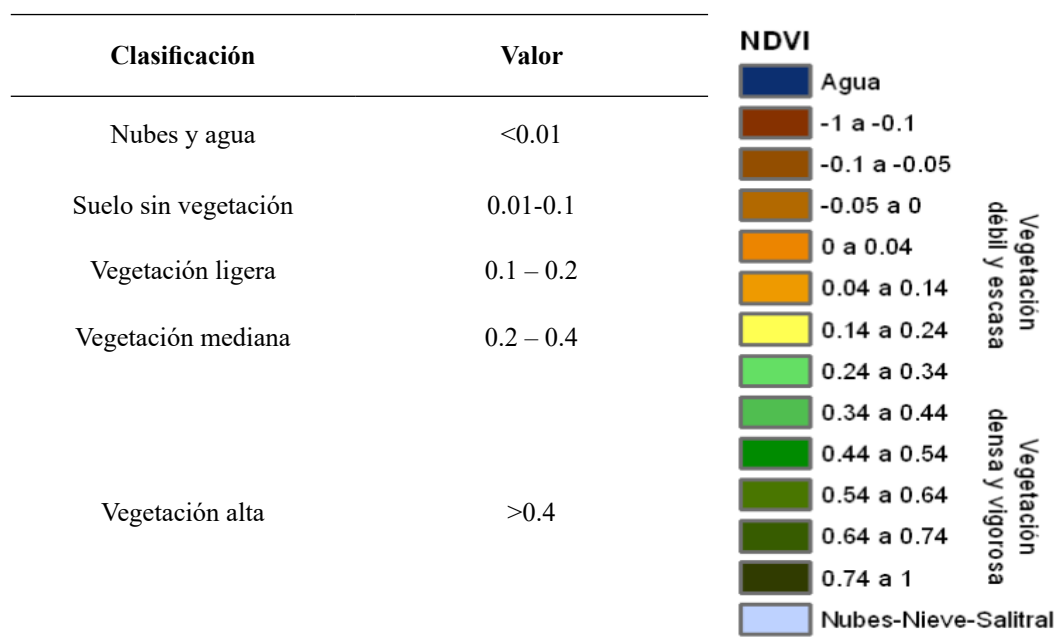


Figura 4. Escalas de NDVI propuestas por López-Pérez *et al.* (2015) y Merg *et al.* (2011)

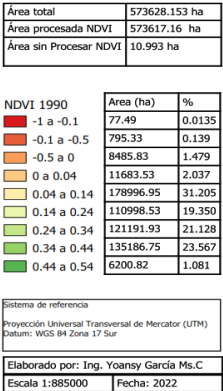


Figura 6. Mapa NDVI detallado del año 1990

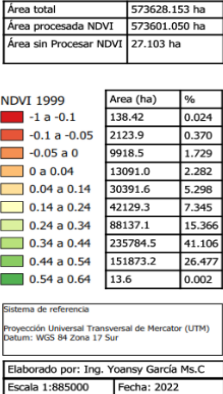


Figura 8. Mapa NDVI detallado del año 1999

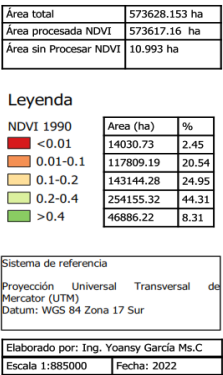


Figura 5. Mapa NDVI del año 1990

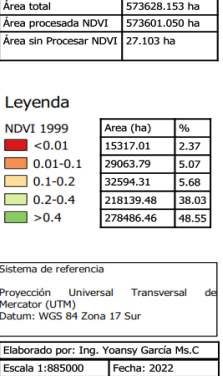


Figura 7. Mapa NDVI del año 1999

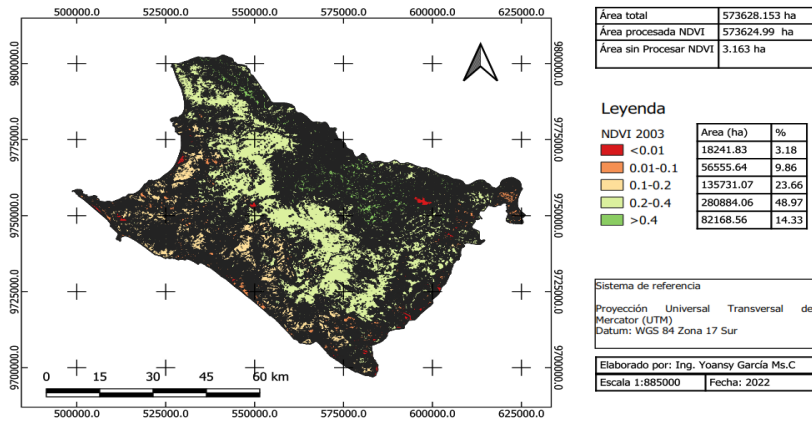


Figura 9. Mapa NDVI del año 2003

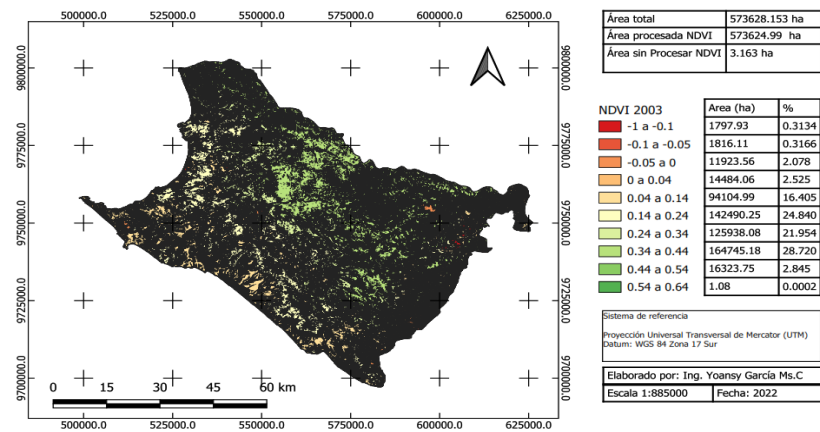


Figura 10. Mapa NDVI detallado del año 2003

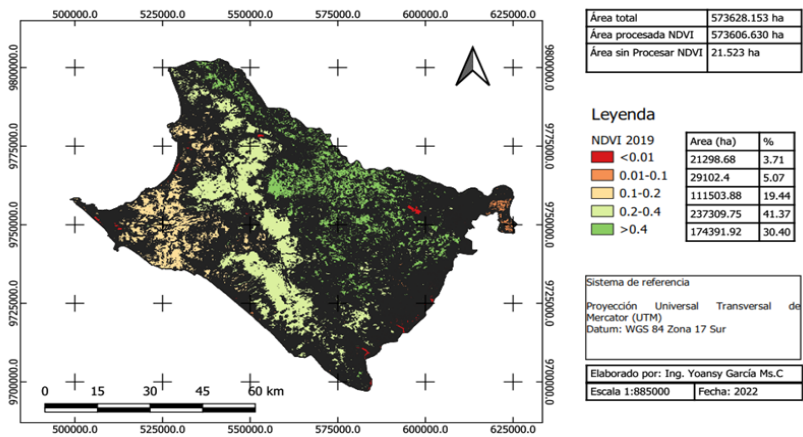


Figura 11. Mapa NDVI del año 2019

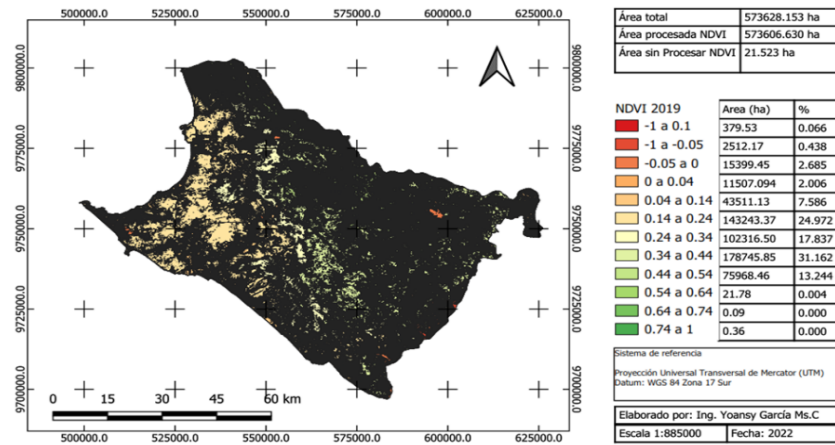


Figura 12. Mapa NDVI detallado del año 2003

En la Tabla 2. se resume la dinámica de los tipos de vegetación en el periodo evaluado, en cuanto a la vegetación alta se denota que el año 1999 tuvo el mayor valor; sin embargo, en el año 2003 hubo una disminución circunstancial y un aumento significativo en el año 2019.

Por contraparte, al analizar la dinámica de la vegetación mediana se denota una tendencia homogénea. El año 2003 destaca con el mayor valor y algo similar con la vegetación ligera, por lo que puede considerarse que hubo un cambio de vegetación, y el año 2003 es el año de transición hacia un incremento de la explotación agrícola. Lo anterior se puede visualizar en la Figura 13.

Los valores de precisión (Tabla 3.) fueron aceptables para las diferentes clases; las clases 1 (Nubes y agua), y la 5 (Vegetación Alta) fueron los más elevados; sin embargo, la clase 2 (Suelo sin vegetación) presentó los resultados más bajos; el índice de Kappa estuvo en un rango de débil a moderado y la precisión total fue del 62%. La clase 2 influyó sobre la disminución de la precisión; esto indica que se debe tener en cuenta la época del año para la realización de estos estudios, debido a que la cobertura del suelo es modificada de manera significativa por las condiciones climáticas.

Tabla 2. Usos de suelo por año (%)

Vegetación	1990	1999	2003	2019
Nubes y agua	2.45	2.67	3.18	3.71
Suelo sin vegetación	20.54	5.07	9.86	5.07
Vegetación Ligera	24.95	5.68	23.66	19.44
Vegetación Mediana	44.31	38.03	48.97	41.37
Vegetación Alta	8.17	48.55	14.33	30.40

Tabla 3. Resultados de la evaluación de la precisión mediante la matriz de confusión con el software SAGA GIS

Class	SumRef	AccProd	SumClassified	AccUser
5	86081	0.569742	68209	0.719025
4	94052	0.822098	130599	0.592041
2	17029	0.194433	11267	0.293867
1	19784	0.277750	6871	0.799738
Kappa			0.379321	
Overall Accuracy			.623058	

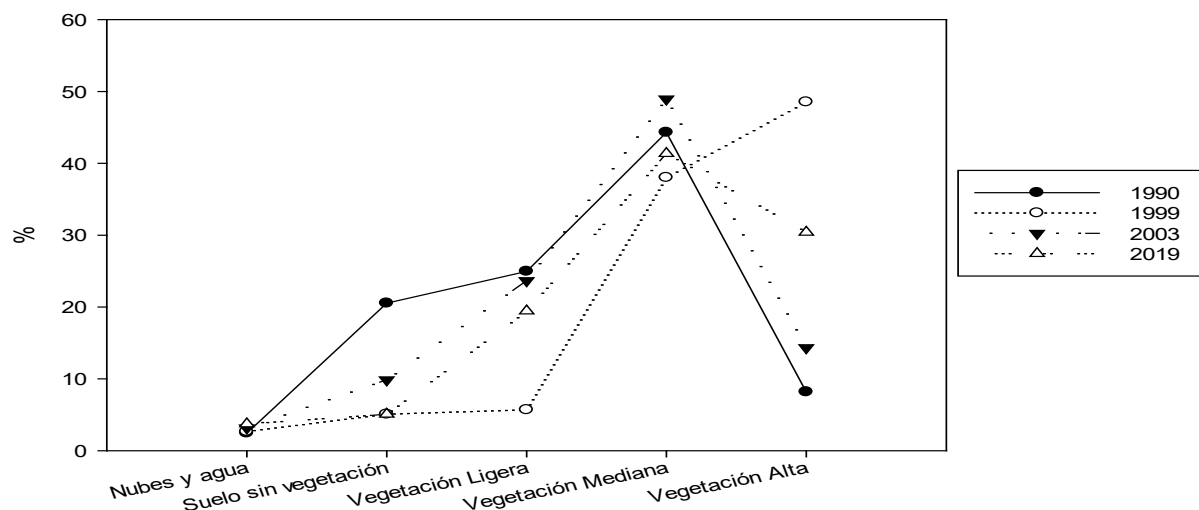


Figura 13. Gráfico de tendencia de la vegetación en el periodo evaluado

Discusión

La disponibilidad de imágenes satelitales de acceso libre - junto con un análisis en un Sistema de Información Geográfica - constituye una herramienta eficaz para detectar cambios en la vegetación; además, representan una ventaja respecto a los métodos tradicionales o de campo - los cuales - son muy costosos y requieren mucho tiempo (Li *et al.*, 2020). En el presente estudio se lograron obtener imágenes satelitales con la calidad y resolución adecuada. Esto permitió las correcciones y procesamientos requeridos para este tipo de investigaciones. Lo anterior, concuerda con estudios realizados por Almeida de Souza *et al.* (2020), donde usaron imágenes satelitales para conocer la dinámica del desbroce de sabana y la degradación del suelo en la región de MATOPIBA, una de las fronteras agrícolas más recientes de Brasil.

Un factor crítico para este tipo de estudios es identificar el tipo de vegetación; para superar esta problemática se usaron las escalas de NDVI mencionadas anteriormente (Figura 4.). Con esta escala se asoció el tamaño de la vegetación con el tipo de vegetación. La vegetación alta se asoció a Bosques, la mediana a Vegetación Arbustiva y la vegetación ligera con Tierras Agropecuarias, el resto de las clases se mantuvo igual. En este sentido, (Pang *et al.*, 2017) usaron el NDVI para identificar la variación de la vegetación producto al cambio climático en la Meseta tibetana del año 1982 al 2012; en esta investigación se realizó la clasificación de los valores de NDVI de las especies vegetales mediante una reclasificación supervisada sobre un mapa de vegetación de China.

La clase nubes y agua presentó una media de 3.00% y un C.V de 18.72%, suelo sin vegetación una media de 10.14% y un C.V de 71.98 % (la mayor parte de la variabilidad se refleja en el año 1990). En la Vegetación Ligera la media fue de 18.43% y C.V de 47.86% (el año 1999 influyó de manera significativa en el error). La Vegetación Mediana arrojó una media de 43.17% y C.V de 10.75% (el comportamiento de esta clase fue homogéneo); y la Vegetación Alta obtuvo una media de 25.36% y C.V de 71.27 % (en esta clase no hubo una tendencia consistente).

La variabilidad, antes descrita, se puede explicar por la influencia del cambio climático y las precipitaciones ocurridas en cada año. Para ello, se utilizaron las precipitaciones comprendidas en los meses lluviosos de la costa ecuatoriana (noviembre a mayo). Se tomaron datos de las estaciones meteorológicas M175 y M152 del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), y se correlacionaron con los valores provenientes del sitio de la NASA, Prediction of Worldwide Energy Resources (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>), el error fue menor al 5%. Al tener un error muy bajo, se usó este sitio para obtener la precipitación promedio por cada año; se tomaron tres puntos representativos del área de estudio por cada año, y se promedió la precipitación.

La precipitación promedio en el año 1990 fue de 197.28 mm, en 1999 fue de 699.76 mm, en 2003 fue de 354.18 mm

y en 2019 fue de 464 mm. Estos datos reflejan con claridad el comportamiento de la vegetación. El año 1990 fue muy seco y es por lo que la Vegetación Alta tiene un valor muy bajo, y el suelo sin vegetación presentó valores elevados.

En el año 1999 las precipitaciones fueron extremas debido a la influencia de la corriente del niño en el año 1997-1998, ya que los sistemas hidrográficos, y las cuencas que corresponden a la provincia de Santa Elena, fueron afectados con anomalías en la precipitación por inundaciones y crecidas de ríos (Memoria, 1999; Serrano Vincenti *et al.*, 2016).

Debido a estos factores climáticos, no se consideraron los años 1990 y 1999 para el cálculo de la dinámica de la frontera agrícola. La suma de todos los tipos de vegetación del año 2003 fue de 86.96%, y del año 2019 fue de 91.21%. La vegetación Alta (la que se relaciona con los bosques) presenta un aumento, lo que indica que existe una tendencia a la disminución de la deforestación. Lo anterior coincide con las investigaciones realizadas por Sierra (2013), donde evidencia que existe una disminución de la deforestación en 59.12% en el periodo de 1990 a 2008, y esta tendencia se mantendría - pero en una proporción del 1% - en los siguientes 10 años. Este autor manifiesta que el incremento de la deforestación en la costa ecuatoriana ocurre cerca y dentro de áreas agropecuarias existentes, por lo que no existe una amenaza preocupante.

Aunque, la ejecución del Proyecto Integral para el desarrollo agrícola, ambiental y social de forma sostenible en el Ecuador (PYDAASSE), el cual fue aprobado y ejecutado por el gobierno del Ecuador en el año 2009 (Drouet-Candel *et al.*, 2021); contribuyó a que exista un auge del desarrollo agrícola en cuanto a la producción del cultivo de banano, pitahaya, aguacate, mango, maíz y otros cultivos, y que exista a un incremento acelerado de la frontera agrícola de la provincia de Santa Elena y parte del Guayas.

La vegetación alta (Clase 5) tuvo una alta precisión (71 %), lo que coincide con los reportes de Najafi *et al.* (2019) para estudios similares. La diferencia entre los años 2019 y 2003 fue de aproximadamente 15%, entonces se puede inferir que la disminución de la deforestación es del 15 % y, por ende, existe una contracción de la frontera agrícola.

Conclusiones

Se lograron obtener y procesar imágenes satelitales de alta calidad y resolución correspondientes a los últimos 30 años mediante herramientas de teledetección con una precisión aceptable. La herramienta de NDVI permitió conocer la dinámica de la conformación de la vegetación del periodo estudiado y por consiguiente los usos de suelo basados en la cobertura vegetal. La dinámica de la frontera agrícola, determinada mediante las herramientas de teledetección utilizadas en este estudio, evidencia una disminución de aproximadamente un 15%.

Referencias bibliográficas

- Almeida de Souza, A., Galvão, L. S., Kortling, T. S., & Prieto, J. D. (2020). Dynamics of savanna clearing and land degradation in the newest agricultural frontier in Brazil. *GIScience & Remote Sensing*, 57(7), 965-984. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1835080>
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8(7), 1991-2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Cui, L., Li, G., Ren, H., He, L., Liao, H., Ouyang, N., & Zhang, Y. (2014). Assessment of atmospheric correction methods for historical Landsat TM images in the coastal zone: A case study in Jiangsu, China. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 701-716. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144740>
- Drouet-Candel, A. E., Pérez-Castro, T., Cruz-La Paz, O. V., Drouet-Candel, A. E., Pérez-Castro, T., & Cruz-La Paz, O. V. (2021). Los sistemas de producción agrícola de las parroquias del norte de la provincia Santa Elena, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 42(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362021000400002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Dr.S.Santhosh, B., & M.Renuka, D. (2011). Geometric Correction in Recent High Resolution Satellite Imagery: A Case Study in Coimbatore, Tamil Nadu. *International Journal of Computer Applications*, 14(1), 32-37.
- Hegazy, I. R., & Kaloop, M. R. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2015.02.005>
- Islam, K., Jashimuddin, M., Nath, B., & Nath, T. K. (2018). Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.005>
- Karakus, C. B., Cerit, O., & Kavak, K. S. (2015). Determination of Land Use/Cover Changes and Land Use Potentials of Sivas City and its Surroundings Using Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS). *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.040>
- Kaur, I., Kaur, P., & Verma, A. (2017). Natural Terrain Feature Identification using Integrated Approach of Cuckoo Search and Intelligent Water Drops Algorithm. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, 15(2), 17.
- Kumar, S., Shwetank, & Jain, K. (2020). A Multi-Temporal Landsat Data Analysis for Land-use/Land-cover Change in Haridwar Region using Remote Sensing Techniques. *Procedia Computer Science*, 171, 1184-1193. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.127>
- Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A Review of Remote Sensing for Environmental Monitoring in China. *Remote Sensing*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/rs12071130>
- Liu, C., Chen, Z., Shao, Y., Chen, J., Hasi, T., & Pan, H. (2019). Research advances of SAR remote sensing for agriculture applications: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3), 506-525. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62016-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62016-7)
- Cooray, P.L.I.G.M., Kodikara, K.A.S., Kumara, M.P., Jayasinghe, U.I., Madarasinghe, S.K., Dahdouh-Guebas, F., Gorman, D., Huxham, M., Jayatissa, L.P., 2021. Climate and intertidal zonation drive variability in the carbon stocks of Sri Lankan mangrove forests. *Geoderma* 389, 114929. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114929>.
- Lopes, V. C., Parente, L. L., Baumann, L. R. F., Mizziara, F., & Ferreira, L. G. (2020). Land-use dynamics in a Brazilian agricultural frontier region, 1985-2017. *Land Use Policy*, 97, 104740. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104740>
- López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández-Reynoso, D. S. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(1), 121-137.
- Memoria, R. Y. S. (1999). *El fenómeno de El Niño 1997—1998. Memoria, retos y soluciones: Vol. Volumen IV: Ecuador*. Corporación Andina de Fomento. <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/675/Las%20lecciones%20de%20El%20Ni%C3%B1o.%20Ecuador.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Díez, M. J. F., Schindt, F., Montalva, R., Guzmán, L., Rodríguez, K., Blanco, F., & Selzer, F. (2011). Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. *Pilquen - Sección Agronomía*, 11, 5.
- Najafi, P., Navid, H., Feizizadeh, B., Eskandari, I., & Blaschke, T. (2019). Fuzzy Object-Based Image Analysis Methods Using Sentinel-2A and Landsat-8 Data to Map and Characterize Soil Surface Residue. *Remote Sensing*, 11(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/rs11212583>
- Pang, G., Wang, X., & Yang, M. (2017). Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012. *Quaternary International*, 444, 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.12.005>

- org/10.1016/j.quaint.2016.08.038
- Panuju, D. R., Paull, D. J., & Griffin, A. L. (2020). Change Detection Techniques Based on Multispectral Images for Investigating Land Cover Dynamics. *Remote Sensing*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/rs12111781>
- QGIS Development Team. (2022). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation. <http://qgis.osgeo.org>
- Rawat, J. S., Biswas, V., & Kumar, M. (2013). Changes in land use/cover using geospatial techniques: A case study of Ramnagar town area, district Nainital, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.04.002>
- Semplades. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir* (Primera edición). https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/plan-nacional-para-el-buen-vivir-2013-2017.pdf
- Serrano Vincenti, S., Reisancho Puetate, A., Borbor-Córdova, M. J., & Stewart-Ibarra, A. M. (2016). Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala. *La Granja*, 24(2). <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.04>
- Sierra, R. (2013). *Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años*. Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends.



Valor biológico de especies arbustivas y arbóreas en el litoral ecuatoriano

Biological value of shrub and tree species in the Ecuadorian coast

Gary Alex Meza-Bone^{1,3}, Carlos Francisco Gutiérrez-Sevillano⁵, Carlos Javier Meza-Bone¹, María Gabriela Cabanilla-Campos^{1,2}, Walter Fernando Vivas-Aturo⁴, Jorge Andrés Apolo-Bosquez³

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Campus Experimental "La Maria", Mocache, Ecuador.

²Universidad Técnica de Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Babahoyo, Ecuador

³Instituto Tecnológico Superior Ciudad de Valencia. Campus Extensión de la Universidad de Babahoyo, Quevedo, Ecuador.

⁴Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ciencias Zootécnicas, Chone, Ecuador.

⁵Universidad Técnica de Manabí. Programa de Posgraduación en Zootecnia, Maestría en Producción Ganadería Sostenible, Chone, Ecuador.

Autor de correspondencia: gmeza@uteq.edu.ec, cmeza@uteq.edu.ec

Recibido: 09/09/2022. Aceptado: 15/06/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar seis especies forrajeras arbustivas y arbóreas, sobre la composición bromatológica y la digestibilidad *in vitro* durante la época lluviosa. Los tratamientos fueron T1= *Morus alba* cosechado a los 55 días; T2= *Moringa oleifera* cosechado a los 55 días; T3= *Gliricidia sepium* cosechado a los 55 días; T4= *Tithonia diversifolia* cosechado a los 55 días; T5= *Erythrina poeppigiana* cosechada a los 55 días y T6= *Cratylia argentea* cosechada a los 55 días. Las variables para la composición bromatológica: materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra en detergente neutra (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA). Para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), fibra en detergente neutra (DIVFDN) y fibra en detergente ácido (DIVFDA). La mayor ($p<0.05$) MS la reportó el tratamiento T1 (27.04%), la MO el tratamiento T5 y T1 (92.55 y 92.10%), la PC el tratamiento T2 (19.15%), la FDN el tratamiento T5 (61.98%) y la FDA la reportaron los tratamientos T4, T6 y T5 (46.15; 44.77 y 42.32%) respectivamente. La mayor ($p<0.05$) DIVMS, DIVMO, DIVFDN y DIVFDA la reportó el T1 (72.21; 70.34; 61.64 y 41.79%) respectivamente. La especie *M. alba* reportó una mejor composición bromatológica y una mayor digestibilidad *in vitro* de los nutrientes durante la época lluviosa.

Palabras clave: composición bromatológica, nutrición animal, digestibilidad *in vitro*, forraje.

Abstract

The objective of this work was to evaluate six shrub and tree forage species, on their bromatological composition and *in vitro* digestibility during the rainy season. The treatments were T1= *Morus alba* harvested at 55 days; T2= *Moringa oleifera* harvested at 55 days; T3= *Gliricidia sepium* harvested at 55 days; T4= *Tithonia diversifolia* harvested at 55 days; T5= *Erythrina poeppigiana* harvested at 55 days and T6= *Cratylia argentea* harvested at 55 days. The variables evaluated for the bromatological composition were: dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). For *in vitro* digestibility of dry matter (IVDDM), *in vitro* digestibility neutral detergent fiber (IVDNDF) and *in vitro* digestibility acid detergent fiber (IVDADF). The highest ($p<0.05$) DM was reported by treatment T1 (27.04%), OM by treatment T5 and T1 (92.55 and 92.10%), CP by treatment T2 (19.15%), the NDF was reported by the T5 treatment (61.98%) and the ADF was reported by the T4, T6 and T5 treatments (46.15; 44.77 and 42.32%), respectively. The highest ($p<0.05$) IVDDM, IVDOM, IVDNDF and IVDADF was reported at T1 (72.21; 70.34; 61.64 and 41.79%) respectively. The species *M. alba* reported a better bromatological composition and a higher *in vitro* digestibility of nutrients during the rainy season.

Keywords: bromatological composition, animal nutrition, *in vitro* digestibility, forage.

Introducción

La producción de rumiantes en el Ecuador se caracteriza por el predominio de monocultivos de gramíneas que afectan el rendimiento productivo de los animales (Barros-Rodríguez *et al.*, 2017), dadas las características propias de los pastos tropicales, con bajos valores de proteína digestible y alta tasa de fibra, se ha demostrado que el follaje de leguminosas arbustivas o arbóreas puede ser una estrategia nutricional en la suplementación de rumiantes en el trópico, principalmente durante los períodos de escasez de forraje (Mejía-Díaz *et al.*, 2017). Muchas de estas especies tienen valores nutricionales superiores a los de los pastos y pueden producir elevadas cantidades de biomasa comestible que son más sostenidas en el tiempo que las del pasto sin fertilización (Gutiérrez *et al.*, 2015).

La ganadería tropical afronta varios problemas entre los que destacan la variabilidad de la cantidad y calidad del forraje a través del año, lo que repercute negativamente en los parámetros productivos y reproductivos del ganado (Enríquez *et al.*, 1999). Ante esta situación, el follaje de especies arbóreas puede ser una buena alternativa, debido a que diferentes árboles y arbustos tienen un gran potencial como forraje, es decir, alto contenido de proteína comparado con las gramíneas y rendimiento de biomasa (Pezo *et al.*, 1990 y FAO 1992).

En las zonas tropicales existen diversas especies de arbóreas que poseen excelentes valores nutricionales, en relación a las gramíneas y permiten producir grandes cantidades de biomasa comestible (Medina *et al.*, 2009 y Verdecia *et al.*, 2011). El forraje de especies arbustivas y arbóreas son promisorios para la alimentación animal (Nieves *et al.*, 2011), siendo unas de las cualidades que tiene por tener un gran volumen radicular, una habilidad especial para recuperar los escasos nutrientes del suelo, un amplio rango de adaptación, tolera condiciones de acidez y baja fertilidad en el suelo, es muy rústica y puede soportar la poda a nivel del suelo y la quema (CIPAV, 2004), sin embargo, tiene un rápido crecimiento y baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Ríos, 2002).

Debido a la gran biodiversidad de árboles y arbustos forrajeros que han sido introducido al Ecuador y que han sido poco estudiado para la alimentación de animal es importante evaluar las especies *M. alba*, *M. oleífera*, *G. sepium*, *T. diversifolia*, *E. poeppigiana* y *C. argentea*, cosechada a los 55 días sobre la composición bromatológica y la digestibilidad *in vitro* durante la época lluviosa.

Materiales y métodos

Localización del trabajo experimental

La investigación se realizó en el Programa de leguminosas forrajeras y en el Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional "RUMEN" propiedad de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, situada en la Provincia de Los Ríos, del Cantón Mocache, ubicado en el

km 7 de la vía Quevedo-El Empalme, Ecuador. El trabajo experimental se desarrolló durante los meses de febrero-mayo (2022), a una altura de 73 msnm, temperatura promedio de 22.05 °C, precipitación 2090,10 mm año⁻¹, una humedad relativa del 89.74 % y una topografía plana (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, 2022).

Muestras y tratamientos

Se trabajó en una plantación de especies forrajeras arbustivas y arbóreas establecido como banco de proteína durante la época lluviosa, dicho plantación tuvo 6 años de edad previo al corte de estandarización de las plantas y fueron cosechados manualmente a los 55 días. Los tratamientos fueron seis especies arbustivas y arbóreas con cuatro repeticiones: T1= *Morus alba* cosechado a los 55 días; T2= *Moringa oleífera* cosechado a los 55 días; T3= *Gliricidia sepium* cosechado a los 55 días; T4= *Tithonia diversifolia* cosechado a los 55 días; T5= *Erythrina poeppigiana* cosechada a los 55 días y T6= *Cratylia argentea* cosechado a los 55 días

El forraje cosechado fue deshidratado exponiéndola al sol por un tiempo de 12 días haciendo el volteo del mismo cada 2 horas. Posteriormente las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 60°C por 48 horas y se molió a 1 mm en un molino a martillo (THOMAS-Wiley, USA, Model 4.) para realizar los respectivos análisis bromatológicos.

Animales

Se utilizó dos toros Brahman de 400.0 ± 10.0 kg de peso vivo, provistos de una cánula ruminal (cuatro pulgadas de diámetro interno, Bar Diamond, Parma, Idaho, EEUU). Los animales fueron pastoreados y alimentados con pasto *Panicum máximum* y provisto de agua *ad libitum*.

Variables a evaluar

Composición bromatológica: La materia seca (MS) y ceniza, determinaron según la (Asociación of Official Analytical Chemists), referida por la (AOAC, 2007). La proteína cruda (PC) se determinó como % N x 6.25, según Kjeldahl, descrita por la (AOAC, 2007). La fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácido (FDN y FDA) se analizaron con base en la metodología descrita por (Van Soest *et al.*, 1991), y de acuerdo a las modificaciones para el uso de bolsas filtrantes (F-57 ANKOM® Technology) y a los procedimientos para el uso del analizador semiautomático de fibras (ANKOM® Fiber Analyzer A200, ANKOM Technology), señaladas en los métodos 6 y 5 para FDN y FDA, respectivamente, descritos por ANKOM® (2010).

Digestibilidad *in vitro*: La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutra (DIVFDN) y digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente ácido (DIVAFDA), se determinó utilizando la técnica de Tilley y Terry (1963), mezclando la saliva de Menke y Steingass

(1988) que involucro un periodo de incubación de 48 h con microorganismos del rumen en un medio buffer. Se siguió el protocolo recomendado por el fabricante para el incubador DaisyII® (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA 2010), con, bolsas FN° 57, tamaño de poro de 25 µm.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con seis tratamientos y cuatro repeticiones (T1= *Morus alba* cosechado a los 55 días; T2= *Moringa oleífera* cosechado a los 55 días; T3= *Gliricidia sepium* cosechado a los 55 días; T4= *Tithonia diversifolia* cosechado a los 55 días; T5= *Erythrina poeppigiana* cosechada a los 55 días y T6= *Cratylia argentea*

cosechado a los 55 días.) durante la época lluviosa. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza mediante PROC GLM del SAS (2011) y se utilizó la prueba de Tukey ($p<0.05$).

Resultados

La mayor ($p=0.0001$) MS la reportó el tratamiento T1 (27,04%), la MO la registró el tratamiento T5, T3 y T1 (92,55; 93,00 y 92,10%), la PC la obtuvo el tratamiento T2 (19,15%), la FDN la reportó el tratamiento T6 (66,89%) y la FDA la registraron los tratamientos T4, T6 y T5 (46,15; 44,77 y 42,32%) respectivamente (Tabla 1).

Tabla 1. Composición química de las especies arbustivas y arbóreas cosechada durante la época lluviosa

Tratamientos	Composición química (% MS)				
	MS	MO	PC	FDN	FDA
T1	27,04 a ¹	92,10 a ¹	16,59 ab ¹	46,64 e ¹	33,85 b ¹
T2	16,22 d	89,45 b	19,15 a	56,99 cd	32,82 b
T3	23,21 b	93,00 a	15,09 b	53,95 d	27,42 c
T4	11,94 e	86,72 c	17,45 ab	58,68 bc	46,15 a
T5	19,43 c	92,55 a	16,39 ab	61,98 b	42,32 a
T6	25,61 ab	89,00 b	17,00 ab	66,89 a	44,77 a
EEM	0.56	0.46	0.90	0.85	0.96
Valor P	0.0001	0.0001	0.0943	0.0001	0.0001

¹Medias con letras distintas dentro de cada columna difieren significativamente ($p<0,05$); EEM= error estándar de la media MS: materia seca; MO: materia orgánica; PC: proteína cruda; FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida. T1= *Morus alba* cosechado a los 55 días; T2= *Moringa oleífera* cosechado a los 55 días; T3= *Gliricidia sepium* cosechado a los 55 días; T4= *Tithonia diversifolia* cosechado a los 55 días; T5= *Erythrina poeppigiana* cosechada a los 55 días y T6= *Cratylia argentea* cosechado a los 55 días.

La mayor ($p=0.0001$) DIVMS, DIVMO, DIVFDN y DIVFDA la reportó el tratamiento T1 (72,21; 70,34; 61,64 y 41,79%) respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Digestibilidad *in vitro* de las especies arbustivas y arbóreas cosechada durante la época lluviosa

Tratamientos	Digestibilidad <i>in vitro</i> (% MS)			
	DIVMS	DIVMO	DIVFDN	DIVFDA
T1	72,21 a ¹	70,34 a ¹	61,64 a ¹	41,79 a ¹
T2	63,10 b	61,51 b	56,91 b	29,82 c
T3	60,54 b	58,78 b	44,44 c	28,02 d
T4	48,53 c	40,89 c	44,38 c	32,71 b
T5	47,20 c	41,88 c	43,67 c	26,22 e
T6	29,44 d	26,79 d	34,59 d	24,74 f
EEM	0.91	0.73	0.72	0.31
Valor P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

¹Medias con letras distintas dentro de cada columna difieren significativamente ($p<0,05$); EEM= error estándar de la media DIVMS: digestibilidad *in vitro* materia seca; DIVMO: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIVFDN: digestibilidad *in vitro* fibra detergente neutra; DIVFDA: digestibilidad *in vitro* fibra detergente ácida. T1= *Morus alba* cosechado a los 55 días; T2= *Moringa oleífera* cosechado a los 55 días; T3= *Gliricidia sepium* cosechado a los 55 días; T4= *Tithonia diversifolia* cosechado a los 55 días; T5= *Erythrina poeppigiana* cosechada a los 55 días y T6= *Cratylia argentea* cosechado a los 55 días.

Discusión

La *M. alba* reportó la mejor composición y la mayor digestibilidad *in vitro* de los nutrientes, con respecto a las diferentes especies arbustivas y arbóreas evaluada en la presente investigación Tabla 1 y 2. Sin embargo, se puede observar que en los forrajes evaluados la composición química varío según la especie, lo que se le puede atribuir a las condiciones ambientales, al aumento de la intensidad de la luz favorece los procesos de síntesis y la acumulación de carbohidratos solubles en la planta. Según Meza *et al.*, (2022), la composición química y la digestibilidad de un forraje va a depender del género, especie y cultivar, edad y estado fisiológico de la planta, de las propiedades químicas y físicas del suelo, de las condiciones climáticas y el manejo al cual está siendo sometida una determinada especie. Según Huanca *et al.*, (2017), las especies arbustivas y arbóreas son de rápido crecimiento, mayor disponibilidad de forraje y mejora la calidad nutricional en relación a las gramíneas. Rivera *et al.*, (2018) mencionan que las especies arbustivas ya arbóreas tiene una alta producción de biomasa, composición química y su digestibilidad es superior con respecto a las pasturas utilizadas en condiciones tropicales.

La variabilidad que existe en la FDN y FDA entre las diferentes especies arbustivas y arbóreas puede estar relacionada con los cambios fisiológicos y anatómicos que ocurren al envejecer la planta, lo que provoca la disminución de la proporción del contenido celular, a su vez se reduce el lumen celular con los componentes solubles y se incrementan los componentes fibrosos (Rodríguez, 2017).

Molina-Botero *et al.*, (2013) mencionan que la digestibilidad depende del alto contenido de PC y de los bajos porcentajes de las fracciones fibrosas. Por consiguiente, la alta digestibilidad de la *M. alba* está asociado a los altos porcentajes de la PC y a la baja FDN y FDA de la composición química (Tabla 1). Principalmente las diferencias en la degradabilidad y la digestibilidad se relacionaron con las fracciones fibrosas y la proteína cruda, debido a que estas especies tienen poca presencia de metabolitos secundarios (Rodríguez *et al.*, 2014). Peng *et al.*, (2014) indica que un menor contenido de carbohidratos estructurales propicia mayor acceso a los microorganismos ruminales y facilita su degradación. Álvarez (2000) afirma, que árboles forrajeros con bajos contenidos de FDN (20% - 35%) presentan usualmente alta digestibilidad.

González y Cáceres, (2002) manifiestan que los altos niveles de digestibilidad de materia orgánica representan un mejor uso de los constituyentes más nutritivos al momento de seleccionar determinadas especies. Valenciaga y Chongo, (2004) manifiestan que la digestibilidad está relacionada con la composición y estructura de la pared celular de la planta.

Conclusiones

La *M. alba* presento la mejor composición bromatológica y la mayor digestibilidad *in vitro* de los nutrientes (MS, MO, FDN y FDA).

Las especies evaluadas presentaron características nutricionales satisfactorias lo que permite ser una alternativa viable para la alimentación animal para mejorar los sistemas de producción en el litoral pacífico ecuatoriano.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, D. M. 2000. Evaluación *In vitro* de leguminosas tropicales como fuente de proteína para rumiantes. Trabajo de grado para optar al título de Zootecnista. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira Valle del Cauca. 120 p.
- ANKOM Technology. 2010. Operator's manual "Daisy" incubator. ANKOM Technology.
- Association of Official Analytical Chemists. 2007. Official methods of analysis (18th Ed). Association of Official Analytical Chemists.
- CIPAV. 2004. Sistemas agroforestales, banco de forraje de leñosas, árboles y arbustos. En: Sistemas silvopastoriles. (Ed. Enrique Murgueitio). Cali, Colombia. 102 pp.
- Enríquez QJ, Meléndez NF, Bolaños AE. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. Libro Técnico No. 7. INIFAP. México.
- FAO. 1992. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. Proceedings of the FAO expert consultation. Held at Malaysian Agriculture, Research and Development Institute. Kuala Lumpur, Malaysia.
- González, E y Cáceres, A. 2002. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas para rumiantes. Rev. Pastos y Forrajes, 25, 15.
- Gutiérrez, D., Borjas-Rojas, E., Rodríguez-Hernández, R., Rodríguez, Z., Stuart, R. & Sarduy, L. 2015. Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: *Moringa oleifera* Avances en Investigación Agropecuaria. 19(3): 7-16, ISSN: 0188-7890.
- Huanca, J., Giraldo, A.E., Vergara, C.E. & Soudre, M. 2017. Asociación de coleópteros xilófagos y predadores en madera de Bolaina blanca (*Guazuma crinita* Martius) y Cucarda (*Hibiscus rosa-sinensis* Linnaeus). Ecología Aplicada, 16(2): 83-90, ISSN: 1726-2216, DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i2.1011>
- Medina, M., García, D., González, M., Cova, L. & Moratinos, P. 2009. Variables morfoestructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. Zoot. Trop. 27:121.
- Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L. & Angulo-Arizala,

- J. 2017. *Tithonia diversifolia*: especie for grazing in silvopastoral systems and methods for estimating consumption. Mesoamerican Agronomy, 28(1): 289-302, ISSN: 2215-3608.
- Menke, K. H., & Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal Research and Development. 28: 5-7.
- Meza-Bone, G. A., Meza-Bone, C. J., Avellaneda-Cevallo, J. H., Godoy-Montiel, L. A., Barros-Rodríguez, M. A., & Jines-Fernández, F. 2022. Degradación ruminal *in vitro* en *Tithonia diversifolia*. Agronomía Mesoamericana. 43206-43206.
- Molina-Botero IC, Cantet JM, Montoya S, Correa-Londoño GA, Barahona-Rosales R. 2013. Producción de metano *in vitro* de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. Rev CES Med Vet Zootec 8: 15-31.
- Nieves, D., Terán, O., Cruz, L., Mena, M., Gutiérrez, F. & Ly, J. 2011. Nutrientes digestibility in *Tithonia diversifolia* foliage in fattening rabbits. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 14: 309.
- Peng Q, Khan NA, Wang Z, Yu P. 2014. Relationship of feeds protein structural makeup in common prairie feeds with protein solubility, *in situ* ruminal degradation and intestinal digestibility. Anim Feed Sci Technol 194: 58-70. doi: 10.1016/j.anifeedsci.-2014.05.004
- Pezo P, Kass M, Benavides J, Romero F, Chávez C. 1990. Potential of legume tree fodders as animal feed in Central America. In: Devendra C editor. Shrubs and tree fodders for farm animals. Proceedings Workshop held in Denpasar, Indonesia IRDC. Ottawa, Canada. 63-165.
- Ríos, C.I. 2002. Usos, manejo y producción de botón de oro, *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. En: Tres especies vegetales promisorias: Nacadero (*Trichanthera gigantea*) (H. & B) Nees.), Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray) y Bore (*Alocasia macrorrhiza* (Linneo) Schott). Ed. Sonia Ospina y Enrique Murgueitio, CIPAV. Cali, Colombia. 211 pp.
- Rivera, J.E., Chará, J., Gómez, J., Ruiz, T. & Barahona, R. 2018. Phenotypic variability and phytochemical composition of *Tithonia diversifolia* A. Gray for sustainable animal production. Livestock Research for Rural Development, 30(12), ISSN: 0121-3784, Available: < <http://www.lrrd.org/lrrd30/12/rive30200.html>>
- Rodríguez R, González N, Alonso J, Domínguez M, Sarduy L. 2014. Valor nutritivo de harinas de follaje de cuatro especies arbóreas tropicales para rumiantes. Rev Cubana Cienc Agr 48: 371-377.
- Rodríguez, I. 2017. Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. Livestock Research for Rural Development. 29(4): 1-25.
- Rodríguez, R., Borges, E., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S., & Moreira, O. 2017. Evaluación de la inclusión de *Moringa oleifera* en el valor nutritivo de ensilajes de *Cenchrus purpureum* vc. Cuba CT-169. Cuban Journal of Agricultural Science, 51(4): 447-458. Recuperado en 13 de mayo de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-4802017000400447&lng=es&tlng=es.
- Statistical Analysis System. 2011. SAS Version 9.3. Procedure guide. SAS Inc.
- Tilley. J.M.A.; Terry. R.A. 1963. A two-stage techniques for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society. 18: 104-111
- Valenciaga D, Chongo B. 2004. La pared celular. Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de forrajes. Rev Cub Cienc Agríc. 48(4):343-350.
- Verdecia, D., Ramírez, J.L., Leonard, I., Álvarez, Y., Bazán, Y., Bodas, R., Andrés, S., Álvarez, J., Giraldez, F. & López, S. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del valle del Cauto. Rev. Electrónica Vet. 12:5.



Uso de la macroalga *Porphyra umbilicalis* en la emergencia, crecimiento y producción en el cultivo de rábano "*Raphanus sativus* L"

Use of macroalgae *Porphyra umbilicalis* in the emergence, growth and production in the cultivation of radish "*Raphanus sativus* L"

María Cepeda-Solis¹, Ana Álvarez-Sánchez¹, Marlon Monge-Freile¹, Aimé Batista-Casacó², Jorge Chanaluisa-Saltos¹

¹Universidad Técnica de Machala, Unidad de Postgrado, Maestría en Agronomía Mención Producción Vegetal. Machala, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Quevedo, Ecuador.

Autor de correspondencia: aalvarezs@uteq.edu.ec

Recibido: 09/01/2023. Aceptado: 16/06/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

El Rábano (*Raphanus sativus*) es una hortaliza que se cultiva a nivel mundial por lo que, muchos productores utilizan químicos para tener mayor producción, una alternativa para evitar el uso de químicos en el cultivo de rábano es el uso de abonos verdes a base de algas por sus ventajas nutricionales que pueden aportar a la agricultura. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento agronómico y productivo del rábano "*Raphanus sativus*" bajo el efecto de la biofertilización a base de la macroalga *Porphyra umbilicalis* también conocida como "Nori". Se utilizó un Diseño Completamente Alza (DCA) con cuatro tratamientos y un testigo experimental con cinco repeticiones. Los tratamientos corresponden a T0: control experimental (0% de alga Nori); T1 al 100% de alga Nori; T2 al 75% de alga Nori; T3 al 50% de alga Nori; T4 al 25% de alga Nori. Se utilizaron 10 plantas por unidad experimental, es decir, 50 plantas por tratamiento con un total de 250 plantas para todos los tratamientos. Los resultados indicaron que, la exposición del alga Nori previo a la siembra, no representó ninguna ventaja en el porcentaje de emergencia, no obstante, en las variables de altura (34.32 cm) Ancho de hojas (9.18±1.45), Longitud de Hoja (2 ±0.69), Peso (31.6±3.14 g), biomasa fresca (23.90±2.59), Biomasa seca (1.57±0.41) y rendimiento 31.2 kg el tratamiento T4 biofertilizado con el 100% de alga Nori presentó los valores más altos. Concluyendo que el uso de alga Nori como biofertilizante puede dar ventajas en la producción de hortalizas como el rábano.

Palabras claves: agricultura, algas, bioestimulantes, biofertilizante, hortalizas, nori.

Abstract

Radish (*Raphanus sativus*) is a vegetable that is grown worldwide, so many producers use chemicals to increase production. An alternative to avoid the use of chemicals in radish cultivation is the use of algae-based green manures. For their nutritional advantages that they can contribute to agriculture. The objective of this work was to evaluate the agronomic and productive behavior of radish "*Raphanus sativus*" under the effect of fertilization based on the macroalga *Porphyra umbilicalis* also known as "Nori". A Completely Random Design (DCA) with four treatments and an experimental control with five repetitions is used. The treatments correspond to T0: experimental control (0% Nori seaweed); T1 100% Nori seaweed; T2 at 75% Nori seaweed; T3 at 50% Nori seaweed; T4 at 25% Nori seaweed. 10 plants per experimental unit were used, that is, 50 plants per treatment with a total of 250 plants for all treatments. The results indicated that the exposure of the Nori seaweed prior to planting did not represent any advantage in the percentage of emergence, however, in the variables of height (34.32 cm), width of leaves (9.18±1.45), length of leaf (2 ±0.69), weight (31.6±3.14 g), fresh biomass (23.90±2.59), dry biomass (1.57±0.41) and yield 31.2 kg for treatment T4 fertilized with 100% Nori seaweed presented the highest values. Concluding that the use of nori seaweed as a biofertilizer can give advantages in the production of vegetables such as radish.

Keywords: agriculture, algae, biostimulants, biofertilizer, vegetables, nori.

Introducción

Las hortalizas ocupan un lugar importante dentro de la alimentación diaria de la población, forman parte fundamental de la tradición gastronómica de nuestro país, ya que poseen un alto valor nutrimental (Rocano et al., 2021). De esto surge la importancia vital de los vegetales para el hombre. El Rábano (*Raphanus sativus*) es una hortaliza que se cultiva a nivel mundial, utilizándose para el consumo humano generalmente la raíz, aunque en países como Egipto se consumen las hojas (Bonilla y Rojas, 2021). En la India sus vainas carnosas y en la China el aceite extraído de las semillas (Martínez-Moreno et al., 2021).

En el Ecuador, el rábano (*Raphanus sativus* L) corresponde un cultivo empírico e importante, por el valor económico de su producción, su aporte nutricional su ciclo de obtención relativamente corto, y por ser además una fuente de ingreso (Mendoza y Mendoza, 2021). A pesar de su gran el cultivo de rábano al igual que, otras hortalizas se ven afectado por el uso indiscriminado de químicos para aumentar la producción mismos que afectan la biodiversidad microbiana del suelo y ponen en riesgo la salud humana (Martínez et al., 2020, García et al., 2021). Una alternativa para utilizar menos agroquímicos es el uso de algas (Lecaro-Zambrano et al., 2021) que hace ya siglos atrás son consideradas como abono verde (Valdés y Soto, 2008) ya que, contienen algunas sustancias que promueven el crecimiento de las plantas, mejora el suelo y vigorizan las plantas, incrementando los rendimientos y la calidad de las cosechas (Zacarías et al., 2022). Las sustancias que benefician estas variables agronómicas son: auxinas, citoquininas, betaínas, aminoácidos, vitaminas y poliaminas. Gracias a su elevado contenido en fibra, macro y micronutrientes, aminoácidos, vitaminas y fitohormonas vegetales (Dapper et al., 2014; Hernández-Herrera et al., 2018).

Las algas como la *Porphyra umbilicalis* también conocida como “Alga Nori” actúan como acondicionador del suelo y contribuyen a la retención de la humedad (Harrysson et al., 2018). Además, por su contenido en minerales, son un fertilizante útil y una fuente de oligoelementos, pueden contribuir a mitigar las lesiones causadas por el estrés abiótico y que pueden contener cantidades importantes de giberelinas y brasinoesteroides (Antoine y Lese, 2015). Los bioproductos a base de microalgas pueden mejorar el rendimiento de las plantas y la calidad de ciertos cultivos de hortalizas y alimentos ya que las algas tienen mejores propiedades que los fertilizantes porque liberan más lentamente el nitrógeno, y además son ricas en microelementos y no generan semillas de malezas (Ramya et al., 2015). El empleo de las Algas nori como técnica orgánica sobre el cultivo de *Raphanus sativus* “rábano”, estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas lo que, contribuirá a una alternativa viable frente a la fertilización convencional, potenciando de esta manera la realidad ecológica del cultivo (López-Padrón et al., 2020).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el

comportamiento agronómico y productivo del rábano “*Raphanus sativus*” bajo el efecto del alga Nori. La importancia de generar este trabajo radica en la utilización de las algas como aporte para tener una agricultura sostenible y más respetuosa hacia el medio ambiente.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental “La María”, perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Situado geográficamente a 01°06' de latitud Sur y 79°27' longitud Oeste, a una altitud de 73 MSNM. El sitio presenta un clima tropical húmedo, con temperatura anual de 24,8°C; humedad relativa de 84 %; precipitación anual de 2252,5 mm y heliofanía de 894 horas. El suelo se considera franco limoso, con pH de 6,5 y topografía irregular en los meses de junio a agosto del 2022.

Se utilizó un Diseño en Bloque Completamente al azar (DBCA) para determinar la eficiencia de los tratamientos, se utilizó la Prueba de Rango Múltiple, (TUKEY) al 95% de probabilidad. Se estudiaron cuatro tratamientos: T1 (25% de alga Nori); T2 (50% de alga Nori); T3 (75% de alga Nori); T4 (100% de alga Nori) y un testigo experimental T0 (0% alga Nori) con cinco repeticiones, cada tratamiento contenía 50 plantas con un total de 250 plantas en todo el experimento.

Se usó semillas certificadas Agripac ® para la realización de este trabajo. El alga *Porphyra umbilicalis* también conocida como Nori se obtuvo comercialmente. Se preparó un stock de 350 gr en 2L de agua para realizar las diluciones de los tratamientos aplicando en dos fases experimentales. 1) el análisis de emergencia con presencia del alga Nori y 2). El estudio de las variables agronómicas y productivas con la biofertilización con el alga Nori. El primer experimento consistió en embeber la semilla de rábano 2 horas en cada uno de los tratamientos posteriormente, se plantaron a una profundidad de 2 mm dentro de las bandejas germinadoras bajo una cubierta con fácil acceso del sol para facilitar la germinación. El trasplante se llevó a cabo a los 6 días después de la siembra, en las primeras horas de la mañana para evitar el estrés. Previo al trasplante, se dotó de riego a las camas, las plántulas se colocaron a una distancia de 0,20 m entre plantas y 0,40 m entre hileras. El segundo experimento consistió en sembrar las plántulas de rábano y abonar cada 10 días con las diferentes dosis del alga Nori hasta su cosecha (30 días). Las variables que se midieron fueron: Número de hojas, Altura de la planta, Longitud de la hoja, Ancho de la hoja, Peso del fruto, Diámetro del fruto y Rendimiento por hilera. Para la variable de Emergencia, se consideró el porcentaje de plantas que emergieron desde el momento de la siembra hasta transcurridos los 5 primeros días en cada uno de los tratamientos bajo estudio; para la Altura de planta (cm) se consideró la altura a los 15 y 30 días después de haber realizado el trasplante para lo cual, se utilizó un flexómetro y se expresó en centímetros; Diámetro de Fruto (cm) Para esta

variable, se utilizó un calibrador también conocido como Pie Rey digital para tener una mayor precisión. Para el Peso de fruto (g) en la cosecha a los 30 días, se pesó en una balanza y se expresó en gramos.

Resultados y discusión

Los resultados de emergencia de las semillas de rábano mediante la biofertilización a base del alga Nori se describe en la Figura 1. En general, la emergencia, se visualizó en un lapso de 5 días observando un porcentaje de emergencia mayor en el testigo experimental (T0) en comparación de las semillas que fueron embebidas dos horas en diferentes dosis de alga Nori; diferencias numéricas que fueron estadísticamente significativa ($p \geq 0.05$). Los resultados indican que, el alga Nori, no presentó ninguna ventaja en la emergencia del rábano, todo lo contrario, la tasa de emergencia disminuyó en aquellas semillas que fueron sometidas a los diferentes tratamientos (Figura 1). Nuestros resultados son similares a los reportados por Martínez-Reyes et al. (2018) quienes al evaluar la emergencia en plántulas de maíz (*Zea mays* L.) al ser inoculadas con *Azospirillum brasilense* y *Chromobacterium violácea* no encontraron diferencia estadística significativa con el tratamiento control. Sin embargo, nuestros resultados difieren de los informados por RoyChowdhury et al. (2016) quienes obtuvieron mayores tasas de germinación de plántulas de espinacas (*Spinacia oleracea* L.) en semillas inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento en comparación con semillas no inoculadas. También difieren de Sánchez-Mendoza et al. (2018) quienes analizaron los efectos de *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Bacilo*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* en la emergencia y crecimiento de cuatro especies de agave silvestre encontrando que todas las colonias inoculadas incrementaron el porcentaje y tasa de emergencia, así como el crecimiento de todas las especies evaluadas.

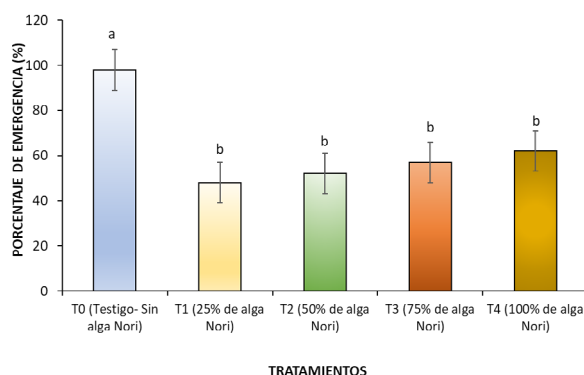


Figura 1. Porcentaje de emergencia de semillas inoculadas con el alga Nori en diferentes dosis. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

La mayor altura de la planta a los 30 días se registró en los tratamientos donde se biofertilizó con el alga Nori al

100% (T4) datos estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$). En las evaluaciones de altura registradas a los 10 días no se observó diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos, no obstante, si se obtuvo diferencias entre las plantas biofertilizadas con el alga Nori en comparación con el tratamiento control ($p \leq 0.05$). Este efecto se debe a que las algas como las Nori Fijan el nitrógeno del aire aun en las no leguminosas además de incrementar la materia orgánica y ahorrar agua de riego (Bula-Meyer, 2004). las algas mejoran la textura y estructura del suelo, ajusta el pH, hace poros, moviliza los nutrientes del suelo, propicia la desalinización además de desmineralizar los suelos, los desintoxica; mejora la absorción y en las funciones metabólicas de las plantas, ayuda al desarrollo de las plantas, les da precocidad y las vigoriza (López, 1999).

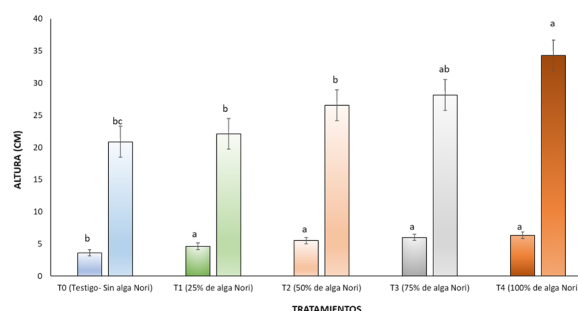


Figura 2. Altura registrada del cultivo de nabo fertilizado con diferentes dosis de alga Nori evaluados a los 10 y 30 días. Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

El número de hojas a los 15 y 30 días no representó ninguna diferencia entre los tratamientos y el tratamiento control (T0) ($p \geq 0.05$). Referente al ancho de las hojas, se observó que, a los 15 días no hubo diferencias significativas entre los tratamientos y el tratamiento control (T0) ($p \geq 0.05$), no obstante, a los 30 días se observó que, el tratamiento T4 con el 100% de alga Nori, presentó los mayores resultados 9.18 ± 1.45 entre los demás tratamientos y tratamiento control siendo estos valores, estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$). La Longitud de Hoja a los 15 días se observó que el tratamiento con el 100% de alga Nori (T4) obtuvo los valores más altos 2 ± 0.69 encontrando diferencias significativas ($p \leq 0.05$), no obstante, a los 30 días todos los tratamientos biofertilizados con el alga Nori presentaron diferencias significativas respecto al tratamiento control (T0) (Tabla 1). Estos resultados coinciden a lo reportado por Bonilla y Rojas et al, (2021) quienes reportan un incremento en las variables agronómicas en dos variedades de rábano (*Raphanus sativus* L.) cv. *Crimson giant* y cv. *Champion* INIAF con alternativas de fertilización (abonos orgánicos) en la localidad de Sapecho, Palos Blancos; además de Carrera-Bastidas, (2015) quienes estudiaron la respuesta agronómica del cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) a la aplicación de abonos orgánicos observando un

incremento significativo en sus variables agronómicas; Terry-Alfonso *et al.* (2014) estudiaron la Efectividad agrobiológica del producto bioactivo pectimorf® en el cultivo del rábano (*Raphanus sativus* L.) encontrando incrementos en las variables de crecimiento y producción. Mientras que, en otra investigación establecen que las algas al estar concentradas se deben aplicar en pequeñas dosis, ya que los compuestos activos deben ser efectivos a bajas concentraciones, por lo tanto, los reguladores de crecimiento son probablemente los ingredientes activos. Debido a la amplia gama de respuestas fisiológicas suscitado, es probable que más de un grupo de regulador del crecimiento vegetal esté implicado (Arthur *et al.* 2003).

Se puede apreciar en la Tabla 2 el peso de los frutos donde el tratamiento biofertilizado con el 100% de alga Nori (T4) presentó los valores más altos en comparación con los otros tratamientos, datos que son estadísticamente significativos

($p \leq 0.05$). No se encontró diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos y el control experimental en los valores del diámetro de fruto. Referente a la Biomasa, se encontró que, tanto para la biomasa fresca (23.90 ± 2.59) como la Biomasa seca (1.57 ± 0.41) el tratamiento T4 con el 100% de alga Nori presentó los valores más altos siendo esto, estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$). El rendimiento del cultivo de rábano biofertilizando con el alga Nori en diferentes dosis (25%, 50%, 75%, 100%) se visualiza en la Tabla 3 donde el valor más alto se observa en el tratamiento con el 100% del concentrado del alga Nori (T4) obteniendo un rendimiento de 31.2 kg en 250 plantas. Siendo el valor más bajo el tratamiento control (T0) (19.3 kg) valores que son estadísticamente significativos entre los tratamientos y el control experimental. Fleitas *et al.* (2013) evaluaron fertilizantes alternativos en la producción de rábano observando un incremento en las variables de producción y rendimiento.

Tabla 1 Análisis de las hojas verdaderas a los 15 y 30 días

Tratamientos	No. Hojas (15 días)	No. Hojas (30 días)	Ancho de hoja (cm) (15 días)	Ancho de hoja (cm) (30 días)	Longitud de Hoja (cm) (15 días)	Longitud de Hoja (cm) (30 días)
T0 (Testigo-sin alga Nori)	$1.5 \pm 0.11a^1$	$4 \pm 0.56a^1$	$1.75 \pm 0.34a^1$	$7.75 \pm 1.14bc^1$	$1.35 \pm 0.23b^1$	$7.75 \pm 1.29b^1$
T1 (25% de alga Nori)	$1.5 \pm 0.16a$	$4 \pm 0.68a$	$1.43 \pm 0.26a$	$8.03 \pm 1.28b$	$1.61 \pm 0.29b$	$8.09 \pm 1.85a$
T2 (50% de alga Nori)	$1.25 \pm 0.33a$	$4 \pm 0.54a$	$1.65 \pm 0.21a$	$8.16 \pm 0.99b$	$1.65 \pm 0.33b$	$8.25 \pm 1.77a$
T3 (75% de alga Nori)	$1.25 \pm 0.27a$	$4 \pm 0.66a$	$1.73 \pm 0.32a$	$8.32 \pm 1.07b$	$1.7 \pm 0.34b$	$8.38 \pm 1.66a$
T4 (100% de alga Nori)	$1.5 \pm 0.42a$	$5 \pm 0.92a$	$1.85 \pm 0.51a$	$9.18 \pm 1.45a$	$2 \pm 0.69a$	$8.78 \pm 1.72a$

¹Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

Tabla 2 Análisis de producción y rendimiento del cultivo de rábano fertilizado con el alga Nori en diferentes dosis

Tratamientos	Peso de fruto (gr)	Diámetro de fruto (cm)	Biomasa fres- ca (g)	Biomasa seca (g)	Rendimiento 250 plantas (Kg)
T0 (Testigo-sin alga Nori)	$24.1 \pm 2.02c^1$	$2.31 \pm 0.6a^1$	$15.53 \pm 1.25c^1$	$1.18 \pm 0.13b^1$	$19.3c^1$
T1 (25% de alga Nori)	$27.8 \pm 2.35bc$	$3.22 \pm 0.42a$	$17.22 \pm 1.37bc$	$1.25 \pm 0.18b$	$22.8c$
T2 (50% de alga Nori)	$28.2 \pm 2.11b$	$3.26 \pm 0.31a$	$19.48 \pm 1.46b$	$1.32 \pm 0.25ab$	$27.2b$
T3 (75% de alga Nori)	$29.8 \pm 2.48ab$	$3.39 \pm 0.53a$	$21.62 \pm 2.22b$	$1.46 \pm 0.32ab$	$29.8ab$
T4 (100% de alga Nori)	$31.6 \pm 3.14a$	$3.42 \pm 0.45a$	$23.90 \pm 2.59a$	$1.57 \pm 0.41a$	$31.2a$

¹Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$)

Conclusiones

La exposición del alga Nori previo a la siembra, no representó ninguna ventaja en el porcentaje de emergencia. En el análisis con el uso del alga Nori en diferentes dosis indicó que el tratamiento con el 100% del alga permitió el desarrollo óptimo de las plantas de rábano reflejado en variables como: altura, Ancho de hoja, Longitud de Hoja, Peso de fruto, Diámetro de fruto, Biomasa (fresca y seca) y rendimiento donde se obtuvieron los mayores valores. Estos aspectos generan impacto positivo el cultivo de rábano, ya que un mayor rendimiento y un menor uso de fertilizantes químicos conducirán a una menor inversión de capital y a una menor contaminación ambiental.

Agradecimientos

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por el apoyo otorgado a través del Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 9na Convocatoria, a través del proyecto "Efecto agronómico de la biofertilización edáfica a base de algas y microalgas en cultivos de hortalizas".

Referencias bibliográficas

- Antoine De Ramon, N. Y., & Iese, V. (2015). The proliferating brown alga *Sargassum polycystum* in Tuvalu, South Pacific: assessment of the bloom and applications to local agriculture and sustainable energy. *Journal of Applied Phycology*, 27(5), 2037.
- Arthur, G. D., Stirk, W. A., Van Staden, J. (2003). Effect of a seaweed concentrate on the growth and yield of three varieties of *Capsicum annum*. *South African journal of botany*, 69(2), 207-211.
- Bonilla, L. C., & Rojas, J. J. V. (2021). Evaluación de dos variedades de rábano (*Raphanus sativus* L.) cv. *Crimson giant* y cv. *Champion* INIAF con y sin aplicación de lixiviado de humus de lombriz en la localidad de Sapecho, Palos Blancos: Lody Condori Bonilla, Juan José Vicente Rojas. *Revista Estudiantil Agro-Vet*, 5(1), 24-29.
- Bula-Meyer, G. (2004). Las macroalgas marinas en la agronomía y el uso potencial del *Sargassum* flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de San Andrés y Providencia, Colombia. *Intropica*, 91-103.
- Dapper, T. B., Pujarra, S., de Oliveira, A. J., de Oliveira, F. G., & Paulert, R. (2014). Potencialidades das macroalgas marinhas na agricultura: revisão. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 7(2).
- Fleitas, M., Benitez, T., Castillo, R. (2013). Evaluación de humus de lombriz y estiércol bovino en la producción de rábano (*Raphanus sativus*). *Pakamuros*, 5. Lira, R. (2003). *Fisiología vegetal*. Mexico: 2ed Trillas.
- García, A., Macías, E., Lóor, J., & Vega, M. (2021). Evaluación de efectos de soluciones nutritivas como alternativa de insumo en la producción de rábano (*Raphanus sativus*) con sistema hidropónico bajo ambiente protegido. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 320-340.
- Gómez, F. (2021). Evaluación de rendimiento de 4 variedades de rábano (*Raphanus sativus* L.) en el cantón Arenillas. Ecaudor- Machala: FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS.
- Harrysson, H., Hayes, M., Eimer, F., Carlsson, N. G., Toth, G. B., & Undeland, I. (2018). Production of protein extracts from Swedish red, green, and brown seaweeds, *Porphyra umbilicalis* Kützting, *Ulva lactuca* Linnaeus, and *Saccharina latissima* (Linnaeus) JV Lamouroux using three different methods. *Journal of Applied Phycology*, 30(6), 3565-3580.
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Filippo-Herrera, D., Andrea, D., & Hernández-Carmona, G. (2018). Las algas como potenciales estimulantes del crecimiento vegetal para la agricultura en México. *Hidrobiológica*, 28(1), 129-140.
- Lecaro-Zambrano, J. L., & Garzón-Montealegre, V. J. (2021). Las Algas en la Productividad Económica de las Industrias Internacionales. *Polo del Conocimiento*, 6(12), 686-703.
- López, B. C. (1999). Enzimas-algas: posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 271-276.
- López-Padrón, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., & Cabrera-Rodríguez, J. A. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2).
- Martínez Moreno, D., Reyes Matamoros, J., López Pérez, A. L., & Basurto Peña, F. (2021). Importancia relativa de frutos y verduras comercializadas en el mercado de Izúcar de Matamoros, Puebla, México. *Polibotánica*, 5(1), 229-248.
- Mendoza, Y. M., & Mendoza, F. I. (2021). Evaluación Comparativa De Dos Tipos De Extracto De Frutas, Aplicados Al Cultivo De Rábano (*Raphanus Sativus*) En Quindé: Comparative Evaluation Of Two Types Of Fruit Extract, Applied To The Cultivation Of Radish (*Raphanus Sativus*), In Quindé. *Tse'De*, 4(3).
- Terry-Alfonso, E., Ruiz-Padrón, J., Tejeda-Peraza, T. y Reynaldo-Escobar, I. 2014.. *Revista Cultivos Tropicales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*, 35(2): 105-111.
- Tuhy L, Chowańska J, Chojnacka K. Extractos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento vegetal: revisión. *química*. 2013;67(7):636-41
- Ramya, S. S., Vijayanand, N., & Rathinavel, S. (2015). Foliar application of liquid biofertilizer of brown alga *Stoechospermum marginatum* on growth, biochemical and yield of *Solanum melongena*. *International Journal*

- of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 4(3), 167-173.
- Rocano, M. S. V., Díaz, M. D. C. M., Llivicura, M. F. A., Rodríguez, J. H. V., Vasquez, L. M. L., & Piña, J. C. G. (2021). Influencia del vermicompost y sus lixiviados sobre la germinación de hortalizas en un suelo sódico. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 6(2), 12.
- Roy Chowdhury, A., A. Bagchi, and C. Sengupta. 2016. Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) from agricultural field and their potential role on germination and growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants. *Int. J. Curr. Agric. Sci.* 6: 128-131. doi: <https://www.researchgate.net/publication/318596529>.
- Valdés, Y. A., & Soto, M. F. B. (2008). Algas, aliadas en el pasado y sustento para el futuro. *Tecnología Química*, 28(3), 46-50.
- Zacarías, V. C. V. A., Leyton, A. A. A., Villanes, N. I. G., Dávalos, J. J., & Pinedo-Taco, R. (2022). Effect Of Biostimulant On The Forage Yield Of Triticale (X Triticosecale) In Staggered Sowing Associated With Broad Bean (*Vicia faba*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(3).



Análisis de datos en el cuidado de *Elaeis guineensis* (palma africana) en Colombia, Ecuador y Perú

Data analysis in the care of *Elaeis guineensis* (african palm) in Colombia, Ecuador and Peru

Jesús Ramón Jaimes Becerra¹, Evelyn Karina Tinoco Diaz², Idilia Fernanda Bravo Bravo², Julio Cesar Caicedo Aldaz², Jimena Alexandra Campaña Chaglla^{1,4}, Natali Yormeri Pérez Rivas³

¹Universidad de Zaragoza, España. ²Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Ecuador. ³Universidad de Los Andes, Venezuela.

⁴Universidad Regional Amazónica "IKIAM". Autor de correspondencia: 808022@unizar.es

Recibido: 12/12/2021. Aceptado: 20/06/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

El presente artículo analiza de forma comparativa como la disponibilidad o no de datos sobre las plantaciones, a través de registros nacionales actualizados, pueden llegar a afectar el incremento o disminución de la producción de aceite de palma, un derivado de la *Elaeis guineensis*. Para lo cual se realiza un análisis correlacional entre las variaciones presentadas en la producción de aceite de palma de Ecuador, Colombia y Perú, durante los últimos 20 años, para descubrir si existe o no correlación, con el fin de determinar si los países vecinos se ven afectados por la pudrición del cogollo y otras plagas de la palma de aceite de la misma forma que el Ecuador. Se usan los programas Excel en su versión más reciente 2020 y Eviews 6.0 con el fin de realizar la correlación y la correlación regresiva de la producción de aceite de palma de estos tres países, encontrándose que a pesar de la cercanía geográfica en sus plantaciones no existe correlación entre la tasa de crecimiento de los países. Lo que lleva a concluir que sería conveniente la implementación de un sistema moderno nacional de análisis de datos, comenzando por un registro nacional para productores de palma en el Ecuador, ya que las caídas en la producción de palma siempre han sido mayores que en Colombia y Perú, que sí poseen un sistema de registro o plan nacional para su desarrollo.

Palabras clave: aceite de palma, organización centralizada, producción nacional, agricultura, niveles de exportación.

Abstract

This article analyzes in a comparative way how the availability or not of data on plantations, through updated national records, can affect the increase or decrease in the production of palm oil, a derivative of *Elaeis guineensis*. For which a correlational analysis is carried out between the variations presented in the production of palm oil in Ecuador, Colombia and Peru, during the last 20 years, to discover if there are connections or not, in order to determine if the neighboring countries are affected by bud rot and other oil palm pests in the same way as Ecuador. The Excel programs in their most recent version 2020 and Eviews 6.0 are used in order to make the connection and the regressive connection of the palm oil production of these three countries, finding that despite the geographical proximity in their plantations there is no between the growth rate of the countries. Which leads to the conclusion that it would be convenient to implement modern data analysis system, starting with a national registry for palm producers in Ecuador, since the falls in palm production have always been greater than in Colombia and Peru, which it does have a registration system or national plan for its development.

Keywords: palm oil, centralized organization, national production, agriculture, export levels.

Introducción

Al hacer referencia a la palma aceitera, es importante destacar que existen dos tipos, los cuales son *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleifera*. La primera especie es originaria de África, por lo cual es llamada comúnmente como palma africana, mientras que la segunda es nativa del continente americano; la mayoría de las plantaciones comerciales en el mundo están sembradas con material africano (Zambrano-Marcillo y otros, 2022). En Ecuador, el rubro de *Elaeis guineensis* es considerado de alta importancia económica para el sector agropecuario, por su capacidad productiva en materia prima, aceites, grasas comestibles y biocombustibles; es así como para el año 2016 se exportaron 274 mil toneladas de aceite de crudo que significó un total de más de 200 millones de dólares en ingresos para el país (El Universo, 2019).

Sin embargo, los niveles de exportación de aceite de palma comenzaron a caer en el año 2017, ubicándose en abril de 2019 en 56,828 toneladas para el primer cuatrimestre de 2019, ya que los agricultores comenzaron a perder sus plantaciones debido a la pudrición del cogollo PC (El Universo, 2019). Pero en 2020, Ecuador con un total de 540 mil toneladas producidas, se ubicó como el décimo productor de aceite de palma a nivel mundial y tercero en Suramérica, superado por Colombia (4to a nivel mundial y 1ro en Suramérica) y Brasil (9no a nivel mundial y 2do en Suramérica) (USDA, 2021). Estos datos, analizados individualmente, no permiten saber si el país responde de forma correcta a males que afectan a *Elaeis guineensis*, tales como la pudrición del cogollo (PC).

Con el incremento de la población mundial y la demanda de nuevos productos, una de las estrategias de más reciente aplicación es el uso de datos masivos para la optimización de las agricultura (Anda Ugarte y otros, 2019), esta estrategia consiste en recopilar toda la información posible, utilizar métodos estadísticos, tales como el análisis de regresión o el análisis de varianza y poder identificar factores que antes pasaban desapercibidos o no eran estimados con precisión. (Flores Kanter, 2019).

Este tipo de técnicas de análisis de datos, van más allá de sólo reunir la información histórica de la producción de un lugar determinado, se trata de proveer un nivel de procesamiento de la información que antes era imposible debido a las limitaciones tecnológicas, y mediante el procesamiento de la información identificar las prácticas más adecuadas para la producción de una especie o múltiples especies de plantas en diferentes lugares (Bronson & Knezevic, 2016), y así lograr aumentar su producción. (Bermeo Almeida *et al.*, 2022).

Ecuador no cuenta con organismos coordinadores, sean gubernamentales o empresariales, que puedan recolectar y hacer uso de la información de los diferentes productores de aceite de palma a nivel nacional, por lo que la respuesta de los agricultores, así como su producción se realiza de forma individual; a diferencia de otros países que usan datos estadísticos para enfrentarse a posibles enfermedades, plagas,

hongos, pestes o cualquier tipo de afectación que pudiera sufrir la *Elaeis guineensis*. Por lo cual, esta diferencia (la existencia de un organismo coordinador) permite hacer una comparación de la afectación del análisis y uso de datos en el cultivo de la palma africana.

Es de resaltar que los países vecinos, al tener climas similares y proximidad geográfica, sus plantaciones podrían ser víctimas de los mismos males que afectan a las plantaciones ecuatorianas. Por lo cual, es útil realizar una comparación, ya que esto permitiría descartar factores naturales como clima, y enfermedades y evaluar la efectividad de una respuesta coordinada; es decir, al comparar la producción ecuatoriana con la producción de Colombia y Perú, permitirá saber no sólo las diferencias o similitudes, sino si en Ecuador se aplica un sistema correcto comparado con sus vecinos.

El tratamiento de los datos es descriptivo, y correlacional debido a que se analizan las relaciones que existen entre las variables, que en este caso es la producción de aceite de palma de Ecuador, Colombia y Perú, durante los últimos veinte años, para describir si existe o no correlación, con el fin de determinar si los países vecinos se ven afectados por la pudrición del cogollo u alguna otra plaga común que pudiera afectar la palma de aceite de la misma forma que el Ecuador; para lo cual se usan los programas Excel en su versión más reciente 2020 y EvIEWS 6.0 con el fin de realizar la correlación y la correlación regresiva de la producción de aceite de palma de estos tres países.

Variables de estudio: Para medir el efecto correlacional entre Ecuador, Colombia y Perú, se utilizó la tasa de crecimiento de la producción del aceite de Palma, al considerarse que, sin importar el tamaño de la producción, esta podría verse afectada porcentualmente en cuanto a sí misma con respecto a años anteriores cuando ocurre la pudrición del cogollo o cualquier otra variabilidad natural.

En Ecuador: La producción de aceite de palma en el Ecuador se da en las provincias costeras: Esmeraldas, Santo Domingo, Guayas, Los Ríos, Manabí, en la región sierra en: Cotopaxi y Bolívar, y de la zona oriental: Orellana y Sucumbíos. Las cuales poseen condiciones favorables para la producción de la planta que provee el aceite de palma. (Tapia-Toral & Alvarado-Espinoza, 2018).

En la provincia de Esmeraldas, frontera con la República de Colombia, se encuentran las plantaciones de palma más extensas del país. Ecuador tiene 200,908 hectáreas sembradas de palma, de las cuales 80,363 están en Esmeraldas, provincia que produce el 41 % del fruto de palma. Le siguen las provincias de Los Ríos (18.5 %) y Santo Domingo (9.9 %). (Borja, 2020).

La producción anual de palma en el Ecuador, en miles toneladas métricas desde el año 2000 hasta el 2021 según las proyecciones esperadas es la siguiente:

Tabla 1: Producción anual de aceite de palma en Ecuador

Año	Producción en miles de Toneladas Métricas
2000	222
2001	224
2002	239
2003	262
2004	282
2005	340
2006	352
2007	396
2008	418
2009	429
2010	380
2011	473
2012	539
2013	499
2014	484
2015	535
2016	587
2017	570
2018	557
2019	455
2020	465
2021	380
2022	470

Fuente: (United States Department of Agriculture, 2023)

Al observar la Tabla 1, se puede notar como la producción de aceite de palma, desde el año 2000 hasta la actualidad se ha multiplicado por 2.11, sin embargo, este incremento no se ha mantenido constante; pues presentaba un crecimiento sostenido hasta el año 2012, y desde entonces presenta continuas variaciones, lo que podría explicarse por fenómenos naturales, tales como enfermedades fúngicas (Terrero y otros, 2017). Pero ¿Estarán las instituciones ecuatorianas respondiendo de forma adecuada?

Organizaciones para la producción de palma en el Ecuador

En Ecuador, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) se encarga de desarrollar nuevas tecnologías para el manejo integrado del cultivo de palma africana y el estudio de sus enfermedades y plagas, como la pudrición del cogollo (INIAP, 2021). Además, el INIAP se enfoca en el cuidado del medio ambiente, incluyendo el control biológico de plagas y enfermedades (INIAP, 2021). Por otro lado, la Asociación Ecuatoriana de extractoras de palma y sus derivados, Aexplama, es una organización que representa a las empresas que se dedican a la producción de

aceite de palma en Ecuador. Sin embargo, su censo no se ha actualizado desde 2017 (Buenano, 2017). Sin embargo, ninguna de estas instituciones lleva datos en tiempo real, así como tampoco coordinan ni previene a los productores a nivel nacional de las enfermedades que afectan a otros productores dentro del mismo país, o en los países vecinos.

Tabla 2: Tasa de crecimiento anual en la producción de aceite de palma en el Ecuador

Año	Tasa de crecimiento
2000	-16.85%
2001	0.90%
2002	6.70%
2003	9.62%
2004	7.63%
2005	20.57%
2006	3.53%
2007	12.50%
2008	5.56%
2009	2.63%
2010	-11.42%
2011	24.47%
2012	13.95%
2013	-7.42%
2014	-3.01%
2015	10.54%
2016	9.72%
2017	-2.90%
2018	-3.31%
2019	-12.84%
2020	-8.64%
2021	-18.28%
2022	23.68%

Fuente: (United States Department of Agriculture, 2023)

Es decir, a pesar de que Ecuador es uno de los principales productores de palma africana en Suramérica, y de su importancia para el mercado nacional, este producto no cuenta con una institución del Estado que realice un seguimiento actualizado y coordine en tiempo real la lucha contra de las enfermedades que afectan las plantaciones, así como ayude a prevenirlas (Borja, 2020). No existe un registro nacional de productores de palma en Ecuador disponible en línea al cual se pueda acceder. (Potter M, 2011) ni siquiera, el SIPA cumple esta función, al tener su último boletín de 2021, siendo, para la fecha de escribir la presente, abril de 2023 (SIPA, 2023)

La producción de aceite de palma en Ecuador ha pasado de 222 mil toneladas métricas en el año 2000 a 540 mil toneladas

métricas en 2020, pero que decayó en 2021 a 380mil, y en 2022 lucha por recuperarse con 470mil toneladas métricas. (United States Department of Agriculture, 2023).

Colombia: Colombia es el cuarto productor de aceite de palma del mundo y el primero de América. La palma se encuentra en cuatro zonas de Colombia: Norte, Oriental, Central y Suroccidente, que abarcan 122 municipios y 19 departamentos en toda la nación. En 2019 se habían identificado 516,961 hectáreas sembradas, 430,884 hectáreas de producción y 86.077 hectáreas de desarrollo, ubicados en la región Caribe, Catatumbo, Santander, Orinoquia, Andes centro y Tumaco (Sierra Soto, 2019).

Tabla 3: Producción anual de aceite de palma en Colombia

Año	Producción en miles de toneladas métricas
2000	520
2001	544
2002	525
2003	525
2004	630
2005	660
2006	714
2007	733
2008	778
2009	805
2010	753
2011	945
2012	974
2013	1041
2014	1110
2015	1275
2016	1146
2017	1627
2018	1631
2019	1529
2020	1559
2021	1747
2022	1768

Fuente: (United States Department of Agriculture, 2023)

En el año 2000, la producción de aceite de palma en Colombia se ubicaba en 520 toneladas métricas y para el año 2020 alcanzó las 1559 toneladas, y se estima que para el 2022 se ubicó en 1768, triplicando su producción en un periodo de 20 años. En la Tabla 3 se puede observar que, a diferencia de Ecuador, Colombia no presentó una caída en la producción de aceite de palma en el año 2012, sino en el año 2016, y a pesar

de ser más leve esta se volvió a repetir en 2019 y 2020, pero desapareció para 2022.

Organizaciones para la producción de palma en Colombia:

El Instituto Colombiano Agropecuario realiza actividades de registro, seguimiento y asesoría a través del instituto Fedepalma, así como inspección vigilancia y control en cultivo de palma, en plagas y enfermedades. Para la obtención de datos incluso se han usado drones para crear ortofotomosaicos y modelos digitales de elevación, e incluso se ha planteado usar estas tecnologías con fines ambientales (Calderón Aragón y otros, 2022).

Los datos recolectados en inspecciones y rutas de permiten por medio de análisis de datos identificar la ausencia, presencia, así como la distribución de cada una de estas enfermedades y/o plagas dentro de los cultivos, y se coordinan actividades que permiten detener a tiempo su avance, lo cual permite a los agricultores proteger sus plantaciones o de cosecharlas (separarlas del suelo) antes de que se vean afectadas. (Fedepalma, 2021).

Perú: La superficie total de producción de palma africana o palma aceitera en Perú se extiende por aproximadamente 90.000 hectáreas. Las principales zonas de producción de palma aceitera se encuentran en los departamentos de Loreto, San Martín, Huánuco y Ucayali. San Martín y Loreto se encuentran al norte del Perú siendo esta última frontera con Ecuador y Colombia (Minagri, 2016) por lo cual, en teoría, la producción de palma en Perú debería guardar correlación con Ecuador o Colombia, si sólo se vieran afectadas por el clima y/o enfermedades.

La producción de aceite de palma en el Perú ha pasado de 28 toneladas métricas en el año 2000 a 190 en el 2020, y se produjeron un total de 278 toneladas métricas para el 2022, es decir se ha multiplicado diez veces mientras que en el mismo periodo de tiempo Ecuador solamente ha logrado duplicarla y Colombia ha triplicado su producción. Al mismo tiempo la producción de aceite de palma en Perú no ha decrecido en algún momento, sino que ha aumentado su ritmo.

Organizaciones para la producción de palma en Perú:

En el Perú no hay un registro público de productores de palma, sin embargo, el Ministerio de Agricultura (Minagri) ha desarrollado un plan nacional para el desarrollo de la palma, denominado: Plan Nacional de Desarrollo Sostenible de la Palma Aceitera en Perú (2016-2025) (Minagri, 2016). Lo cual ha permitido que la producción de aceite de palma se desarrolle de forma acelerada en Perú, y evitar grandes pérdidas a sus productores.

Tabla 4: Producción anual de aceite de palma en Perú

Año	Producción en miles de toneladas métricas
2000	28
2001	35
2002	30
2003	36
2004	42
2005	40
2006	47
2007	48
2008	53
2009	54
2010	58
2011	72
2012	104
2013	113
2014	124
2015	137
2016	147
2017	170
2018	184
2019	183
2020	187
2021	243
2022	278

Materiales y métodos

Fuente de información: Para obtener la producción anual de aceite de palma de los diferentes países comparados, se usó como única fuente de información los datos totalizados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, a través de la página web: indexmundi.com y que puede ser utilizada para futuras investigaciones sobre el aceite de palma y otros cultivos. Los datos se encuentran actualizados hasta mayo de 2023.

Métodos de análisis de datos: La correlación regresiva y la correlación lineal son dos técnicas estadísticas que se utilizan para analizar la relación entre dos o más variables. La correlación lineal es una medida de regresión que se utiliza para establecer una relación lineal entre dos variables. El resultado puede variar en el intervalo $[-1, +1]$, donde un valor cercano a 1 indica una correlación positiva fuerte, un valor cercano a -1 indica una correlación negativa fuerte y un valor cercano a 0 indica una correlación débil o nula (Mendivelso, 2022). Mientras que la correlación regresiva es un proceso o modelo que analiza el vínculo entre una variable dependiente

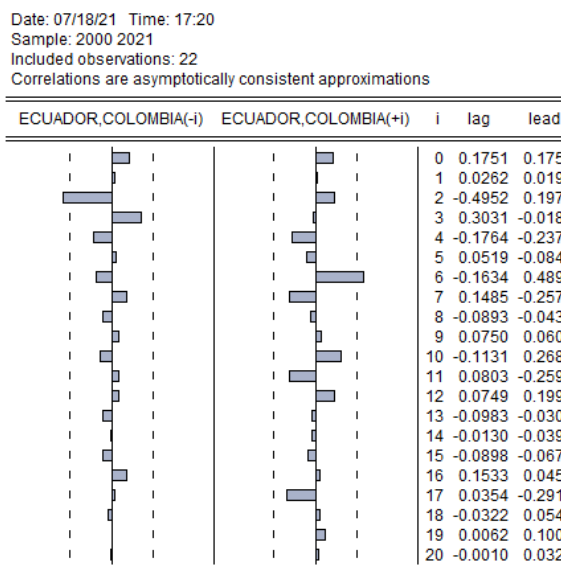
y una o varias variables independientes. (López y otros, 2021)

Eviews 6.0.: Para el procesamiento, análisis de datos y elaboración de tablas se usó el Eviews 6.0; el cual es un software estadístico utilizado para el análisis econométrico y la investigación en diferentes campos, como la economía, las finanzas y la sociología. Permite a los usuarios realizar análisis de series de tiempo, modelos econométricos, análisis de datos de panel y análisis de datos de encuestas, entre otros. (Reyes Robles y otros, 2018).

Resultados

Correlación entre la producción de países: Al usarse la función de correlación para medir la misma entre la producción porcentual entre Colombia y Ecuador, se encontró un valor de 0.175, lo cual no es significativo desde el punto de vista estadístico. La correlación de la producción de aceite de palma entre Perú y Ecuador fue negativa: -0.0465, es decir que cuando la producción aumenta en Perú disminuye en Ecuador. La correlación de la producción entre Colombia y Perú fue de 0.288, que no es lo suficientemente elevada como para representar un valor estadístico significativo.

En cuanto a la correlación regresiva, para descartar que las plantaciones de aceite de palma en los diferentes países sufrieran las mismas enfermedades, sólo que no dentro de los mismos periodos de tiempo, se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 1.

**Figura 1. Correlación regresiva entre Ecuador y Colombia**

La Figura 1 indica que sólo el segundo periodo presenta un valor estadístico significativo de 0.49, pero en general no existe correlación entre la producción de aceite de palma entre Ecuador y Colombia. El análisis de correlación regresiva entre Perú y Ecuador, se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 2.

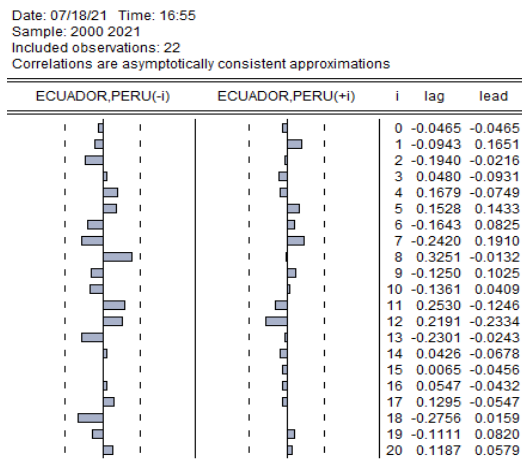


Figura 2: Correlación regresiva entre Ecuador y Perú

La Figura 2, indica que entre Perú y Ecuador tampoco existe correlación regresiva. En conclusión, no se encontró ningún valor estadístico significativo, lo que indica que no existe correlación entre la producción de aceite de palma en Ecuador y sus vecinos: Perú y Colombia, y que incluso existe una pequeña correlación entre estos dos, la cual no es significativa de forma estadística.

Discusión

En investigaciones anteriores relacionadas, tales como en Mentsiev y Gatina (2021) se mostró como el análisis de datos puede ser utilizado en la agricultura para mejorar la producción, sostenibilidad, bienestar animal, vigilancia sanitaria y huella ambiental. Entre las técnicas que pueden utilizarse para esto, el paper mencionado incluyó el IoT, aprendizaje automático, minería de datos, entre otros. El internet de las cosas (IoT) se ha planteado como herramienta para garantizar la seguridad alimentaria, ya que en conjunto con el análisis de datos tienen un enorme potencial para los problemas agrícolas, tales como el del aceite de palma. El IoT permite la conexión de dispositivos y sensores en tiempo real, lo que permitiría monitorear y controlar diversos aspectos del proceso agrícola, como la calidad del suelo, la humedad, la temperatura y el estado del cultivo. (Mentsiev y Gatina, 2021)

En otra investigación, realizada por Morota y otros (2018), se analizaron técnicas de análisis de datos para la agricultura, tales como la minería de datos y el machine learning (ML) o aprendizaje automático, los cuales pueden ser fundamentales para superar desafíos tales como el aprovechamiento de la información generado por plataformas automatizadas, incluidas imágenes digitales, datos de sensores y sonidos, sistemas no tripulados e información obtenida de la visión por computadora no invasiva en tiempo real, en la agricultura global. Sin embargo, su potencial no ha sido suficientemente reconocido en la comunidad del agrícola. (Morota y otros, 2018).

En Vargas Rojas & Bucheli Guerrero (2020) se propusieron técnicas de análisis de datos, como el Big Data para predecir los modelos de producción de cultivos, para lo cual se utilizó un algoritmo de aprendizaje automático (Machine Learning) para poder calcular la regresión lineal múltiple (MLR) y la regresión lineal robusta.

El paper no especifica el tipo, o los tipos de cultivos analizados, por lo cual esta técnica podría haber sido usada o no para el cultivo de palma. Vargas Rojas & Bucheli Guerrero (2020) realizaron su investigación en Colombia que cuenta con un clima similar a Ecuador, y fue uno de los países analizados en la presente. Los autores concluyeron que al analizar datos de agricultura se deben usar tecnologías modernas y para su procesamiento, y pueden ser usados softwares como Spark, MongoDB, y Kafka, lo cual dará a quien los utilice la capacidad de almacenar datos heterogéneos, y de distribuir el procesamiento de grandes volúmenes de datos (Vargas Rojas & Bucheli Guerrero, 2020)

Al ser un tema novedoso, no se encontraron investigaciones de Data Analysis aplicados a la agricultura en el Ecuador, así como tampoco se encontró alguna otra investigación de Data Analysis aplicada al cultivo la *Elaeis guineensis*. Sin embargo, la aplicación de esta técnica a diferentes rubros de la agricultura muestra cómo podrían ser beneficiosas a futuro.

Conclusiones

No existe una correlación entre la producción de aceite de palma entre los países analizados. Es decir, la producción de aceite de palma de Perú y Colombia no se ha visto afectada al mismo tiempo ni de formas similares que la de Ecuador, lo cual no implicaría que Colombia y Perú estén exentos de enfermedades de la palma, sino que los países analizados responden de forma diferente a los hongos, plagas y/o enfermedades que afectan a la palma africana.

Los planes nacionales aplicados en Colombia y Perú podrían explicar porque la producción de otros países ha aumentado más que la de Ecuador, la cual, en los últimos 20 años apenas ha logrado duplicarse mientras que en Colombia se ha triplicado y en Perú se ha multiplicado por diez.

Las organizaciones centralizadas en conjunto al uso de la tecnología de datos, tales como el machine learning (ML) en conjunto con el internet de las cosas (IoT) permitirían que Ecuador avance a un mayor ritmo en su producción de aceite de palma o cualquier otro rubro.

Referencias bibliográficas

- Anda Ugarte, J., Armesto, A. P., Callejero, C., Carvajo, I., Chaves, D., Escobedo, C., . . . Sagarna, J. (2019). Digitalización y big data en los sectores agroalimentario y forestal y el medio rural el reto de la sostenibilidad, mejora productiva y logística. *Navarra agraria*(294), 9-14.

- Bermeo Almeida, O. X., Bazán Vera, W. D., & Guevara Arias, V.-I. (2022). Big Data en la predicción meteorológica para cultivos. *Alfa revista de investigación en ciencias agronomicas y veterinarias*, 6(16), 33–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i16.148>
- Borja, S. (14 de septiembre de 2020). *Ecuador: nueva ley de palma promueve la producción de aceite pero deja inconforme al sector ambiental*. mongabay.com: <https://es.mongabay.com/2020/09/ley-de-palma-en-ecuador-promueve-aceite-genera-temor-en-comunidades/>
- Bronson, K., & Knezevic, I. (2016). Big Data in food and agriculture. *Sage Journals*, 1-5.
- Buenaño, L. F. (10 de mayo de 2017). *Censo Palmero 2017*. Aexpalma: <https://aexpalma.com/censo-palmero-2017/>
- Calderón Aragón, G., Cubillos Rodríguez, J. P., & Delgado Niño, P. (2022). Uso de los vehículos aéreos no tripulados (drones) para el levantamiento de información primaria en los estudios ambientales por parte de las consultoras ambientales. *Revista Avances en investigacion de ingenieria*, 19(1), 1-11.
- El Universo. (1 de julio de 2019). *La producción local de aceite de palma empieza a caer en Ecuador*. www.eluniverso.com: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/07/01/nota/7400379/produccion-local-aceite-palma-empieza-caer/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20local%20de%20aceite%20de%20palma%20en%202017%20fue,pa%C3%ADs%20es%20de%20240.000%20toneladas>
- Fedepalma. (18 de julio de 2021). *Quiénes somos*. Fedepalma.com: <https://web.fedepalma.org/node/220>
- Flores Kanter, P. E. (2019). Núcleo básico en el análisis de datos cualitativos: pasos, técnicas de identificación de temas y formas de presentación de resultados. *Revista de psicología y ciencias afines*, 36(2), 203-215.
- INIAP. (18 de julio de 2021). *Palma Africana*. <http://www.iniap.gob.ec/>: <http://www.iniap.gob.ec/pruebav3/palma-africana/>
- López, L., Marulanda, C. E., & Salinas, J. (2021). Modelo para el análisis de la estrategia de operaciones de las empresas exportadoras del sector metalmeccánico del triángulo del café de Colombia. *Información Tecnológica*, 32(6), 45-52. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.26507/ponencia.1787>
- Mendivelso, F. (2022). Prueba no paramétrica de correlación de Spearman. *Revista Médica Sanitas*, 24(1), 42-45. <https://doi.org/https://doi.org/10.26852/01234250.578>
- Mentsiev, A., & Gatina, F. (2021). Internet of things and data analysis in agriculture. *Earth Environ. Sci.*, 677, 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032099>
- Minagri. (2016). *Plan Nacional de Desarrollo Sostenible de la Palma Aceitera en Perú (2016-2025)*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- Morota, G., Ventura, R., Silva, F., Koyama, M., & Fernando, S. C. (2018). Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *Journal of Animal Science*, 96(4), 1540–1550. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jas/sky014>
- Potter M, L. (2011). La industria del aceite de palma en Ecuador: ¿un buen negocio para los pequeños agricultores?1. *Eutopia*(2), 39-54.
- Reyes Robles, A., Gaona Montiel, F. G., & Mendoza Pérez, J. (2018). Uso de softwares estadísticos/económicos, como herramientas en la investigación económica y administrativa. *Tiempo Económico*, 13(38), 49-65.
- Sierra Soto, N. P. (2019). *EXPORTACIÓN DE ACEITE DE PALMA Y SUS DERIVADOS*. Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia.
- SIPA. (16 de abril de 2023). *Boletín situacional de palma aceitera 2021*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/>: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/situacionales-agricolas/situacional-palma-aceitera>
- Tapia-Toral, M. C., & Alvarado-Espinoza, F. G. (2018). Análisis correlacional entre la producción del aceite de palma, sus exportaciones y su contribución al PIB agrícola durante el período 2010 - 2017. *Dominio de las ciencias*, 270-283.
- Terrero, P., Peñaherrera, S., Vera, D., Navarrete, B., & Herrera, M. (2017). PROSPECCIÓN DE ENFERMEDADES FÚNGICAS EN PLANTACIONES DE PALMA ACEITERA EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS. *Revista Científica Ecuador es Calidad*, 4(2), 21-25.
- United States Department of Agriculture. (25 de abril de 2023). *Colombia Palm Oil Production Annual Growth Rate*. Indexmundi: <https://www.indexmundi.com/agriculture/?country=co&commodity=palm-oil&graph=production-growth-rate>
- United States Department of Agriculture. (25 de abril de 2023). *Ecuador Palm Oil Production Annual Growth Rate*. IndexMundi: <https://www.indexmundi.com/agriculture/?country=ec&commodity=palm-oil&graph=production-growth-rate>
- USDA. (15 de julio de 2021). *Palm Oil Explorer*. United States Department of Agriculture: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000>
- Vargas Rojas, L. F., & Bucheli Guerrero, V. A. (2020). Arquitectura para el análisis de datos agronómicos en un ambiente de Big Data. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(2), 233-250. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.2.4211>
- Zambrano-Marcillo, S. M., Ortega Cedillo, D. S., Navarrete-Párraga, M. E., Romero-Pizarro, M. A., Quiala-Mendoza, E. W., & Zambrano-Sabando, R. (2022). Efecto de ácido salicílico, ácido β aminobutírico, periodos de

calentamiento e imbibición sobre la germinación de la semilla de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Ecuador. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 23(2), 1-17. https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2001



Efecto agronómico y productivo de la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Pueblo Viejo, Ecuador

Agronomic and productive effect of biofertilization based on microalgae *Chaetoceros gracilis* and *Chlorella vulgaris* in the cultivation of corn (*Zea mays* L.) in Pueblo Viejo, Ecuador

Guillermo Enrique García-Vásquez¹, Ana Ruth Álvarez-Sánchez², Danilo Javier Yáñez-Cajo²

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado, Maestría en Agronomía, Mención Producción Agrícola Sostenible, Quevedo, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
Autor de correspondencia: aalvarezs@uteq.edu.ec

Recibido: 09/01/2023. Aceptado: 17/06/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

La demanda constante y en aumento de alimentos como el maíz obliga a los productores a hacer uso de fertilizantes químicos, lo cual provoca degradación del suelo, contaminación por metales pesados, repercusión en las comunidades microbianas y pone en alto riesgo la salud humana. Las microalgas pueden ser una alternativa potencial como bioestimulantes y biofertilizantes, por lo cual, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto agronómico y productivo de la biofertilización a base de las microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Pueblo Viejo, Ecuador. Se utilizó un Diseño en Bloques Completamente al azar (DBCA), para determinar la eficiencia de los tratamientos se utilizó la Prueba de Tukey al 95% de probabilidad. Se estudiaron cuatro dosis de biofertilizantes a base de microalgas (5, 10, 15 y 20 mg planta⁻¹), tanto para *Chaetoceros gracilis* como para *Chlorella vulgaris*, además de usar un testigo experimental; se utilizaron 900 plantas de maíz por todo el experimento. Los resultados indicaron que, el tratamiento T4, donde se utilizó 20 mg planta⁻¹ de *Chaetoceros gracilis* como biofertilizante, presentó los mejores resultados en altura de planta (220.1 cm), longitud de mazorca (18.17 ± 2.02 cm), número de hileras por mazorca (17.88 ± 1.36), número de granos por mazorca (652.16 ± 58.23), peso de la mazorca con tusa (295.03 ± 8.91 g) y el mayor rendimiento (9,144.33 kg ha⁻¹). El uso de *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹ permitió mejorar las variables agronómicas y productivas del cultivo.

Palabras clave: agricultura, algas, bioestimulantes, cereal, gramínea.

Abstract

The constant and increasing demand for foods such as corn forces producers to use chemical fertilizers, which causes soil degradation, heavy metal contamination, repercussions on microbial communities, and puts human health at high risk. Microalgae can be a potential alternative as biostimulants and biofertilizers, which is why, the objective of this work was to determine the agronomic and productive effect of biofertilization based on microalgae *Chaetoceros gracilis* and *Chlorella vulgaris* in the cultivation of corn (*Zea mays* L.) in Pueblo Viejo, Ecuador. A Completely Random Block Design (DBCA) was taken, to determine the efficiency of the treatments the Tukey Test was taken at 95% probability. Four doses of biofertilizers based on microalgae (5, 10, 15 and 20 mg plant⁻¹) were studied, both for *Chaetoceros gracilis* and for *Chlorella vulgaris*, in addition to using an experimental control; 900 plants of corn were used throughout the experiment. The results indicated that, treatment T4, where 20 mg plant⁻¹ of *Chaetoceros gracilis* was used as biofertilizer, presented the best results in plant height (220.1 cm), ear length (18.17 ± 2.02 cm), number of rows per ear (17.88 ± 1.36), number of grains per ear (652.16 ± 58.23), cob weight with cob (295.03 ± 8.91 g) and the highest yield (9,144.33 kg ha⁻¹). The use of *Chaetoceros gracilis* at a dose of 20 mg plant⁻¹ improved the agronomic and productive variables of the crop.

Keywords: agriculture, algae, biostimulants, cereal, grass.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta con una alta tasa de actividad fotosintética, teniendo el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día, siendo el primer cereal sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, tal como ha sucedido con la aparición de los híbridos (Simón y Golik, 2018). Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y el segundo, después del trigo, en producción total, además de tener gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano (uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen), como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (Simón y Golik, 2018). El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que la Producción Mundial de Maíz 2022/2023 sería de 1,161.86 millones de toneladas (Producción Agrícola Mundial.com, 2022).

En Ecuador, la superficie cosechada de maíz en el 2021 fue de 305,986 hectáreas, con una producción nacional de 1,765,294 toneladas y un rendimiento promedio de 5.77 t ha⁻¹ (MAG, 2021). En cuanto a la participación en la producción nacional de maíz duro seco al 13% de humedad y 1% de impurezas, la provincia de Los Ríos aportó con 746,576 toneladas, seguida de Manabí con 595,683 toneladas, Loja con 201,552 toneladas, Guayas con 188,680 toneladas, Santa Elena con 24,395 toneladas y El Oro con 8,408 toneladas (MAG, 2021). En cuanto al rendimiento a nivel nacional, Los Ríos ocupó el primer lugar con 6.36 t ha⁻¹, Manabí con 6.21 t ha⁻¹, Santa Elena con 4.80 t ha⁻¹, Loja con 4.78 t ha⁻¹ y Guayas con 4.36 t ha⁻¹ (MAG, 2021).

Entre la problemática de la producción de maíz, se hace referencia a que los fertilizantes químicos provocan la degradación del suelo, principalmente por su alto contenido en metales pesados como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As), derivando en la pérdida de sus características físicas y químicas (Sánchez *et al.*, 2021). Estos productos se acumulan en los suelos repercutiendo en las comunidades microbianas y poniendo en alto riesgo la salud humana (Sánchez *et al.*, 2021). Actualmente, la degradación del suelo afecta a 1,900 millones de hectáreas en todo el mundo, incrementándose rápidamente a una tasa de 5 a 7 millones de hectáreas por año (Sánchez *et al.*, 2021). La demanda constante y en aumento de alimentos como el maíz obliga a buscar soluciones amigables con el suelo y mejorar su rendimiento (Sánchez *et al.*, 2021), como es el uso de microalgas.

Las microalgas son de gran interés para la industria agrícola, ya que tienen potencial como bioestimulantes (Tripathi *et al.*, 2008), biofertilizantes (Grageda-Cabrera *et al.*, 2018), y se pueden aplicar de diversas maneras, incluidas las hojas, como enmiendas del suelo y en la absorción de semillas (Marks *et al.*, 2017). Los bioproductos a base de algas incluyen una variedad de metabolitos y minerales que

estimulan el crecimiento y el rendimiento de las plantas, mejoran las propiedades biológicas del suelo y mejoran la productividad en condiciones de estrés abiótico y biótico, además de que contienen hormonas (García-Orellana *et al.*, 2016). Se pueden utilizar como una alternativa económica en la producción de diversos cultivos y permiten una agricultura sostenible (Abdel-Raouf *et al.*, 2012). Su uso reduce la aplicación de productos químicos y protege el medio ambiente (Barclay y Apt, 2013).

Entre las microalgas dulceacuícolas, *Chlorella* es uno de los géneros más estudiados (Borowitzka, 2018), describiéndose hasta la fecha unas 44 especies, al menos cinco de gran interés comercial: *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa* (Gómez-Luna *et al.*, 2022), *C. ellipsoidea* (Park *et al.*, 2007), *C. sorokiniana* (De Bashan *et al.*, 2008) y *C. kessleri* (Faruque *et al.*, 2020). Las microalgas del género *Chaetoceros* se usan como alimento de varias especies zoológicas de la cadena trófica marina, también son utilizadas en la agricultura por sus grandes propiedades (Panta *et al.*, 2016).

Es por ello que, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de la inoculación de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en los parámetros agronómicos y productivos. La importancia de generar esta investigación radica en dar alternativas no químicas para mejorar la producción en el cultivo de maíz.

Materiales y métodos

Localización

El presente trabajo se realizó en el Cantón Pueblo Viejo, Provincia de los Ríos, con coordenadas geográficas 79°31' de longitud oeste y 01°32' de latitud sur. El trabajo fue realizado del 06 de enero hasta el 21 de mayo del 2021.

Preparación de los inóculos de microalgas

Las cepas de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* se cultivaron en botellas de 2 L de capacidad conteniendo 1,000 mL de medio de cultivo, las cuales fueron colocadas en un estante sometidas a un ciclo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, y mantenidas a una temperatura promedio ambiental de 22.4 ± 0.69 °C y del agua de 22.7 ± 1.20 °C. Las botellas contenían agua de mar clorada y filtrada con 35 unidades de salinidad, aireadas constantemente y enriquecidas con los nutrientes de los medios de cultivo descritos por Lourenco *et al.* (2002). Las microalgas fueron concentradas por centrifugación.

Tratamientos

Se estudiaron cuatro dosis de biofertilizantes a base de microalgas (5, 10, 15 y 20 mg planta⁻¹), tanto para *Chaetoceros gracilis* como para *Chlorella vulgaris*, además de usar un control negativo (testigo experimental): T0 (control negativo), T1 (*Chaetoceros gracilis* 5 mg planta⁻¹), T2 (*Chaetoceros*

gracilis 10 mg planta⁻¹), T3 (*Chaetoceros gracilis* 15 mg planta⁻¹), T4 (*Chaetoceros gracilis* 20 mg planta⁻¹), T5 (*Chlorella vulgaris* 5 mg planta⁻¹), T6 (*Chlorella vulgaris* 10 mg planta⁻¹), T7 (*Chlorella vulgaris* 15 mg planta⁻¹), T8 (*Chlorella vulgaris* 20 mg planta⁻¹). La inoculación de las plantas fue realizada a los 15, 30 y 60 días después de la siembra.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un Diseño en Bloques Completamente al azar (DBCA). Se realizaron 5 repeticiones con 20 plantas por unidad experimental con un total de 100 plantas por tratamiento y 900 plantas por todo el experimento. Para determinar la eficiencia de los tratamientos se utilizó la Prueba de Rangos Múltiples de Tukey al 95% de probabilidad. El software estadístico utilizado fue Minitab 19.

Manejo del experimento

Se empleó semillas del híbrido de maíz Emblema, el cual resiste las condiciones agroclimáticas de la zona cultivada. Una semana antes de la siembra, se realizaron dos pases de rastra en ambos sentidos a fin de dejar el terreno bien mullido, para de este modo facilitar la germinación de la semilla y el desarrollo radicular. La siembra fue de forma manual en hoyos de aproximadamente 4 - 5 cm de profundidad, depositando una semilla por sitio, siguiendo el marco de plantación de 0.20 metros entre plantas y 0.80 metros entre hileras. El control de malezas fue por remoción mecánica cada 15 días, la fertilización se realizó como lo describe Vera (2013). El control de plagas estuvo sujeto a la aplicación de Thiodicarb (Semevin®) en dosis de 20 mL por kg de semilla al momento de la siembra, a los 12 días después de la siembra se aplicó Spinetoram (Radiant®) en dosis de 100 mL ha⁻¹ + Imidacloprid (Imidalaq®) en dosis de 200 mL ha⁻¹ y a los 25 días después de la siembra se aplicó Benzoato de emamectina (Tejo®) en dosis de 200 g ha⁻¹. El control preventivo de enfermedades se realizó a los 25 días después de la siembra con la aplicación de Azoxystrobin + Difenconazole (Amistar top®) en dosis de 350 mL ha⁻¹.

Variables evaluadas

Las variables agronómicas evaluadas fueron: altura de planta medida a los 30 y 60 días después de la siembra, días a floración, días a cosecha, biomasa seca. Las variables productivas evaluadas fueron: longitud de mazorca, número de mazorcas por planta, número de hileras por mazorca, número de granos por mazorca, peso de mazorca con tusa. Y finalmente, el rendimiento por hectárea (Cedeño *et al.*, 2018). Considerando el rendimiento de cada parcela (regla de tres simple) determinando el peso de los granos ajustado al 13% de humedad empleando la siguiente fórmula:

$$Pu = \frac{Pa(100 - Ha)}{100 - Hd}$$

Dónde:

Pu = Peso uniformizado (kg)

Pa = Peso actual (kg)

Ha = Humedad actual (%)

Hd = Humedad deseada (%)

Resultados y discusión

Los resultados de la altura de planta a los 30 y 60 días después de la siembra mediante la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en el cultivo de maíz se describen en la Figura 1. Donde, los tratamientos que contenían inóculos con microalgas fueron comparados con el testigo (sin inóculo). Observando que, a los 30 días de muestreo no hubo diferencias significativas ($p \geq 0.084$) entre los tratamientos, no obstante, en los datos obtenidos a los 60 días se observa que los tratamientos T4 y T8, correspondientes a *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en dosis de 20 mg planta⁻¹ obtuvieron las mayores alturas (220.1 cm y 215.9 cm, respectivamente), resultados estadísticamente significativos ($p \leq 0.002$), observando una respuesta exponencial al aumentar la dosis aplicada. Nuestros resultados indican que la aplicación de microalgas permite incrementar la altura de las plantas de maíz, y concuerda con Zermeno-González *et al.* (2015), quienes realizaron la fertilización del cultivo de maíz con productos biológicos a base de algas marinas, y constataron en la primera evaluación (71 dds), que las plantas fertilizadas biológicamente fueron 17.3% más altas que las plantas sin aplicaciones; en la segunda evaluación (99 dds) la diferencia de altura fue 7.7% en las plantas con fertilización biológica. Además, nuestros resultados son similares a los reportados por Martínez *et al.* (2018), donde la biofertilización con bacterias benéficas a base de *Azospirillum brasilense* + 80-23-15 de N-P-K y *Azospirillum brasilense* + 160-46-30 de N-P-K tuvieron mayores alturas en comparación con el tratamiento control. En rangos similares a Arellano *et al.* (2013) y Arellano *et al.* (2014), con 245 - 218 cm y 283 - 178 cm respectivamente, en maíz azul sembrado en diferentes localidades y fertilizado químicamente. No obstante, nuestros resultados son menores a los reportados por Hernández-Reyes *et al.* (2019), quienes encontraron una altura de planta de 305 cm y 18.3 hojas con biofertilización a base de cianobacterias.

Referente a los días a floración, se observó que el tratamiento T4, donde se utilizó *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹, floreció en menos días con relación a los demás tratamientos, valores estadísticamente significativos ($p \leq 0.05$) (Tabla 1), encontrando un promedio de 64.55 días a floración, resultados menores a los reportados por Gutiérrez *et al.* (2004), quienes al utilizar híbridos de maíz en la Comarca Lagunera (México) obtuvieron un valor promedio de días a floración de 67.22 días. No obstante, nuestros resultados son superiores a los reportados por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009),

quienes determinaron el rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población y encontraron una floración que osciló entre 52 y 57 días. Los días a cosecha en general fueron de 125 días (Tabla 1), datos superiores a los reportados por Núñez *et al.* (2001) para híbridos de maíz en la producción de forraje verde y seco en el norte de México, cuyo mayor valor de días a cosecha fue de 108 días. Kette *et al.* (2022), en su experimento cosecharon en 117 días los híbridos de maíz tardío. En el parámetro de biomasa seca, el tratamiento T4, biofertilizado con *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹ obtuvo el mayor promedio (372 ± 9.04 g planta⁻¹), resultado estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$) (Tabla 1). Nuestros resultados son menores a los obtenidos por Zermeno-González *et al.* (2015), quienes aplicaron al cultivo de maíz fertilizantes derivados de extractos de algas marinas, donde el peso seco promedio de las plantas tratadas fue de 405.6 g planta⁻¹. Medina *et al.* (2022), indican que,

la mayor parte de la producción de biomasa depende de las características genéticas de las variedades, combinadas con factores ambientales, en este caso, la distancia entre plantas afecta la cantidad de energía lumínica que incide sobre el follaje. Así, Hernández y Soto (2013), explican que la producción de materia seca es el resultado de la eficiencia del follaje de los cultivos en captar y aprovechar la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento. No obstante, las variaciones de biomasa seca entre los híbridos de maíz pueden ser influenciadas por la cantidad de radiación solar, la habilidad de las hojas para fotosintetizar, el índice de área foliar, la arquitectura de la planta y la respiración, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo de cultivo (Medina *et al.*, 2022).

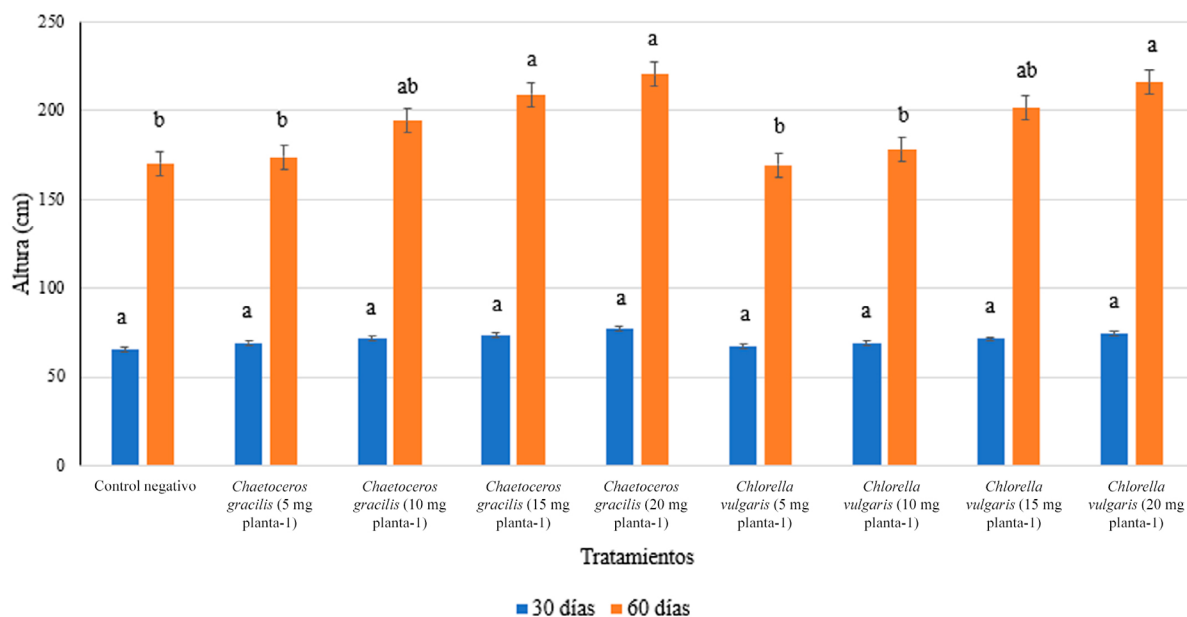


Figura 1. Altura de planta a los 30 y 60 días después de la siembra en respuesta a la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz. Medias con letra diferente en una columna para cada experimento son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$)

Tabla 1. Días a floración, días a cosecha y biomasa seca con la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz

Tratamientos	Descripción	Días a floración	Días a cosecha	Biomasa seca (g planta ⁻¹)
T0	Control negativo	66 ± 2.25a ¹	125	316 ± 4.32c ¹
T1	<i>Chaetoceros gracilis</i> (5 mg planta ⁻¹)	66 ± 2.03a	125	323 ± 7.08c
T2	<i>Chaetoceros gracilis</i> (10 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.96a	125	336 ± 5.22b
T3	<i>Chaetoceros gracilis</i> (15 mg planta ⁻¹)	64 ± 2.11a	125	348 ± 8.16b
T4	<i>Chaetoceros gracilis</i> (20 mg planta ⁻¹)	62 ± 1.25b	125	372 ± 9.04a
T5	<i>Chlorella vulgaris</i> (5 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.63a	125	319 ± 4.33c
T6	<i>Chlorella vulgaris</i> (10 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.83a	125	328 ± 5.51bc
T7	<i>Chlorella vulgaris</i> (15 mg planta ⁻¹)	65 ± 1.45a	125	337 ± 5.02b
T8	<i>Chlorella vulgaris</i> (20 mg planta ⁻¹)	63 ± 2.01ab	125	346 ± 4.16b

¹Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para $p \leq 0.05$

El tratamiento T4 donde se utilizó 20 mg planta⁻¹ de *Chaetoceros gracilis* como biofertilizante en el cultivo de maíz presentó los mejores resultados en longitud de mazorca (18.17 ± 2.02 cm), número de hileras por mazorca (17.88 ± 1.36), número de granos por mazorca (652.16 ± 58.23), peso de la mazorca con tusa (295.03 ± 8.91 g), resultados estadísticamente significativos (p≤0.05). Se obtuvo una mazorca por planta, resultado que no varió entre los tratamientos (Tabla 2).

Quiroz *et al.* (2017), encontraron que la longitud de mazorca disminuye a medida que la densidad de población aumenta, de igual manera, Mera y Montaña (2015), indican que la longitud de mazorca disminuye conforme aumenta la densidad de siembra. Nuestros resultados de longitud de mazorca son similares a los obtenidos por Díaz *et al.* (2009), quienes realizaron la evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz en dos localidades de la provincia de Los Ríos, y obtuvieron valores entre 18.41 - 15.50 cm para híbridos y 18.14 - 15.37 cm para localidades. Además, los resultados que obtuvimos en cuanto a longitud de mazorca, son superiores a los encontrados por Ayvar-Serna *et al.* (2020), quienes evaluaron la rentabilidad de sistemas

de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica (*Glomus intraradices* + *Azospirillum brasilense*) y química (N-P-K) en trópico seco, y obtuvieron valores entre 16.80 - 15.30 cm para híbridos y 16.40 - 15.50 cm para fertilización química + biológica y fertilización química. Callava (2020), manifiesta que el número de hileras por mazorca es un carácter regido principalmente por el genotipo, y es poco variable a las condiciones ambientales. Nuestros resultados se asemejan a lo reportado por Endicott *et al.* (2015), quienes indican que la mayoría de los híbridos de madurez media promedian 14, 16 o 18 hileras de granos. Aguilar *et al.* (2022), evaluaron la rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química (N-P-K) y biológica (*Rhizophagus irregularis*), y obtuvieron un número de granos por mazorca entre 578 - 447 granos, valores inferiores a los obtenidos en este trabajo. En cuanto al peso de la mazorca con tusa, nuestros resultados fueron superiores a los obtenidos por Roca (2019), quien evaluó la respuesta agronómica de tres híbridos de maíz sembrados a dos distancias, y encontró valores entre 230.53 - 187.83 g.

Tabla 2. Parámetros productivos con la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz

Tratamientos	Descripción	Longitud de mazorca (cm)	Número de mazorcas por planta	Número de hileras por mazorca	Número de granos por mazorca	Peso de mazorca con tusa (g)
T0	Control negativo	13.59 ± 1.03c ¹	1	13.23 ± 0.93c ¹	510.13 ± 24.33bc ¹	215.69 ± 3.21d ¹
T1	<i>Chaetoceros gracilis</i> (5 mg planta ⁻¹)	16.21 ± 1.39b	1	14.2 ± 1.11bc	518.71 ± 51.16b	236.89 ± 4.05c
T2	<i>Chaetoceros gracilis</i> (10 mg planta ⁻¹)	16.88 ± 1.27b	1	15.47 ± 1.24b	529.53 ± 36.12b	249.27 ± 7.11c
T3	<i>Chaetoceros gracilis</i> (15 mg planta ⁻¹)	17.62 ± 1.14ab	1	16.01 ± 1.42ab	558.44 ± 31.19b	275.55 ± 9.26b
T4	<i>Chaetoceros gracilis</i> (20 mg planta ⁻¹)	18.17 ± 2.02a	1	17.88 ± 1.36a	652.16 ± 58.23a	295.03 ± 8.91a
T5	<i>Chlorella vulgaris</i> (5 mg planta ⁻¹)	15.34 ± 1.16b	1	14.66 ± 1.02b	518.22 ± 39.66b	211.33 ± 8.04d
T6	<i>Chlorella vulgaris</i> (10 mg planta ⁻¹)	16.91 ± 1.97ab	1	15.01 ± 1.33b	541.13 ± 43.37b	222.19 ± 7.44d
T7	<i>Chlorella vulgaris</i> (15 mg planta ⁻¹)	17.03 ± 1.55ab	1	15.23 ± 0.87b	578.77 ± 32.5b	241.06 ± 6.84c
T8	<i>Chlorella vulgaris</i> (20 mg planta ⁻¹)	17.8 ± 2.19ab	1	16.02 ± 1.24ab	620.44 ± 47.01a	272.36 ± 8.33b

¹Letras iguales no difieren estadísticamente en la prueba de Tukey para p≤0.05

Tabla 3. Rendimiento (kg ha⁻¹) como resultado de la biofertilización a base de microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* en diferentes dosis en el cultivo de maíz

Tratamientos	Descripción	kg ha ⁻¹
T0	Control negativo	7,420.98
T1	<i>Chaetoceros gracilis</i> (5 mg planta ⁻¹)	7,644.62
T2	<i>Chaetoceros gracilis</i> (10 mg planta ⁻¹)	7,819.65
T3	<i>Chaetoceros gracilis</i> (15 mg planta ⁻¹)	8,093.24
T4	<i>Chaetoceros gracilis</i> (20 mg planta ⁻¹)	9,144.33
T5	<i>Chlorella vulgaris</i> (5 mg planta ⁻¹)	7,526.81
T6	<i>Chlorella vulgaris</i> (10 mg planta ⁻¹)	7,728.55
T7	<i>Chlorella vulgaris</i> (15 mg planta ⁻¹)	8,373.06
T8	<i>Chlorella vulgaris</i> (20 mg planta ⁻¹)	8,977.11
Promedio general		8,080.93
Coefficiente de variación (%)		0.83

Los resultados de rendimiento indicaron que los tratamientos T4 y T8, donde se utilizó 20 mg planta⁻¹ de *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* como biofertilizante, obtuvieron los mayores rendimientos de maíz (9,144.33 kg ha⁻¹ y 8,977.11 kg ha⁻¹, respectivamente) (Tabla 3). Los resultados de rendimiento obtenidos son consistentes con los reportados por Del Carpio *et al.* (2021), quienes al utilizar aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú obtuvieron un mayor rendimiento ($79.29 \pm 7.33 \cdot 10^3$ kg ha⁻¹). De Matos Nascimento *et al.* (2020), indican que la aplicación de un biofertilizante tiene una influencia positiva en el rendimiento del cultivo de maíz. Obid *et al.* (2016), informan que aplicar un biofertilizante con microorganismos tiene un efecto significativo en el rendimiento del cultivo de maíz. Además, Panchal *et al.* (2018), reportan que aplicar un biofertilizante incrementa el rendimiento del cultivo de maíz, además ocasiona el incremento en número y peso de mazorca de maíz, asimismo el biofertilizante incrementó la población de microorganismos en torno al cultivo de maíz. Tejada *et al.* (2016), informan un incremento en el rendimiento del 17% por la aplicación de un biofertilizante al cultivo de maíz. Además, Islas-Valdez *et al.* (2017), reportan un efecto significativo en el rendimiento del cultivo de cebada al aplicar un biofertilizante obtenido a partir de residuos orgánicos. Estos resultados se deben a que las microalgas al igual que otros microorganismos utilizados como biofertilizantes contienen un gran valor nutricional (Singh *et al.*, 2016) que puede ser

aprovechado por la planta, ayudando a mejorar las variables agronómicas de los cultivos (Ao *et al.*, 2016; Umesha *et al.*, 2018).

Conclusiones

Las microalgas *Chaetoceros gracilis* y *Chlorella vulgaris* pueden ser utilizadas como biofertilizante para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), sobre todo *Chaetoceros gracilis* en dosis de 20 mg planta⁻¹ con beneficios en la mejora de las variables agronómicas y productivas del cultivo.

Agradecimientos

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por el apoyo otorgado a través del Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 9na Convocatoria, a través del proyecto “Efecto agronómico de la biofertilización edáfica a base de algas y microalgas en cultivos de hortalizas”.

Referencias bibliográficas

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A., & Ibraheem, I. (2012). Agricultural importance of algae. *African Journal of Biotechnology*, 11(54), 11648–11658. doi: 10.5897/AJB11.3983
- Aguilar, C., Arriaga, L., Cervantes, Y., Arenas-Julio, Y., & Escalante-Estrada, J. (2022). Rentabilidad y producción

- del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica. *Acta Universitaria*, 32: 1-13 doi: <https://doi.org/10.15174/au.2022.3285>
- Ao, A., So, O., & Oe, O. (2016). Effect of cow dung on soil physical properties, growth and yield of maize (*Zea mays*) in a tropical Alfisol. *Scientia Agriculturae*, 15(2), 374-379. doi: 10.15192/PSCP.SA.2016.15.2.374379
- Arellano, J., Rojas, I., & Gutiérrez, G. (2013). Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México: potencial agronómico y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(7), 999-1011.
- Arellano, J., Rojas, I., & Gutiérrez, G. (2014). Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1469-1480.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Barclay, W., & Apt, K. (2013). Strategies for Bioprospecting Microalgae for Potential Commercial Applications. En: *Handbook of Microalgal Culture*, Oxford: John Wiley Sons, Ltd. p. 69. doi: 10.1002/9781118567166.ch4
- Borowitzka, M. (2018). Biology of Microalgae. En: Ira A. Levine, Joël Fleurence. *Microalgae in Health and Disease Prevention*, Academic Press. p. 23. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7>
- Callava, S. (2020). Caracterización morfológica y selección de diferentes genotipos de maíz (*Zea mays* L.) (Trabajo de Intensificación de Ingeniería Agronómica). Repositorio digital de la Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 44 p. Obtenido de <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5235>
- Cedeño, F., Cargua, J., Cedeño, J., Mendoza, J., López, G., & Cedeño, G. (2018). Aplicación foliar de micronutrientes y fitoreguladores como complemento de la fertilización edáfica en maíz amarillo duro. *La Técnica: Revista de las Agrociencias* (19): 19-30.
- De Bashan, L., Trejo, A., Huss, V., Hernandez, J., & Bashan, Y. (2008). *Chlorella sorokiniana* UTEX 2805, a heat and intense, sunlight-tolerant microalga with potential for removing ammonium from wastewater. *Bioresource Technology*, 99(11), 4980-4989. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.065>
- De la Cruz-Lázaro, E., Córdova-Orellana, H., Estrada-Botello, M., Mendoza-Palacios, J., Gómez-Vázquez, A., & Brito-Manzano, N. (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia*, 25(1), 93-98.
- Del Carpio, M., Ancco, M., Linares, A., Ancco-Loza, R., & Jimenez, H. (2021). Aguas residuales de industria láctea como alternativa sostenible para aumentar la productividad del maíz en Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(1), 26-36. doi: 10.18271/ria.2021.229
- De Matos Nascimento, A., Maciel, A., Gonçalves, J., Vieira, H., Romário de Paula, V., & Otenio, M. (2020). Biofertilizer application on corn (*Zea mays*) increases the productivity and quality of the crop without causing environmental damage. *Water, Air & Soil Pollution*, 231(8): 414. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04778-6>
- Díaz, G., Sabando, F., Zambrano, S., & Vásconez, G. (2009). Evaluación productiva y calidad del grano de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos localidades de la provincia de Los Ríos. *Ciencia y Tecnología*, 2(1), 15-23. doi: <https://doi.org/10.18779/cyt.v2i1.79>
- Endicott S., Brueland B., Keith R., Schon R., Bremer C., Farnham D., *et al.* (2015). Maíz: crecimiento y desarrollo. Iowa, Estados Unidos: Pioneer, p. 20. Obtenido de https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- Faruque, M., Mohammed, K., Hossain, M., & Razzak, S. (2020). Simultaneous biological nutrient removal from municipal wastewater and CO₂-biofixation using *Chlorella kessleri*. *Research Square*: 1-20. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-41636/v1>
- García-Orellana, Y., Soto, G., Tafur, V., Simbaña, A., Tello, E., & Brito, J. (2016). Efecto de un Fertilizante Orgánico Microalgal en la Germinación y Crecimiento de Plántulas de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 34: 33-39.
- Gómez-Luna, L., Tormos-Cedeño, L., & Ortega-Díaz, Y. (2022). Cultivo y aplicaciones de *Chlorella vulgaris*: principales tendencias y potencialidades en la agricultura. *Tecnología Química*, 42(1), 70-93.
- Gutiérrez, E., Espinoza, A., Palomo, A., Lozano, J., & Antuna, O. (2004). Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(Es1), 7-11.
- Grageda-Cabrera, O., González-Figueroa, S., Vera-Núñez, J., Aguirre-Medina, J., & Peña-Cabriaes, J. (2018). Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 281-289. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1071>
- Hernández, N., & Soto, F. (2013). Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 24-29.
- Hernández-Reyes, B., Rodríguez-Palacio, M., Castilla-Hernández, P., Sánchez-Robles, J., Vela-Correa, G., & Schettino-Bermúdez, B. (2019). Uso potencial de

- cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la Ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 10(1), 13-27.
- Islas-Valdez, S., Lucho-Constantino, C., Beltrán-Hernández, R., Gómez-Mercado, R., Vázquez-Rodríguez, G., Herrera, J., & Jiménez-González, A. (2017). Effectiveness of rabbit manure biofertilizer in barley crop yield. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(33), 25731-25740. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5665-2>
- Kette, L., Maceda, N., Kloster, N., Pérez, M., Fernández, R., & Quiroga, A. (2022). Efecto de los cultivos de cobertura en tres momentos de secado sobre uso consuntivo del agua, dinámica de nitrógeno y el rendimiento del cultivo de maíz tardío. *Semiárida*, 32(1), 41-52. doi: [https://doi.org/10.19137/semiárida.2022\(01\).41-52](https://doi.org/10.19137/semiárida.2022(01).41-52)
- Lourenco, S., Barbarino, E., Mancini-Filho, J., Schinke, K., & Aida, E. (2002). Effects of different nitrogen sources on the growth and biochemical profile of 10 marine microalgae in batch culture: an evaluation for aquaculture. *Phycologia*, 41(2), 158-168. doi: [10.2216/i0031-8884-41-2-158.1](https://doi.org/10.2216/i0031-8884-41-2-158.1)
- MAG. (2021). Maíz (en línea, sitio web). Consultado 8 oct. 2022. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/maiz>
- Marks, E., Miñón, J., Pascual, A., Montero, O., Navas, L., & Rad, C. (2017). Application of a microalgal slurry to soil stimulates heterotrophic activity and promotes bacterial growth. *Science of the Total Environment*, 605-606: 610-617. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.169>
- Martínez, L., Aguilar, C., Carcaño, M., Galdámez, J., Gutiérrez, A., Morales, J., Martínez, F., Llaven, J., & Gómez, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. *Siembra*, 5(1), 26-37. doi: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425>
- Medina, M., Arrieta, B., Jiménez, V., & Pérez, K. (2022). Topological arrangements in the intercropping of maize and bean in the state of Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 2(1), 45-57. doi: [10.5154/r.rchsat.2022.02.04](https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2022.02.04)
- Mera, A., & Montaña, C. (2015). Evaluación de arreglos espaciales y densidades poblacionales en híbridos de maíz comercial en zonas de bosque tropical seco durante la época lluviosa (Tesis de Ingeniería Agrícola y Biológica). Repositorio digital de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 71 p. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89284/D-88081.pdf>
- Núñez, G., Faz, R., Tovar, M., & Zavala, A. (2001). Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Técnica Pecuaria en México*, 39(2), 77-88.
- Obid, S., Idris, A., & Ahmed, B. (2016). Effect of Bio-fertilizer on Growth and Yield of Two Maize (*Zea mays* L.) Cultivars at Shambat, Sudan. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 3(4), 313-317. doi: [10.21276/sjavs.2016.3.4.9](https://doi.org/10.21276/sjavs.2016.3.4.9)
- Panchal, B., Patel, V., Patel, K., & Khimani, R. (2018). Effect of Biofertilizers, Organic Manures and Chemical Fertilizers on Microbial Population, Yield and Yield Attributes and Quality of Sweetcorn (*Zea mays* L., saccharata) cv. Madhuri. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(09), 2423-2431. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.301>
- Panta, R., Macay, A., Moncayo, E., & Vélez, J. (2016). Crecimiento de las microalgas *Chaetoceros gracilis* e *Isochrysis galbana* con fertilizantes agrícolas, en laboratorio. *La Técnica*, (16): 44-55.
- Park, Y., Je, KW., Lee, K., et al. (2007). Growth promotion of *Chlorella ellipsoidea* by co-inoculation with *Brevundimonas* sp. isolated from the microalga. *Hydrobiologia*, 598(1), 219-228. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9152-8>
- Producción Agrícola Mundial.com (2022). Producción Mundial de Maíz 2022/2023. Boletín informativo (en línea, sitio web). Consultado 8 oct. 2022. Obtenido de <http://www.produccionagricolamundial.com/cultivos/maiz.aspx>
- Quiroz, J., Pérez, D., González, A., Rubí, M., Gutiérrez, F., Franco, J., & Ramírez, J. (2017). Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1521-1535.
- Roca, C. (2019). Respuesta agronómica de tres híbridos de maíz sembrados a dos distancias en la parroquia La Esperanza del cantón Quevedo (Tesis de Ingeniería Agronómica). Repositorio digital de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 88 p. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3631>
- Sánchez, E., Castañeda, D., Baez, A., & Morales, Y. (2021). Rizobacterias para el mejoramiento del cultivo de maíz (*Zea mays*). Una tecnología prometedora para la producción de maíces criollos. *Revista Alianzas y Tendencias BUAP (AyTBUAP)*, 6(23):72-92. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5501662>
- Simón, M., & Golik, S. (2018). Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química. En: *Cereales de verano*, Argentina, Editorial de la Universidad de La Plata. p. 10. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Maria-Simon-8/publication/346045854_cereales_de_verano_2018/links/5fb83e7f299bf104cf6556e4/cereales-de-verano-2018.pdf#page=10
- Singh, M., Dotaniya, M., Mishra, A., Dotaniya, C., Regar, K., & Lata, M. (2016). Role of biofertilizers in conservation agriculture. En: *Conservation Agriculture: An Approach to Combat Climate Change in Indian Himalaya*, Springer,

- Singapore. p. 113. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-2558-7_4
- Tejada, M., Rodríguez-Morgado, B., Gómez, I., Franco-Andreu, L., Benítez, C., & Parrado, J. (2016). Use of biofertilizers obtained from sewage sludges on maize yield. *European Journal of Agronomy*, 78: 13-19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.014>
- Tripathi, R., Dwivedi, S., Shukla, M., Mishra, S., Srivastava, S., Singh, R., Rai, U., & Gupta, D. (2008). Role of blue green algae biofertilizer in ameliorating the nitrogen demand and fly-ash stress to the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Chemosphere*, 70(10), 1919–1929. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.07.038
- Umesha, S., Singh, P., & Singh, R. (2018). Microbial Biotechnology and Sustainable Agriculture. En: Ram Lakhani Singh, Sukanta Mondal. *Biotechnology for Sustainable Agriculture: Emerging Approaches and Strategies*, Woodhead Publishing. p. 185. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812160-3.00006-4>
- Vera, M. (2013). Evaluación de varios programas de fertilización edáfica en dos híbridos de maíz (2B707 y 2B604) en la zona Quevedo durante la época de verano (Tesis de Ingeniería en Horticultura y Fruticultura). Repositorio digital de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador. 100 p. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4586/1/T-UTEQ-025.pdf>
- Zermeno-González, A., Cárdenas-Palomo, J., Ramírez-Rodríguez, H., Benavides-Mendoza, A., Cadena-Zapata, M., & Campos-Magaña, S. (2015). Fertilización biológica del cultivo de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (12): 2399-2408.



Análisis estructural y condiciones abióticas del bosque seco tropical (Bs-T) del sector La Pila Vieja en el valle Sancán, Manabí, Ecuador

Structural analysis and abiotic conditions of the tropical dry forest (Fd-T) of the La Pila Vieja sector in the Sancán valley, Manabí, Ecuador

Wagner Nolasco Ramírez Huila¹, Marco Pedro Ramos Rodríguez¹, Carlos Josueph Yépez Delgado¹, Carlos Eulogio Belezaca Pinargote^{2,3}, Orfelina Rodríguez Leyva⁴

¹Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador,

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Carrera de Ingeniería Forestal, Ecuador

³Instituto Superior Tecnológico Ciudad de Valencia, Carrera de Tecnología Superior en Producción y Manejo Forestal, Ecuador,

⁴Universidad de Guantánamo, Cuba.

Autor de correspondencia: nolasco.ramirez@unesum.edu.ec

Recibido: 11/03/2023. Aceptado: 14/05/2023

Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

Los bosques secos en Ecuador son ecosistemas diversos y muy preciados, pero presionados por actividades antropogénicas que alteran su composición, estructura y dinámica. El objetivo del presente trabajo fue analizar la estructura y condiciones abióticas del bosque seco tropical del sector La Pila Vieja en el valle Sancán, Manabí, Ecuador. Se registró el diámetro y altura de individuos mayores a 5 cm en parcelas de 0.10 ha validadas por la curva área-especie; se calcularon los índices de valor de importancia ecológica, Simpson, Shannon y estructura diamétrica. Se registraron 336 individuos que pertenecen a 31 especies dentro de 28 géneros y 15 familias. Las familias con mayor número de especies fueron: Fabaceae, Boraginaceae, Rutaceae, Moraceae y Sapindaceae. Las especies de mayor importancia ecológica detectadas: *Ceiba trichistandra*, *Bursera graveolens*, *Leucaena trichoides* y *Mauria heterophylla*. Según el índice de Shannon, la diversidad fue alta (3.72). Las variables abióticas relacionadas con la abundancia de especies explicaron el ordenamiento espacial de forma satisfactoria y explicaron el 97.40% de la relación especie-variables abióticas. Las especies encontradas son representativas del bosque seco tropical con intervención antropogénica de uso selectivo y sin planificación técnica, influenciada por variables abióticas tales como: materia orgánica, pH y potasio, que condicionan su distribución.

Palabras clave: composición florística, diversidad, estructura, índice de valor de importancia, variables abióticas.

Abstract

Dry forests in Ecuador are highly valued diverse ecosystems, but under pressure from anthropogenic activities that alter their composition, structure, and dynamics. The objective of this work was to analyze the structure and abiotic conditions of the tropical dry forest of the La Pila Vieja sector in the Sancán Valley, Manabí, Ecuador. The diameter and height of individuals greater than 5 cm were recorded in plots of 0.10 ha validated by the area-species curve; The value indices of ecological importance, Simpson, Shannon, and diametric structure were calculated. 336 individuals belonging to 31 species within 28 genera and 15 families were recorded. The families with the highest number of species were: Fabaceae, Boraginaceae, Rutaceae, Moraceae and Sapindaceae. The most ecologically important species detected: *Ceiba trichistandra*, *Bursera graveolens*, *Leucaena trichoides* and *Mauria heterophylla*. According to the Shannon index, the diversity was high (3.72). The abiotic variables related to the abundance of species explained the spatial arrangement satisfactorily and explained 97,40% of the species-abiotic variable relationship. The species found are representative of the tropical dry forest with anthropogenic intervention of selective use and without technical planning, influenced by abiotic variables such as: organic matter, pH and potassium, which condition their distribution.

Keywords: floristic composition, diversity, structure, abiotic variables, importance value index.

Parámetros estructurales

Para determinar qué tan importante es una especie dentro de la comunidad se calculó el índice de valor de importancia (IVI), el cual relaciona la densidad absoluta (D), densidad relativa (DR), frecuencia relativa (FR) y dominancia relativa (DmR), aplicando las fórmulas planteadas por Aguirre (2019).

$$\text{Densidad absoluta (D)} = \frac{\text{Nº total de individuos por especie}}{\text{Total de área muestreada}}$$

$$\text{Densidad relativa (DR)\%} = \frac{\text{Nº de individuos por especie}}{\text{Nº total de individuos}} \times 100$$

$$\text{Dominancia relativa (DmR)\%} = \frac{\text{Área basal de la especie}}{\text{Área basal de todas las especies}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia relativa (Fr)\%} = \frac{\text{Nº de cuadrantes en que esta la especie}}{\text{Número total de cuadrantes evaluados}} \times 100$$

$$\text{Índice valor de importancia (IVI)\%} = \frac{\text{DR} + \text{DmR} + \text{Fr}}{3}$$

También se determinó la diversidad florística mediante el índice de riqueza de Shannon (H') y el índice inverso de Simpson ($1/D$), por lo cual se debe interpretar la tendencia a la diversidad con valores mayores del índice.

Para determinar la semejanza en la composición de las especies entre las seis parcelas, se aplicó un análisis con el programa BioDiversity Professional versión 2.0, mediante un algoritmo que permite analizar la similitud de las muestras a través del cálculo del porcentaje con intervalos de 0 a 100%, cuyo resultado se representa en un dendrograma de similitud-disimilitud de Bray-Curtis (Phillips *et al.*, 2016).

La estructura diamétrica del bosque se determinó considerando el número de individuos mayores a 5 cm de $D_{1,30m}$ y la pertenencia a las clases diamétricas establecidas (Aguirre, 2019).

En cada unidad de muestreo se determinaron las variables abióticas: densidad aparente, materia orgánica, pH, magnesio, calcio, fósforo y potasio. Para el efecto, por cada parcela y a una profundidad de entre 0 a 20 cm se extrajeron dos muestras de suelo de aproximadamente 1 Kg, mismas que fueron enviadas y analizadas en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP.

Con el propósito de detectar las propiedades del suelo que podrían estar influyendo en la estructura y composición de especies por parcelas, se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC), con el empleo del programa CANOCO 4.5 para Windows (Leps & Smilauer, 2003). Este análisis sirve para entender cómo la vegetación responde, simultáneamente, a factores como las variables abióticas, donde se obtiene un diagrama de ordenamiento formado por un sistema de ejes

donde se muestran las parcelas, las especies y las propiedades del suelo.

Resultados y discusión

Validación del muestreo. La curva de acumulación de especies indica que el número de parcelas muestreadas abarcó un adecuado número de individuos y especies, suficiente para demostrar la riqueza florística en el área de estudio (Figura 2), por lo que es probable que el esquema de muestreo propuesto en tiempo y espacio permitiera obtener un número significativo y representativo de las plantas arbóreas del sector La Pila Vieja.



Figura 2. Curva área/especies en el sector La Pila Vieja, Valle de Sancán, año 2016

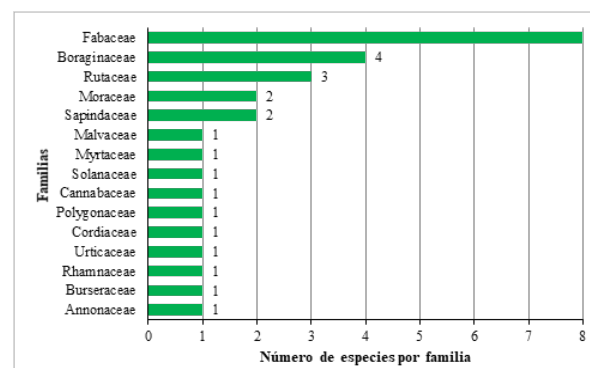


Figura 3. Familias más representadas según el número de especies en el bosque seco tropical del sector La Pila Vieja, valle de Sancán, entre los años 2016 a 2022

Composición florística

En el estudio se registraron 31 especies, 28 géneros, 15 familias y un total de 336 individuos (Tabla 1). Estos resultados son similares a los reportados por Ramírez & Ayoví (2022), quienes reportaron 31 especies, 29 géneros y 16 familias en el bosque seco del recinto Quimís. Dentro de las especies identificadas, *Clavija pungens* es clasificada como vulnerable (VU) y *Ceiba trichistandra* como de menor preocupación (LC) según el Libro Rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2020), pese a que C.

trichistandra es la especie más utilizada por las comunidades circundantes, lo cual concuerda con lo reportado por Ramírez & Ayoví (2022).

Entre las familias identificadas, las más abundantes fueron Fabaceae, Boraginaceae y Rutaceae, seguidas de Moraceae y Sapindaceae. El resto de las familias estuvieron representadas por una sola especie (Figura 3), resultados semejantes a los reportados por Ramírez & Ayoví (2022), quienes indican que

la familia Fabaceae es la de mayor diversidad de especies en el bosque seco del sector “Quimís”, valle de Sancán, cantón Jipijapa, Ecuador. Igualmente, Aguirre *et al.* (2021a) reportan a la familia Fabaceae como la más diversa, además, lo corroboran estudios de Cueva *et al.* (2019) quienes también reportan a Fabaceae como la familia más diversa del bosque seco.

Tabla 1. Especies identificadas y sus respectivas familias en el sector La Pila Vieja, valle Sancán. Año 2022

ESPECIES	Familias
<i>Ceiba trichistandra</i> (A. Gray) Bakn	Bombacaceae
<i>Mauria heterophylla</i> Kunth	Anacardiaceae
<i>Cordia lutea</i> Lam	Boraginaceae
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Steaud.	Moraceae
<i>Pithecellobium excelsum</i> (Kunth.) Mart.	Fabaceae
<i>Leucaena trichoides</i> (Jacq.) Benth.	Fabaceae
<i>Sapindus saponaria</i> L.	Sapindaceae
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	Fabaceae
<i>Zanthoxylum riedelianum</i> subsp. <i>Kellermanii</i> (P. Wilson) Reynel	Rutaceae
<i>Jacquinia sprucei</i> Mez.	Primulaceae
<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	Fabaceae
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav) Oken	Boraginaceae
<i>Zanthoxylum rigidum</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Rutaceae
<i>Pseudosamanea guachapele</i> (Kunth) Harms	Fabaceae
<i>Piper aduncum</i> L.	Piperaceae
<i>Clavija pungens</i> (Roem & Schult.) Decne	Theophrastaceae
<i>Condalia microphylla</i> Perking.	Rhamnaceae
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae
<i>Albizia multiflora</i> (Kunth) Barneby & J.W. Grimes	Fabaceae
<i>Allophylus racemosus</i> Sw.	Sapindaceae
<i>Mimosa acantholoba</i> (Humb & Bonpl. ex. Willd.) Poir	Fabaceae
<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch.	Burseraceae
<i>Ximenia americana</i> L.	Olacaceae
<i>Geoffroea spinosa</i>	Fabaceae
<i>Psidium friedrichsthalianum</i> (O. Berg) Nied.	Myrtaceae
<i>Cordia</i> sp.	Boraginaceae
<i>Aegiphila laeta</i> Kunth.	Verbenaceae
<i>Casearia aculeata</i> Jacq.	Salicaceae
<i>Ziziphus thyrsoiflora</i> Benth.	Rhamnaceae
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Rutaceae
<i>Varronia cylindrostachya</i> Ruiz & Pav.	Boraginaceae

Diversidad

El índice de Simpson (1-D) presentó un valor de 0.90 para las seis parcelas. Este índice mide tanto la diversidad como la dominancia de especies; por tanto, se considera que el bosque es relativamente diverso, pero existe cierta dominancia de las especies abundantes (Morales-Salazar *et al.*, 2012). Por otra parte, el valor del índice de Shannon-Wiener ($H' = 3.72$), el cual es una medida razonable de la complejidad biológica (Mosqueda & Hurtado, 2014), indica una alta diversidad (Mora-Donjuán *et al.*, 2017) en el área de estudio; y es similar al calculado para el bosque seco tropical del sector Quimis, valle Sancán ($H' = 3.83$) por Ramírez & Ayoví (2022). Cabe mencionar que fue superior al citado para el estrato arbóreo de un remanente de bosque seco en la estación experimental Zapotepamba, Loja, Ecuador, $H' = 2.32$ (Aguirre *et al.*, 2021c).

Coefficiente de similitud

El dendrograma derivado de la matriz de similitud-disimilitud de Bray-Curtis (Figura 4) agrupa las parcelas de estudio en tres grupos. En el grupo uno se encuentra la parcela 1, el dos las parcelas 4, 5 y 6, y el tres conformado por la parcela 2 y 3. La similitud es más cercana entre la parcela cuatro y cinco (76%), mientras que la parcela uno es la que menos se parece a las otras cinco con menos del 30% de similitud, además, cabe mencionar que, si bien, ésta no fue la parcela con menos familias, sí fue uno de los sitios con menos individuos recolectados (47) entre las 15 familias.

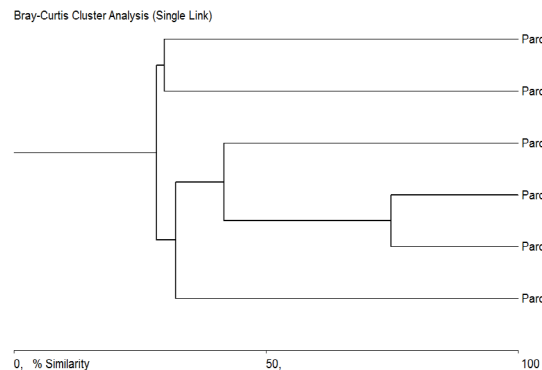


Figura 4. Dendrograma de similitud florística en el bosque seco tropical del sector La Pila Vieja, valle de Sancán

De manera general, la similitud de las parcelas del bosque seco tropical en el sector La Pila Vieja, se asemejan en más del 50%, con clara heterogeneidad y diversas especies que se desarrollan en esta zona, influenciadas por actividades antrópicas como: tala de madera para leña, carpintería y uso de productos no maderables, lo que coincide con lo encontrado por Ramírez & Ayoví (2022), en el bosque seco del recinto Quimis, Manabí, Ecuador, donde reportaron una similitud de especies de más de 50%, y la tala selectiva, la extracción de leña y de otros productos forestales no madereros, como los factores que más alteran la dinámica del bosque, así como su estructura y composición.

Estructura diamétrica

En la Figura 5 se observa que en las dos primeras clases diamétricas se encuentran la mayoría de los individuos registrados, con diámetros entre 5 y 10 cm de DAP, estas características indican que se trata de un bosque joven secundario y de individuos con un porte pequeño, y pocos se encuentran en plena madurez, lo que pone en riesgo la dispersión y perpetuación en el tiempo y el espacio de las especies del bosque seco estudiado. Este riesgo se le atribuye a la tala selectiva de especies económicamente importantes y al pastoreo excesivo de ganado caprino, lo que hace que esta particularidad tenga una “J” invertida; distribución que se corrobora con estudios realizados por Astudillo *et al.* (2019) y Aguirre *et al.* (2021b) en bosque seco del Ecuador y que mencionan que la frecuencia más alta de especies con individuos entre 5 a 10 cm de DAP, sugiere que los bosques estudiados posiblemente están en proceso de recuperación.

La tendencia de la curva de la “J” invertida también señala que la comunidad vegetal se encuentra en desarrollo hacia etapas de crecimiento y productividad más avanzadas, conforme lo afirman Mora-Donjuán *et al.* (2017), donde los abundantes individuos jóvenes van reemplazando a especímenes que se encuentran en la fase senil, confirmado por Muñoz *et al.* (2014) y Aguirre *et al.* (2018) en estudios de bosques secos del sur de Ecuador.

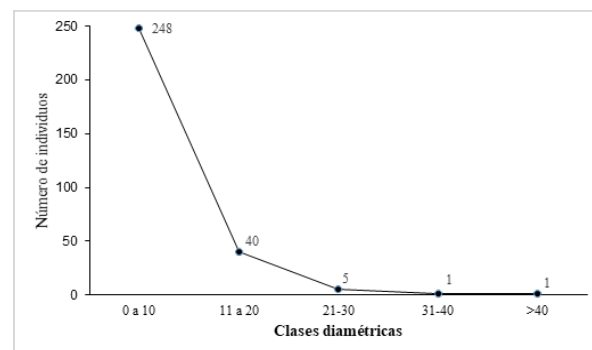


Figura 5. Estructura diamétrica del bosque seco tropical La Pila Vieja, valle Sancán, año 2022

Parámetros estructurales

Las especies con mayor presencia en el bosque fueron *L. trichoides*, *M. heterophylla* y *B. graveolens*, que también coinciden con las más abundantes. *C. trichistandra*, *M. heterophylla*, *Z. riedelianum*, *J. sprucei* y *A. multiflora* fueron las especies más frecuentes del bosque, mientras que *C. trichistandra*, *G. ulmifolia* y *L. trichoides* fueron las especies dominantes.

Las especies con mayor valor de importancia fueron *C. trichistandra* con 19.66%, *B. graveolens* con 11.36% y *L. trichoides* con 7.92% (Tabla 2), lo que coincide con lo observado por Aguirre *et al.* (2021b), quienes reportan también como especie sobresaliente a *C. trichistandra*. De la misma manera, Ramírez & Ayoví (2022) indican que *C.*

trichistandra es la de mayor importancia y que es una especie típica y característica de los bosques secos del Ecuador y Perú, en comparación con otros bosques secos del mundo.

Por otro lado, se observó que entre las especies con menor IVI se encuentran *Erythrina velutina* con 0.55% y *M. acantholoba* con 0.56%, resultados diferentes a los reportados por Aguirre *et al.* (2021b) que indican a *Gynoxys nitida*, *P. ecuadorensis* y *Meliosma arenosa* como especies con menor IVI en el bosque Huashapamba, Loja, Ecuador; mientras que en parcelas permanentes del bosque seco del sector El Tabanco, Mangahurco, Ecuador, las especies ecológicamente menos importantes son *Machaerium millei* y *Terminalia valverdae* (Aguirre *et al.*, 2021a). La diferencia encontrada posiblemente se deba al grado de intervención antrópica y madurez de la vegetación.

Relación entre especies y variables abióticas

El análisis de correspondencia canónica arrojó que el primer eje presentó un autovalor de 0.68 el cual es aceptable ya que el mismo explica la correlación multivariada entre las nuevas variables lineales creadas a partir del análisis, se obtuvo además una inercia de 1.48 siendo también aceptable, indicando que las variables abióticas relacionadas con la abundancia de las especies explican el ordenamiento espacial de forma satisfactoria (Valdés *et al.*, 2020). El conjunto de ejes explica el 97.40 % de la relación especie-variables abióticas y el 13.40 % de la varianza de especies, lo que indica un gradiente fuerte. Para datos ecológicos el valor de inercia es típicamente bajo (menor 10%), especialmente cuando se presentan gradientes fuertes (Mosqueda & Hurtado, 2014). El resultado obtenido es superior al encontrado por Jiménez *et al.* (2021), en aplicaciones de análisis multivariantes, pues con una inercia de 2.55 explicó el 23.70 % de la variabilidad mediante el conjunto de dichos ejes, y similar a lo obtenido por Valdés *et al.* (2020), que con una inercia de 3.07 explicó el 74.40 % de dichos ejes.

En el diagrama de ordenación se aprecia que existe correspondencia entre la distribución de las especies y las variables abióticas estudiadas (Figura 6). El extremo positivo del eje 1 describe un aumento de potasio, pH y calcio, y para el eje negativo la materia orgánica y el magnesio, por su parte, el eje 2 describe un aumento de la densidad aparente hacia su extremo positivo. El eje 3 no resulta bien definido, mientras que el eje 4 describe para el eje negativo el fósforo. Se observa que las especies *Z. fagara*, *P. friedrichsthalianum*, *B. graveolens*, *V. cylindrostachya* y *Cordia* sp. están asociadas a aquellos sitios de mayor materia orgánica y magnesio, que se corresponden con las parcelas cuatro y cinco (todas relacionadas con el eje 1).

Leyenda: DA (Densidad aparente), Mg (Magnesio), M.O (Materia orgánica), Ca (Calcio), P (Fósforo) K (Potasio), *C. trich* (*Ceiba trichistandra*), *M. heter* (*Mauria heterophylla*), *C. lutea* (*Cordia lutea*), *M. tinct* (*Maclura tinctoria*), *P. excel* (*Pithecellobium excelsum*), *L. trich* (*Leucaena trichoides*), *S. sapon* (*Sapindus saponaria*), *E. velut* (*Erythrina velutina*),

Z. riede (*Zanthoxylum riedelianum*), *J. spruc* (*Jacquinia sprucei*), *P. julif* (*Prosopis juliflora*), *C. allio* (*Cordia alliodora*), *Z. rigid* (*Zanthoxylum rigidum*), *P. guach* (*Pseudosamanea guachapele*), *P. adumc* (*Piper adumcunum*), *C. punge* (*Clavija pungens*), *C. macro* (*Condalia macrophylla*), *G. ulmif* (*Guazuma ulmifolia*), *A. multi* (*Albizia multiflora*), *A. racem* (*Allophylus racemosus*), *M. acant* (*Mimosa acantholoba*), *B. grave* (*Bursera graveolens*), *X. ameri* (*Ximenia americana*), *G. apino* (*Geoffroea spinosa*), *P. fried* (*Psidium friedrichsthalianum*), *Cordia* sp. (*Cordia* sp.), *A. laeta* (*Aegiphila laeta*), *C. acule* (*Casearia aculeate*), *Z. thyrs* (*Ziziphus thyrsoflora*), *Z. fagar* (*Zanthoxylum fagara*), *V. cylin* (*Varronia cylindrostachya*).

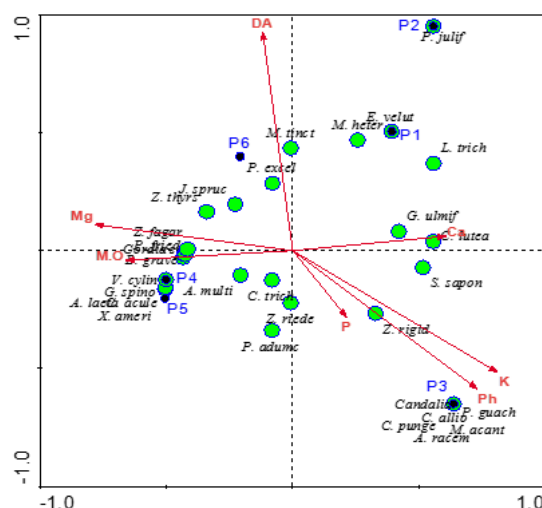


Figura 6. Proyección de las variables abióticas, parcelas y especies del análisis de correspondencia canónica en relación con los ejes ACC1 y ACC2

Las especies *G. ulmifolia*, *C. lutea* y *Sapindus saponaria* presentaron asociación con el Ca, así mismo *M. tinctoria* y *P. excelsum* estuvieron asociadas con la densidad aparente que se corresponden con la parcela seis. Por otra parte, las especies *P. guachapele*, *C. alliodora*, *M. acantholoba*, *A. racemosus*, *Z. rigidum* y *C. pungens* se asociaron con el pH, fósforo y potasio. Estos resultados son similares a los encontrados por Valdés *et al.* (2020), quienes reportaron en bosques semidecíduos sobre suelos arenosos de la Llanura Sur Occidental de Pinar del Río relación del ordenamiento de las parcelas y las especies con las variables de suelo y con Vistin-Guamantaqui & Espinoza (2021) en el Bosque Siempreverde Montano Alto del Parque Nacional Sangay-Ecuador, mientras que discrepa con lo encontrado por Zuñe da Silva *et al.* (2021), en el bosque estacionalmente seco de llanura en el Refugio de Vida Silvestre "Laquipampa", Perú, donde el efecto de las variables edáficas no fue significativo en la distribución y presencia de especies y por tanto en el ordenamiento de las parcelas.

Tabla 2. Parámetros estructurales de 10 especies principales del componente arbóreo del bosque seco tropical del sector La Pila Vieja, valle Sancán. Año 2022

Especie	AA	AR (%)	FA	FR (%)	DA	DR (%)	IVIE al 100 %
<i>Ceiba trichistandra</i>	6	1.79	4	5.48	17.34	52.31	19.86
<i>Bursera graveolens</i>	45	13.40	3	4.11	5.48	16.54	11.36
<i>Leucaena trichoides</i>	51	15.20	3	4.11	1.49	4.49	7.92
<i>Mauria heterophylla</i>	48	14.30	4	5.48	0.40	1.20	6.99
<i>Jacquinia sprucei</i>	30	8.93	4	5.48	0.60	1.82	5.41
<i>Guazuma ulmifolia</i>	10	2.98	4	5.48	2.14	6.46	4.97
<i>Zanthoxylum rigidum</i>	13	3.87	4	5.48	0.20	0.63	3.32
<i>Cordia lutea</i>	12	3.57	3	4.11	0.71	2.15	3.28
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	17	5.06	3	4.11	0.11	0.33	3.17
<i>Albizia multiflora</i>	7	2.08	4	5.48	0.37	1.12	2.90

AA: Abundancia Absoluta, AR: Abundancia Relativa, FA: Frecuencia Absoluta, FR: Frecuencia Relativa, DA: Dominancia Absoluta, DR: Dominancia Relativa, IVIE: Índice de valor de importancia ecológica.

Del análisis de correspondencia canónica se confirma que las especies están fuertemente correlacionadas con las variables abióticas dada su cercanía al centro de gravedad del sistema cartesiano y sus vectores, lo cual es un indicador de la estructura del bosque, coincidiendo con trabajos como los realizados por Mosqueda & Hurtado (2014) y Vistín-Guamantaqui & Espinoza (2021) quienes observaron una alta relación entre el pH y la materia orgánica, los cuales influyeron en la distribución espacial de la vegetación.

Conclusiones

El bosque seco del sector La Pila Vieja en el valle Sancán, actualmente presenta una diversidad florística alta, con familias botánicas muy diversas, entre las que se destacan Fabaceae, Boraginaceae, Rutaceae, Moraceae y Sapindaceae, con especies arbóreas endémicas típicas de ecosistemas secos, como *C. trichistandra*, *B. graveolens* y *L. trichoides* que actuarían como indicadores ecológicos importantes para la conservación de este tipo de bosques. La flora de este bosque responde a variaciones en los factores abióticos como la densidad aparente del suelo, contenidos de materia orgánica, pH y concentraciones de potasio, contribuyendo ecológicamente a la segregación y distribución de las especies vegetales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las personas que integraron el proyecto “Caracterización arbórea del bosque seco tropical y el impacto económico en la población del valle Sancán” de donde fueron generados los resultados. También agradecen a la Universidad Estatal del Sur de Manabí por financiar el proyecto. Igualmente agradecen a la comuna Sancán y

sus presidentes Sr. Franklin León Figueroa e Ing. Mauricio Leonel Lourido Choez, que han permitido y permiten trabajar en su territorio además de apoyar en el levantamiento de información de campo.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, Z., Betancourt, Y., Geada, G. y Jasen, H. (2013). Composición Florística, estructura de los bosques secos y su gestión para el desarrollo de la provincia de Loja, Ecuador. *Revista Avance*, 15(2): 144-155. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5350870>
- Aguirre, Z., Celi, H. y Herrera, C. (2018). Estructura y composición florística del bosque siempreverde montano bajo de la parroquia San Andrés, cantón Chinchipe, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(3): 923-938. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25306>
- Aguirre, Z. (2019). *Métodos para medir la Biodiversidad* (1ra). Universidad Nacional de Loja, Ecuador. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Aguirre, Z., Aponte, C. y Quizhpe, W. (2021a). Bosque seco de la parroquia Mangahurco, Zapotillo, Loja, estudio de su composición florística, estructura y endemismo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5): 7178-7199. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i5.838
- Aguirre, Z., Cango, L. y Quizhpe, W. (2021b). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso del bosque Huashapamba, Loja, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(1): 1-16. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/670>
- Aguirre, Z., Valarezo, M. C., Díaz, M. y Pacheco, E. (2021c). Composición florística y estructura de un remanente de

- bosque seco en la Estación Experimental Zapotepamba, Loja, Ecuador. *Revista Bosques Latitud Cero*, 11(1): 97-112. <https://revistasunl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/877>
- Astudillo, E., Pérez, J., Troccoli, L. y Aponte, H. (2019). Composición, estructura y diversidad vegetal de la reserva Ecológica Comunal Loma Alta, Santa Elena, Ecuador. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90, 1-25. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2871>
- Cueva, E., Lozano, D. y Yaguana, C. (2019). Efecto de la gradiente altitudinal sobre la composición florística, estructura y biomasa arbórea del bosque seco andino, Loja, Ecuador. *Bosque*, 40(3): 365-379. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000300365>
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/es>
- Jiménez, A., Cedeño, M. J., Vera, L. M. y Rosete, S. (2021). Caracterización de las especies melíferas en el bosque seco tropical orientado a su conservación. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(3): 377-394. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/701>
- Leps, J. y Smilauer, P. (2003). *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. https://www.researchgate.net/publication/233773728_Multivariate_analysis_of_ecological_data_Using_CANOCO
- Maldonado, O., Herrera, C., Gaona, T. y Aguirre, Z. (2018). Estructura y composición florística de un bosque siempreverde montano bajo en Palanda, Zamora Chinchipe, Ecuador. *Arnaldoa*, 25(2): 615-630. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25216>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito. Ministerio del Ambiente. Bosques protectores. <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/content/bosques-protectores>
- Mora-Donjuán, C.A., Burbano-Vargas, O.N., Méndez-Osorio, C. y Castro-Rojas, D.F. (2017). Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un Bosque de Encino (*Quercus L.*) en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(35): 68-75. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i35.3154>
- Morales-Salazar, M., Vilchez-Alvarado, B., Chazdon, L., Ortega-Gutiérrez, M., Ortiz-Malavasi, E. y Guevara-Bonilla, M. (2012). Diversidad y estructura horizontal en los bosques tropicales del Corredor Biológico de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(23): 19-28. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i23.487>
- Muñoz, J., Erazo, S. y Armijos, D. (2014). Composición florística y estructura del bosque seco de la quinta experimental El Chilco en el suroccidente del Ecuador. *Cedamaz*, 4(1): 53-61. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/238>
- Phillips, O., Baker, T., Feldpausch, T. y Brien, R. (2016). *Manual de Campo para el Establecimiento y la Remedición de Parcelas*. RAINFOR. Perú. https://forestplots.net/upload/es/recursos/RAINFOR_field_manual_ES.pdf
- Ramírez, W. y Ayoví, N. E. (2022). Estructura y composición arbórea del bosque seco tropical en el valle Sancán, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(2): 169-181. <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/748>
- Stephenson, N. L., Mantgem, P. J., Bunn, A. G., Bruner, H., Harmon, M. E., O'Connell, K. B., Urban, D. L. y Franklin, J. F. (2011). Causes and implications of the correlation between forest productivity and tree mortality rates. *Ecological Monographs*, 81(4): 527-555. <https://doi.org/10.1890/10-1077.1>
- Valdés, A., Barrero, H. y Rivera, C. (2020). Caracterización ecológica del bosque semideciduo sobre arenas blancas del Sur de Pinar del Río, Cuba. *Foresta Veracruzana*, 22(2): 18-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49766661004>
- Vistín-Guamantaquí, D. y Espinoza, D. D. (2021). Estructura y diversidad de especies arbóreas del Bosque Siempreverde Montano Alto del Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista Científica Dominio de la Ciencia*, 7(6): 7178-7199. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2401>
- Zuñe da Silva, F., Dávila, D. C., Rojas, C. y Delgado, G. E. (2021). Estructura y biomasa arbórea del Refugio de Vida Silvestre Laquipampa, Lambayeque, Perú. *Paubrasilia*, 4:e0055. <http://dx.doi.org/10.33447/paubrasilia.2021.e0055>



Indicadores de viabilidade, produção e comerciais para o fishburger de resíduos de mapará

Viability, production, and commercial indicators for fishburger from mapará residuals

Ellen Kaline Miranda de Figueiredo¹, Ana Rízia Nascimento Marinho¹, Mila Katrielle de Sousa Marinho¹, Waldinete de Fátima Freitas Lobato¹, Hérlon Mota Atayde¹

¹Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Santarém, Pará, Brasil,

Autor de correspondencia: herlon.atayde@ufopa.edu.br

Recibido: 20/11/2022. Aceptado: 29/05/2023

Publicado el 30 de junio de 2023

Resumo

O objetivo dessa pesquisa foi verificar os índices microbiológicos e de rendimentos, perfil de atributos sensoriais, aceitabilidade e intenção de compra de hambúrgueres obtidos a partir de resíduos do peixe mapará (*Hypophthalmus* spp.) oriundos de frigoríficos de Santarém – Pará – Brasil. A carne aderida nas espinhas e pele (resíduos) foi extraída manualmente e a pasta obtida foi submetida a lavagens com água clorada em diferentes pH's (4,2; 5,2; 6,2 e 7,2) previamente ajustados. Depois, foi suplementada com diversos ingredientes e moldada em formato circular (80 g), resultando no hambúrguer, o qual foi submetido à caracterização microbiológica (indicador de viabilidade) e determinação de rendimentos (em triturado não lavado, triturado lavado e hambúrguer - indicadores de produção). A análise sensorial conduzida por 70 julgadores não-treinados verificou o perfil de atributos e a aceitação dos hambúrgueres (indicadores comerciais). O maior rendimento foi obtido com água pH 7,2 e os índices microbiológicos indicam o produto como adequado ao consumo humano. Sensorialmente, todos os hambúrgueres obtiveram qualificação “gostei”. Mesmo que o pH da água tenha influenciado nas características sensoriais do fishburger, ainda se recomenda o pH neutro devido ao maior rendimento e para adequação à norma brasileira vigente. Assim, a viabilidade do aproveitamento dos resíduos de mapará para produção de fishburger é expressiva devido à positiva tendência de mercado, à segurança para a saúde do consumidor, potenciais baixo custo de produção e alto índice de agregação de valor.

Palavras-chave: hambúrguer, restos, tecnologia, pescado, peixe, *Hypophthalmus*.

Abstract

The purpose of this research was to verify microbiological and yield indexes, sensorial attributes profile, acceptability and buy intention of fishburgers from residuals of mapará (*Hypophthalmus* spp.) from the fishery industry of Santarém – Pará – Brazil. The meat adhered to spines and skins (residuals) were extracted manually and this minced fish was submitted to washes using chlorinated water with pH (4.2; 5.2; 6.2 and 7.2) previously adjusted. Later, this minced fish was supplemented with various ingredients and shaped in circular format (80 g), resulting on fishburger, that was submitted to microbiological characterization (viability indicator) and yield determinations (on unwashed minced fish, washed minced fish and hamburger – production indicators). The sensory analysis by 70 untrained judges verified the attributes profile and acceptation of fishburgers (commercial indicators). The bigger yield was obtained with water pH 7.2 and the microbiological indexes pointed the fishburger as adequate for human consumption. Sensorially, all the fishburgers obtained “I liked” as qualification. Although the water pH influenced on sensorial characteristics of fishburgers, is still recommended the neutral pH due the bigger yield and for adequation to actual Brazilian legislation. So, the viability of using mapará residuals for fishburger production is expressive due the positive tendence on the market, the security to consumer's health, potentials low cost of production and high index of the monetary aggregation.

Keywords: hamburg, remains, technology, aquafood, fish, *Hypophthalmus*.

Introdução

O mapará (*Hypophthalmus* spp.) é um peixe da ordem Siluriformes, de porte médio, pertencente à família sul-americana Pimelodidae e está presente nas águas costeiras do Pará (foz do Amazonas) até o Suriname (Ferreira, 2012). São peixes de menor importância comercial no mercado de Santarém – Pará, mas de grande interesse para a produção de filé pelas indústrias frigoríficas locais e consumidores das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Costa *et al.*, 2010).



Figura 1. Mapará (*Hypophthalmus* spp.) inteiro, cortesia de Antônio Fábio Lopes de Souza

A atual destinação dos resíduos de peixe é uma problemática real que tem implicações ambientais e econômicas importantes porque, quando inadequadamente descartados, ocasionam sérios impactos, como exemplo a contaminação do ar, do solo e dos corpos hídricos, além da relação com a ocorrência de enfermidades, sendo, portanto, uma relevante questão de saúde pública (Palmeira *et al.*, 2014).

A crescente demanda por pescado, impulsionada pelo crescimento populacional e pela busca de alimentos saudáveis associada à preservação ambiental, acarreta a busca por alternativas de aproveitamento dos seus resíduos (Chalamaiah *et al.*, 2012).

Nos frigoríficos há muita perda de proteína pois cerca de 60% a 70% do peixe submetido à filetagem industrial é descartado. Cerca de 68% desses resíduos, dependendo da região geográfica, são destinados para as indústrias de farinha de pescado, enquanto os demais 23% são encaminhados para aterros sanitários e 9% são despejados diretamente em rios (Rebouças *et al.*, 2012). Na região Norte do Brasil há poucas indústrias de farinha de pescado, fato que sugere maior descarte desses resíduos na natureza.

Quando os equipamentos estão indisponíveis para obtenção da carne mecanicamente separada (CMS) de carcaças de peixe, manualmente é possível extrair um produto similar - o triturado (Hall, 2010), também passível de utilização para fins alimentícios humanos.

Na produção de derivados da CMS ou do triturado, como exemplo o fishburger, a lavagem com água tratada é importante para remoção de sangue e outras sujidades. Porém, em Santarém – Pará, o sistema de abastecimento de água (inclusive o poço artesiano) geralmente fornece seu produto com marcada acidez (Bentes *et al.*, 2020), contrariando a Portaria GM/MS nº 88, de 4 de maio de 2021 (Brasil, 2021). A influência dessa característica de água na produção do triturado de peixe e derivados necessita ser apontada.

Nesse estudo foram determinados os indicadores de viabilidade, produção e comerciais de fishburgueres elaborados a partir do triturado de resíduos de mapará oriundos de unidades frigoríficas locais, para indicar ao empreendedor a possibilidade da utilização desse derivado alimentício como alternativa de renda.

Materiais e métodos

Amostras

Resíduos do fileteamento de mapará (*Hypophthalmus* spp.) – constituídos por cabeça e coluna e demais ossos contendo massa muscular aderida (Figura 2) – foram adquiridos em frigorífico de pescado sediado na cidade de Santarém e levados ao Laboratório de Ensino Multidisciplinar de Recursos Aquáticos, do Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, da Universidade Federal do Oeste do Pará.



Figura 2. Resíduos descongelados do fileteamento de mapará (*Hypophthalmus* spp.)

Esses resíduos foram submetidos à análise sensorial de frescor, com base nas características de peixe fresco preconizadas pelo decreto que dispõe sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (Brasil, 2017 e alterações), sendo admitidos para o processo posterior somente os exemplares que apresentaram essa massa muscular aderida com cor desde levemente esbranquiçada a levemente rosada, com poucas zonas hemorrágicas, sangue de coloração vermelho claro e odor suave. Resíduos que não apresentaram tais características foram desprezados como amostra, conforme o procedimento adotado por Caldas *et al.* (2018).

Obtenção do triturado de resíduos de mapará

O resíduo foi quantificado antes da extração da carne, efetuada com auxílio de instrumentos perfurocortantes. Esse extrato cárneo foi então denominado triturado não-lavado de mapará, que foi submetido à pesagem e posteriormente foi levada ao congelador, para conservação até o momento das lavagens.

Produção do triturado lavado

Conforme Pereira (2016), o triturado não-lavado foi primeiro passado por moedor industrial, depois foi submetido a diferentes quantidades de lavagem (1, 2, 3 e 4), usando água

tratada com pH previamente ajustado aos índices 4.2; 5.2; 6.2 e 7.2. Para a lavagem, esse triturado foi imerso em água fria (10 ± 1 °C), na proporção 1:3:1 (triturado não-lavado: água tratada: gelo, respectivamente), e essa mistura foi agitada por 3 minutos e deixada decantar por mais 5 minutos, para facilitar a separação dos elementos ali contidos. A parte sólida – o triturado lavado de mapará – foi retida por filtração em peneira comercial de 1.49 mm, e teve seu peso aferido.

Indicador de produção (rendimento em triturado lavado)

Para o rendimento (R), a fórmula $R = (Pf + Pi) \times 100$ (Souza & Inhamuns, 2011) foi utilizada, onde Pf é equivalente ao peso final aferido pelo produto (triturado não-lavado ou lavado) em consideração, e Pi é o peso inicial da parte (resíduo ou triturado não-lavado) necessária para obter tal produto. Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

Preparo dos fishburgueres

Todos os triturados lavados, separados de acordo com o pH da água de lavagem utilizada em sua obtenção, foram misturados a outros ingredientes (Tabela 1), conforme Pereira (2016).

A mistura homogeneizada foi repartida em porções de 80g, moldadas em formato circular, entre filmes plásticos limpos. O produto moldado a partir dessa mistura de ingredientes foi denominado fishburguer de resíduos de mapará.

Indicadores de viabilidade (análises microbiológicas)

Para apontar a viabilidade do uso de resíduos de mapará oriundos de frigorífico local para a produção de alimento para o homem, amostras desses fishburgueres foram submetidas às contagens de coliformes totais, termotolerantes, *Escherichia coli* e de *Staphylococcus* coagulase positivo, ainda de presença/ausência de *Salmonella* em 25 gramas de produto, conforme Silva *et al.* (2021). Os resultados obtidos foram comparados aos padrões microbiológicos para alimentos estabelecidos na Instrução Normativa N° 60, de 23 de Dezembro de 2019

(Brasil, 2019).

Indicadores comerciais (análise dos atributos sensoriais, intenção de compra e aceitabilidade)

As formulações dos fishburgueres ($n = 4$, que diferiam apenas quanto ao pH da água utilizada para obtenção do triturado lavado) tiveram suas amostras submetidas à análise sensorial utilizando 70 provadores não-treinados, todos membros da comunidade acadêmica. Cada provador recebeu uma unidade analítica de cada formulação e um formulário contendo questões cujas respostas eram direcionadas por escala hedônica verbal de cinco pontos adaptada de Minim (2018).

Para a análise de atributos sensoriais, essa escala variava de “desgostei muito” até “gostei muito”, para que o provador a utilizasse como base para manifestação de suas impressões pessoais quanto a cor, ao cheiro, ao gosto e a textura de cada formulação. As notas individuais foram utilizadas para o cálculo da nota média, e esta foi considerada a aceitação global do produto que, com base na escala sensorial utilizada, foi utilizada para apontar a tendência de aceitação pelo consumidor.

Em seguida, independente do pH da água de lavagem utilizada na produção do triturado, os provadores foram questionados quanto à sua intenção de compra do fishburguer, e suas respostas foram direcionadas por escala hedônica de cinco pontos, variável entre “certamente não compraria” até “certamente compraria”, adaptada de Minim (2018). As intenções individuais foram utilizadas para o cálculo da intenção média de compra, e essa foi utilizada para apontar a tendência de compra do fishburguer caso o produto fosse disponibilizado no mercado.

A partir dos dados compilados da análise de atributos, foi calculado o índice de aceitabilidade, somando-se a quantidade de pontos positivos (gostei e gostei muito) atribuídos para cada formulação, sendo considerada aceitável aquela que atingiu índice $\geq 70\%$ (Atayde *et al.*, 2021).

Tabela 1. Ingredientes das formulações dos fishburgueres de resíduos de mapará (*Hypophthalmus* spp.)

Ingredientes	Quantidades	
	Absoluta (em g)	Relativa (em %)
Triturado lavado de peixe	1000	64.3
Amido de milho (<i>Zea mays</i>)	250	16.1
Gordura vegetal hidrogenada	200	12.9
Tempero industrial tipo Sazón*	15	1.0
Cebola (<i>Allium cepa</i>)	15	1.0
Alho (<i>Allium sativum</i>)	15	1.0
Pimenta-de-cheiro (<i>Piper nigrum</i>)	15	1.0
Coentro (<i>Coriandrum sativum</i>)	15	1.0
Cebolinha (<i>Allium schoenoprasum</i>)	15	1.0
Sal moído e iodado	15	1.0

Análise estatística

Os dados brutos foram submetidos à análise estatística descritiva e, devido a não-normalidade e não-homogeneidade desses dados, foram submetidos à análise estatística inferencial não-paramétrica (Kruskal-Wallis e post-hoc de Dunn). Em todos os testes estatísticos executados por meio do programa Past 4.03 (Hammer *et al.*, 2001) foi utilizado o índice de 5% como nível de significância.

Resultados e discussão

O rendimento em triturado não-lavado foi equivalente a 68.42% (dado não tabelado), bastante considerável pois significa que somente 31.58% dos resíduos (constituídos de cabeça, pele e ossos) do fileteamento do mapará são sólidos não facilmente aproveitáveis para consumo humano. Já para o triturado lavado, conforme observado na Tabela 2, o rendimento foi afetado pelo pH da água de lavagem.

Os pH's menores que 7.2 imprimiram menores índices de

rendimento e, portanto, não são recomendáveis para a lavagem de triturado de mapará devido influenciarem negativamente, diminuindo a quantidade de fishburger ou outro derivado a ser produzido.

Pela legislação brasileira, a água para consumo humano deve apresentar o pH entre 6.0 e 9.5 na produção de alimentação humana (Brasil, 2021) e, entre os pH's dessa faixa utilizados nesse estudo, somente o pH 7.2 apresentou rendimento satisfatório.

Particularmente para Santarém – PA, Brasil, devido os relevantes e inadequados índices de acidez comumente obtidos (Bentes *et al.*, 2020), é recomendável que as unidades produtoras de alimento monitorem e ajustem ou adquiram equipamentos automáticos para regulação do pH da água utilizada ao efetuarem a lavagem do triturado de resíduos de mapará.

Na Tabela 3 constam os índices microbiológicos dos fishburgueres de resíduos, os quais são menores que os limites máximos vigentes na legislação brasileira (Brasil, 2019).

Tabela 2. Rendimento do triturado lavado extraído de resíduos de mapará (*Hypophthalmus* spp.) em diferentes pH's da água de lavagem

Dados de rendimento	pH da água de lavagem			
	4.2	5.2	6.2	7.2
Rendimento (em g) ¹	54.44	38.40	45.75	62.03
Rendimento (em %) ²	54.4 ± 7.8 a	38.4 ± 1.4 b	45.8 ± 3.4 b	62.0 ± 11.5 a

¹produzido a partir de 100 g de triturado não-lavado; ²no formato média ± desvio-padrão e, nessa linha, letras sobrescritas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre as formulações.

Tabela 3. Índices microbiológicos dos fishburgueres de resíduos de mapará (*Hypophthalmus* spp.) em diferentes pH's da água de lavagem

pH ¹	Coliformes totais ²	Coliformes termotolerantes ²	<i>Escherichia coli</i> ³	<i>Staphylococcus</i> coagulase positiva ³	<i>Salmonella</i> em 25 g de produto ⁴
4.2	<10	<10	<10	<10	Aus
5.2	<10	<10	<10	<10	Aus
6.2	<10	<10	<10	<10	Aus
7.2	<10	<10	<10	<10	Aus
Padrões⁵	ND	ND	5x10	10 ²	Aus

¹pH da água de lavagem utilizada na produção do triturado para cada fishburger; ²quantificação em Número Mais Provável por grama de produto (NMP/g); ³quantificação em Unidades Formadoras de Colônia por grama de produto (UFC/g); ⁴Nessa coluna, Aus = ausente; ⁵estabelecidos na legislação brasileira vigente (Brasil, 2019) e ND = não estabelecido na mesma legislação.

Assim, constata-se a qualidade aceitável e a viabilidade dos resíduos de mapará na elaboração de alimentos para consumo humano, desde que provenientes de locais confiáveis, com adequado controle higiênico-sanitário, como exemplo os frigoríficos com inspeção federal.

A análise sensorial conduzida nessa pesquisa contou com a participação voluntária de 70 indivíduos não-treinados, todos membros da comunidade acadêmica da Universidade Federal do Oeste do Pará, sendo 54% de mulheres e 46% de homens, com idade variando de 18 até 48 anos (23.5 ± 5.9 e 20 anos, média $\pm$ desvio-padrão e moda, respectivamente).

Após essa análise sensorial, constatou-se também que o pH da água de lavagem não imprimiu tendência de mercado diferenciada entre as formulações, mas influenciou nas médias de aceitação de dois atributos sensoriais para a formulação pH 7.2 (Tabela 4).

Conforme os dados dessa tabela, a utilização de água com pH 7.2 acarretou mudanças estatisticamente significativas nos atributos sensoriais sabor e textura do fishburger, que receberam o menor índice médio de aceitação pelos provadores entre todos os produtos analisados. A aceitação global também foi menor e estatisticamente significativa para essa formulação de fishburger, mesmo que todos tenham apresentado “gostei” como qualificação na tendência de mercado.

Apesar desses índices, ainda se recomenda o uso da água com pH 7.2 devido sua adequação à faixa preconizada na legislação brasileira vigente (Brasil, 2021) para a produção de alimentos destinados ao consumo humano.

Quanto à intenção de compra (Figura 3), índice expressivo foi detectado para os fishburgueres dessa pesquisa – 91.43%. Significa que o potencial de venda desse produto no mercado é bastante interessante.

Tabela 4. Índices médios de aceitação por atributos sensoriais (cor, odor, sabor e textura) e geral, mais a tendência de mercado dos fishburgueres de resíduos de mapará (*Hypophthalmus spp.*) em diferentes pH's da água de lavagem

pH ¹	Cor ²	Odor ²	Sabor ²	Textura ²	Aceitação global ²	Tendência de mercado ³
4.2	3.8 a	3.9 a	4.0 a	3.7 a	3.9 a	Gostei
5.2	4.0 a	3.8 a	4.0 a	3.9 a	4.1 a	Gostei
6.2	4.1 a	4.0 a	3.7 a b	3.8 a	4.0 a	Gostei
7.2	3.9 a	3.8 a	3.3 b	3.0 b	3.7 b	Gostei

¹pH da água de lavagem utilizada na produção do triturado para cada fishburger; ²Média dos atributos sensoriais analisados;

³Conforme escala hedônica de 5 pontos utilizada nessa pesquisa; ²Em cada coluna, médias que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes pela análise inferencial aplicada.

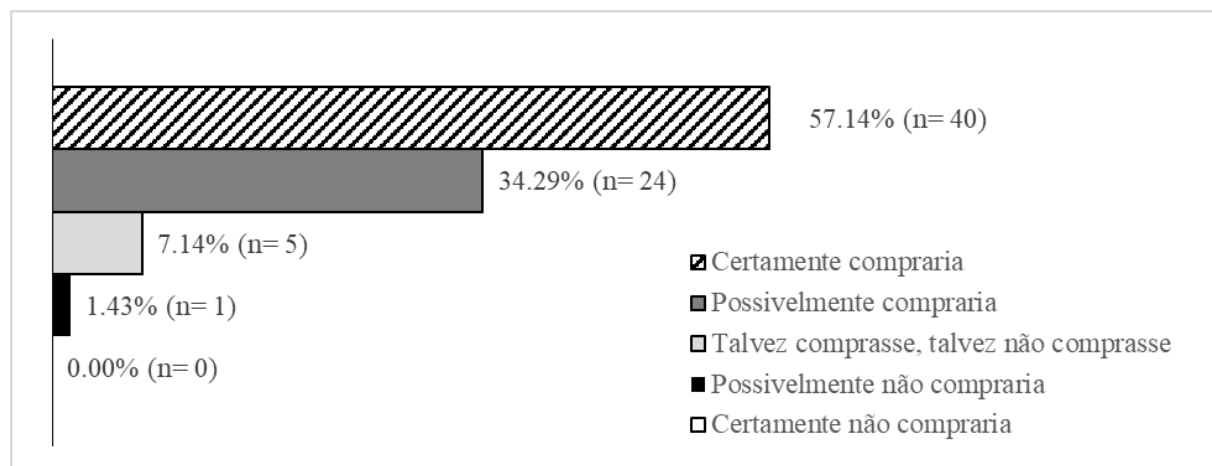


Figura 3. Intenção de compra (em percentual e em número absoluto) do fishburger de resíduos de mapará (*Hypophthalmus spp.*) por cada ponto da escala hedônica utilizada no teste

Tabela 5. p-valor da aceitação global e intenção de compra, cada um conforme a idade e sexo dos provadores, dos fishburgueres de resíduos de mapará (*Hypophthalmus* spp.) produzidos a partir de triturados em diferentes pH's da água de lavagem

pH ¹	Aceitação global vs idade ²	Aceitação global vs sexo ²	Intenção de compra ³ vs idade ²	Intenção de compra ³ vs sexo ²
4.2	0.622	0.890		
5.2	0.909	0.880		
6.2	0.358	0.042	0.817	0.235
7.2	0.309	0.458		

¹pH da água de lavagem utilizada na produção do triturado para cada fishburger; ²Em cada coluna, índices acima de 0.050 indicam diferenças estatisticamente não-significativas pela análise inferencial aplicada; ³Comparação inferencial independente do pH da água de lavagem.

Outras pesquisas com fishburgueres também demonstraram sua aceitabilidade e altos índices foram obtidos por Silva & Fernandes (2010), Amaral *et al.* (2016), Atayde *et al.* (2021), respectivamente 73%, 85% e 82%, mas um menor índice (66%) foi obtido por Sales *et al.* (2015). Apesar de cada formulação dessas pesquisas diferirem daquela utilizada nesse estudo, os índices positivos de aceitabilidade indicam que o sucesso comercial é promissor, sendo estratégica a inserção do fishburger no mercado brasileiro ou demais mercados onde ele esteja ausente.

Caso lançado no mercado, especialmente para o fishburger que utilizou triturado obtido com água de lavagem pH 7.2, as estratégias de marketing do fishburger de resíduos de mapará não devem focalizar um determinado público consumidor com base nos fatores sexo binário ou idade, pois a associação desses fatores com a aceitabilidade global e a intenção de compra não demonstrou qualquer influência estatisticamente significativa em seus resultados (Tabela 5).

Também é possível considerar a possibilidade de expressiva agregação de valor ao resíduo, pois ele é uma matéria-prima normalmente negligenciada pela indústria pesqueira e passível de venda por um preço muito barato. Assim, o provável baixo custo de produção em associação com a aceitabilidade do produto elaborado sugere interessante margem de lucro.

Conclusão

Esses resultados apontam bom rendimento para a produção de fishburger a partir de resíduos de mapará. Recomenda-se para a produção de triturado a lavagem com água em pH ajustado ao neutro (pH 7.2) devido o maior rendimento quando comparado aos demais testados nessa pesquisa. Constatou-se a viabilidade microbiológica e sensorial da matéria-prima, de produção e o potencial de mercado do fishburger elaborado a partir de resíduos.

Referências bibliográficas

- Amaral, M.T., Rodrigues, F.C., Souza, P.L. & Jimenez, É.A. 2016. Elaboração e avaliação da aceitabilidade do fishburger de acará-açu (*Lobotes surinamensis*) no mercado macapaense – AP, Brasil. Demetra: Alimentação, Nutrição & Saúde, 11(4), 965–976.
- Atayde, H.M., Amorim, É.L., Beleza, E.S., Queiroz-de-Vasconcelos, E.L. & Oliveira, M.J.M. 2021. Efeito de farinhas espessantes na aceitabilidade do fishburger de aruanã branco (*Osteoglossum bicirrhosum*). Científica, 49(2), 51.
- Bentes, V., Almeida Neto, G. & Meschede, M. 2020. Qualidade da água utilizada para consumo humano proveniente do Aquífero Alter do Chão em Santarém (Oeste do Pará) e sua relação com a saúde pública. Geochimica Brasiliensis, 34(1), 101–109.
- Brasil. 2017. Decreto nº 9013, de 29 de março de 2017. Dispõe sobre a inspeção sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União (D.O.U.) de 30 de março de 2017, 62(1): 3.
- Brasil. 2019. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece a lista de padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União (D.O.U.) de 26 de dezembro de 2019, 249(1): 133.
- Brasil. 2021. Portaria GM/MS nº 88, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União (D.O.U.) de 07 de maio de 2021, 85(1): 127.
- Caldas, K.D.P.P., Santos, P.R.B. & Atayde, H.M. 2018. Patê de peixe usando resíduos da indústria pesqueira amazônica: produção e aceitação. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 9(6), 188–198.
- Chalamaiah, M., Dinesh Kumar, B., Hemalatha, R. & Jyothirmayi, T. 2012. Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. Food Chemistry,

- 135(4), 3020–3038.
- Costa, T. V., Oshiro, L. M. Y., & Silva, E. C. 2010. The potential of the mapará *Hypophthalmus* spp. (Osteichthyes, Siluriformes) as alternative species for fish culture in Amazon. *Boletim do Instituto de Pesca*, 36(3), 165–174.
- Ferreira, E. S. 2012. Variabilidade genética, estrutura populacional e filogeografia do mapará (*Hypophthalmus marginatus* VALENCIENNES, 1840 - Pimelodidae, Siluriformes) no Estado do Pará, utilizando sequências de DNA mitocondrial. Universidade Federal do Oeste do Pará.
- Hall, G.M. 2010. Surimi and Fish Mince Products. *Fish Processing: Sustainability and New Opportunities*, 98–111.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. Past: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), art. 4.
- Minim, V.P.R. 2018. *Análise sensorial: estudos com consumidores* (4th ed.). Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.
- Palmeira, K.R., Mársico, E.T., Doro, L., Lemos, M., Teixeira, C.E., Paschoalin, V.M.F., Monteiro, M.L.G., & Conte Júnior, C.A. 2014. Quality of semi-prepared products from rainbow trout waste (*Onchorynchus mykiss*) by using different technological strategies. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 571–580.
- Pereira, E.C. 2016. Influência das lavagens no rendimento, aceitabilidade e preço mínimo do fishburger de mapará (*Hypophthalmus* spp.). Universidade Federal do Oeste do Pará.
- Rebouças, M.C., Rodrigues, M.C.P. & Castro, J.S. 2012. Biscoito salgado com adição de concentrado proteico de peixe: Desenvolvimento e aspectos sensoriais. *Alimentação e Nutrição*, 23(1), 45–50.
- Sales, P. V.G., Sales, V.H.G. & Oliveira, E.M. 2015. Avaliação sensorial de duas formulações de hambúrguer de peixe. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 17(1), 17–23.
- Silva, N., Junqueira, V.C.A., Silveira, N.F.A., Taniwaki, M.H., Gomes, R.A.R., Okazaki, M.M. & Iamanaka, B.T. 2021. *Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água* (6th Ed.) Editora Blucher, São Paulo.
- Silva, S.R. & Fernandes, E.C.S. 2010. Aproveitamento da corvina (*Argyrosomus regius*) para elaboração do fishburger. *Cadernos de Pesquisa*, 17(3), 67–70.
- Souza, A.F.L. & Inhamuns, A.J. 2011. Análise de rendimento cárneo das principais espécies de peixes comercializadas no Estado do Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 41(2), 289–296.



Alternativas agroindustriales de los tubérculos de la parroquia Rosa Zárate

Agroindustrial alternatives of the tubers of the Rosa Zarate parish

Mercy Cabrera Arrobo¹, Jonathan Arguello Cedeño¹, Karina Orellana Rodriguez¹

¹*Instituto Superior Tecnológico Quinindé, Ecuador. Autor de correspondencia: jacbrera321@gmail.com*

Recibido: 03/02/2021. Aceptado: 02/06/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

Las alternativas agroindustriales en la transformación de productos agrícolas son importantes para la generación de valor en la cadena productiva. El objetivo consistió en evidenciar los usos agroindustriales de los tubérculos como alternativa en la generación de valor agregado en los tubérculos, para cumplir con este objetivo se tomaron en consideración cuatro especies de tubérculos que se cultivan en la zona (yuca, malanga, camote y cúrcuma). Las características físicas de los productos fueron utilizadas en la evaluación de la calidad y la derivación al subproducto: harina (yuca, camote, malanga, cúrcuma), chips (yuca, camote), almidón (yuca), curcumina (cúrcuma). Los costos de producción de los rubros obtenidos permitieron establecer los precios de venta y el margen de ganancia. Los resultados indican la importancia de la producción de tubérculos en el cantón y su relación con la identidad cultural de los pequeños productores por lo cual, es necesario promover la producción de tubérculos y raíces a mayor escala para contribuir a la seguridad alimentaria, diversificar la producción y mejorar los ingresos considerando sus beneficios nutricionales y su versatilidad en la elaboración de diversos alimentos. Además, su uso sostenible y rentable de aprovechar los recursos alimentarios.

Palabras clave: seguridad alimentaria, diversificación, producción, beneficios nutricionales, recursos alimentarios.

Abstract

Agroindustrial alternatives in the transformation of Agricultural products are important for the generation of value in the production chain. The objective was to demonstrate the agroindustrial uses of tubers as an alternative in the generation of added value in tubers. To meet this objective, four species of tubers grown in the area (cassava, malanga, sweet potato and turmeric) were considered. The physical characteristics of the products were used in the evaluation of the quality and derivation to the by-product: flour (cassava, sweet potato, malanga, turmeric), chips (cassava, sweet potato), starch (cassava), curcumin (turmeric). The production costs of the items obtained made it possible to establish sales prices and profit margins. The results indicate the importance of tuber production in the canton and its relationship with the cultural identity of small producers, which is why it is necessary to promote the production of tubers and roots on a larger scale to contribute to food security, diversify production and improve income considering their nutritional benefits and versatility in the preparation of various foods. In addition, its sustainable and profitable use of food resources.

Keywords: food security, diversification, production, nutritional benefits, food resources.

Introducción

La provincia de Esmeraldas, en Ecuador, es conocida por su producción de cultivos, cultivos como la yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*), malanga (*Colocasia esculenta*) y cúrcuma (*Curcuma longa* L.), los cuales se han utilizado principalmente para autoconsumo y con una participación muy baja en el mercado nacional e internacional (Crespo, 2018). De las 138.661 hectáreas cultivadas en el cantón Quinindé, apenas 18 hectáreas, son utilizadas para producir yuca (Geoportal del Agro Ecuatoriano, 2022), es decir una cobertura del 0.01%, develando una muy baja producción para la venta, sin embargo, su consumo y venta informal existe. La producción del camote en la provincia de Esmeraldas va de moderada a marginal, como lo establece el mapa de zonificación agroecológica del cultivo (Sistema de Información Pública Agropecuaria, 2020).

La malanga y cúrcuma son tubérculos con baja participación en el mercado, además poco conocido por los agricultores, trayendo consigo una nula o baja producción de estos cultivos. La producción de tubérculos en el cantón se presenta como una opción de diversificación para el sector primario, además, su implementación y manejo, es rústico lo cual determina costos de producción bajos. El propósito de esta investigación fue determinar los potenciales usos agroindustriales de los tubérculos que se producen en la parroquia Rosa Zárate del cantón Quinindé, como una opción viable para generar valor agregado. Se llevó a cabo un análisis de los diferentes usos agroindustriales de los tubérculos, con el objetivo de fomentar la diversificación de la producción y mejorar los ingresos de los pequeños productores, a través de la implementación de procesos de transformación y agregación de valor en la cadena agroindustrial. La implementación de alternativas agroindustriales destaca la importancia de estos cultivos no solo como fuente de valor nutricional, sino también por su impacto en la salud del consumidor. Estas alternativas pueden brindar a la población rural, que ha sido excluida durante mucho tiempo, la oportunidad de vincularse con nuevos mercados y generar opciones de subsistencia. Los tubérculos son ricos en almidón, un tipo de carbohidrato complejo que se digiere lentamente, liberando gradualmente glucosa en el torrente sanguíneo. Esto brinda una sensación de saciedad prolongada y ayuda a mantener niveles estables de azúcar en la sangre, lo cual es especialmente importante para las personas que padecen diabetes o buscan controlar su peso. Además, los tubérculos son una opción saludable y de bajo costo para satisfacer las necesidades energéticas de la población. Su valor calórico moderado los convierte en una alternativa adecuada para una alimentación balanceada, especialmente en comunidades con recursos limitados. Al dar valor agregado a la producción agrícola, inclusive se podría considerar la oportunidad de exportar los productos terminados, en respuesta a las demandas cada vez más exigentes de los consumidores mediante la generación de

subproductos de los tubérculos que se cultivan en el cantón Quinindé, convirtiéndose en una alternativa para suplir estas necesidades y en una orientación para generar emprendimiento, lo cual justifica el presente estudio. La investigación también afirma que las harinas y almidones derivados de los tubérculos pueden ser utilizados de manera más amplia en la industria alimentaria debido a su gran valor nutricional y versatilidad. La implementación de alternativas agroindustriales en la producción de tubérculos puede ser una forma sostenible y rentable de aprovechar los recursos alimentarios disponibles en la provincia de Esmeraldas.

Materiales y métodos

Producción de harina: El proceso de producción de harina inicia con la recepción de materia prima de acuerdo con las características de calidad, lavado y desinfección para eliminar agentes contaminantes físicos, químicos o biológicos. Los productos destinados a harinas, pigmentos, principios activos y chips fueron deshidratados en un deshidratador de flujo de corriente forzada a 70°C durante un tiempo 3.5 horas por el porcentaje de humedad del producto. Posteriormente fueron triturados utilizando un molino manual de grano. Las partículas que no fueron trituradas en su totalidad fueron separadas usando un tamiz manual de malla fina de 70 mesh.

Almidón: Se llevó a cabo el lavado y desinfección para eliminar agentes contaminantes (físicos, químicos o biológicos) utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 2%. Los productos destinados a harinas fueron triturados, mientras que los destinados a chips fueron picados.

A continuación, se procedió al macerado con agua potable sin cloro, permitiendo un reposo por tres horas. Posteriormente, se realizó la separación de la fase acuosa de la sólida. La fase sólida resultante fue deshidratada en un deshidratador INDEXPORT con flujo de aire forzado calentado por un serpentín a vapor con una velocidad de giro de las bandejas de 80RPM hasta alcanzar un contenido de humedad del 2%, mediante un proceso de 2 horas a 80°C. Por último, el producto se almacenó en envases herméticos para su conservación a temperatura ambiente 27°C

Se realizaron dos repeticiones, utilizando cuatro variedades de tubérculos producidos en la zona. Cada muestra consistió en 2 kg por repetición, seleccionados bajo criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión

Textura: relacionada a las propiedades de turgencia del tubérculo. **Turgencia:** se refiere a la condición de las células vegetales cuando están llenas de agua y se encuentran en un estado de máxima rigidez. En el caso de los tubérculos, la turgencia está directamente relacionada con la cantidad de agua que contienen y cómo esta afecta su firmeza y consistencia. **Firmeza:** resistencia al tacto del tubérculo, puede ser firme o

tierna, y esto influye en su capacidad para mantener su forma durante la cocción, así como en su textura final. Cohesión: capacidad de las células del tubérculo para mantenerse juntas. Un tubérculo bien cocido debe ser suave y tener una buena cohesión, lo que significa que no se desmoronará fácilmente cuando se manipule o corte. Consistencia: uniformidad de la textura en todo el tubérculo, distribución uniforme de la firmeza y la cohesión en toda su estructura. Grado de humedad: contenido de humedad influye en su textura. Un tubérculo con mayor contenido de humedad tiende a tener una textura más suave y húmeda, mientras que un tubérculo con menor contenido de humedad puede ser más seco y firme. Granulosidad: pequeños gránulos o partículas perceptibles al masticar. Suavidad: facilidad con la que se puede masticar.

Peso y tamaño: se consideró criterios de longitud, que es la medida desde el extremo más largo del tubérculo hasta el otro extremo. Ancho: medida transversal del tubérculo, generalmente tomada en la parte más ancha. Grosor: espesor del tubérculo. Peso: medida de la masa del tubérculo y se expresó en forma, redonda, ovalada, alargada.

Materia seca: se obtuvo a partir de la trituration de los tubérculos, extrayendo toda el agua posible, mediante el calentamiento realizado en un deshidratador a 70°C.

Para el cálculo de la materia seca se usó la siguiente fórmula:

$$Ms (\%) = \text{peso seco} / \text{peso fresco} * 100$$

Criterios de exclusión: se asume cualquier dato que no esté dentro de los criterios de inclusión.

En el análisis económico se determinó el Costo de producción mediante la fórmula de (Chiliquinga Jaramillo, 2017), $CP = CV + MO$. El Margen de utilidad: $Mu = CP + 30\%$. El Precio de venta: $PV = CP + Mu / Um$

Resultados

Determinación de la producción de tubérculos de acuerdo con el uso del suelo en el cantón Quinindé

La producción de tubérculos en los sectores rurales forman parte de la identidad cultural de los pequeños productores, donde la mayor parte de sus cosechas son dirigidas a la dieta alimenticia de los campesinos, por el alto nivel de nutrientes que les aporta, sin embargo, no se los establece a mayor escala y mucho menos con el fin de proporcionarles valor agregado, así mismo, es fundamental mencionar que, por la globalización y la influencia de productos externos, cada vez más, las especies autóctonas y tubérculos van desapareciendo en las fincas de los agricultores, y prefieren sembrar especies agrícolas que les genere más rentabilidad (Aguirre, 2012). La supervivencia de los productores quinindeños y su economía rural, no solo se basa en la productividad del campo, sino en la biodiversidad de especies que implementan en sus parcelas, a pesar de ser un cantón que estuvo infestado por el

monocultivo de la palma africana, y todavía existen rezagos de este proceso en el sector agropecuario. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y censos del año 2010, establece que el 49% de la población Quinindeña trabaja en el sector agropecuario. El cantón tiene una superficie de 345,854.36 hectáreas y el 74% de estas son aptas para la producción agrícola y pecuaria. Actualmente el cantón ocupa alrededor de 139,145.56 hectáreas para la agricultura (Rodríguez, 2021). El último Censo Nacional Agropecuario (2010), menciona que, existen aproximadamente 6.025 Unidades de producción agrícola (UPA), de estas, el 20.1% tiene una superficie total de 8.8 hectáreas, el 50% tiene entre 8.51-38 hectáreas, es decir que, aproximadamente el 70% de las UPA son pequeñas y medianas propiedades o minifundios en Quinindé. El cambio del uso del suelo crea nuevos actores sociales en la economía del cantón, (Rodríguez, 2021), y con esta investigación se pretende dar un giro alentador a la pequeña producción campesina del cantón, a través de la generación de valor a los tubérculos que se producen en Quinindé. Las cifras agroproductivas que presenta el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, determina que la provincia de Esmeraldas al año 2021, tiene una superficie de 1,038,261 hectáreas, y apenas 31 hectáreas del espacio agrícola es usado para la producción de tubérculos, específicamente la yuca. En Quinindé la agricultura es la principal rama de actividad, donde la palma africana predominan con 81,586 hectáreas, el cacao con 8,946 hectáreas, maracuyá 2,438 hectáreas, banano 1,891 hectáreas, palmito 883 hectáreas, abacá 472 hectáreas, maíz 258 hectáreas, plátano 51 hectáreas, y con menor número de hectáreas sembradas el arroz, papaya y café, según el IEE (2015), demostrando que la producción de tubérculos no existe en las estadísticas oficiales del cantón, pero esto no quiere decir, que no se produzca, sino que reafirma, que la producción de raíces y tubérculos es producida a menor escala y para el autoconsumo y los pequeños productores. El incremento de los monocultivos, la inseguridad alimentaria, el incremento de la pobreza, ha traído consigo la degradación del suelo y el incremento de la biodiversidad de especies alimenticias, lo que exige al ser humano a buscar otras fuentes de producción que sean de fácil adaptabilidad a los productores y que no solo les permita incursionar en la producción primaria, sino más bien, dar el siguiente salto en el eslabón de la cadena, y así aportar a la seguridad alimentaria, diversificar la producción, generar negocios y empleos agropecuarios y por ende el incremento de los ingresos, demostrando que es posible adecuar y generar condiciones agrícolas que permita elevar la productividad, e identificando mecanismos para aumentar la demanda y consumo, mediante la transformación de productos, como harinas, chips, pigmento y/o almidón. Dando una gran tarea al sector productivo, agroindustrial y académico: de crear un trabajo articulado para crear diagnósticos, aportar conocimiento local y conocimiento profesional, que permitirá determinar tendencias y potencialidades de las raíces y tubérculos del cantón Quinindé.

Tabla 1. Propiedades físicas

Producto	Medida longitudinal (cm)	Medida axial (cm)	Medida aproximal (cm)	Medida distal (cm)	Tamaño
Yuca	20	20	15	8	Pequeño
	30	25	16	10	Mediano
	50	32	20	12	Grande
Camote	8.5	14	9	11	Pequeño
	9.5	20	15	19	Mediano
	18	29	19.5	21	Grande
Cúrcuma	5.5	3.5	1	0.5	Pequeño
	7	3	2	1	Mediano
	7	5	3.5	3	Grande
Malanga	10	20	18	15	Pequeño
	12	22.5	20	18	Mediano
	15	25	23	21	Grande

Nota: Propiedades físicas de los tubérculos estudiados.

Descripción de los procesos experimentales de transformación de los tubérculos.

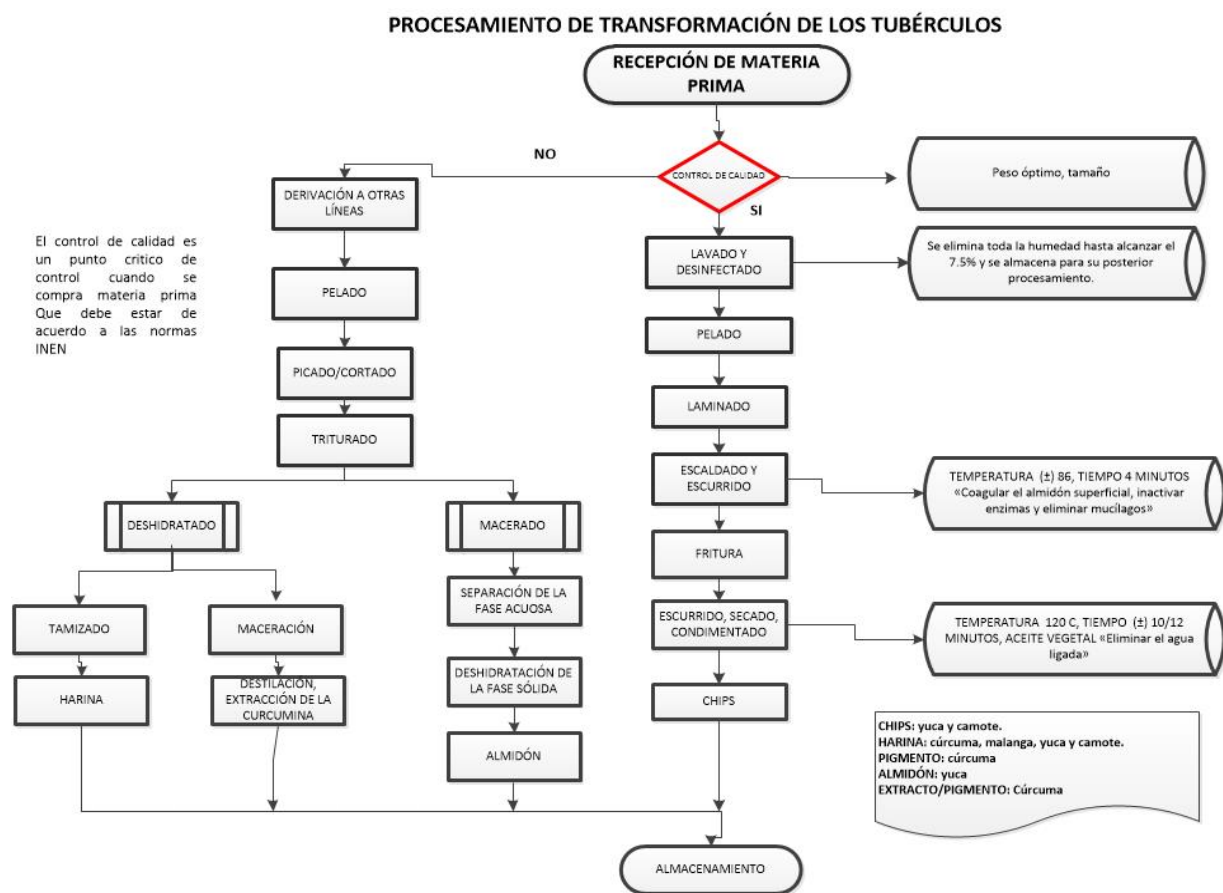


Figura 1. Flujograma de procesamiento de transformación de los tubérculos. Autoría propia

Caracterización de las propiedades físicas de los tubérculos.

Para el análisis físico de los productos propuestos en el presente estudio se tomó las siguientes medidas: longitudinal, axial, transversal para obtener un parámetro de calidad y precisar medidas óptimas de aprovechamiento y generación de subproductos.

La Tabla 1 muestra las medidas físicas de varios tubérculos, yuca, camote, cúrcuma y malanga. Específicamente la medida longitudinal, axial, proximal y distal, así como su tamaño pequeño, mediano o grande. Las medidas longitudinales y axiales se refieren a las dimensiones del producto a lo largo y ancho, mientras que las medidas proximales y distales se refieren a las dimensiones cerca de la raíz o base y lejos de la raíz o extremo del producto.

Para la obtención de subproductos se tomó en consideración las medidas físicas descritas en la Tabla 1. Los productos de tamaño pequeño fueron destinados a obtención de pigmento o curcumina (cúrcuma). Los productos de tamaño mediano fueron destinados a la producción de harinas (yuca, malanga y cúrcuma). Los productos de tamaño grande fueron destinados para la producción de chips (yuca y camote) y yuca para almidón.

Los productos elaborados a partir de las raíces y tubérculos en el trabajo de investigación fueron: chips de camote y yuca, almidón de yuca, harina de camote, yuca, malanga y cúrcuma, y extracto o pigmento de cúrcuma.

Como se puede observar en la Tabla 2, el producto con más cáscara es la yuca que pierde al momento de pelarla alrededor de 0.260 kilos por cada kilo de yuca, mientras que la malanga y camote pierden poco peso al dejarla sin cáscara, debido al grosor de esta.

Los chips elaborados a partir del camote y la yuca (yema de huevo y blanca), se cuecen a 125 grados centígrados alrededor de entre 4 a 5 minutos, y se les aplicó mediante salmuera 5% de sal en gramos por 1 minuto. Los chips de camote con un peso inicial bruto de 2,130 kilos, perdió alrededor del 17.61% con el pelado, dejando 1,755 de peso sin cáscara para producción, luego de la cocción resultó 0.820 kilos de chips, determinando una pérdida de peso del 53.28%; por su parte los chips de yuca (yema de huevo) con un peso inicial de 2,640, y un peso sin cáscara de 2,070, perdió alrededor de 30.19% de peso, es decir se obtuvo un peso final de 1,445 de chips, así mismo, los chips de yuca (blanca) con un peso inicial de 2,560 kilos, tuvo de cáscara 0.380 kilos, resultando 2,180 kilos listos para producir, y con cocción resultó 0.329 kilos, es decir, que en su proceso de cocción perdió alrededor del 84.91% de sus peso.

El almidón se obtuvo de la yuca con un peso inicial de 10 kilos, después de pelarlo quedó 8,516 kilos para la deshidratación, y resultó 1,700 kilos, es decir, 90.80% de su peso inicial, y con aplicación al 2% de solución alcohólica de yodo, la Prueba de Lugol fue del 80%.

La producción de harina se realizó con malanga, camote, yuca (blanca) y cúrcuma, los cuales resultaron con una pérdida de peso del 84.91%, 80.04%, 68.18% y 63.46% respectivamente, en la Prueba de Lugol que determina el porcentaje de almidón que tiene el producto estableció que la malanga tiene el 80%, camote y yuca (blanca) con el 90%, mientras que la cúrcuma tiene el 40%.

Para obtener el extracto o pigmento de cúrcuma se utilizó como materia prima 3,700 kilos, la deshidratación se realizó durante 12 horas a 60 grados de cocción, y se obtuvo 126 gramos de peso final luego del macerado y destilación.

Tabla 2. Productos elaborados a partir de raíces y tubérculos

Productos elaborados	Materia prima	Peso inicial en bruto (kg)	Peso cáscara (kg)	Peso sin cáscara (kg)	Grados de cocción ¹ (°C)	Tiempo de cocción (min/hora)	Sal (5%) (g) ²	Peso final del producto (kg)	Prueba lugol ³ (solución alcohólica de yodo al 2%)
Chips	Camote	2,130	0,375	1,755	125	4 a 5 min	0.86	0.820	-
	Yuca (yema de huevo)	2,640	0,570	2,070	125	4 a 5 min	0.48	1,445	-
	Yuca (blanca)	2,560	0,380	2,180	125	4 a 5 min	0.45	0.329	-
Almidón	Yuca (blanca)	10,000	1,484	8,516	-	-	-	1,700	80%
	Malanga	2,000	0,350	1,650	75-80	3 a 4 horas	-	0.525	90%
Harina	Camote	1,890	0,330	1,560	75-80	3 a 4 horas	-	0.570	90%
	Yuca (blanca)	10,000	1,484	8,516	75-80	3 a 4 horas	-	3,200	92%
	Cúrcuma	9,460	-	-	75-80	3 a 4 horas	-	1,045	40%
Extracto/ Pigmento	Cúrcuma	3,700	-	-	60	12 horas	-	126 gramos	-

¹En la cocción de harina, los grados de cocción se refiere a grados para deshidratación. ²La sal fue aplicada a través de salmuera, es decir, se sumergió en 2 litros y medio de agua, a temperatura ambiente por 1 minuto, para sacar el exceso de almidón. ³En la Prueba de Lugol: si el resultado a su aplicación es: negro-almidón 85 a 90%, violeta-almidón 75 a 60% azul ligero-almidón 50 hasta 0%

Costos de producción, margen de utilidad, precio de venta

Aplicando las fórmulas presentadas en la metodología, se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3. Cálculo del costo de producción, margen de utilidad, precio de venta⁴.

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Precio total	Costo de producción	margen de utilidad (MO + 30%)	Precio de Venta unitario (MU/cantidad de envases)
Yuca	1.25	10kg	12.5			
Yodo sublimado	0.03	1g	0.03			
Bolsa craft 200 g	0.25	15	3.92			
Total			16.45	21.38	27.79	1,85
Yuca	1.25	5.2 kg	6.5			
Sal	0.02	0.48g	0.01			
Aceite	2.5	2lt	5			
Yodo sublimado	0.03	1g	0.03			
Bolsa craft 500 g	0.3	3	0.9			
Total			12.43	16.16	21.01	3
Yuca	1.25	10kg	12.5			
Agua	1.25	1 bot	1.25			
Yodo sublimado	0.03	1g	0.03			
Bolsa craft 200 g	0.25	9	2.25			
Total			16.03	20.83	27.08	3.01
Camote	1.25	1.89	2.36			
Yodo sublimado	0.03	1g	0.03			
Bolsa craft 200 g	0.25	3	0.75			
Total			3.14	4.08	5.3	1.77
Camote	1.25	2.130kg	2.66			
Sal	0.02	0.86g	0.02			
Aceite	2.5	2lt	5			
Yodo sublimado	0.03	1g	0.03			
Bolsa craft 200 g	0.25	4	1			
Total			8.7	11.31	14.71	2.1
Malanga	1	2	2			
Yodo sublimado	0.03	1g	0.03			
Bolsa craft 200 g	0.25	3	0.75			
Total			2.78	3.61	4.69	1.56
Cúrcuma	0.8	9.46	7.57			
Yodo sublimado	0.03	3g	0.08			
Bolsa craft 500 g	0.3	2	0.6			
Total			8.24	10.72	13.93	6.97
Cúrcuma	0.8	3.7	2.96			
Yodo sublimado	0.03	1g	0.03			
Bolsa craft 200 g	0.3	1	0.3			
Total			3.29	4.28	5.56	5.56

⁴Para la obtención de los costos de cada subproducto se tomó en consideración el peso y precio inicial del producto, los insumos y materiales utilizados y el tamaño de las unidades para envase, para calcular el valor de la mano de obra utilizada se calculó el 30% del valor del precio o valor total.

Obtención de harinas

La yuca fue procesada en una cantidad de 10kg y se obtuvo 3200 gramos de harina de yuca con un 5% de humedad. La harina fue envasada en unidades de 200 gramos y tuvo un costo de producción de 27.79 dólares, mientras que el precio de venta unitario fue de 1.85 dólares. Por otro lado, se procesaron 1.89 kg de camote, de los cuales se obtuvieron 525 gramos de harina de camote, también envasada en unidades de 200 gramos. El costo de producción fue de 5.30 dólares y el precio de venta unitario fue de 3.01 dólares. Asimismo, se procesaron 2 kg de malanga, de los cuales se obtuvieron 525 gramos de harina de malanga con un 5% de humedad, envasada en unidades de 200 gramos. El costo de producción fue de 4.69 dólares y el precio de venta unitario fue de 1.56 dólares. Finalmente, se procesaron 9.46 kg de cúrcuma, de los cuales se obtuvieron 1045 gramos de harina al 5% de humedad, envasada en unidades de 500 gramos. El costo de producción fue de 13.93 dólares y el precio de venta unitario fue de 6.97 dólares.

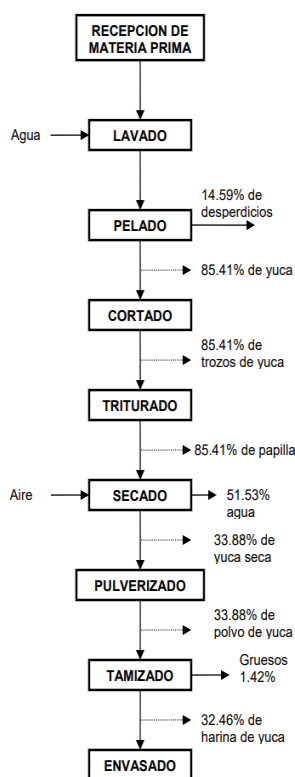


Figura 2. Flujograma de proceso de obtención de harinas. (Alvarado, 2009)

Obtención de chips

Se procesaron 5.2 kg de yuca para obtener 1445 gramos de chips de yuca, que fueron envasados en unidades de 500 gramos. El costo de producción fue de 21.01 dólares y el precio de venta unitario fue de 1.85 dólares. Por otro lado, se

procesaron 2,130 kg de camote para obtener 820 gramos de chips de camote, envasados en unidades de 200 gramos. El costo de producción fue de 14.71 dólares y el precio de venta unitario fue de 2.10 dólares.

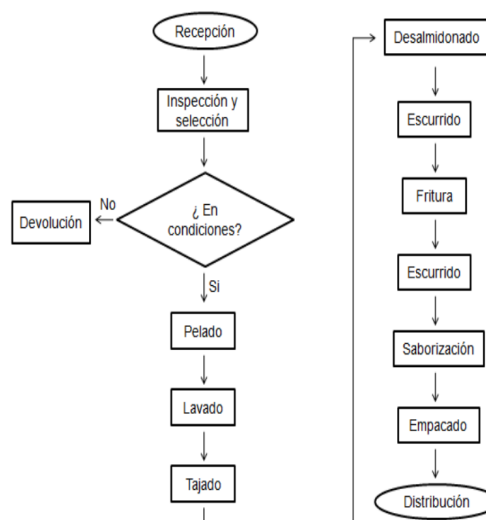


Figura 3. Flujograma de proceso de obtención de chips. (Osorio, 2013)

Obtención de almidones

Se procesaron 10 kg de yuca para obtener 1700 gramos de almidón de yuca con un 5% de humedad, el cual fue envasado en unidades de 200 gramos. El costo de producción ascendió a 27.08 dólares y el precio de venta unitario fue de 3.01 dólares.

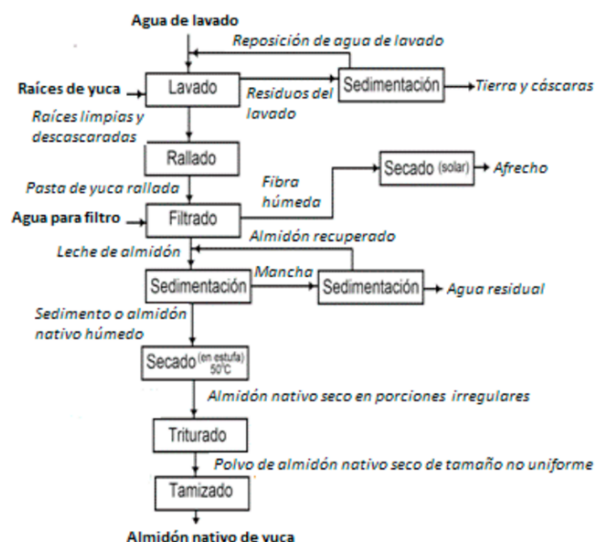


Figura 4. Flujograma de proceso de obtención de almidón, (Navarro, 2017)

Obtención de curcumina

Para obtener curcumina, se utilizaron 3.7 kg de cúrcuma, de los cuales se logró extraer 126 gramos. La curcumina

extraída fue envasada en unidades de 200 gramos. El costo de producción ascendió a 5.56 dólares y el precio de venta unitario fue de 5.56 dólares.

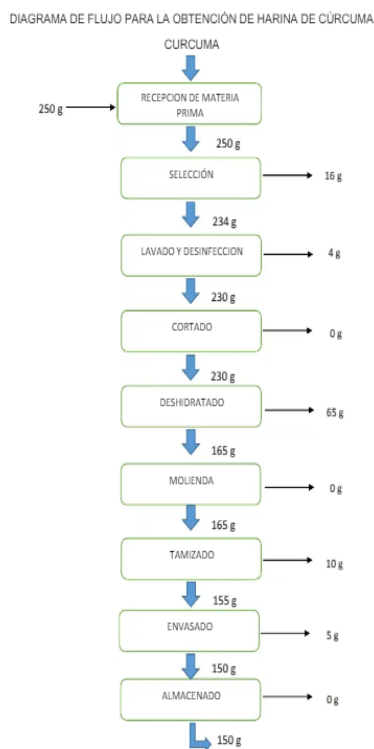


Figura 5. Flujograma de proceso de obtención de polvo de curcumina. (Lopez, s.f.)

Discusión

Esta investigación tuvo como propósito establecer los usos agroindustriales de los tubérculos como alternativa en la generación de valor agregado en el cantón Quinindé.

Los resultados muestran la importancia de la producción de tubérculos en el cantón Quinindé y cómo éstos forman parte de la identidad cultural de los pequeños productores. Sin embargo, se observa una disminución en la producción de especies autóctonas debido a la influencia de productos externos y al monocultivos. Esto tiene coincidencia con lo que indica (Collahuazo, 2015), La cadena de valor de la palma aceitera tiene potencial para continuar creciendo, sin embargo, esta perspectiva no es del todo beneficiosa para la población debido a la disminución de la diversidad productiva en la matriz de bienes agropecuarios, puede amenazar a la seguridad alimentaria. Es importante destacar que el sector agropecuario es la principal actividad económica en Quinindé y que la mayoría de las unidades de producción agrícola son pequeñas y medianas. Esto resalta la necesidad de promover el desarrollo de la producción de tubérculos y raíces a mayor escala para contribuir a la seguridad alimentaria, diversificar la producción, generar negocios y empleos agropecuarios

y mejorar los ingresos de los productores. (Tendencias, P., & Política, o., 2000) menciona que la contribución de los tubérculos a la seguridad alimentaria de los hogares y su gran flexibilidad en los sistemas agrícolas mixtos hace de ellos un importante componente de una estrategia orientada a mejorar el bienestar de los pobres del campo y ligar a los pequeños agricultores con los mercados emergentes. Se destaca la importancia de la biodiversidad de especies alimenticias para la supervivencia de los productores y la economía rural del cantón. Además, se señala la necesidad de crear condiciones agrícolas adecuadas y mecanismos para aumentar la demanda y consumo de productos transformados a partir de tubérculos y raíces. El aumento de la demanda de variedades nativas ha motivado a los agricultores más jóvenes a vender más estos productos, ya que proporcionan mayores beneficios económicos debido a que son únicos y especiales en la región y el mundo. (Barclay)

Otro punto importante para destacar es la caracterización de las propiedades físicas de los tubérculos, para determinar la mejor manera de aprovecharlos y generar subproductos. Los tubérculos varían mucho en forma y tamaño, aun en la misma planta; se observa forma esférica, fusiforme, claviforme y a menudo con ramificaciones muy cortas (Asturizaga Avilez, 2008). Las medidas tomadas, como la longitudinal, axial, proximal y distal, son importantes para identificar el tamaño y forma de cada producto y así determinar su uso potencial. Los productos de tamaño pequeño son destinados para la obtención de pigmentos o curcumina, lo cual es una aplicación específica y valorada de estos tubérculos. Por otro lado, los productos de tamaño mediano son destinados para la producción de harinas, lo cual sugiere una capacidad para el procesamiento y transformación de estos tubérculos en productos de mayor valor agregado. Los productos de tamaño grande, por su parte, son destinados para la producción de chips y almidón, lo cual sugiere una capacidad para la producción a gran escala y un potencial para la industria de alimentos.

Con esta investigación se pretende mostrar que las harinas y almidones derivados de raíces y tubérculos considerados pueden ser utilizados de manera más amplia en la industria alimentaria. La afirmación de que estos productos tienen un mayor potencial de uso se basa en la gran cantidad de beneficios nutricionales que proporcionan, como el alto contenido de fibra y nutrientes esenciales, así como en la versatilidad de estos productos en la elaboración de diversos alimentos, tales como chips de camote y yuca, almidón de yuca, harina de camote, yuca, malanga y cúrcuma, y extracto o pigmento de cúrcuma, (Morales, 2018) indica que las raíces y tubérculos son fundamentalmente fuentes de carbohidratos en la alimentación. El gran valor nutricional de las raíces y tubérculos reside en su capacidad potencial de constituir una de las fuentes de energía alimentaria más baratas de los países en desarrollo. La energía aportada equivale aproximadamente a una tercera parte de la que proporciona un peso equivalente de cereales tales como el arroz o el trigo, debido a que los

tubérculos tienen un alto contenido de agua. La composición nutricional de los tubérculos varía, como ocurre en todos los cultivos, de un lugar a otro, en función del clima, suelo, variedad del cultivo y otros factores. (Coral Torres, 2014)

Además, el uso de estos productos también puede ser una forma sostenible y rentable de aprovechar los recursos alimentarios disponibles. Esto se corrobora con lo que indica (Alcivar, 2013) al ser los tubérculos producto de origen vegetal constituyen una magnífica fuente de energía cuya característica común es su gran riqueza en almidones o féculas, y otros nutrientes como proteína, entre algunas vitaminas, es importante su consumo para mejorar la seguridad alimentaria.

El proceso experimental de transformación de los tubérculos estudiados consistió en la producción de diferentes productos a partir de materia prima de calidad libre de agentes contaminantes. Los procesos de producción varían según el producto final obtenido. En el caso de la producción de harina, se procede al triturado o picado de los productos destinados a harinas, pigmentos y principios activos, seguido del deshidratado a 70°C en un tiempo determinado por el porcentaje de humedad del producto. Finalmente, se realiza el tamizado para separar las partículas que no se lograron triturar en su totalidad.

Para la extracción del pigmento de la cúrcuma, se realiza una extracción con solución de hipoclorito de sodio al 2% después del lavado y desinfección de la materia prima. Posteriormente, se procede al triturado de los productos destinados a pigmentos, picado de los productos destinados a chips y deshidratado a 70°C en un tiempo que será determinado por el porcentaje de humedad que tenga el producto. Finalmente, se realiza la destilación para extraer la curcumina. En el proceso de obtención de almidones, se realiza un macerado con agua potable sin cloro y se separa la fase acuosa de la sólida después del triturado de los productos destinados a harinas, pigmentos y principios activos y el picado de los productos destinados a chips. Se deshidrata la fase sólida al 2% de humedad, 2 horas a 80°C y se almacena el producto en envases herméticos.

En cuanto a los productos elaborados a partir de las raíces y tubérculos en la investigación, se obtuvieron chips de camote y yuca, almidón de yuca, harina de camote, yuca, malanga y cúrcuma, y extracto o pigmento de cúrcuma. Los chips elaborados a partir del camote y la yuca se cuecen a 125 grados centígrados durante 4 a 5 minutos, y se les aplica salmuera al 5% de sal en gramos por 1 minuto. En el caso de los chips de camote, se perdió alrededor del 53.28% de peso, mientras que los chips de yuca (yema de huevo) perdieron alrededor del 30.19% de peso. Por su parte, los chips de yuca (blanca) perdieron alrededor del 84.91% de su peso en su proceso de cocción. En cuanto al almidón, se obtuvo de la yuca un rendimiento del 90.80% de su peso inicial con una prueba de Lugol del 80% después de la aplicación del 2% de solución alcohólica de yodo. En el caso de la producción de harina, se observó que la malanga tiene el 80% de almidón. La

diversificación de las líneas de producción no solo responde a necesidades concretas, sino que además se realizan con base en la libre disponibilidad de los recursos naturales, su racional utilización y conservación. (Salas Dominguez, 1995)

Las alternativas de procesamiento agroindustrial descritas en este estudio pueden ser adaptadas en emprendimientos con valor agregado que pretendan armonizar la economía local y nacional.

Conclusiones

La producción de tubérculos es importante en el cantón Quinindé y forma parte de la identidad cultural de los pequeños productores, por lo cual existe la necesidad de promover la producción de tubérculos a mayor escala para contribuir a la seguridad alimentaria, diversificar la producción, generar negocios y empleos agropecuarios y mejorar los ingresos de los productores. Las alternativas agroindustriales de los tubérculos estudiados evidenciaron la diversificación en el aprovechamiento y generación de subproductos con uso potencial en la industria alimentaria debido a su alto contenido nutricional. Se determinó que los criterios de inclusión en los productos agrícolas, el peso y tamaño de los rubros estudiados tienen una relación directa proporcional a la línea de subproducto. En todos los procesos, los tubérculos pierden alrededor del 17% del peso por el pelado del producto, es decir, el peso de la cáscara; y alrededor del 63% -93% en el deshidratado o transformación a un producto final por el cual se obtiene mayores ingresos en el mercado, convirtiéndose en una forma sostenible y rentable de aprovechar los recursos alimentarios disponibles.

Referencias bibliográficas

- Aguirre, S. P. (2012). Sistema de producción de tubérculos andinos en Boyacá, Colombia.
- Alcivar, P. (2013). Propuesta de una guía culinaria basada en el uso de tubérculos en el Ecuador. (*Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química*).
- Alimentarios, C. (1995). Norma general para los aditivos alimentarios. *Codez Stan*, 19, 910-00.
- Alvarado, G. (2009). Obtención de harina de yuca para el desarrollo de productos dulces destinados para la alimentación de celíacos.
- Asturizaga Avilez, Y. (2008). Evaluación de los rendimientos en el proceso de obtención de alcohol a partir de harina de ñame (*Dioscorea Bulbifera*, Trífida) por vía enzimática.
- Barclay, V. S. (s.f.). Plan estratégico de marketing para incrementar el consumo de papa peruana.
- Chililinga Jaramillo, M. &. (2017). Costos: Modalidad ordenes de producción.
- Collahuazo, T. (2015). Efecto de la producción de palma aceitera y la elaboración de aceite de palma en

- Esmeraldas . *Bachelor's thesis, PUCE*.
- Coral Torres, V. (2014). Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de siete alimentos: yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca, chocho, avena laminada, harina de maíz y harina de trigo integral. *Bachelor's thesis, PICE*.
- Crespo, T. M. (2018). Estudio del proceso de obtención de empaques biodegradables a partir del almidón de diferentes tubérculos: papa (*solanum tuberosum*), yuca (*Manihot esculenta*), papa china (*Colocasia esculenta*), camote (*Ipomea batatas*) . (*Bachelor's thesis, Quevedo - Ecuador*).
- Geoportal del Agro Ecuatoriano. . (22 de 10 de 2022). *Mapas interactivos de información a nivel provincial y nivel cantonal: Quinindé* . Obtenido de <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-interactivos/2-uncategorised/37-mapa-cultivos>
- Hernández-Sampieri, R. F.-C.-L. (2017). *Alcance de la investigación*.
- Landivar Rodríguez, M. (2022). Pérdida de peso y brotación de tubérculos de Papa nativa y su relación con los caracteres fenotípicos.
- Lopez, S. (s.f.). *es.scribd.com*. Obtenido de Proceso de elaboración de la cúrcuma.
- Morales, T. (2018). Utilización de tres tubérculos en la repostería clásica.
- Navarro, O. C. (2017). Modificación hidrotérmica del almidón de yuca para su empleo como estabilizador de helados. *Afinidad*, 54(580).
- Osorio, N. &. (2013). Propuesta metodológica para la evaluación de las características físicoquímicas de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), utilizadas como materia prima para la preparación de hojuelas fritas. . *Scintia el technica*, 18(3), 553-560.
- Rodríguez, K. (2021). Diagnóstico socioeconómico y de uso del suelo del cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas. *Visión Empresarial*, 115-125.6.
- Salas Dominguez, S. G. (1995). Experiencia sobre la producción de harina de yuca en la Amazonía peruana.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria, (. (2020). *Zonificaciones Agroecológicas de Cultivos*. Obtenido de Mapa de zonificación agroecológica del cultivo de camote en el litoral y valles interandinos en condiciones naturales 2020 época seca.: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/zonificaciones-agroecologicas-de-cultivos/camote-litoral-valles>
- Tendencias, P., & Política, o. (2000). Raíces y Tuberculos para el siglo 21.



Sustitución parcial de cloruro de sodio (NaCl) por cloruro de potasio (KCl) y su efecto en la elaboración de salchicha de pollo

Partial substitution of sodium chloride (NaCl) for potassium chloride (KCl) and its effect on the processing of chicken sausage.

Erick Caballero-Noboa¹, Andrea Cortez-Espinoza¹, Jhonnatan Aldas-Morejón¹, Karol Revilla-Escobar¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Industria y Producción, Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Quevedo, Ecuador.

Autor de correspondencia: karol.revilla2015@uteq.edu.ec

Recibido: 22/02/2023. Aceptado: 11/05/2023
Publicado el 30 de junio de 2023

Resumen

Una propuesta eficiente, para disminuir los niveles de sodio en productos cárnicos y desarrollar formulaciones saludables, es disminuir la cantidad de cloruro de sodio (NaCl) mediante la sustitución por productos que no alteren las características proximales y sensoriales. El principal objetivo de esta investigación fue evaluar la sustitución parcial de NaCl por KCl y su efecto en la elaboración de salchicha de pollo. La evaluación de las características proximales (pH, humedad, grasa y proteína) se realizó de acuerdo a las normas NTE INEN: 783; 1338; 778 y la caracterización sensorial: olor, color, sabor, textura y aceptabilidad se realizó mediante un panel de catación conformado por 10 personas, según los requerimientos de la normativa NTE INEN 1217. En cuanto a los resultados, se determinó que la sustitución parcial de NaCl por KCl, no influyó en las características proximales, obteniendo valores para: pH entre 5.40 – 6.10; humedad 58.33 – 61.55; grasa 1.50 – 3.85 y proteína entre 3.90 – 6.25. En relación a las características organolépticas se obtuvo que el T1 = 1% de KCl y 1,4% NaCl + 0,93% zanahoria + 10 días de almacenamiento + 4 °C situó los valores más altos para las categorías estudiadas. De esta forma, se menciona que el KCl puede emplearse como sustituto parcial, contribuyendo favorablemente a la reducción de sodio en los derivados cárnicos.

Palabras clave: cárnicos, formulación, características sensoriales, saludable.

Abstract

An efficient proposal for reducing sodium levels in meat products and developing healthy formulations is to reduce the amount of sodium chloride (NaCl) by substituting it with products that do not alter the proximate and sensory characteristics. The main objective of this research was to evaluate the partial substitution of NaCl for KCl and its effect on the preparation of chicken sausage. The evaluation of proximal characteristics (pH, moisture, fat and protein) was carried out according to NTE INEN standards: 783; 1338; 778 and sensory characterization: odor, color, flavor, texture and acceptability was performed by a tasting panel composed of 10 people, according to the requirements of NTE INEN 1217. As for the results, it was determined that the partial substitution of NaCl for KCl did not influence the proximal characteristics, obtaining values for: pH between 5.40 - 6.10; humidity 58.33 - 61.55; fat 1.50 - 3.85 and protein between 3.90 - 6.25. In relation to the organoleptic characteristics, it was found that T1 = 1% KCl and 1.4% NaCl + 0.93% carrot + 10 days of storage + 4 °C had the highest values for the categories studied. Thus, it is mentioned that KCl can be used as a partial substitute, contributing favorably to the reduction of sodium in meat derivatives.

Keywords: meat products, formulation, sensory characteristics, healthful.

Introducción

El consumo de alimentos se ha caracterizado generalmente por la ingesta de alimentos que provean los requerimientos nutricionales de las personas. Alimentos que se consumen a diario y están relacionados con una variedad de ingredientes en su formulación, siendo el KCl un ingrediente necesario para la dieta humana (Tatosaus, 2018).

En la industria cárnica, KCl se utiliza para realzar el sabor, mantener bajos los niveles microbianos por medio de la reducción de la actividad de agua y brindar textura al suavizar la fibra cárnica (Ayazo *et al.* 2020). Sin embargo, se menciona que, en estos productos, el sodio es relativamente alto debido al contenido de NaCl agregado durante el proceso de elaboración, el cual oscila entre el 2 – 6% en productos cocidos y crudos curados respectivamente, convirtiendo a estos productos en la principal fuente de este mineral en la dieta (Bonany, 2017).

Es importante enfatizar que la creciente preocupación por parte de los consumidores de adquirir alimentos saludables y nutritivos que proporcionen beneficios para la salud, ha conllevado a que, la industria cárnica sustituya parcial o total de ingredientes que provoquen consecuencias negativas en los seres humanos (Ojangba *et al.* 2022).

Cabe mencionar que la reducción de productos cárnicos bajos en sodio es una alternativa para minimizar la alta incidencia en el progreso de ciertas enfermedades como la hipertensión, diabetes, problemas renales, asociada a los altos niveles de sodio que estos productos aportan a la dieta (Segurondo *et al.* 2020).

La mejor alternativa para reducir el contenido de sodio en productos cárnicos es la inclusión de KCl, aunque este no confiere el sabor salado característico de la sal común NaCl (Pacheco *et al.* 2019). Por otro lado, incluir materia prima de origen vegetal en la elaboración de embutidos, mejora la composición nutricional, incrementando el contenido de proteína y fibra (Cañas *et al.* 2011).

Por esta razón, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la sustitución parcial de NaCl por KCl y su efecto en la elaboración de salchichas de pollo, donde se determinó características funcionales y organolépticas, además, se utilizó dos fuentes de fibra y diferentes días de almacenamiento.

Materiales y métodos

Materia prima

El pollo utilizado para la elaboración de salchichas, provino de la Granja Avícola “La Esperanza”, ubica en la parroquia La Esperanza, perteneciente al cantón Quevedo ubicado a 1° 20' 30" de Latitud Sur y los 79° 28' 30" de Longitud oeste, dentro de una zona subtropical en la provincia de Los Ríos, los ingredientes e insumos se obtuvo de la misma localidad. La elaboración de las salchichas, análisis proximales

y organolépticos se llevaron a cabo en los laboratorios de bromatología, química básica, biotecnología y rumiología de la finca Experimental “La María”, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

Caracterización proximal de las salchichas de pollo

Determinación de pH

Se realizó de acuerdo a la norma “NTE INEN 783:1985-05. Carne y productos cárnicos. Muestreo”. Donde se licuó 10 g de salchicha con 90 ml de agua destilada, se agitó y se dejó en reposo por 15 min, posteriormente se tomó la lectura directa del potenciómetro.

Determinación de humedad

Se determinó según la norma “NTE INEN 1338:2012. Carne y productos cárnicos. productos cárnicos crudos, productos cárnicos curados - madurados y productos cárnicos precocidos - cocidos. Requisitos”. Para ello se pesaron 2 g de muestra en una cápsula vacía previamente tarada y pesada para someter a secado en estufa (Mommert, 854 Schwabach) a 105 °C por 24 horas.

Determinación de grasa

Se efectuó conforme a lo establecido por la norma “NTE INEN 779:1985. Carne y productos cárnicos. Determinación de grasa libre”. Se colocó 1.50 g de muestra en un dedal con papel filtro, se tapó con algodón desengrasado y se registró su peso, así como el peso del matraz de extracción previamente seco. Se colocó el matraz en el sistema soxhlet, el dedal en el tubo y se adicionó hexano como solvente; la muestra se extrajo con el solvente de 2-3 horas de manera directa. Al finalizar la extracción el solvente fue recuperado por evaporación, hasta no detectar el olor del mismo. El matraz con la grasa se secó en la estufa a 103 °C por 10 min, se enfrió en el desecador y se registró su peso.

Determinación de proteína

Se obtuvo de acuerdo a la norma “NTE INEN 781:1985-05. Carne y productos cárnicos”. Para lo cual, se pesaron 50 mg de muestra en cápsulas tin foil y se analizó el contenido de proteína mediante combustión y detección de conductividad térmica con la ayuda del equipo Dumas Nitrogen Analyzer (VELP NDA 701). Previo al análisis de proteína el equipo fue calibrado con el patrón EDTA que contiene un 9.58% de nitrógeno. El experimento se ejecutó por triplicado y utilizando un factor de conversión de 6.25 para el cálculo del valor de proteína (%).

Caracterización sensorial de las salchichas de pollo

La aceptación del consumidor hacia las salchichas se evaluó basándose en las características de olor, sabor y textura, utilizando una escala hedónica de 4 puntos, con los siguientes descriptores: Me desagradaba mucho = 1 y Me gustaba mucho = 4. Las muestras fueron calentadas en agua a una temperatura

de 70°C, cortadas en trozos de 1.50 cm. Según el criterio de evaluación de los catadores no entrenados, se tomaron los resultados de las encuestas, para el análisis estadístico.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar en arreglo factorial A*B*C, donde: Factor A (Sustitución parcial de NaCl por KCl), Factor B: Fuentes de fibra (zanahoria y zapallo) y Factor C: Días de almacenamiento (10-20 días) con 3 repeticiones, obteniendo un total de 24 unidades experimentales (Tabla 1), para determinar diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos se aplicó una prueba de rangos múltiples Tukey ($p < 0.05$), mediante los programas Statgraphics e InfoStat.

En relación al contenido de humedad, se observó diferencia significativa ($p < 0.05$), demostrando que al utilizar mayor concentración de cloruro de potasio en la elaboración de salchicha, se obtiene una mayor humedad 61.86% (a₁) sucediendo lo contrario al adicionar menor cantidad de cloruro de potasio, la humedad disminuye 59.79% (a₀). Los resultados obtenidos, son superior a lo estipulado en la norma NTE INEN 1338:1996, en la cual los valores de humedad para los derivados cárnicos no deben exceder el 60%. Granizo-Vásquez (2015) expresó que el contenido de humedad de los

producto cárnicos, es importante debido a que influye en la estabilidad y seguridad en su conservación, por otro lado, ligeros cambios en la humedad pueden llegar a modificar la textura y la aceptabilidad del producto.

Al sustituir el cloruro de sodio por cloruro de potasio, no incidió significativamente en el contenido de grasa, el cual se determinó valores que oscilaron entre 2.74% - 2.83%. Cruz-Romero *et al.* (2022) determinaron que, el contenido de grasa en embutidos elaborados con carne a alta presión osciló entre 9.12 y 9.81% y las diferencias en los niveles de grasa entre los tratamientos no fueron significativas. Esto es consistente con los resultados informados por O'Flynn *et al.* (2014), donde al cambiar los niveles de sal no afectó el contenido de grasa.

Como se observó en las muestras de salchichas, la mayor concentración de los niveles de cloruro de potasio (1.5%) aumentó el contenido de proteína, situando el mayor valor con 5.20 en a₁, mientras que, el menor valor con 5.14 se obtuvo en a₀. Según, Ojangba *et al.* (2022) la sustitución parcial de NaCl por KCl al 25% y al 50% sin aumentó el contenido de proteína de 1.16% a 5.80% en el día 0 en comparación con el control. Por otro lado, Crehan *et al.* (2020) mencionaron que una disminución en el agua añadida puede causar un aumento detectable en el porcentaje medido de grasa y proteína.

Tabla 1. Factores que intervienen en el proceso de elaboración de salchicha de pollo

Factores	Simbología	Niveles
A = Sustitución parcial de NaCl por KCl	a ₀	1,4% de NaCl y 1% KCl
	a ₁	1,75% de NaCl y 1,5% KCl
B = Fuentes de fibra	b ₀	Zanahoria
	b ₁	Zapallo
C: Días de almacenamiento	c ₀	10
	c ₁	20

Tabla 2. Tratamientos de la investigación para la elaboración de salchicha de pollo

Tratamientos	Descripción
T1	1,4% NaCl y 1% de KCl + zanahoria+ 10 días de almacenamiento
T2	1,4% NaCl y 1% de KCl + zanahoria + 20 días de almacenamiento
T3	1,4% NaCl y 1% de KCl + zapallo+ 10 días de almacenamiento
T4	1,4% NaCl y 1% de KCl + zapallo + 20 días de almacenamiento
T5	1,75% NaCl + 1,5% de KCl + zanahoria + 10 días de almacenamiento
T6	1,75% NaCl y 1,5% de KCl +zanahoria + 20 días de almacenamiento
T7	1,75% NaCl y 1,5% de KCl + zapallo + 10 días de almacenamiento
T8	1,75% NaCl y 1,5% de KCl + zapallo + 20 días de almacenamiento

Resultados y discusión

Caracterización proximal

En la **Tabla 3** se muestran los resultados respecto al efecto de la sustitución parcial de NaCl por KCl (1,4% de NaCl - 1% KCl y 1,75% de NaCl - 1,5% KCl) en las características proximales. Donde, se determinó que a sustituir parcialmente el NaCl por KCl influye significativamente ($p < 0.05$) en los valores de pH, obteniendo el resultado más alto en a1 con 6.00 mientras que el menor valor se situó en a0 con 5.70. Sin embargo, estos valores se encuentran dentro de lo establecido por Espinoza-Ibarra & Hernández-López (2020), que obtuvieron un rango pH entre 5.68 y 6.47 en salchichas de pollo y cerdo respectivamente, además, evidenciaron que al adicionar cloruro de potasio se inhibe la proliferación de microorganismo y por tanto la acidificación es menor en comparación a solo utilizar cloruro de sodio.

Tabla 3. Diferencia de medias del Factor A (Sustitución parcial de NaCl por KCl).

Factor A	pH	Humedad	Grasa	Proteína
a0	5.70a	59.79a	2.74a	5.14a
a1	6.00b	61.86b	2.83a	5.20b

Las diferentes letras en columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos, prueba de Tukey ($p < 0.05$)

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de la incidencia del tipo de fuente de fibra (Factor B) sobre las características proximales. En relación al pH, se determinó diferencia significativa ($p < 0.05$) y se observó que al incluir zapallo como fuente de fibra en la formulación se incrementa el valor de pH (b1 = 6.00) a diferencia de la zanahoria que disminuye el pH (b0 = 5.69). En la investigación de Sam *et al.* (2021), el pH de las salchichas tipo frankfurt enriquecidas con pasta de zanahoria osciló entre 5.63 y 5.77. Además, Bhosale *et al.* (2011), demostraron una disminución significativa de pH en nuggets de pollo con adición de puré de zanahoria y camote. Zargar *et al.* (2014a) mencionaron que, el aumento de pH con la incorporación de zapallo puede atribuirse al contenido de ácido ascórbico de la materia prima y a los residuos ácidos en las moléculas de almidón que se producen por la despolimerización de los gránulos durante el proceso de cocción.

En cuanto al contenido de humedad, el valor más alto se situó en b1 (61.51%) siendo significativamente diferente ($p < 0.05$) a b0 que obtuvo el valor más bajo (60.14%). Los resultados obtenidos guardan relación con Zargar *et al.* (2017b) que establecieron un incremento de humedad de 63.20 a 66.56% con la adición de zanahoria picada. De manera similar, Stanley *et al.* (2017) y establecieron que la mayor concentración de zanahoria en embutidos de pollo incide en el aumento en el contenido de humedad. Por otro lado, Ebert

et al. (2022) al adicionar zapallo obtuvieron una humedad promedio de 59.90% salchichas híbridas curadas en seco.

Con respecto al porcentaje de grasa, se registró un aumento significativo ($p < 0.05$) en b1 = 2.87% mientras que b0 = 2.70% presentó una disminución en su contenido. Bejarano-Miranda. (2023) al utilizar distintas concentraciones de zanahoria y mashua, obtuvo un contenido de grasa que fluctuó entre 6.84% y 11.50%. Además, Zarate *et al.* (2021) mencionaron que al incluir fuentes de fibra se reduce el contenido de grasa, aunque se debe considerar que algunos casos se incrementa la cantidad de carbohidratos. Sin embargo, Gao *et al.* (2022) emplearon concentraciones del 10-20% de calabaza en la formulación de salchicha viene y obtuvieron resultados entre 3.03 a 5.07%.

Se observó diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de proteína, demostrando un aumento en el nivel de incorporación de zapallo (b1 = 5.25) mientras que, una disminución al adicionar zanahoria (b0 = 5.09). Estos valores son consistentes con lo presentado por Hleap-Zapata *et al.* (2020) quienes determinaron un contenido de proteína de 6.50% al adicionar harina de zanahoria. En cambio, en la investigación de Savadkoochi *et al.* (2014) mostraron que al agregar pasta de tomate en la elaboración de salchicha de res aumentó el contenido de proteína.

Tabla 4. Diferencia de medias del Factor B (Fuente de fibra).

Factor B	pH	Humedad	Grasa	Proteína
b0	5.69a	60.14a	2.70a	5.09a
b1	6.00b	61.51b	2.87b	5.25b

Las diferentes letras en columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos, prueba de Tukey ($p < 0.05$)

En la **Tabla 5** se indican los resultados de la prueba de significación Tukey ($p < 0.05$) para el Factor C. En cuanto a los días de almacenamiento, se observó diferencia significativa ($p < 0.05$) para la variable pH, demostrando que a los 20 días (c1) se obtuvo el mayor valor con 6.84 por el contrario a los 10 días (c1) el pH fue menor con 5.87. Sin embargo, en algunas investigaciones, han determinado que el pH disminuye considerablemente en los primeros 7 días (6.13 a 4.74) (Lashgari *et al.* 2020). De acuerdo con Kurčić *et al.* (2014) el aumento del pH durante el almacenamiento está relacionado con la producción de aminas, péptidos y aminoácidos en las reacciones de proteólisis y a la disminución del ácido láctico.

El contenido de humedad aumentó significativamente ($p < 0.05$) durante el período de almacenamiento, determinando que a los 20 días (c1), se alcanzó 61.16% de humedad mientras que, en el día 10 (c0) la humedad fue inferior presentando 60.49%. Estos resultados son similares a lo reportado por Ebert *et al.* (2022), quienes obtuvieron una humedad de 62% (día 5) y 72% (día 15) en embutidos curados. Algunos estudios

demonstraron que el uso de extractos naturales aumenta el contenido de humedad de los embutidos Lorenzo *et al.* (2014). Así como también, la disminución de la humedad durante el período de almacenamiento puede estar influenciada por el tipo de empaque (Kurčić *et al.* 2014).

En cuanto a porcentaje de grasa, existió diferencia significativa ($p < 0.05$) donde el contenido más alto se situó en c1 = 2.84% en comparación a c0 = 2.73% que presentó un valor inferior. Araújo *et al.* (2021) en su investigación, observaron que los tratamientos se mantuvieron estables hasta los 28 días de almacenamiento, con un incremento de 2.80 a 4.20% en salchichas de pollo producidas con sustitución de grasa por gel de colágeno extraído de patas de pollo. Por otro lado, al utilizar diferentes fuentes de grasa de origen vegetal, se obtiene un contenido de grasa entre 8.81 a 10.10% a los 20 días de almacenamiento (Domingo *et al.* 2023).

Los días de almacenamiento, no inciden en el contenido proteico, en el cual se obtuvo rangos entre 5.13% – 5.19%. Es necesario mencionar, que el contenido de proteína depende de los ingredientes utilizados en la formulación (Vespúcio-Bis *et al.* 2019). Así como también, otro factor que puede provocar un incremento de proteína, es el proceso de cocción, debido a que incrementa el contenido de materia seca al producir lixiviación de agua y componentes solubles en agua.

Tabla 5. Diferencia de medias del Factor C (Días de almacenamiento)

Factor C	pH	Humedad	Grasa	Proteína
c0	5.87a	60.49a	2.73a	5.13a
c1	6.84b	61.16b	2.84b	5.19a

Las diferentes letras en columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos, prueba de Tukey ($p < 0.05$)

En la **Tabla 6** se describen los resultados de la interacción ABC (*Sustitución parcial de NaCl por KCl + Fuente de fibra + Días de almacenamiento*) de los análisis proximales de la salchicha de pollo. Donde se aplicó la prueba de rangos múltiples Tukey ($p < 0.05$) para establecer grupos homogéneos.

En cuanto a los resultados de pH, se determinó el mayor contenido en el T7 con 5.40 siendo significativamente diferente ($p < 0.05$) al T1 cuyo valor fue inferior con 6.10. Se hace referencia que las muestras estudiadas se encuentran dentro de lo estipulado por NTE INEN 1344:96, que establece un pH de 5.60 a 6.20 para embutidos. Por otro lado, Espinoza (2020) enfatiza que el KCl tiene un efecto positivo, debido a que es un agente antimicrobiano, el cual inhibe la proliferación de microorganismos. Además, Gonzales *et al.* (2019) mencionaron que el KCl disminuye la acidificación microbiana en los embutidos en comparación a solo utilizar NaCl. Los factores que pueden afectar el pH en un embutido son los valores propios de las materias primas, siendo la carne la que ejerce la mayor influencia (Bonany, 2017).

En relación al contenido de humedad (Tabla 3), al existir diferencia significativa ($p < 0.05$) se determinó el mayor valor en el T5 con 63.55% mientras que menor valor en el T4 con 58.33%. Sin embargo, se observó que los tratamientos (T2, T7 y T8) situaron valores fuera de los establecido por la Norma Colombiana NTC 1663, la cual menciona que los derivados cárnicos no deben exceder el 60% en humedad. Por otra parte, Ramos *et al.* (2021) determinaron un contenido de 68% en salchichas con inclusión de zanahoria, debido a la cantidad de agua que proporciona esta hortaliza, misma que es difícil de retener.

En el contenido de grasa mostrados en la Tabla 3, se observó que el T4 presentó el porcentaje más alto (3.58%) que fue significativamente diferente ($p < 0.05$) al T4 que presentó el valor más bajo (1.50%). En esta investigación, los valores obtenidos son inferiores a lo establecido por la NTE INEN 1344:96, que menciona un valor máximo del 25%. El bajo contenido de grasa se debe a los ingredientes de la formulación, en el cual se agregó una considerable cantidad de fibra vegetal como la zanahoria y zapallo. De acuerdo con Torres *et al.* (2016) quines hacen referencia que los días de almacenamiento no influyen significativamente en contenido de los parámetros físico – químicos.

En relación al porcentaje de proteína, se determinó diferencia significativa ($p < 0.05$) situando el valor superior en el T8 con 5.96% mientras que el menor contenido en el T7 con 3.90%. Los valores determinados en este estudio son inferiores a lo reportado por Castañeda *et al.* (2017), quienes en su estudio obtuvieron valores de 12 – 14% en salchichas comerciales. Además, se hace referencia que la carne es la principal fuente de proteína en los embutidos, aunque también se añaden otras fuentes de proteína animal y vegetal, para cumplir funciones específicas y reducir costos (Monterroso, 2018).

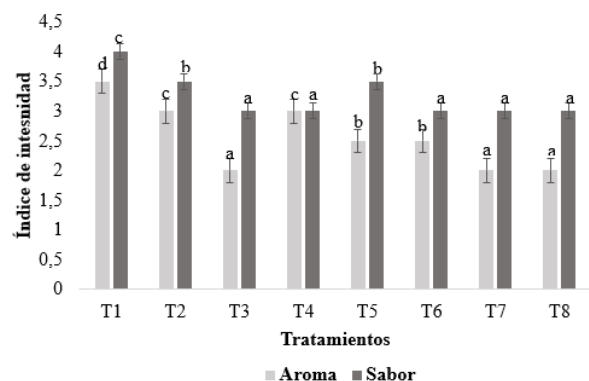
Caracterización sensorial

Se determinó diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la media de los tratamientos en las categorías sensoriales aroma y sabor (**Figura 1**). Además, se determinó que el T1 presentó la mayor valoración para los parámetros antes mencionados, con una intensidad característica de 3.50 y 4.00 respectivamente. Se destaca que las muestras no presentaron sabores residuales, es decir no hubo efectos negativos sobre el sabor en la sustitución de NaCl por KCl. Sin embargo, Tofiño (2017) en su investigación detectó que la adición de KCl en embutidos confiere un ligero sabor a salado en comparación a la sal común, también, mencionó que intensifica el aroma característico en productos cárnicos. Por otro lado, estudios efectuados afirman que la sustitución parcial del 25% de cloruro de sodio por cloruro de potasio se perciben diferencias en el aroma, textura y jugosidad (Cruz-Romero *et al.* 2022).

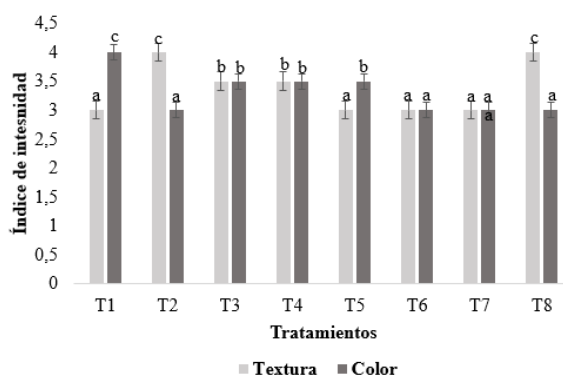
Tabla 6. Resultados de la caracterización proximal de la salchicha de pollo, obtenido de los distintos tratamientos (Sustitución parcial de NaCl y KCl+ Fuentes de fibra + Días de almacenamiento)

Tratamientos	pH	Humedad	Grasa	Proteína
T1	5.40 ± 0.010a	60.31 ± 0.01c	3.45 ± 0.06e	5.85 ± 0.05d
T2	5.50 ± 0.010b	61.25 ± 0.05e	2.16 ± 0.04d	4.46 ± 0.04b
T3	6.01 ± 0.032e	59.22 ± 0.06b	2.13 ± 0.01c	4.53 ± 0.03c
T4	5.90 ± 0.006c	58.33 ± 0.04a	3.58 ± 0.01f	5.98 ± 0.01e
T5	5.95 ± 0.006d	63.55 ± 0.09g	3.85 ± 0.05h	6.25 ± 0.02f
T6	5.93 ± 0.006d	60.96 ± 0.01d	2.04 ± 0.03b	4.44 ± 0.02b
T7	6.10 ± 0.015f	61.55 ± 0.02h	1.50 ± 0.06a	3.90 ± 0.05a
T8	6.03 ± 0.006e	61.42 ± 0.01f	3.56 ± 0.01f	5.96 ± 0.04e

Las diferentes letras en columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre grupos, prueba de Tukey ($p < 0.05$). Medias ± desviación estándar.

**Figura 1. Resultados de las categorías sensoriales aroma y sabor de las salchichas de pollo**

En las categorías sensoriales de textura y color (**Figura 2**) se demostró diferencia significativa ($p < 0.05$) para ambas variables, determinado que los tratamientos estudiados presentaron una textura semiblanda y una coloración característica de la muestra con valoraciones entre 3 y 4. De esta forma, se concuerda con Choi & Chin (2020) quienes señalaron que la textura está relacionada con los niveles de sal y fosfatos, reportando que, a mayor concentración de estos aditivos, se aumenta la elasticidad y textura de las muestras. Otro factor que influye en la textura, es la fibra soluble, debido a su capacidad de retención de agua (Pinzon *et al.* 2015). Por otro lado, respecto al color, se menciona que en grandes cantidades de KCl puede difuminar el color del producto, o en su defecto resaltarlo (Cruz-Romero *et al.* 2022).

**Figura 2. Resultado de las categorías sensoriales textura y color de las salchichas de pollo**

En relación a la aceptabilidad de los tratamientos (**Figura 3**), el T1 presentó la mayor intensidad siendo estadísticamente diferente ($p < 0.05$) de los demás tratamientos, que situaron intensidades entre 2.00 – 3.00. De esta forma, se enfatiza que la inclusión de KCl no altera las características sensoriales, teniendo un buen nivel de aceptabilidad. Arriaza (2018) hace referencia que, es factible desarrollar una salchicha donde se sustituya parcialmente la carne de pollo por pasta de zanahoria, ya que en su investigación fue aceptada por la población sujeta al estudio, con esto se incrementaría la inclusión de hortalizas en los derivados cárnicos. Además, Flores *et al.* (2022) en su investigación estipularon que las características sensoriales juegan un papel importante en el consumo de embutidos, siendo el color y sabor los más óptimos en la aceptabilidad de un producto.

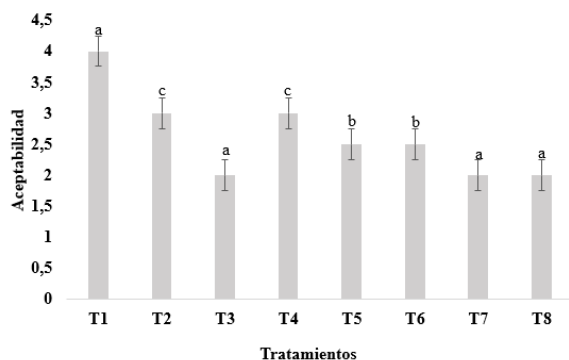


Figura 3. Nivel de aceptabilidad de las salchichas de pollo

Conclusiones

En la elaboración de salchicha de pollo, al utilizar la sustitución parcial del 1,75% de NaCl y 1,5% KCl (a1) y al emplear como fuente de fibra el zapallo (b1) indicó significativamente en el aumento de los niveles de las características proximales (pH, humedad, grasa y proteína) evaluadas, así como también el período de almacenamiento por 20 días (c1) influyó en estos parámetros. En relación a la caracterización organoléptica, el T1= 1% de KCl y 1,4% NaCl + zanahoria+ 10 días de almacenamiento, presentó mejor valoración en las categorías: aroma, sabor, color y nivel de aceptabilidad. Por otro lado, todos los tratamientos presentaron una textura semiblanda, similar a las salchichas comerciales. De esta forma se concluye que la inclusión de KCl permite obtener productos de calidad, sin alterar los atributos sensoriales.

Referencias bibliográficas

- Araújo, I., Lima, D., Pereira, S. F., Paseto, R. P., & Madruga, M. S. (2021). Effect of storage time on the quality of chicken sausages produced with fat replacement by collagen gel extracted from chicken feet. *Poult Sci.*, 1262–1272. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.029>
- Arriaza, A. (2018). Reformulación de salchichas tipo Frankfurt. Influencia en sus propiedades físico-químicas, organolépticas y aceptabilidad. *Proeditio*. doi: 10.19230/jonnpr.2878
- Ayazo Rodríguez, M., Pérez Ricardo, E., Rivero Pineda, L., & Rivero Pineda, N. (2020). Evaluación del efecto de la sustitución del cloruro de sodio por cloruro de potasio, ajo y orégano sobre las características organolépticas y funcionales de un embutido de poll. *Centro de Investigación para el desarrollo y la innovación*.
- Bejarano-Miranda, M. E. (2023). *Efecto del uso de harina de Zanahoria Blanca (Arracacia xanthorrhiza Bancr.) y Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pav.) en la producción de salchichas tipo Frankfurt*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37894/1/CAL%20025.pdf>
- Bhosale, S., Biswas, A. K., Sahoo, J., Chatli, M. K., Sharma, D. K., & Sikka, S. S. (2011). Quality Evaluation of Functional Chicken Nuggets Incorporated with Ground Carrot and Mashed Sweet Potato. *Food Sci. Technol. Int.*, 17, 233–239. doi:[10.1177/1082013210382339](https://doi.org/10.1177/1082013210382339)
- Bonany, N. (2017). Sustitución de cloruro sódico por cloruro potásico en emulsiones cárnicas. Universitat autònoma de Barcelona.
- Cañas, Z., Restrepo, D., & Cortéz, M. (2011). Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(1), 6024-6035. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922364025>
- Castañeda, G., Ramos, M., Bernable, A., & Aguirre, R. (2017). Determinación de los parámetros para la reducción de los contenidos de sodio y grasa en la elaboración de salchicha saludable. *Agrocampus*. doi:<https://doi.org/10.24265/campus.2017.v22n23.04>
- Choi, S., & Chin, C. (2020). Evaluation of physicochemical and textural properties of chicken breast sausages containing various combinations of salt and sodium tripolyphosphate. *Journal of Animal Science and Technology*. doi:<https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.4.577>
- Crehan, C., Troy, D., & Buckley, D. (2020). Effects of salt level and high hydrostatic pressure processing on frankfurters formulated with 1.5 and 2.5% salt. *Meat Sci.*, 123–130. doi:[10.1016/S0309-1740\(88\)00134-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(88)00134-5)
- Cruz-Romero, M. C., O'Flynn, C. C., Troy, D., Mullen, A. M., & Kerry, J. P. (2022). The Use of Potassium Chloride and Tapioca Starch to Enhance the Flavour and Texture of Phosphate- and Sodium-Reduced Low Fat Breakfast Sausages Manufactured Using High Pressure-Treated Meat. *Foods*, 11(1), 17. doi:<https://doi.org/10.3390/2Ffoods11010017>
- Cruz-Romero, M. C., O'Flynn, C. C., Troy, D., Mullen, A. M., & Kerry, J. P. (2022). The Use of Potassium Chloride and Tapioca Starch to Enhance the Flavour and Texture of Phosphate- and Sodium-Reduced Low Fat Breakfast Sausages Manufactured Using High Pressure-Treated Meat. *Foods*, 11(1), 17. doi:<https://doi.org/10.3390/2Ffoods11010017>
- Domingo, C. J., Sartagoda, K. J., Catandijan, N. J., & Yasin, N. (2023). Impact of vegetable fat on the sensory and physicochemical quality characteristics of chevon sausage. *Applied Food Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100265>
- Ebert, S., Jungblut, F., Herrmann, K., Maier, B., Terjung, N., Gibis, M., & Weiss, J. (2022). Influence of wet extrudates from pumpkin seed proteins on drying, texture, and appearance of dry-cured hybrid sausages. *European Food Research and Technology*, 248, 1469–1484. doi:<https://doi.org/10.1007/s00217-022-03974-4>
- Espinoza-Ibarra, E. A., & Hernández-López, Y. L. (2020). *Efecto de tres niveles de cloruro de sodio y dos de lactato de potasio en las características sensoriales y*

- microbiológicas de tres productos cárnicos. Honduras: Universidad Zamorano.
- Flores, M., Yanza, F., & Hildalgo, L. (2022). Evaluación microbiológica y sensorial de un embutido sin nitritos con fibra y conservantes naturales. *Revista Ciencia*, 15(40), 16 - 25. doi://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol15iss40.2022pp16-25p
- Gao, D., Helikh, A., Duan, Z., Liu, Y., & Shang, F. (2022). Study on application of pumpkin seed protein isolate in sausage production process. *chnology Audit and Production Reserves*, 2(63), 31-35. doi:http://doi.org/10.15587/1706-5448.2022.255785
- Gonzales, R., Totasaus, A., Caro, I., & Mendoza, J. (2019). Caracterización de Propiedades Químicas y Físicoquímicas de chorizos. *Información Tecnología*, 24(2), 3-14. doi:10.4067/S0718-07642013000200002
- Granizo-Vásquez, M. D. (2015). *Estudio del efecto de la sustitución total de Cloruro de Sodio por Cloruro de Potasio y Glutamato Monosódico en un embutido crudo*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4156/1/120358.pdf
- Hleap-Zapata, J. I., Cruz-Rosero, J. D., Durán-Rojas, L. T., Hernández-Trujillo, D., Reina-Aguirre, L. D., & Tilano-Pemberthy, N. (2020). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNCuyo. *Evaluation of pumpkin flour (Cucurbita moschata Duch.) added as a meat extender in Frankfurt-type sausages*, 52(2), 395-404. http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v52n2/v52n2a32.pdf
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (781:1985-05). *Carne y productos cárnicos*. Quito: INEN
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (783:1985-0). *Carne y productos cárnicos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito: INEN
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (1344:96). *Carnes y productos cárnicos. Chorizo. Requisitos*. Quito: INEN
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (1344:96). *Carnes y productos cárnicos. Chorizo. Requisitos*. Quito: INEN
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (1338:1996). *Carne y productos cárnicos. Salchichas. Requisitos*. Quito: INEN
- Kurčubić, V. S., Mašković, P. Z., Vranić, D. V., Vesković-Moračanin, S. M., Okanović, Đ. G., & Lilić, S. V. (2014). Antioxidant and antimicrobial activity of Kitaibelia vitifolia extract as alternative to the added nitrite in fermented dry sausage. *Meat Science*, 459–467. doi:https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.03.012
- Lashgari, S. S., Noorollahi, Z., Sahari, M. A., & Gavlighi, H. A. (2020). Improvement of oxidative stability and textural properties of fermented sausage via addition of pistachio hull extract. *Food Sci Nutr*, 8(6), 2920–2928. doi:https://doi.org/10.1002/2Ffsn3.1594
- Lorenzo, J., Sineiro, J., Amado, I., & Franco, D. (2014). Influencia de extractos naturales en la vida útil de hamburguesas de cerdo envasadas en atmósfera modificada. *Ciencia de la carne*, 96(1), 526 – 534. doi:https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.007
- Mohammadzadeh, M., Berizi, E., & Shekarforoush, S. S. (2021). Influence of limited replacement of NaCl with KCl and yeast extract on microbiological, chemical, sensory, and textural properties of emulsion-type chicken sausages. *Food Science & Nutrition*. doi:https://doi.org/10.1002/fsn3.2216
- Monterroso, J. (2018). *Desarrollo de una salchicha con adición de zanahoria en sustitución de carne de pollo*. Mazatenango: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- O'Flynn, C., Cruz-Romero, M., Troy, D., Mullen, A., & Kerry, J. (2014). The application of high-pressure treatment in the reduction of phosphate levels in breakfast sausages. 96, 633–639. doi:10.1016/j.meatsci.2013.08.028
- Ojangba, T., Boamah, S., Zhang, L., & Wang, Z. (2022). Efectos de la sustitución parcial de cloruro de sodio (NaCl) por cloruro de potasio (KCl), junto con el procesamiento a alta presión, en las propiedades sensoriales y químicas de la salchicha de res medido en su almacenamiento en frío a 4°C. *CyTA: Journal of food*, 20(1), 412-420. doi:https://doi.org/10.1080/19476337.2022.2138979
- Pacheco, W., Arias, C., & Restrepo, D. (2019). Efecto de la reducción de cloruro de sodio sobre las características de calidad de una salchicha tipo seleccionada. *Rev.Fac.Nal. Agr.Medellin*, 60(2), 6779-6787.
- Physicochemical, Oxidative Stability and Sensory Properties of Frankfurter-Type Sausage as Influenced by the Addition of Carrot (Daucus carota) Paste. (2021). *Foods*, 10(12). doi:10.3390/foods10123032
- Pinzon, L., Zapata, J., & Ordoñez, L. (2015). Análisis de los Parámetros de Color en Salchichas Frankfurt Adicionadas con Extracto Oleoso de Residuos de Chontaduro (Bactris Gasipaes). *Información Tecnológica*, 26(5), 45-54. doi:10.4067/S0718-07642015000500007
- Ramos, M., Santolalla, S., Tarrillo, C., Tuesta, T., Jordan, O., & Silva, R. (2021). Características fisicoquímicas, textura, color y atributos sensoriales de salchichas comerciales de pollo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1). doi:https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1863
- Sam, F. E., Teng-Zhen, M., Atuna, R. A., Salifu, R., Bilal-Ahmad, N., Amagloh, F. K., & Shun-Yu, H. (2021). Physicochemical, Oxidative Stability and Sensory Properties of Frankfurter-Type Sausage as Influenced by the Addition of Carrot (Daucus carota) Paste. *Foods*, 11(12), 3032. doi:https://doi.org/10.3390/2Ffoods10123032
- Savadkoochi, S., Hoogenkamp, K., Shamsi, K., & Farahnaky, A. (2014). Atributos de color, sensoriales y texturales de frankfurt de res, jamón de res y salchicha sin carne con orujo de tomate. *Ciencia de la carne*, 410-418. doi:10.1016/j.meatsci.2014.03.017

- Segurondo, R., Lina, O., & Céspedes, L. (2020). Vigilancia de nitritos y nitratos presentes en salchichas expuestas en los mercados: Rodríguez y Villa Fátima de la ciudad de La Paz. *Revista con Ciencia*, 1(8), 21-28.
- Stanley, R. E., Bower, C. G., & Sullivan, G. A. (2017). Influence of sodium chloride reduction and replacement with potassium chloride based salts on the sensory and physico-chemical characteristics of pork sausage patties. *Meat Science*, 36-42. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.021>
- Tatosaus, A. (2018). Implicaciones de la reducción de sodio en sistemas cárnicos emulsionados. *Ciencia y Tecnología de la Carne*, 1(2), 75-86. Obtenido de http://www.geocities.com/nacameh_carnes/index.html
- Tofiño, A. (2017). Conservación microbiológica de embutido carnico artesanal con aceites esenciales *Eugenia caryophyllata* y *Thymus vulgaris*. *Biotechnologia en el sector agropecuario y agroindustrial*(2). doi:[dx.doi.org/10.18684/bsaa\(v15\)](https://doi.org/10.18684/bsaa(v15))
- Torres, J., Gonzalez, K., Acevedo, D., & Jaimes, J. (2016). Efecto de la utilización de harina de *Lens culinaris* como extensor en las características físicas y aceptabilidad de una salchicha. *Tecnología y cultura. Afirmando el conocimiento*, 20(49), 15-28. doi:<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a01>
- Vespúcio-Bis, C., Bonadio, B., Lorenzo, J. M., & Da Silva-Barretto, A. C. (2019). Low-fat Brazilian cooked sausage-Paio – with added oat fiber and inulin as a fat substitute: effect on the technological properties and sensory acceptance. *Food Sci. Technol*, 39.
- Zarate, D., Malleli, L., Méndez, G., Rivera-De Alba, J. A., & Flores, E. G. (2021). Efecto del nopal (*Opuntia spp*) deshidratado en polvo en las propiedades fisicoquímicas, texturales y sensoriales de salchichas Viena. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 23(2), 89-95. doi:<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1377>
- Zargar, F., Kumar, S., Bhat, Z. F., & Kumar, P. (2014a). Effect of pumpkin on the quality characteristics and storage quality of aerobically packaged chicken sausages. *SpringerPlus*, 3(39), . doi:<https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-39>
- Zargar, F., Kumar, S., Bhat, Z., & Kumar, P. (2017b). Effect of incorporation of carrot on the quality characteristics of chicken sausages. *Indian Journal of Poultry Science*, 52(1), 91-95. doi: 10.5958/0974-8180.2017.00019.8





CIENCIA Y TECNOLOGÍA

revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt



cienciaytecnologia@uteq.edu.ec



+593 997507331

