

Producción de Frutas Tropicales en Ecuador: Especialización productiva y función de optimización

Lilián Morales¹; Ricardo Sinchigalo²; Ana Córdova³; Mayra Bedoya⁴

Resumen

El propósito del presente trabajo de investigación es analizar la función de optimización de la producción y las aglomeraciones agrícolas de frutas tropicales no tradicionales en el Ecuador. Se utilizó la base de datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería con datos de superficie, producción y rendimiento del periodo 2015-2021. Del Geo-portal del Agro Ecuatoriano a través de georreferenciación se estableció la zonificación agroecológica de los cultivos de piña, mango, maracuyá, aguacate, en las provincias limítrofes de mayor producción. Se calculó la función de optimización para cada clúster considerando las restricciones de superficie plantada, acceso a créditos, precios de venta y rendimiento, finalmente se aplicó un modelo correlacional entre la producción de frutas tropicales y el uso del suelo agrícola. Entre los resultados más destacados se muestra que la producción de frutas tropicales no tradicionales pasó de 387.503 toneladas en el 2015 a producir 436.513 toneladas en el 2021. La función de optimización alcanza un máximo de producción en cada una de las aglomeraciones, siendo la superficie plantada la restricción más significativa. Se concluye que la presencia de las aglomeraciones de frutas tropicales en el Ecuador permite la óptima producción agrícola considerando la superficie de plantación utilizada en cada provincia.

Palabras clave: producción agrícola, rendimiento del suelo, aglomeraciones agrícolas, optimización de la producción, frutas tropicales.

Production of Tropical Fruits in Ecuador: Productive specialization and optimization function

Abstract

The purpose of this research work is to analyze the optimization function of production and agricultural agglomerations of non-traditional tropical fruits in Ecuador. The database of the Ministry of Agriculture and Livestock was used with surface, production and yield data for the period 2015-2021. From the Geo-portal of Ecuadorian Agriculture, through georeferencing, the agroecological zoning of pineapple, mango, passion fruit, and avocado crops was established in the bordering provinces with the highest production. The optimization function was calculated for each cluster considering the restrictions of planted area, access to credit, sales prices and yield. Finally, a correlational model was applied between the production of tropical fruits and the use of agricultural land. Among the most notable results, it is shown that the production of non-traditional tropical fruits went from 387,503 tons in 2015 to producing 436,513 tons in 2021. The optimization function reaches a maximum production in each of the agglomerations, with the planted area being the most significant restriction. It is concluded that the presence of tropical fruit agglomerations in Ecuador allows optimal agricultural production considering the plantation surface used in each province.

Keywords: agricultural production, soil performance, agricultural agglomerations, production optimization, tropical fruits.

Recibido: 30 de noviembre de 2023

Aceptado: 18 de febrero de 2024

¹ Facultad de Contabilidad y Auditoría. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. Correo: lilianmorales@uta.edu.ec
Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-7026-4544>

² Facultad de Contabilidad y Auditoría. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. Correo: rsinchigalo8228@uta.edu.ec
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7268-3213>

³ Facultad de Contabilidad y Auditoría. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. Correo: anaccordova@uta.edu.ec
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6330-3306>

⁴ Facultad de Contabilidad y Auditoría. Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. Correo: mp.bedoya@uta.edu.ec
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1429-3548>

I. INTRODUCCIÓN

La creciente población mundial y la necesidad de más recursos naturales para mantener los estilos de vida actuales plantean una problemática global sin precedentes. Según estimaciones de la ONU, para el año 2050 serán necesarios tres planetas para satisfacer la demanda de alimentos de la humanidad. En este contexto, los Objetivos de Desarrollo Sostenible destacan la importancia de garantizar la seguridad alimentaria y promover la producción y el consumo responsables.

La crisis del COVID-19 ha impactado significativamente la producción agrícola, resultando en una reducción de la oferta de alimentos a nivel mundial. Ante esta situación, resulta fundamental aumentar la productividad agrícola y fomentar la producción sostenible de alimentos, principalmente de las frutas tropicales por la creciente demanda global.

En el ámbito de la alimentación, las frutas tropicales desempeñan un papel vital como componentes esenciales de una dieta saludable. Además, su producción y exportación representan una valiosa oportunidad económica para los países en vías de desarrollo. En este contexto, resulta relevante analizar la función de producción de las principales frutas tropicales del Ecuador para exportación.

En América Latina, países como México y Ecuador se destacan como principales productores de frutas tropicales. No obstante, es necesario mejorar la agricultura familiar y promover la tecnificación para aumentar la productividad de las tierras cultivables y garantizar la calidad de los productos.

Para potenciar la actividad agrícola y mejorar el uso del suelo, se destaca la importancia de la asociatividad de los productores y la creación de clústeres agrícolas. Estos clústeres permiten la integración de los actores del sector, fomentando el intercambio de conocimientos y recursos, y generando sinergias que impulsan el desarrollo agrícola. En este sentido, el acceso a información precisa y actualizada es fundamental. Se han implementado herramientas como los geo-portales y bases de datos para recopilar información detallada sobre la producción agrícola y facilitar la toma de decisiones informadas.

Se destaca la relevancia de la producción de frutas tropicales en el comercio mundial y la necesidad de diversificar la agricultura en Ecuador.

El sector agrícola juega un papel fundamental en la economía del país, aportando al PIB y generando empleo. Para lograr un desarrollo sostenible en el sector, se requiere la implementación de políticas públicas adecuadas que promuevan la inversión, la innovación y la transferencia de tecnología. En este contexto, el Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025 establece objetivos específicos relacionados con la productividad y competitividad en el sector agrícola.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Utilizando la teoría de localización, geografía económica y el sistema del valor clúster, Bada y Rivas (2010) analizaron los clústeres de frutas y hortalizas en el estado de Veracruz- México. Su investigación reveló que la agrupación geográfica de las empresas se debe a la interdependencia entre el producto transformado en mercancía y el producto transformado para el mercado. Además, identificaron que los clústeres estudiados corresponden al tipo de producción en masa.

En un estudio sobre el cultivo de piña en Costa Rica, se evidenció un crecimiento significativo en la producción de piña en el periodo de 1984 a 2014, resultado de políticas gubernamentales que estimularon las exportaciones agrícolas no tradicionales y el óptimo uso de la tierra. Se observó un incremento tanto en la cantidad de toneladas producidas como en la superficie cultivada, con un rendimiento que aumentó en un 220%. Estos datos demuestran el éxito de las políticas de estímulo a la producción de frutas tropicales en Costa Rica (Morales, 2018).

Álvarez et al. (2021) analizaron la importancia de la producción de aguacate en Ecuador durante el periodo de 2008 a 2018. Encontraron que las exportaciones de aguacate en Ecuador han reflejado un aumento significativo en la producción y la incursión en nuevos mercados internacionales. Destacaron las propiedades nutricionales del aguacate Hass como un factor clave para su demanda en el mercado internacional. En otro contexto, pero de igual relevancia, Valdés y Rodríguez (2021) investigaron los clústeres de aguacate en Michoacán- México, y su impacto económico. Encontraron que estos clústeres han desarrollado un sistema de producción y comercialización que les permitió acceder al mercado estadounidense, en donde los

pequeños productores asumieron un rol empresarial a través de la cooperación e inversiones conjuntas.

La eficiencia en la producción agrícola se ve afectada por limitaciones en factores como la tierra, el capital y el agua. El modelo de maximización de beneficios utilizando el método simplex permitió a la asociación del GAD Parroquial de Cahuasquí, tomar decisiones más informadas basadas en datos técnicos y vislumbró la necesidad de insumos técnicos en el sector agrícola para desarrollar soluciones prácticas (Arias et al., 2021). De la misma manera, Barboza et al. (2021) se enfocaron en la optimización de la tierra en la producción agrícola. Utilizando un modelo de programación lineal demostraron que este enfoque permite alcanzar la optimización económica al cosechar los productos en los meses de mayor demanda. Sin embargo, señalaron que las restricciones del mercado nacional pueden limitar la diferenciación en la época de cosecha. También exploraron un escenario sin restricciones de mercado, que presentó la mejor solución, pero con el riesgo de una sobre demanda.

II. METODOLOGÍA

En esta investigación, en primera instancia se llevó a cabo un estudio de localización identificando la aglomeración de la producción agrícola de las principales frutas tropicales no tradicionales del Ecuador, siendo las más representativas y objeto de estudio por su mayor volumen de producción, superficie plantada y superficie cosechada, la piña, el mango, el maracuyá y el aguacate. La información se obtuvo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA), el Geo-portal del Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) y el Sistema Nacional para la Administración de Tierras (SINAT). La base de datos se obtuvo de las estadísticas productivas de superficie y producción del SIPA, correspondientes al período 2015-2021.

Para analizar la producción de estas frutas tropicales, se tomaron en cuenta la superficie plantada y cosechada en hectáreas (ha), la producción en toneladas métricas (t), el rendimiento por hectárea (t/ha), información que presentaron las diferentes provincias del país. Por otra parte, se calculó el rendimiento que tiene cada fruta, con la fórmula del

MAG (2020) la cual señala que para cada producto en estudio, se dividen las toneladas de producción para la superficie cosechada en hectáreas. Sirvió de base la delimitación geográfica para georreferenciar las aglomeraciones agrícolas, utilizando los mapas obtenidos del Geo portal del Agro Ecuatoriano, mapas que contienen la zonificación agroecológica de los cultivos en condiciones naturales. Por medio de circunferencias proporcionales a la producción y tomando en cuenta la proximidad geográfica entre provincias limítrofes, cada circunferencia representa a una unidad de producción, es decir, a cada provincia que forma parte del clúster de la fruta tropical, sabiendo que la aglomeración supera los límites administrativos provinciales.

Además, se elaboró la función de optimización para maximizar la producción de las frutas tropicales en los clústeres identificados, utilizando el software GAMS (Sistema de Modelado Algebraico General). Se planteó una función general de optimización que dependía de las superficies plantadas y los rendimientos en cada provincia. Se establecieron restricciones relacionadas con la superficie plantada, la producción media, los créditos obtenidos y las ventas. Estas restricciones se representaron en forma de inecuaciones y se utilizaron para calcular los coeficientes de las variables de decisión y determinar las hectáreas de superficie plantada óptimas para maximizar la producción.

Representación algebraica de la función general

$$\text{Optimizar } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Función Objetivo:

$$\text{Maximizar } Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

Sea:

Z= producción de la fruta tropical

Coefficientes

C₁ = rendimiento de la provincia 1

C₂ = rendimiento de la provincia 2

C_n = rendimiento de la provincia n

Variables de decisión

X₁ = hectáreas de superficie plantada de la provincia 1

X₂ = hectáreas de superficie plantada de la provincia 2

X_n = hectáreas de superficie plantada de la provincia n

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

$$r_{xy} = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Donde:

r_{xy} = coeficiente de correlación entre la variable X y Y

n= número de casos

X= variable producción agrícola de frutas tropicales

Y= variable uso del suelo agrícola (superficie plantada)

III. RESULTADOS

El panorama de la producción de frutas tropicales, correspondientes a la piña, mango, maracuyá y aguacate, presentan en el periodo 2015 - 2021, una expansión que inicia en 387.503 toneladas en el 2015 y avanza a 255.232 toneladas en el 2020. En el 2016 la producción tuvo una variación negativa del -29,1% y en el 2019 una variación también negativa del -12,2%. Sin embargo, para el 2021 el sector se recupera en su totalidad, con un aumento del 71,03% en la producción respecto al 2020, registrando una producción de 436.513 toneladas, la cifra más alta del periodo en estudio.

La piña es la fruta tropical no tradicional con mayor producción en el Ecuador, representa el 48,71% frente a la producción de mango ocupa el segundo lugar con el 28,41%, seguido de la producción de maracuyá en tercer puesto con el 16,18% y finalmente la producción de aguacate con 6,7% de participación.

PRODUCCIÓN DE PIÑA

La producción de piña ha disminuido considerablemente en el periodo analizado, el país pasa de producir 263.521 toneladas en 2015 a producir 104.059 toneladas en el 2020, una caída del 60,51%. En el 2016 la variación anual fue de -55,9% y en el 2019 una caída del -69,01%, en este año el sector produjo 46.348 toneladas. Para el 2020 y 2021 se registran datos positivos, con la producción de 104.059 y 206.660 toneladas respectivamente, el aumento de la producción alcanza el 98,6% para el

último año.

La producción de esta fruta tropical se la realiza principalmente en las zonas de clima cálido lo que en el Ecuador corresponde a la región costa. La provincia Santo Domingo de los Tsáchilas es la provincia que refleja la mayor producción de piña en el Ecuador, representa el 56.4% de la producción nacional entre el 2015 y 2021. La cifra más alta la registra en el 2015 con 167.908 toneladas y su punto más bajo en el 2019 con 29.559 toneladas, para el 2021 tiene un aumento considerable ya que se producen 98.831 toneladas, sin embargo, la provincia no logra igualar su mejor registro. Las provincias que le siguen con mayor aporte son Guayas, Los Ríos y Manabí, con una participación del 30,1%, 8,1% y 3,9% respectivamente del total de la producción.

PRODUCCIÓN DE MANGO

En el periodo estudiado la producción de mango pasó de 60.133 toneladas en 2015 a 124.167 toneladas en 2021, es decir, un crecimiento de 106.5% en 6 años. Con un comportamiento irregular, se evidencian contracciones en 2017 y 2020. Sin embargo, para el 2021 la producción crece en 54,4%, alcanzando el registro más alto de 124.167 toneladas de producción. La provincia del Guayas es por mucho la más importante en la producción de mango, su participación representa el 96,5% de lo que produce el Ecuador. Con una notable evolución en el último 2021 posee su mejor registro con 120.621 toneladas, por esta razón, del año 2015 al 2021 aumentó en 109,6% su producción. Las provincias de Los Ríos, El Oro e Imbabura constituyen solamente el 2,5% de la producción nacional.

PRODUCCIÓN DE MARACUYÁ

La producción de maracuyá disminuyó considerablemente hasta el año 2019, pasó de producir 61.835 toneladas en 2015 a solamente 28.729 toneladas en el 2019. La mayor recuperación refleja un crecimiento del 68,4% para el año 2020 y del 26,4% para el 2021. De esta manera el sector del maracuyá se encuentra en una situación favorable al alcanzar 61.173 toneladas en el último año. La provincia de Manabí es la de mayor producción de maracuyá en el Ecuador, representa el 28.8% del total a nivel nacional, seguida de Esmeraldas en segunda posición con el 25.3%, tercera la provincia de Santo

Domingo de los Tsáchilas con el 16,0%, cuarta Los Ríos con el 12,3% y finalmente Guayas con el 8,3% de lo producido en el país; las cinco provincias juntas producen el 90,5% de la producción de maracuyá.

PRODUCCIÓN DE AGUACATE

La producción de aguacate en el Ecuador presenta un incremento del 13,1% del 2016 al 2018, tal y como lo menciona Álvarez et al. (2021) dicho aumento se debe a que en el año 2016 se apertura el mercado Asiático y de la Unión Europea, conjuntamente con políticas del gobierno destinadas a mejorar la producción de frutas no tradicionales que permitieron al país percibir ingresos de 350 millones en el 2018. En el año de la pandemia que afectó a la economía mundial se observa una reducción del 22,9% respecto al 2019, por el contrario, para el año 2021 la información refleja una recuperación significativa, la producción

del aguacate se duplicó, presentando un aumento del 108,8% gracias al aumento de las exportaciones y de la demanda mundial de esta fruta tropical.

Pichincha es la provincia con la mayor producción de aguacate en el Ecuador, representa el 32,6% de la producción nacional entre el 2015 y 2021, sin embargo, para el último año disminuyen sus cifras. Carchi se posiciona como la segunda provincia con alta producción de aguacate llegando a 26,4% del total nacional, no obstante, esta provincia es la que más aporta en el año 2021. Tungurahua está en tercer lugar y representa el 20,2%, seguida de Imbabura con el 12,4% de la producción de aguacate. Hay que destacar que la información de la producción de otras provincias es alta en el último año, debido a que en la provincia de Santa Elena se registró una producción de 8273,19 toneladas en 2021.

Tabla 1. Producción de las principales frutas tropicales no tradicionales en el Ecuador (Expresada en Toneladas por Provincia)

Fruta	Provincia	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
PIÑA	Sto. Dgo. de los Tsáchilas	167.980	66.574	53.046	100.070	29.559	99.720	98.831	615.779
	Guayas	91.068	48.942	110.318	40.884	13.176	3.334	21.509	329.231
	Los Ríos	1.908	-	192	1.149	-	-	85.356	88.605
	Sucumbíos	2.091	204	155	5.709	1.496	436	395	10.486
	Esmeraldas	-	58	37	978	202	-	-	1.276
	Manabí	-	36	240	588	266	-	-	1.130
	Otras	474	228	1.319	170	1.649	569	570	4.980
MANGO	Guayas	57.536	80.834	67.569	85.344	102.570	78.029	120.621	592.503
	Los Ríos	-	-	826	2.097	-	1.817	2.194	6.934
	El Oro	1.088	812	816	1.141	371	-	101	4.329
	Imbabura	568	59	185	1.009	1.111	86	1.010	4.030
	Manabí	497	470	553	145	1.533	-	81	3.279
	Carchi	51	-	54	456	296	576	54	1.487
	Otras	393	70	158	525	345	137	106	1.733
MARACUYÁ	Manabí	12.591	15.758	8.815	13.856	15.029	17.630	16.841	100.520
	Esmeraldas	20.915	5.294	7.763	5.194	1.440	20.047	27.791	88.444
	Sto. Dgo. de los Tsáchilas	8.388	17.621	8.142	4.413	6.047	4.685	6.630	55.927
	Los Ríos	8.308	12.876	8.454	1.449	2.548	1.201	8.093	42.930
	Guayas	3.763	4.589	11.677	4.922	1.029	2.253	911	29.144
Otras	7.871	2.385	9.824	6.183	2.636	2.563	906	32.368	

AGUACATE	Pichincha	-	5.393	9.127	7.452	9.049	7.367	8.781	47.169
	Carchi	-	2.894	3.257	4.703	5.922	4.762	16.652	38.190
	Tungurahua	-	4.964	5.498	2.988	8.653	4.309	2.744	29.156
	Imbabura	-	2.682	2.510	2.958	2.570	3.128	4.118	17.967
	Otras	-	185	604	130	214	787	10.197	12.116

Nota: Otras corresponden al total de las demás provincias cuya participación es poco significativa, (-) no registran datos.

Fuente: ESPAC

SUPERFICIE PLANTADA Y COSECHADA

El país presenta una superficie plantada de 37.499 hectáreas y cosechada de 25.295 hectáreas de las principales frutas tropicales en el año 2015, llegando a 45.765 ha. Plantadas y 36.081 ha cosechadas en el año 2021. Los datos más bajos de superficie plantada y cosechada se evidencian en 2015 y 2019, para el primer año la diferencia entre la superficie plantada y superficie cosechada corresponde al 32,6%, es decir, solamente se cosechó el 67.5% de todo lo plantado ese año, para el año 2018 hay un incremento y la superficie cosechada en el Ecuador llega al 81,2%.

El mango es la fruta tropical no tradicional con más superficie plantada en el país, seguida del maracuyá, la piña y el aguacate. Es importante señalar que la piña ocupa el tercer lugar en superficie plantada, sin embargo, es la fruta con mayor producción a nivel nacional.

En cuanto a superficie cosechada, el mango es la fruta tropical que destaca, seguida de maracuyá, piña y aguacate. Ciertamente que la piña ocupa el tercer lugar

en superficie cosechada, sin embargo, es la fruta con mayor producción a nivel nacional.

En el Ecuador cada vez se planta y se cosecha menos piña, la diferencia que existe entre ambas se ha reducido. La superficie cosechada en 2016 representa solamente el 54,11% de la superficie plantada y para el año 2020 el porcentaje de la superficie cosechada aumenta en 68,27%. Existe un aumento en el año 2021, que alcanza el 76,2% de superficie cosechada, de modo que la brecha entre ambas se reduce en los últimos años.

Para el mango en el año 2018 la superficie plantada y cosechada llega su pico más alto, en ese mismo año la superficie cosechada llega al 93,2% de la superficie plantada y hubo una diferencia correspondiente al 6,8%. Por el contrario, en el año 2015 la superficie cosechada representa el 55,3% y la diferencia el 44,7%. Posteriormente en los últimos años se reduce esta diferencia, por ejemplo, para el año 2021 este valor fue solamente del 11,0% de lo plantado.

Tabla 2. Superficie Plantada y Cosechada de las principales frutas tropicales no tradicionales en el Ecuador (Expresada en Hectáreas por Provincia)

Fruta	Provincia /Superficie plantada y cosechada	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
		SP	SC	SP	SC	SP	SC	SP	SC	SP	SC	SP	SC	SP	SC
PIÑA	Guayas	4.329	2.437	3.301	1.806	5.859	3.121	4.353	1.770	2.761	1.812	1.113	742	2.265	1.250
	Sto.Dgo. de los Tsáchilas	3.717	2.998	1.966	1.272	2.127	1.238	2.382	2.193	1.541	1.518	3.153	2.258	1.900	1.617
	Sucumbíos	464	298	527	75	391	85	664	514	398	369	87	59	321	176
	Los Ríos	482	120	-	-	37	4	81	41	-	-	-	-	1.758	1.758
	Esmeraldas	-	-	30	26	110	20	344	230	41	41	-	-	-	-
	Manabí	-	-	1	1	50	34	64	63	25	25	-	-	-	-
	Otras	111	99	98	24	246	153	79	54	293	283	438	211	196	104

MANGO	Guayas	14.154	7.812	20.375	16.737	17.875	14.431	20.382	19.472	17.398	15.398	17.347	14.847	16.417	15.164
	Imbabura	352	140	65	5	73	43	342	145	557	99	535	156	542	289
	Los Ríos	76	-	104	-	560	225	715	477	-	-	363	254	1.085	629
	El Oro	355	298	100	100	174	169	334	182	98	98	-	-	26	26
	Manabí	132	103	180	83	86	71	35	35	449	287	-	-	27	27
	Carchi	75	9	-	-	72	14	99	91	146	58	156	103	8	6
	Esmeraldas	11	7	-	-	-	-	20	20	-	-	-	-	15	-
MARACUYÁ	Otras	101	70	19	19	50	34	70	70	41	41	79	75	45	19
	Manabí	3.409	2.731	3.678	2.820	2.458	1.804	1.890	1.211	2.860	1.787	4.020	2.952	3.254	2.825
	Esmeraldas	2.881	2.414	2.198	1.366	2.265	1.679	2.297	1.671	1.607	504	4.852	3.197	6.838	3.565
	Sto. Dgo. de los Tsáchilas	2.121	1.612	2.860	2.045	1.493	1.134	1.612	1.196	1.178	734	1.264	937	1.675	1.341
	Los Ríos	1.520	1.202	2.494	1.306	2.219	1.849	872	758	913	604	289	274	826	743
	Guayas	1.365	1.238	1.104	696	2.340	1.723	942	876	398	334	499	235	467	295
	Otras	1.845	1.706	1.015	885	1.364	1.166	787	745	457	378	2.082	390	388	242
AGUACATE	Pichincha	-	-	1.543	1.122	2.077	1.579	2.049	1.719	1.803	1.246	2.220	1.953	2.205	1.770
	Carchi	-	-	1.364	758	1.706	981	1.998	1.411	2.112	1.078	2.087	1.545	2.587	2.239
	Tungurahua	-	-	1.509	1.265	1.340	1.191	666	566	1.276	1.098	690	616	557	481
	Imbabura	-	-	1.072	422	1.215	825	1.112	427	1.688	899	960	494	1.322	764
	Otras	-	-	67	48	151	77	286	186	231	96	309	215	1.043	751

Nota: Para cada provincia la primera fila corresponde a las hectáreas de superficie plantada (SP) y superficie cosechada (SC), (-) no registran datos

Fuente: ESPAC

RENDIMIENTO DEL SUELO

Al calcular el rendimiento, dividiendo la producción de fruta (toneladas) para la superficie cosechada (hectáreas), los valores de rendimiento correspondientes a la piña tienen tendencia a la baja del 2015 al 2019, el valor más alto se refleja en el año 2015 y el valor más bajo en el año 2019, sin embargo, para el 2020 el rendimiento de la piña aumentó en un 177,81%, casi el doble en tan solo un año, eso demuestra la capacidad que tiene el sector de recuperarse, desde el punto de vista de Morales (2018) se puede hasta triplicar el rendimiento de la producción de piña, haciendo uso de tecnología de calidad, por ejemplo, optar por variedades de la fruta mejoradas y la aplicación de agroquímicos que ayudan a las plantas a tener mayor producción. Para el mango se observa el rendimiento más bajo en el año 2018, a partir de ese año tiene una tendencia creciente y llega a su valor más alto en 2021. El maracuyá es la fruta que muestra los valores más regulares durante el periodo estudiado y en el último año alcanza su mejor registro. Finalmente, para el

aguacate los valores del rendimiento tienen una tendencia creciente, con un incremento del 67,67% en el 2021 respecto al año anterior, esta fruta registra su mejor marca.

En base a los rendimientos que presentan las provincias a lo largo del periodo, Santo Domingo de los Tsáchilas es la provincia con mayor rendimiento en la producción de piña en el Ecuador, seguida de Los Ríos. Guayas es la provincia con mayor rendimiento en la producción de mango y Los Ríos es la provincia de mejor rendimiento en la producción de maracuyá.

La provincia de Tungurahua, siendo la tercera provincia en nivel de producción de aguacate, presenta el mejor rendimiento, la segunda en rendimiento es Pichincha, seguido de Carchi y finalmente Imbabura. Hay que destacar que el rendimiento en la producción de aguacate de "Otras provincias" es alto, debido a que en la provincia de Santa Elena se inició la producción en el año 2021, reflejando una producción de 8273,19 toneladas en 520 ha de cosecha, es decir, un rendimiento de 15,9 t/ha.

Tabla 2. Rendimiento de las Principales Frutas Tropicales No Tradicionales en el Ecuador (Expresado en Toneladas por Hectárea)

Año	Piña		Mango		Maracuyá		Aguacate	
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%
2015	44,28		7,13		5,67		-	-
2016	36,21	-18,22	4,85	-31,88	6,42	13,19	4,46	
2017	35,51	-1,95	4,68	-3,55	5,85	-8,93	4,51	1,19
2018	30,74	-13,42	4,43	-5,44	5,58	-4,58	4,23	-6,23
2019	11,45	-62,74	6,61	49,24	6,62	18,67	5,98	41,37
2020	31,82	177,81	5,21	-21,14	6,06	-8,47	4,22	-29,44
2021	42,13	32,42	7,68	47,47	6,79	12,05	7,08	67,67
Rendimiento por Provincias (t/ha)								
Provincias de mayor producción	Piña		Mango		Maracuyá		Aguacate	
	Santo Domingo de los Tsáchilas	47,6	Guayas	5,7	Manabí	6,2	Pichincha	5,0
	Guayas	25,1	Los Ríos	4,4	Esmeraldas	6,1	Carchi	4,8
	Los Ríos	46,1	El Oro	5	Santo Domingo de los Tsáchilas	6,2	Tungurahua	5,6
	Sucumbíos	6,6	Imbabura	4,6	Los Ríos	6,4	Imbabura	4,7
	Esmeraldas	4,0	Manabí	5,4	Guayas	5,4	Otras	8,8
	Manabí	9,2	Carchi	5,3	Otras	5,9		
	Otras	5,4	Otras	4,9				

Nota: (-) no registra datos.

Fuente: ESPAC

IDENTIFICACIÓN DE LAS AGLOMERACIONES A TRAVÉS DE GEORREFERENCIACIÓN ESPACIAL DE LAS PRINCIPALES FRUTAS TROPICALES NO TRADICIONALES EN EL ECUADOR

PIÑA

Se identifica la existencia de una aglomeración de piña en el Ecuador, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas con un rendimiento de 47,6 t/ha, Guayas con un rendimiento de 25,1 t/ha y Los Ríos con un rendimiento de 46,1 t/ha.

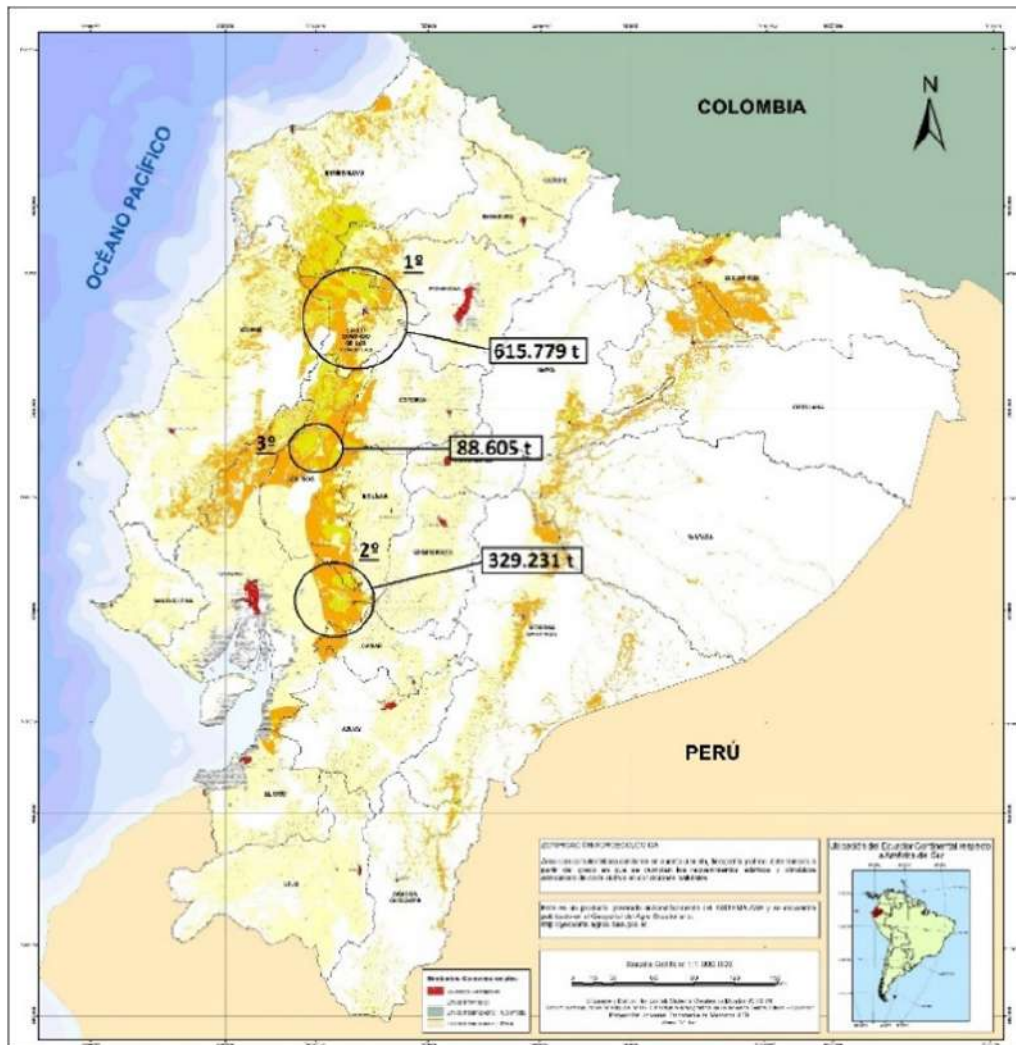


Figura 1. Mapa de georreferenciación de la aglomeración espacial de la Piña en el Ecuador periodo 2015-2021

Nota: Las circunferencias representan a cada provincia y su volumen de producción 2015-2021.

Fuente: Geoportal MAG

MANGO

Se identifica la aglomeración espacial de mango en el Ecuador, en Guayas con un rendimiento de

5,7 t/ha, la segunda provincia es Los Ríos con un rendimiento de 4,4 t/ha y en tercer lugar está El Oro con un rendimiento de 5,0 t/ha.

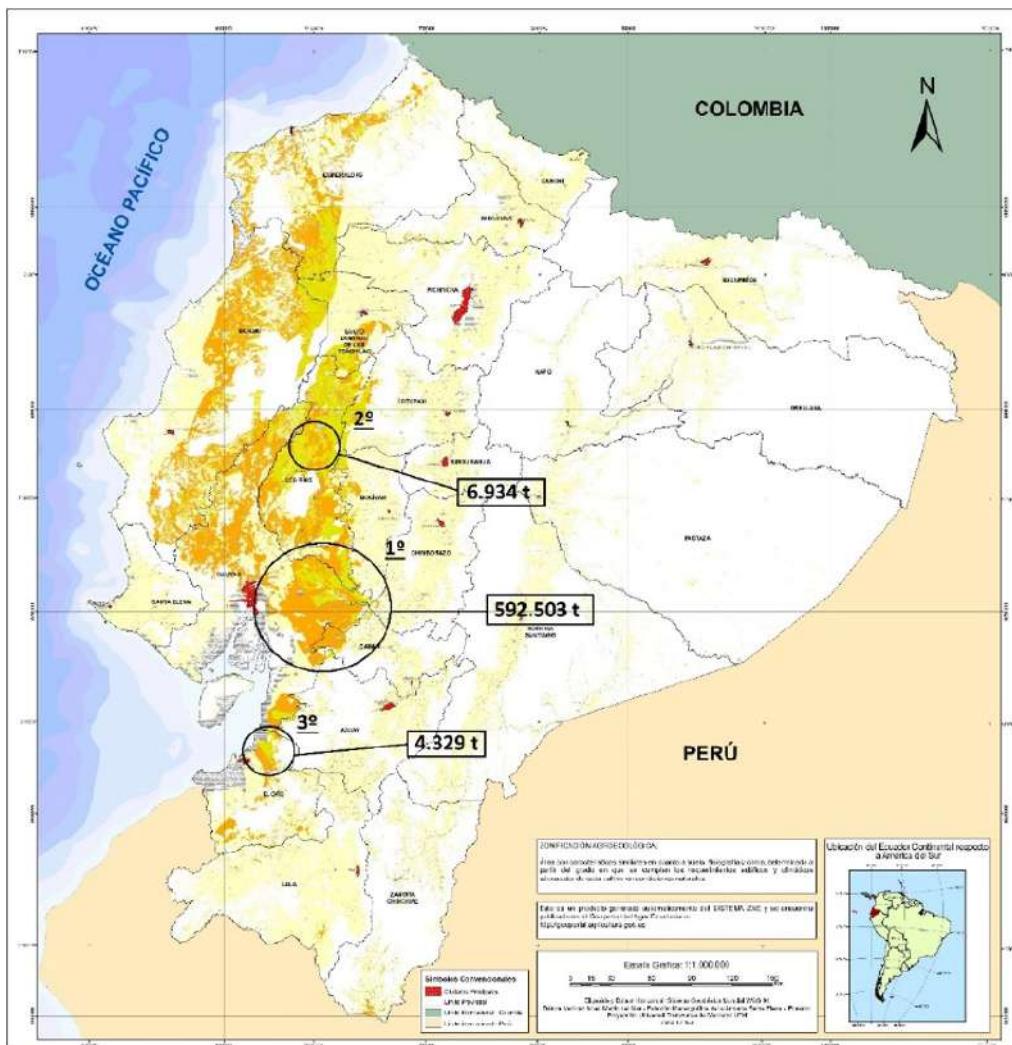


Figura 2. Mapa de georreferenciación de la aglomeración espacial del mango en el Ecuador periodo 2015-2021

Nota: Las circunferencias representan a cada provincia y su volumen de producción 2015-2021.

Fuente: Geoportal MAG

MARACUYÁ

Se identifica que la aglomeración espacial de maracuyá en el Ecuador está conformado por Manabí que tiene un rendimiento de 6,2 t/ha., Esmeraldas

con un rendimiento de 6,1 t/ha., Santo Domingo de los Tsáchilas con un rendimiento de 6,2 t/ha., Los Ríos con un rendimiento de 6,4 t/ha y finalmente la provincia del Guayas con 5,4 t/ha.

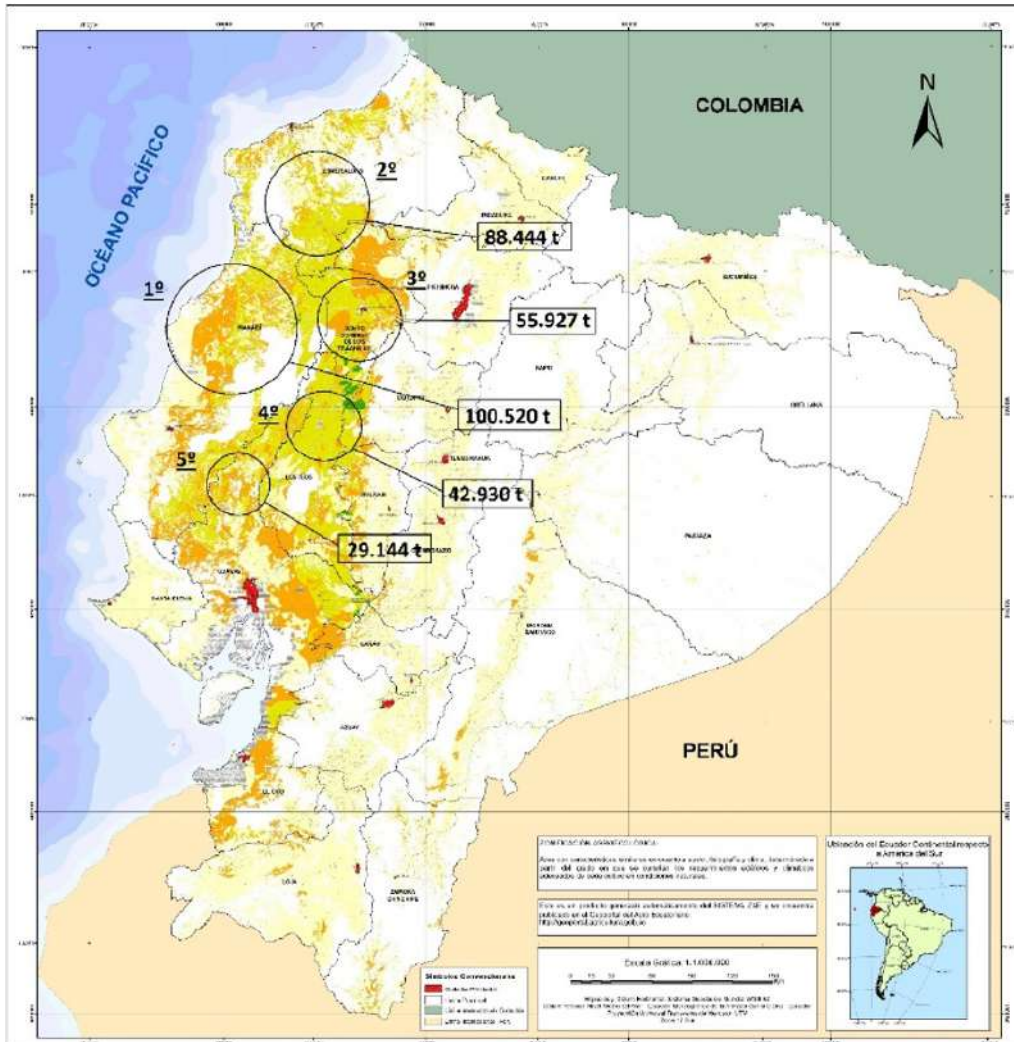


Figura 3. Mapa de georreferenciación de la aglomeración espacial del maracuyá en el Ecuador periodo 2015-2021

Nota: Las circunferencias representan a cada provincia y su volumen de producción 2015-2021.

Fuente: Geoportal MAG

AGUACATE

Se identifica que la aglomeración de aguacate en el Ecuador se ubica en la provincia de Pichincha, con un rendimiento de 5,0 t/ha, la provincia del Carchi con un rendimiento de 4,8 t/ha e Imbabura

con un rendimiento de 4,7 t/ha. Es importante destacar la provincia de Tungurahua con un alto nivel de producción y un rendimiento de 5,6 t/ha pero no conforma el clúster de aguacate por su distanciamiento de las otras provincias.

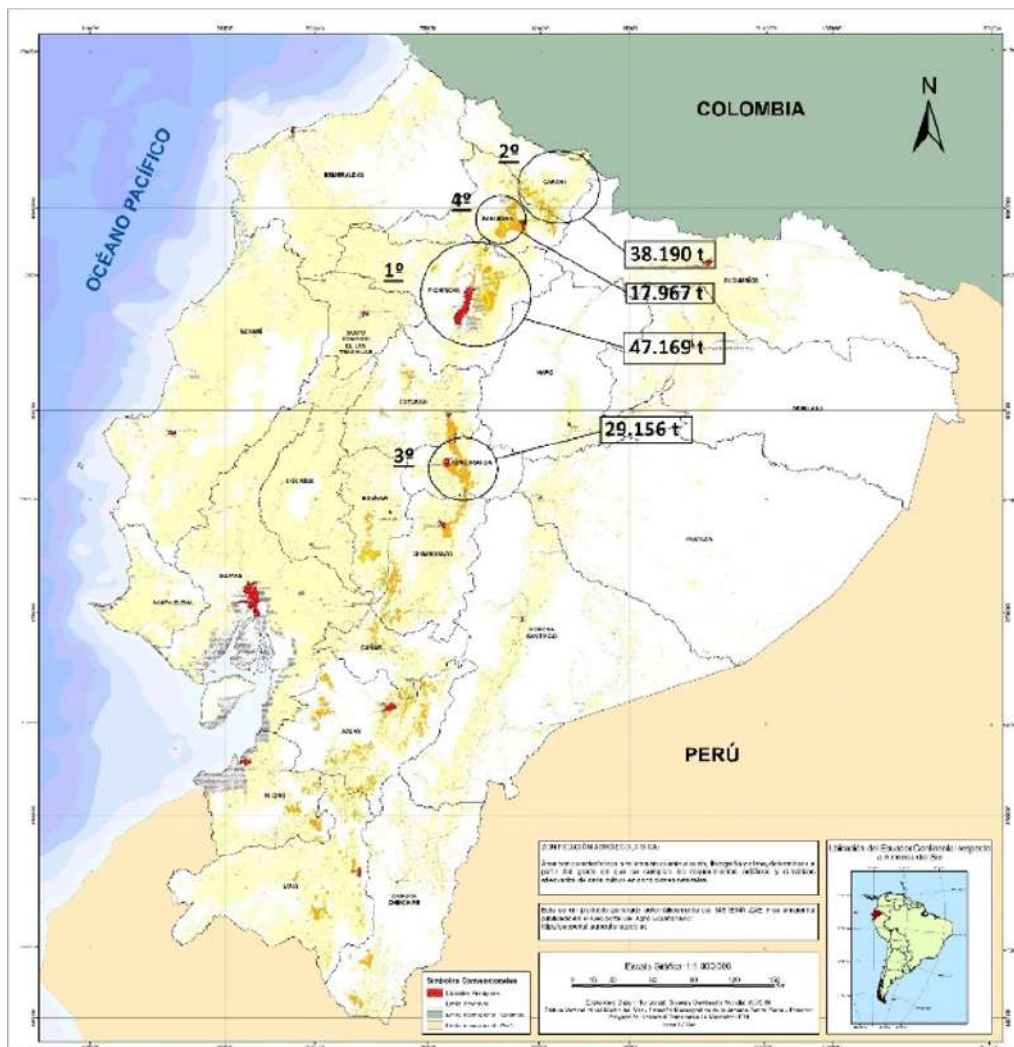


Figura 4. Mapa de georreferenciación de la aglomeración espacial de aguacate en el Ecuador periodo 2015-2021

Nota: Las circunferencias representan a cada provincia y su volumen de producción 2015-2021.

Fuente: Geoportal MAG

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN CADA CLÚSTER AGRÍCOLA

FUNCIÓN DE OPTIMIZACIÓN

Tabla 4. Requerimientos para la Función de Optimización de las aglomeraciones espaciales de las principales frutas tropicales no tradicionales en el Ecuador

Año	Provincias	Rendimiento	Producción	Créditos	Ventas
		(t/ha)	(t)	(\$)	(\$)
Clúster de Piña	Santo Domingo	52,02	87.968	5.487.309	43.485.200
	Guayas	9,5	47.033	10.513.269	1.064.677
	Los Ríos	48,56	12.658	562.945	93.890.500
	Requerimiento Mínimo		147.659		138.440.377
	Requerimiento Máximo			16.563.521	
Clúster de Mango	Guayas	7,35	84.643	7.968.938	71.166.501
	Los Ríos	2,02	1.734	3.000	702.028
	El Oro	3,9	721	2.218.256	37.214
	Requerimiento Mínimo		87.098		71.905.743
	Requerimiento Máximo			10.190.195	
Clúster de Maracuyá	Manabí	5,17	14.360	1.567.802	740.986
	Esmeraldas	4,06	12.635	1.286.395	1.306.190
	Santo Domingo de los Tsáchilas	3,96	7.990	383.068	331.512
	Los Ríos	1,95	4.163	290.440	62.855
	Guayas	1,95	4.163	290.440	62.855
	Requerimiento Mínimo		45.280		2.378.687
	Requerimiento Máximo			3.834.085	
	Pichincha	3,98	7.862	1.258.757	1.106.469
	Carchi	6,44	6.365	1.162.912	1.482.039
	Imbabura	4,93	4.859	1.045.080	356.760
	Requerimiento Mínimo		17.221		2.588.508
	Requerimiento Máximo			4.950.089	

Nota: Créditos de entidades públicas y privadas, ventas a precios diciembre 2021.

Fuente: SIPA-MAG

IV. RESULTADOS DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

El modelo de optimización para el clúster de piña, indica que la función objetivo se maximiza con una producción de 307.362,8 toneladas de piña, utilizando una superficie de 5.922,6 ha de plantación. Se observa que la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas es la más influyente para optimizar la producción y se debe plantar una superficie de 5.710,8 ha y en la provincia de Los Ríos se debe plantar una superficie de 211,8 ha. En cuanto

a las restricciones cabe mencionar que las ventas de piña aumentarían en 3,5 millones de dólares. Para los valores marginales tenemos que por el aumento de una hectárea de superficie plantada la función objetivo incrementa 48.12 toneladas, de igual forma por el aumento de un dólar en los créditos la función objetivo aumenta 0.0013 toneladas, es decir 1.3 kg.

Por otra parte, en la aglomeración espacial del mango la función objetivo se maximiza con una producción de 128.824,41 toneladas de mango, utilizando una superficie de 17.527,13 hectáreas de

plantación, se observa que en la provincia del Guayas se debe realizar toda la actividad. Como resultado se obtiene que, sin utilizar menos 1,6 millones en créditos, las ventas aumentan 4,5 millones. El valor marginal correspondiente a la superficie indica que por el aumento de una hectárea de plantación la función objetivo aumenta 7.35 toneladas de producción de fruta.

Para la aglomeración espacial de maracuyá, el máximo valor de la función objetivo se alcanza con una producción de 101.228,96 toneladas de maracuyá, utilizando una superficie de 10.340 hectáreas de plantación. Se observa que en la provincia de Los Ríos se debe realizar toda la actividad, como resultado se obtiene que se logra optimizar la función disminuyendo la superficie de plantación en 2.719 hectáreas y aumentarían las ventas en 4,3 millones de dólares. El valor marginal correspondiente a los créditos indica que por el

aumento de un dólar de créditos la función objetivo aumenta 0.0264 toneladas o 2.64 kg de producción de maracuyá.

Finalmente, los resultados del modelo de optimización para la aglomeración espacial de aguacate indican que la producción llegaría a un máximo de 39.376,86 toneladas utilizando una superficie de 6.114.4 hectáreas. Las actividades deben realizarse en la provincia del Carchi. Se utiliza menos 2,2 millones en créditos y aumentando las ventas 914.626 dólares. Los valores marginales indican que por el aumento de una hectárea de plantación la función objetivo aumenta en 6,44 toneladas de producción de aguacate.

RELACIÓN DEL USO DE SUELO CON LA PRODUCCIÓN DE LOS CLÚSTERES DE FRUTAS TROPICALES ANÁLISIS CORRELACIONAL

Tabla 5. Resultados de la Correlación (Producción Agrícola de Frutas Tropicales y Uso del Suelo Agrícola)

Aglomeración espacial agrícola	Coefficiente de Correlación
Piña	0,8076
Mango	0,1944
Maracuyá	0,9875
Aguacate	0,8538

Nota. Resultados extraídos con el Software Estadístico Excel

Los coeficientes de correlación (entre 0 y 1; 0 y -1) para las cuatro aglomeraciones muestran para las aglomeraciones de piña, mango y aguacate, una correlación positiva alta, significa que la producción agrícola de frutas tropicales depende del uso del suelo agrícola, es decir, por lo tanto, a mayor uso del suelo tendrán mayor producción agrícola.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

El cultivo de mango, con un coeficiente que se acerca a cero, significa que las variables producción agrícola y el uso del suelo no tienen relación, en tal sentido Guerrero (2018) menciona que, en los países con mayores producciones de mango, su crecimiento en la producción no necesariamente responde exclusivamente a incrementos en la superficie, la mayoría lo han hecho dando prioridad al rendimiento con poco crecimiento en el área destinada al cultivo.

En lo que respecta al rendimiento. La piña, el mango, el maracuyá y el aguacate evidencian su pico

más alto de rendimiento en el 2021. En cuanto a las provincias de mayor rendimiento se ubican Santo Domingo de los Tsáchilas con la piña, Guayas con el mango, Los Ríos con maracuyá. Un caso notorio es el de la provincia de Tungurahua por ser una provincia de la sierra andina y porque registra el mayor rendimiento con el aguacate.

VI. CONCLUSIONES

El comportamiento de la producción de las frutas tropicales no tradicionales en el Ecuador se caracteriza por una tendencia con variación positiva durante el periodo 2015-2021, pese a que hubo caídas fuertes en los años 2016 y 2020, el sector se recuperó en su totalidad en el año 2021 mostrando los valores más altos en el volumen de producción y evidenciando la capacidad de reactivación que tiene el sector agrícola de frutas tropicales.

La localización del cultivo de Piña se ubica en cuatro provincias, en el caso del mango la extensión

de superficie de suelo de cultivo abarca cinco provincias y el cultivo de maracuyá se ubica en cuatro provincias. Estas tres frutas tropicales se cultivan en la región costa del Ecuador y la característica de estas aglomeraciones es que el cultivo supera los límites administrativos provinciales y la cercanía geográfica deja entrever características similares de uso del suelo, clima, entre otros.

En cuanto a la función de optimización aplicada a cada aglomeración espacial de frutas tropicales, se constata que la superficie plantada (ha) es una de las restricciones que aportan a la comprensión de la función de optimización y en menor medida los créditos obtenidos por los agricultores y las ventas de cada fruta en las diferentes provincias.

La producción agrícola de frutas tropicales para los clústeres de piña, mango y aguacate está fuertemente relacionada con el uso del suelo medido por la superficie plantada, dicho de otro modo, en el periodo de estudio estas aglomeraciones han tenido que aumentar la superficie plantada para aumentar su volumen de producción. Por otra parte, la aglomeración espacial de mango no cumple con esta condición, debido a que el aumento de su producción agrícola se enfoca en el mejoramiento del rendimiento disminuyendo el uso del suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Afshin, A., Sur, P. J., Fay, K. A., Cornaby, L., Ferrara, G., Salama, J. S., Mullany, E. C., Abate, K. H., Abbafati, C., Abebe, Z., Afarideh, M., Aggarwal, A., Agrawal, S., Akinymijiu, T., Alahdab, F., Bacha, U., Bachman, V. F., Badali, H., Badawi, A., ... Murray, C. J. L. (2019). Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 393(10184), 1958–1972. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30041-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30041-8)

Álvarez Flores, J. J., Vite Cevallos, H., Garzón Montealegre, V. J., & Carvajal Romero, H. (2021). Análisis de la producción de aguacate en el Ecuador y su exportación a mercados internacionales en el periodo 2008 al 2018. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), 164–172. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/download/424/444>

Arellano-Esparza, C. A. (2022). Seguridad alimentaria y política pública: un desafío civilizatorio. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), 1–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1203>

FAO. (2022). *Major Tropical Fruits: Preliminary results*. <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/tropical-fruits/en/>

Franco Lucas, B., Götze, F., Vieira Costa, J. A., & Brunner, T. A. (2022). Consumer Perception Toward “Superfoods”: A Segmentation Study. *Journal of International Food and Agribusiness Marketing*, 0(0), 1–19. <https://doi.org/10.1080/08974438.2022.2044955>

Luque Zúñiga, B. G., Moreno Salazar Calderón, K. A. B., & Lanchipa Ale, T. M. (2021). Impactos del COVID-19 en la agricultura y seguridad alimentaria. *Centro Agrícola*, 47(1), 72–82. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So253-57852021000100072&lng=es&tlng=es.

MAG. (2020). *Resumen Ejecutivo de los Diagnósticos Territoriales del Sector Agrario*. https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/08/Resumen-Ejecutivo-Diagnósticos-Territoriales-del-Sector-Agrario_14-08-2020-1_compressed.pdf

MAGAP. (2016). *La Política Agropecuaria Ecuatoriana. Hacia el desarrollo territorial rural sostenible: 2015-2025*. <http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/01-06PPP2015-POLITICA01.pdf>

f

Morales-Abarca, L. F. (2018). Producción y rendimiento del cultivo de la piña (ananas comosus) en Costa Rica, periodo 1984-2014. *E-Agronegocios*, 4(2), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.18845/rea.v4i2.3681>

ONU. (n.d.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Retrieved July 5, 2022, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Singh, P., & Kaur, A. (2022). Chapter 2 - A systematic

review of artificial intelligence in agriculture. In R. C. Poonia, V. Singh, & S. R. B. T.-D. L. for S. A. Nayak (Eds.), *Cognitive Data Science in Sustainable Computing* (pp. 57–80). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85214-2.00011-2>

Urdaneta Montiel, A. J., & Borgucci García, E. V. (2021). Economías de aglomeración y externalidades

negativas en Ecuador, periodo 2007-2017. *Cuadernos de Economía*, 40(82), 165–191. <https://doi.org/10.15446/cuadecon.v40n82.81058>

ANEXOS
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PARA CADA CLÚSTER DE FRUTA TROPICAL

Anexo 1. Resultados del Modelo de Optimización de la aglomeración espacial de la Piña

Optimal solution found				
Objective: 307362.805059				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU FO	.	.	.	1.0000
---- EQU RSUPERFIC~	-INF	5922.6400	5922.6400	48.1285
---- EQU RPRODUCCI~	147659.3200	217433.0811	+INF	.
---- EQU RCREDITO	-INF	1.6563523E+7	1.6563523E+7	0.0013
---- EQU RVENTAS	1.3844038E+8	1.4203856E+8	+INF	.
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR STODGO	.	5710.8112	+INF	.
---- VAR GUAYAS	.	.	+INF	-44.8811
---- VAR LOSRIOS	.	211.8288	+INF	.
---- VAR Z	-INF	307362.8051	+INF	.

Nota. Los valores R corresponden a las restricciones, los valores mínimos Lower, los valores máximos Upper.

Fuente: Software GAMS

Anexo 2. Resultados del Modelo de Optimización de la aglomeración espacial del Mango

Optimal solution found				
Objective: 128824.405500				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU FO	.	.	.	1.0000
---- EQU RSUPERFIC~	-INF	17527.1300	17527.1300	7.3500
---- EQU RPRODUCCI~	87098.4000	87285.1074	+INF	.
---- EQU RCREDITO	-INF	8508019.4446	1.0190195E+7	.
---- EQU RVENTAS	7.1905743E+7	7.5980459E+7	+INF	.
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR GUAYAS	.	17527.1300	+INF	.
---- VAR LOSRIOS	.	.	+INF	-5.3300
---- VAR ELORO	.	.	+INF	-3.4500
---- VAR Z	-INF	128824.4055	+INF	.

Nota. Los valores R corresponden a las restricciones, los valores mínimos Lower, los valores máximos Upper.

Fuente: Software GAMS

Anexo 3. Resultados del Modelo de Optimización de la aglomeración espacial de Maracuyá

```

Optimal solution found
Objective:      101228.954848
    
```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU FO	.	.	.	1.0000
---- EQU RSUPERFIC~	-INF	10340.0362	13059.5800	.
---- EQU RPRODUCCI~	45280.7900	48598.1704	+INF	.
---- EQU RCREDITO	-INF	3834085.4400	3834085.4400	0.0264
---- EQU RVENTAS	2378687.1600	6684419.8316	+INF	.
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR MANABI	.	.	+INF	-7.5496
---- VAR ESMERALDAS	.	.	+INF	-0.9073
---- VAR STODGO	.	.	+INF	-2.0790
---- VAR LOSRIOS	.	10340.0362	+INF	.
---- VAR GUAYAS	.	.	+INF	-14.4807
---- VAR Z	-INF	101228.9548	+INF	.

Nota. Los valores R corresponden a las restricciones, los valores mínimos Lower, los valores máximos Upper.

Fuente: Software GAMS

Anexo 4. Resultados del Modelo de Optimización de la aglomeración espacial del Aguacate

```

Optimal solution found
Objective:      39376.864800
    
```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU FO	.	.	.	1.0000
---- EQU RSUPERFIC~	-INF	6114.4200	6114.4200	6.4400
---- EQU RPRODUCCI~	17221.0300	19688.4324	+INF	.
---- EQU RCREDITO	-INF	2748798.6552	4950089.5900	.
---- EQU RVENTAS	2588507.8400	3503134.6506	+INF	.
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR PICHINCHA	.	.	+INF	-2.4600
---- VAR CARCHI	.	6114.4200	+INF	.
---- VAR IMBABURA	.	.	+INF	-3.3300
---- VAR Z	-INF	39376.8648	+INF	.

Nota. Los valores R corresponden a las restricciones, los valores mínimos Lower, los valores máximos Upper.

Fuente: Software GAMS