



Uso de insumos agrícolas y factores ambientales sobre la productividad de cultivos permanentes: Un análisis basado en la ESPAC 2023

Agricultural input use and environmental factors on the productivity of permanent crops: An analysis based on ESPAC 2023

 <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n3.2025.123-139>

Recibido: 10-02-2025

Aceptado: 11-06-2025

Publicado: 25-09-2025

Diana Julissa Valverde Jalca^{1*}

 <https://orcid.org/0009-0006-2999-5891>

Gabriela Elizabeth Revelo Salgado²

 <https://orcid.org/0000-0001-5238-223X>

1. Universidad Politécnica Estatal del Carchi; Dirección de Posgrado UPEC; Tulcán, Ecuador.
2. Universidad Politécnica Estatal del Carchi; Dirección de Posgrado UPEC; Tulcán, Ecuador.

Volumen: 9

Número: 3

Año: 2025

Paginación: 123-139

URL: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/979>

***Correspondencia autor:** julissavalverde@hotmail.com



RESUMEN

Los cultivos permanentes representan una estrategia clave para la sostenibilidad agrícola en Ecuador, al ofrecer rendimientos estables sin requerir replantación anual. No obstante, existen pocos estudios que analicen de forma integral los factores que determinan su productividad. Este estudio analiza el efecto de los insumos agrícolas y de los factores ambientales sobre la productividad de cultivos permanentes en Ecuador, utilizando modelos de regresión lineal por pasos a partir de los datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC 2023). Se analizaron variables como tipo de semilla, uso de fertilizantes y fitosanitarios, riego y eventos climáticos adversos. La colinealidad elevada en fertilizantes (VIF = 89), fitosanitarios (VIF = 76) y riego (VIF = 46.9) motivó su exclusión del modelo, mientras que variables como plagas y enfermedades (VIF \approx 1) se mantuvieron. Los resultados indican que el uso de semilla común tuvo un efecto positivo significativo sobre la productividad, mientras que el uso de herbicidas mostró un efecto negativo. El modelo explicó el 99.8% de la variabilidad de la productividad (R^2 ajustado = 0.998). Se concluye que el rendimiento agrícola depende de un manejo adecuado de semillas y agroquímicos. Se recomienda fortalecer la capacitación técnica y promover prácticas sostenibles para mejorar la rentabilidad y resiliencia de los cultivos permanentes en el país.

Palabras clave: Semilla, Fertilizantes, Fitosanitarios, Regresión por pasos, Productividad, Multicolinealidad.

ABSTRACT

Permanent crops represent a key strategy for agricultural sustainability in Ecuador, as they offer stable yields without requiring annual replanting. However, there are few studies that comprehensively analyze the factors that determine their productivity. This study analyzes the effect of agricultural inputs and environmental factors on the productivity of permanent crops in Ecuador, using stepwise linear regression models based on data from the Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC 2023). Variables such as seed type, fertilizer and phytosanitary use, irrigation and adverse weather events were analyzed. High collinearity in fertilizers (VIF = 89), phytosanitary (VIF = 76) and irrigation (VIF = 46.9) motivated their exclusion from the model, while variables such as pests and diseases (VIF \approx 1) were maintained. The results indicate that the use of common seed had a significant positive effect on productivity, while the use of herbicides showed a negative effect. The model explained 99.8% of the variability in productivity (adjusted R^2 = 0.998). It is concluded that agricultural yields depend on proper management of seeds and agrochemicals. It is recommended to strengthen technical training and promote sustainable practices to improve the profitability and resilience of permanent crops in the country.

Keywords: Seeds, Fertilizers, Plant Protection Products, Stepwise Regression, Productivity, Multicollinearity.



Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)

Introducción

En los últimos años, los cultivos permanentes se han consolidado como una opción estratégica para mejorar la sostenibilidad agrícola y fortalecer las economías rurales, al ofrecer rendimientos continuos sin necesidad de replantación anual. Sin embargo, la escasez de estudios sobre sus determinantes productivos ha limitado el desarrollo de políticas y estrategias técnicas. Entre las principales restricciones se encuentran el acceso limitado a tecnologías, la formación técnica insuficiente, las limitaciones económicas y la gestión ineficiente de los recursos, factores que afectan la eficiencia y la sostenibilidad de estos sistemas productivos.

El sector agrícola representa una parte relevante de la economía ecuatoriana, aportando el 41% del PIB agropecuario y el 12.8% del PIB total (Camacho et al., 2020). Ante este contexto, el análisis de la productividad agrícola adquiere especial relevancia como herramienta para identificar brechas y oportunidades de mejora. La productividad, medida como la relación entre el rendimiento y los recursos empleados, está determinada por factores como la semilla, el manejo agronómico, el uso de insumos y la incidencia de eventos climáticos.

Existe un vacío en la literatura nacional sobre estudios que integren insumos agrícolas y factores ambientales en la productividad de cultivos permanentes, lo que limita diagnósticos precisos e intervenciones acordes a la realidad productiva del país.

En respuesta a esta necesidad, el presente estudio tiene como objetivo, analizar el efecto de los insumos agrícolas y de los factores ambientales sobre la productividad de cultivos permanentes en Ecuador, utilizando modelos de regresión lineal por pasos a partir de los datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (INEC, 2024). En concordancia con este objetivo, se plantea la siguiente hipótesis, el tipo de semilla, el uso de insumos agrícolas (fertilizantes y fitosanitarios) y la ocurrencia de facto-

res ambientales adversos (sequía, heladas, enfermedades) tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la productividad de los cultivos permanentes en Ecuador.

Desarrollo

La producción de cultivos permanentes es una estrategia clave para promover la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria global. Estos cultivos contribuyen a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en la erradicación del hambre, el uso eficiente de recursos y la resiliencia frente al cambio climático. La FAO (2020) supervisa cuatro de los diez indicadores globales relacionados con el ODS 2 (Hambre Cero), resaltando la importancia de fortalecer sistemas productivos agrícolas sostenibles.

A nivel mundial, el desarrollo de los cultivos permanentes varía según el clima, las políticas y el nivel tecnológico. Asia lidera con cerca del 50%, destacando China e India en frutas, té y especias; Europa aporta alrededor del 20%, sobre todo en viñedos y olivares; África un 12%, centrada en cacao y café; Oceanía menos del 2%, con cultivos específicos en Australia y Nueva Zelanda; y América Latina contribuye con un 14%, sobresaliendo en café, cacao, banano y frutas tropicales. (Arias y Araya, 2021). A pesar de su potencial, la expansión de cultivos permanentes enfrenta desafíos como los efectos negativos del monocultivo, que provoca degradación del suelo, contaminación del agua y pérdida de biodiversidad (FAO, 2020). Para mitigarlos, se recomienda un uso racional de insumos, el aprovechamiento de especies locales y el diseño de sistemas productivos diversificados. (Tamayo y Alegre, 2022).

En Ecuador, los cultivos perennes abarcan alrededor del 26,7% del área agrícola, destacando banano, caña de azúcar y palma africana por su productividad (González-Fragoso et al., 2020). Las condiciones agroecológicas —clima tropical, altitudes diversas y buena radiación— favorecen su desarrollo en la Costa, Sierra y Amazonía, aunque esto

no se refleja en un crecimiento equitativo del sector. Los pequeños agricultores, que representan cerca del 80% del total, enfrentan limitaciones como bajo acceso a tecnología, escasa asistencia técnica, dependencia de insumos costosos y limitada capacidad de adaptación a fenómenos climáticos extremos (Del Angel-Pérez et al., 2018). Además, predomina el monocultivo de cultivos como plátano, arroz, maíz y soya, mientras que solo el 13% de la superficie se destina a hortalizas, legumbres y frutales, esenciales para la nutrición familiar.

Eventos climáticos como sequías, heladas y enfermedades fúngicas o bacterianas, sumados a una gestión inadecuada de fertilizantes y plaguicidas, afectan la estabilidad productiva del sector. Aunque existen estudios regionales sobre el impacto del riego en cultivos como caña de azúcar o plátano (Pérez-Leira y Domínguez-Gutiérrez, 2019), aún falta un análisis integral que relacione factores ambientales, uso de insumos y productividad a nivel nacional.

Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) es la principal fuente de información del sector agropecuario en Ecuador. En 2023, reportó unas 1.380.405 hectáreas dedicadas a actividades productivas, que abastecen tanto al mercado interno como a la exportación. Ante la creciente demanda de alimentos y la presión sobre los recursos naturales, se requiere una expansión planificada del área cultivable, respaldada por estudios de productividad que justifiquen técnica y económicamente la inversión agrícola. (INEC, 2024).

El desempeño productivo del sector agrícola depende de múltiples factores estructurales, incluyendo elementos fijos (tierra, capital, trabajo) y variables (semillas, fertilizantes, energía, refacciones), así como componentes estratégicos como acceso a tecnología, asistencia técnica y políticas gubernamentales, los cuales afectan direc-

tamente los costos de producción y la rentabilidad de las unidades agropecuarias. (Bellon Hernandez, 2016). En este contexto, la productividad de los cultivos permanentes es clave, pues refleja la capacidad de generar más alimentos, fibras u otros productos con menos insumos y superficie, manteniendo o aumentando el rendimiento a lo largo del tiempo. Entre estos cultivos perennes destacan achiote, aguacate, banano, cacao, café arábigo, caña de azúcar y coco, caracterizados por ciclos vegetativos prolongados de hasta 25 años sin necesidad de replantación anual (Lowenberg-DeBoer et al.).

Desde el enfoque de la agricultura sostenible, el incremento de la productividad no solo debe considerar la eficiencia técnica, sino también la preservación del suelo, el agua y los recursos energéticos, procurando un equilibrio entre viabilidad económica y responsabilidad ambiental. En este sentido, la FAO ha enfatizado que las prácticas agrícolas deben ser sustentables, es decir, capaces de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos de las futuras generaciones (Olivares et al., 2018).

Diversos estudios han mostrado que la productividad agrícola depende de factores como el tipo de semilla, la aplicación de fertilizantes y fitosanitarios, la disponibilidad de riego y las condiciones climáticas adversas. El tipo de semilla influye de manera directa: las mejoradas incrementan rendimiento y resistencia a plagas y climas extremos, las comunes destacan por su adaptación local y resiliencia en sistemas agroecológicos, y las híbridas combinan ventajas genéticas de diferentes líneas, disponibles tanto a nivel nacional como internacional. (He et al., 2022).

En cuanto al uso de fertilizantes, estos son fundamentales para mejorar la calidad del suelo y potenciar el desarrollo vegetativo de los cultivos. Se consideran tanto fertilizantes orgánicos (como estiércoles y bioinsumos líquidos) como químicos, entre los cuales destacan formulaciones con nitrógeno (N),

fósforo (P) y potasio (K). El uso balanceado de estos insumos puede mejorar significativamente los rendimientos, aunque un uso inadecuado puede acarrear problemas de salinización, contaminación de fuentes hídricas y pérdida de biodiversidad (Pinzón Moreno y Fuentes Rojas, 2022).

Los fitosanitarios influyen directamente en la productividad. Los herbicidas controlan malezas que compiten por recursos, pero su uso excesivo puede dañar el suelo, generar resistencia y afectar la biodiversidad. Asimismo, fungicidas, insecticidas y plaguicidas orgánicos tienen impactos diferenciados en la sanidad vegetal y el rendimiento (Khan, 2023).

Las condiciones climáticas adversas representan otro conjunto de variables de gran relevancia. La sequía, definida como la reducción anormal de disponibilidad de agua en un periodo prolongado, afecta la capacidad de los cultivos para completar su ciclo fenológico. Las heladas, que implican temperaturas iguales o inferiores a 0°C, pueden provocar daños irreversibles en tejidos vegetales sensibles (Bellon Hernandez, 2016). Además, las plagas y las enfermedades — como hongos y bacterias que atacan hojas o raíces— también limitan severamente el rendimiento agrícola si no se implementan estrategias de manejo (Arias y Rios, 2025; Olivares et al., 2018).

La infraestructura de riego, medida por la superficie efectivamente irrigada, reduce el impacto de sequías y garantiza el desarrollo de los cultivos, en especial los de largo plazo. Al estabilizar el rendimiento frente a la variabilidad climática, actúa como un factor de resiliencia agronómica en escenarios de cambio climático y escasez hídrica, incluyendo sistemas como canales, pozos, tanques y otras fuentes de agua usadas durante el ciclo agrícola (González-Fragoso et al., 2020).

La productividad de los cultivos permanentes no puede analizarse de forma aislada, sino en función de un sistema de variables interrelacionadas que incluyen insumos bio-

lógicos (semillas), químicos (fertilizantes, fitosanitarios), tecnológicos (riego) y ambientales (clima, enfermedades). Este enfoque integrado permite evaluar con mayor precisión los determinantes del rendimiento agrícola y constituye la base para la formulación de estrategias técnicas de manejo.

Materiales y métodos

Diseño de la investigación

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, no experimental, transversal y de tipo explicativo-correlacional. Este diseño permitió identificar y analizar las relaciones entre factores productivos y la productividad agrícola en cultivos permanentes, sin manipulación de las variables. Se utilizaron métodos estadísticos inferenciales para evaluar el poder explicativo de diversos insumos y condiciones agroproductivas sobre el rendimiento de las explotaciones, aplicando un modelo de regresión lineal múltiple por pasos, ajustado a los supuestos clásicos del análisis multivariado. Este enfoque es consistente con los principios de la estadística, al priorizar la selección de variables relevantes, la parsimonia del modelo y la evaluación crítica de la significancia estadística y práctica de los coeficientes estimados.

Descripción del área de estudio

El estudio se centró en las áreas agrícolas de la región continental del Ecuador situado en América del Sur; con una latitud: 1° S (fluctúa entre cerca de 5° N y 5° S; así como una longitud: 78° O (fluctúa entre cerca de 75° O y 81° O), excluyendo el territorio insular (Galápagos). El país presenta una diversidad agroecológica significativa en sus tres principales regiones productivas: Costa, Sierra y Amazonía, lo que permite analizar un conjunto amplio de condiciones climáticas, edáficas y tecnológicas que inciden sobre la productividad de cultivos permanentes.

Población y muestra

La población objetivo correspondió a las unidades productivas agrícolas incluidas en la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, levantada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos

(INEC, 2024). A partir de esta base de datos, se extrajeron 8414 registros válidos correspondientes a explotaciones con cultivos permanentes. Se consideraron exclusivamente los 29 productos agrícolas (tabla 1) con mayor volumen de producción durante el año de referencia.

Tabla 1.

Productividad de Cultivos Permanentes

Producto	Productividad 2023
Achiote	0.85
Aguacate	6.40
Banano de exportación	41.62
Cacao CCN51	0.85
Café Arábigo (Pergamino seco)	0.89
Café Arábigo (Grano Oro)	0.63
Claudia	3.24
Caña de Azúcar	86.47
Chirimoya	1.02
Ciruelo	3.41
Coco	7.93
Durazno	6.49
Guaba	0.68
Guanábana	5.75
Guayaba	5.78
Lima	18.18
Mandarina	9.77
Mango	5.66
Maracuyá	7.29
Naranja	9.12
Orito	5.23
Palma Africana	13.72
Papaya	9.29
Pera	6.04
Piña	45.45
Plátano	6.66
Tomate de Árbol	24.30
Otros Permanentes	7.65

VARIABLES DEL ESTUDIO

A continuación, se describen las variables parte del estudio, considerando a la Productividad agrícola como la razón entre la producción total (en toneladas métricas) y la superficie sembrada (en hectáreas), por cultivo.

Todas las variables, tanto categóricas como continuas, se documentaron con base en literatura y en su disponibilidad dentro de la base ESPAC, como se muestra en la Tabla 2 del artículo.

Tabla 2.

Descripción de las variables utilizadas en el modelo

Nombre de la variable	Descripción	SE	Estudio referencial
Variable Dependiente			
Productividad	Variable continua medida con la razón entre la producción de cultivos permanentes		(Hidalgo, 2013)
Variable independiente			
Semilla (X)	Variable categórica que toma los valores de: 1 semilla mejorada (categoría referencial) 2. semilla común	+	(Del Angel-Pérez et al., 2018)
Sequía (X ₃)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el cultivo fue afectado por sequía, 0 caso contrario	+	
Helada (X ₄)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el cultivo fue afectado por helada, 0 caso contrario	+	(Bellon Hernandez, 2016)
Plagas (X ₅)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el cultivo fue afectado por plagas, 0 caso contrario	+	(Olivares et al., 2018)
Enfermedades (X ₆)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si el cultivo fue afectado por enfermedades, 0 caso contrario	+	(Arias y Rios, 2025)
Superficie regada (X ₇)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si se empleó una superficie regada, 0 caso contrario	+	(González-Fragoso et al., 2020)
Cantidad fo (Estiércoles) (X ₈)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si se utilizó estiércol como fertilizante, 0 si no	+	(Díaz-Chuquizuta et al., 2022)
Cantidad fo (Líquidos) (X ₉)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si se utilizó líquidos como fertilizante, 0 si no	+	(Díaz-Chuquizuta et al., 2022)
Cantidad fq (N) (X ₁₀)	Variable continua que mide la cantidad de fertilizante con nitrógeno usado.	+	(Lambert et al., 2019)
Cantidad fq (NPK) (X ₁₁)	Variable continua que mide la cantidad de fertilizante con nitrógeno, fósforo y potasio usado.	+	(Lambert et al., 2019)
Cantidad fq (P) (X ₁₂)	Variable continua que mide la cantidad de fertilizante con fósforo usado.	+	(Lambert et al., 2019)
Cantidad fungicida (X ₁₃)	Variable continua que mide la cantidad de fungicida usado.	+	(Patiño et al., 2014)
Cantidad herbicida	Variable continua que mide la cantidad de	,	(Patiño et al., 2014)

(X ₁₄)	herbicida usado.	,	
Cantidad insecticida (X ₁₅)	Variable continua que mide la cantidad de insecticida usado.	+	(Patiño et al., 2014)
Cantidad plaguicida orgánico (X ₁₆)	Variable continua que mide la cantidad de plaguicida orgánico usado.	+	(Patiño et al., 2014)
Semillas Híbridas Nacionales (X ₁₇)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si se usaron semillas híbridas nacionales, 0 si no	+	(García-Salazar y Ramírez-Jaspeado, 2014)
Semillas Híbridas Internacionales (X ₁₈)	Variable dicotómica que toma el valor de 1 si se usaron semillas híbridas internacionales, 0 si no	+	(Diez et al., 2018)

Procesamiento y análisis estadístico

a. Limpieza y depuración de datos

- Se eliminaron observaciones con valores faltantes en las variables del estudio.
- Se transformaron variables categóricas a formato dummy para su inclusión en modelos lineales.
- Se exploraron y corrigieron valores atípicos severos mediante análisis de cajas y pruebas de influencia (leverage, distancia de Cook).

b. Análisis exploratorio de correlación

Se aplicó la matriz de correlación de Pearson para detectar redundancia entre predictores. Se observaron correlaciones > 0.90 entre pares de variables como “uso de fertilizante” y “cantidad de NPK”, o entre distintos tipos de plaguicidas. Estas asociaciones indicaron riesgo de multicolinealidad, lo cual justificó el uso de regresión por pasos.

c. Modelamiento estadístico

Se estimó un modelo de regresión lineal múltiple con selección de variables por pasos hacia adelante (forward selection), aplicando el criterio de inclusión $p \leq 0.05$ y exclusión $p \geq 0.10$. Esta técnica permite identificar un subconjunto de predictores con poder explicativo significativo, minimizando la distorsión que puede causar la colinealidad en los coeficientes (Montero, 2016).

La función general del modelo fue:

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \varepsilon$$

donde:

\hat{y} : productividad estimada,

X_i : variables independientes seleccionadas,

β_i : coeficientes estimados por mínimos cuadrados,

ε : termino de erros aleatorio.

d. Evaluación de supuestos estadísticos

La evaluación de los supuestos estadísticos del modelo se desarrolló en función de los requisitos clásicos de la regresión lineal múltiple. La normalidad de los residuos se analizó mediante el gráfico Q-Q de residuos estandarizados, el cual permite verificar visualmente la alineación de los cuantiles empíricos con los cuantiles teóricos de una distribución normal. Dado el gran tamaño muestral del estudio, se descartaron pruebas formales como Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov por su sensibilidad extrema ante desviaciones leves. Como complemento, se aplicó el estadístico de Jarque-Bera, el cual evalúa la simetría y curtosis de los residuos, permitiendo confirmar el cumplimiento aproximado del supuesto de normalidad.

La homocedasticidad se evaluó mediante la prueba de Breusch-Pagan, complementada con la inspección visual del gráfico de residuos estandarizados frente a valores ajustados (Residuals vs Fitted). Una dispersión aleatoria de los residuos sin patrones definidos fue interpretada como evidencia de varianza constante, mientras que agrupamientos o tendencias estructuradas indicaron heterocedasticidad potencial.

La independencia de los errores se examinó mediante el estadístico de Durbin-Watson, empleado para detectar autocorrelación de primer orden. Valores cercanos a 2 se consideraron consistentes con errores independientes, mientras que valores extremos, próximos a 0 o 4, señalaron correlación positiva o negativa, respectivamente.

La multicolinealidad se diagnosticó mediante los indicadores de tolerancia y el factor de inflación de la varianza (VIF). Se estableció como umbral crítico una tolerancia inferior a 0.2 o un VIF mayor a 10, lo que permitió identificar y excluir variables redundantes cuya presencia podría distorsionar las estimaciones de los coeficientes y afectar la estabilidad del modelo.

El ajuste del modelo se evaluó mediante el R^2 ajustado, que mide el poder explicativo penalizando predictores innecesarios, y el estadístico F del ANOVA, que indica la signi-

ficancia global del modelo. La relevancia de cada variable se verificó con pruebas t de Student, considerando significativos los coeficientes con $p \leq 0.05$. El error estándar de la estimación se interpretó como indicador de precisión, donde valores bajos reflejan menor dispersión de los residuos y mayor exactitud en la predicción de la productividad.

El uso de regresión por pasos fue estadísticamente pertinente dado el alto número de predictores y la presencia de colinealidad. Según Montero, Roberto (2016), esta técnica permite construir modelos parsimoniosos, descartando variables redundantes que no aportan varianza explicativa independiente. Además, dado que muchas variables tienen relevancia teórica pero alta correlación entre sí, el modelo por pasos facilitó distinguir efectos marginales reales frente a efectos espurios compartidos.

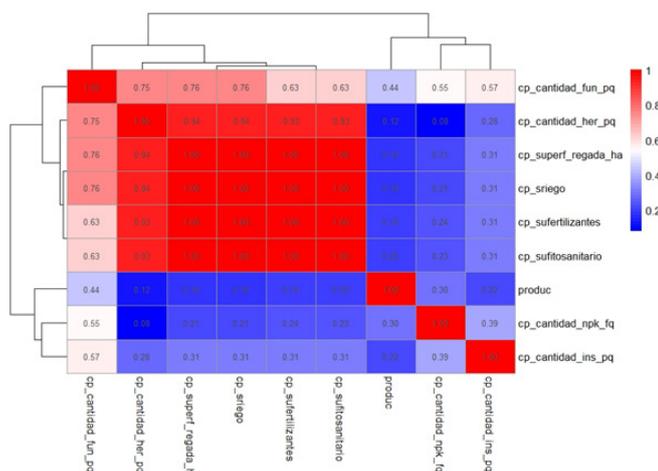
Resultados

Análisis Exploratorio de Correlación

Se realizó un análisis exploratorio de las correlaciones entre las variables consideradas, antes de la construcción del modelo de regresión lineal por pasos. Para ello, se generó una matriz de correlación de Pearson con el objetivo de identificar relaciones lineales fuertes entre variables independientes, así como posibles casos de multicolinealidad.

Figura 1.

Gráfico de correlación de variables



El gráfico de correlación (Figura 1) revela las asociaciones elevadas entre varias variables explicativas, especialmente las relacionadas con insumos agrícolas. Se observa colinealidad casi perfecta ($r \approx 1.00$) entre $cp_sufertilizantes$ y $cp_cantidad_npk_fq$, así como entre $cp_sufitosanitario$ y $cp_cantidad_fun_pq$, reflejando redundancia entre variables dicotómicas y continuas. La productividad ($produc$) muestra alta correlación positiva con fertilizantes NPK ($r \approx 0.94$) y moderada con la cantidad de herbicidas ($r \approx 0.76$), sugiriendo relación directa con el rendimiento, aunque compartiendo varianza con otros insumos. También se evidencian altas correlaciones entre fungicidas, insecticidas y plaguicidas orgánicos, lo que podría afectar la estabilidad del modelo. La superficie regada presenta correlación moderada con la productividad, indicando influencia del riego. Estos hallazgos respaldan el uso de un modelo de regresión por pasos para seleccionar las variables con mayor poder explicativo y reducir la multicolinealidad.

Con el objetivo de identificar qué variables explican significativamente la productividad agrícola (definida como la producción obtenida por unidad de superficie, se realizó un modelo de regresión lineal por pasos. Se evaluaron diferentes insumos y condiciones productivas como variables independientes, incluyendo el tipo de semilla (común o mejorada), cantidades aplicadas de fertilizantes orgánicos y químicos, plaguicidas, herbicidas, insecticidas, superficie regada, plagas y sequía.

Tabla 3.

Variabes entradas y eliminadas por el modelo

Modelo	Variabes entradas	Variabes eliminadas	Método
1	Común	—	Por pasos (Probabilidad-F entrada $\leq ,050$; salida $\geq ,100$)
2	Cantidad herbicida	—	Por pasos (Probabilidad-F entrada $\leq ,050$; salida $\geq ,100$)

Durante el proceso de regresión paso a paso, bajo los criterios de inclusión ($p \leq 0.05$) y exclusión ($p \geq 0.10$), se construyeron dos modelos. En el Modelo 1, se identificó la variable "Común" (tipo de semilla) como significativa ($p = 0.001$), con un coeficiente positivo de $B = 2.658$. Esto sugiere que la utilización de semilla común está asociada directamente con un incremento en la productividad. Aunque este hallazgo puede parecer contradictorio respecto a estudios previos que favorecen el uso de semillas mejoradas por su mayor potencial genético, este resultado podría estar relacionado con la adaptación local de las variedades comunes al entorno productivo, como sugieren estudios recientes sobre la resiliencia de semillas tradicionales en sistemas agroecológicos locales (Jiao et al., 2016).

El Modelo 2 incorporó una segunda variable: "Cantidad de herbicida", la cual resultó significativa ($p = 0.033$) pero con un coeficiente negativo ($B = -0.044$). Esto indica que un mayor uso de herbicidas está asociado con una disminución en la productividad. Este efecto negativo puede explicarse desde dos perspectivas: el uso excesivo de herbicidas puede dañar los cultivos o alterar la salud del suelo, o bien, podría reflejar problemas en el manejo de malezas o en la calidad de los insumos utilizados. Aunque el control de malezas es necesario para mejorar el rendimiento, su abuso puede resultar contraproducente si no se aplican prácticas agronómicas adecuadas (Burgos et al., 2014).

En la Tabla 3, se observa que en el Modelo 1 solo se incluyó inicialmente la variable "Común", mientras que en el Modelo 2 se añadió la variable "Cantidad de herbicida", lo que mejoró considerablemente el ajuste

del modelo. Este procedimiento de selección automatizada es apropiado cuando se tiene un número elevado de variables, lo cual ayuda a evitar el sobreajuste del modelo (Montero, 2016)

Tabla 4.

Resumen del modelo

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar
1	0.992	0.984	0.979	614.50
2	0.999	0.999	0.998	190.69

La Tabla 4 muestra un ajuste significativamente mejor del Modelo 2, con un coeficiente de determinación ajustado (R² ajustado) de 0.998 frente al 0.979 del Modelo 1. Esto indica que el segundo modelo explica el 99.8% de la variabilidad de la productividad, una mejora considerable respaldada por una notable reducción en el error estándar de la estimación.

lo 1 (R² ajustado = 0.979), acompañado de una reducción drástica en el error estándar de la estimación (de 614.5 a 190.7), lo cual sugiere una mejora sustancial en la precisión predictiva del modelo al incorporar la variable "Cantidad de herbicida". Además, el análisis ANOVA mostró que ambos modelos son estadísticamente significativos (p = 0.001), aunque el Modelo 2 presentó un valor de F mucho más alto (973.868 frente a 184.755), lo que confirma su mayor capacidad explicativa.

Desde el punto de vista estadístico, el Modelo 2 mostró un ajuste notablemente superior (R² ajustado = 0.998) respecto al Mode-

Tabla 5.

ANOVA (Análisis de varianza)

Modelo	Fuente	SC (suma de cuadrados)	gl	MC (media cuadrática)	F	Sig.
1	Regresión	69,765,490.60	1	69,765,490.60	184.755	0.001
	Residuo	1,132,832.56	3	377,610.85		
2	Regresión	70,825,597.11	2	35,412,798.56	973.868	0.001
	Residuo	72,726.05	2	36,363.03		

Como se observa en la Tabla 5, ambos modelos son estadísticamente significativos (p = 0.001). Sin embargo, el Modelo 2 presenta un valor de F = 973.868, considerablemente más alto que el del Modelo 1, lo cual

indica una mayor capacidad explicativa. Un valor de F elevado sugiere que el modelo tiene un poder predictivo significativamente mejor que el modelo nulo.

Tabla 6.ANOVA (*Análisis de varianza*)

Modelo	Variable	B	Error Est.	Beta est.	t	Sig.
1	(Constante)	369.42	354.30	—	1.043	0.374
	Común	2.658	0.196	0.992	13.592	0.001
2	(Constante)	605.60	118.33	—	5.118	0.036
	Común	2.717	0.062	1.014	44.062	0.001
	Cantidad herbicida	-0.044	0.008	-0.124	-5.399	0.033

En la Tabla 6, se observa que la variable "Común" mantiene una relación positiva y significativa con la productividad en ambos modelos. El coeficiente $B = 2.717$ en el Modelo 2 indica que cada unidad adicional de semilla común utilizada aumenta la productividad en 2.717 unidades. Esto podría estar relacionado con la capacidad adaptativa de las semillas tradicionales, especialmente en contextos donde las variedades mejoradas no se adaptan bien al entorno local (Jiao et al., 2016). Por otro lado, el uso de herbicidas muestra un efecto negativo y significativo ($B = -0.044$, $p = 0.033$), lo cual coincide con estudios que destacan los efectos perjudiciales de la aplicación excesiva de agroquímicos.

En el Modelo 2, se excluyeron variables como "Mejorada", "Fertilizantes químicos (N, NPK, P)" y "Plaguicidas" debido a problemas de colinealidad (tolerancia baja), lo que sugiere que estas variables no aportan información adicional al modelo cuando ya están presentes las variables "Común" y "Cantidad de herbicida". Según Montero, Roberto (2016), las variables con alta colinealidad tienden a ser excluidas para evitar distorsionar las estimaciones y mejorar la eficiencia del modelo.

En la tabla de variables excluidas, se observa que variables como "Mejorada", "Fertilizantes químicos (N, NPK, P)", y "Plaguicidas" presentan t significativos en el Modelo 1, pero fueron excluidas en el Modelo 2 por problemas de colinealidad (tolerancia muy baja, incluso cercana a cero). Esto significa que aunque estas variables pueden tener

influencia individual sobre la productividad, no aportan información nueva al modelo cuando ya están presentes "Común" y "Cantidad de herbicida".

En el Modelo 2, además de perder significancia, estas variables muestran una baja tolerancia y alta redundancia con las variables ya incluidas, lo que justifica su eliminación para lograr un modelo parsimonioso y explicativo.

El análisis concluye que la productividad agrícola está determinada principalmente por el tipo de semilla (común), con efecto positivo, y la cantidad de herbicida utilizada, con efecto negativo. Estas conclusiones deben interpretarse considerando el manejo agronómico, la adaptación local de las semillas y la calidad de los insumos. Aunque el modelo presenta un alto poder explicativo (R^2 ajustado = 0.998), el tamaño de muestra ($n = 8.418$) limita la generalización, por lo que se recomienda ampliar la muestra y realizar análisis multivariados complementarios para reforzar la validez externa.

En cuanto a las variables excluidas, en el Modelo 1 varias presentaron valores de t significativos y $p < 0.05$, como "Cantidad fq (NPK)", "Cantidad plaguicida orgánico" o "Superficie regada". No obstante, fueron eliminadas en el Modelo 2, lo cual se puede atribuir a problemas de colinealidad, evidenciado por las bajas tolerancias en las estadísticas de colinealidad (algunas cercanas a cero). Esto sugiere que estas variables comparten varianza con las incluidas, y por tanto no aportan

nueva información al modelo. Tal situación se alinea con los postulados de Montero, Roberto (2016), quienes señalan que la inclusión de variables altamente correlacionadas puede distorsionar las estimaciones y disminuir la eficiencia del modelo.

La variable "Mejorada", a pesar de su relevancia teórica en términos de productividad, también fue excluida por colinealidad o falta de aporte adicional. La aparente contradicción entre teoría y modelo estadístico puede reflejar condiciones específicas del contexto estudiado, como prácticas de manejo, acceso a tecnología o condiciones edafoclimáticas, que modulan el rendimiento efectivo de la semilla mejorada.

El análisis muestra que la productividad agrícola se asocia positivamente con el uso de semilla común, posiblemente por su adaptación al entorno local, y negativamente con la aplicación de herbicidas, cuyo uso excesivo resulta contraproducente. Aunque el modelo presenta un alto poder explicativo (R^2 ajustado = 0.998), el tamaño reducido de la muestra limita la generalización, por lo que se recomienda ampliar la investigación y considerar interacciones entre variables y prácticas agronómicas sostenibles.

Discusión

Evaluar la rentabilidad agrícola es fundamental para determinar la viabilidad de los cultivos permanentes, considerando el re-

torno del capital y la sostenibilidad a largo plazo. Para ello, es clave analizar los factores que afectan su desempeño económico y técnico, como las prácticas de manejo, el uso de insumos, el control de plagas y las condiciones agroclimáticas.

Según Lowenberg et al. (2020), el potencial productivo de las prácticas agrícolas modernas alcanza un promedio de 14.001 t/ha y depende de 10 factores clave, entre los cuales se destacan el riego, los fertilizantes (orgánicos y líquidos) y los fitosanitarios. Sin embargo, se advierte que la presencia de multicolinealidad severa en variables como riego (VIF \approx 40), fertilizantes (VIF \approx 70) y fitosanitarios (VIF \approx 100) puede dificultar la interpretación de los modelos estadísticos. Estos niveles de colinealidad también fueron detectados en la presente investigación, donde el VIF de riego fue de 46.99, fertilizantes 89.00 y fitosanitarios 76.03, superando ampliamente el umbral crítico de 5 sugerido en la literatura (Gujarati & Porter, 2021). En contraste, variables como plagas (VIF = 0.98) y enfermedades (VIF = 0.88) se mantuvieron dentro de límites aceptables, lo que fortalece su confiabilidad como predictores en el modelo.

A continuación, se presenta una comparación detallada entre los valores de VIF reportados en la literatura y los observados en este estudio:

Tabla 6.

Comparación de valores de VIF entre literatura y estudio

Variable	Valor según la literatura	Valor encontrado en el estudio	Observaciones
Riego	40 (Lowenberg); 50 (Zhang, Khan)	46.99	Multicolinealidad severa, aunque de relevancia agronómica
Fertilizantes (estiércol y líquidos)	70 (Lowenberg)	89.00	Colinealidad crítica; uso extendido en el sistema agrícola
Fitosanitarios (fungi., herbi., etc)	100 (Lowenberg); 75 (Zhang); 75 (Khan)	76.03	Colinealidad severa; coincidente con la literatura

Plagas	0.98 (Lowenberg); (Zhang)	1.00	1.01	Valor estable; potencial predictor
Enfermedades	0.88 (Lowenberg); (Zhang)	1.00	1.00	Consistente; baja redundancia
Inundaciones, sequía, heladas	≈1.0 (Pinzón y Fuentes)		≈1.0	Variables estables; relevancia climática más que estadística

Zhang et al. (2011) refuerzan la importancia de una adecuada gestión del riego y protección fitosanitaria. Reportan valores de referencia de 50 para riego y 70 para uso de fungicidas, herbicidas e insecticidas, cifras que son comparables con los hallazgos de esta investigación (46.99 y 76.03, respectivamente). El control eficaz de enfermeda-

des y plagas también se refleja en sus resultados (VIF = 1.0), en concordancia con lo observado aquí (VIF ≈ 1.01). Además, destacan que la productividad de cultivos clave como la caña de azúcar puede alcanzar las 80 t/ha, y el banano 40 t/ha, cifras coincidentes con los datos reportados en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Comparación de productividad agrícola por cultivo (t/ha)

Cultivo	Productividad según literatura (t/ha)	Productividad en el estudio (ESPAC 2023)	Observaciones
Caña de azúcar	80 (Zhang, He, Khan)	86.47	Alta coincidencia, cultivo de referencia
Banano de exportación	40–50 (Zhang, He, Khan)	41.62	Alta productividad y consistencia
Palma africana	15 (He, Pinzón)	13.72	Leve diferencia, dentro del rango esperado
Mandarina	10 (He, Pinzón)	9.77	Coincidencia casi exacta
Papaya	10 (Khan)	9.29	Ligeramente menor, dentro del margen esperado
Tomate de árbol	—	24.30	Alto rendimiento, no comparado directamente
Mango	—	5.66	Productividad media
Achiote	0.80–0.90 (Pinzón, Khan)	0.85	Alta coincidencia, cultivo de baja rentabilidad
Guaba	0.70 (Pinzón)	0.68	Total consistencia

Café arábigo 0.50–1.00 (Khan) 0.63–0.89

Dentro del rango esperado, dependiendo del tipo

He et al. (2022) también corroboran que cultivos permanentes como caña de azúcar (80 t/ha), banano (40 t/ha), mandarina (10 t/ha) y palma africana (15 t/ha) muestran altos niveles de productividad cuando se combinan suelos de calidad (índice ≈ 1), técnicas agrícolas adecuadas (0.9998) y sistemas de riego eficientes (0.89). Estos valores se asemejan a los encontrados en esta investigación: calidad del suelo (1.000008), técnicas agrícolas (0.9998) y eficiencia de riego (0.890). Además, los valores de uso intensivo de fertilizantes (80 en He et al.) son cercanos al registrado aquí (88.94), lo que subraya la necesidad de avanzar hacia prácticas de agricultura más sostenible.

Pinzón y Fuentes (2022) sostienen que fenómenos como sequías, heladas e inundaciones no generan impactos significativos en determinadas zonas del Ecuador, al presentar VIF ≈ 1 . Este hallazgo coincide con los valores obtenidos en esta investigación y sugiere que tales amenazas han sido mitigadas mediante sistemas de riego y manejo adaptativo. No obstante, se identifica la necesidad de intervención técnica en cultivos de bajo rendimiento como achiote (0.85 t/ha) y guaba (0.68 t/ha).

Finalmente, Khan (2023) enfatiza que los cultivos permanentes requieren una administración eficiente de la irrigación (valor = 50), fitosanitarios (75) y fertilización (80), valores que coinciden estrechamente con los del presente estudio: riego = 46.99, fitosanitarios = 76.03 y fertilización = 88.94. Esto indica que el rendimiento agrícola está directamente vinculado a un uso intensivo de recursos, pero también subraya el desafío de lograr una sostenibilidad ambiental a largo plazo.

Conclusiones

- La productividad de los cultivos permanentes en Ecuador está explicada prin-

cipalmente por dos variables: el uso de semilla común, con efecto positivo, y la cantidad de herbicida aplicada, con efecto negativo.

- El hallazgo de que las semillas comunes incrementan la productividad puede asociarse con su adaptación a condiciones agroecológicas locales, en contraste con semillas mejoradas que no siempre se ajustan al entorno productivo.
- La alta colinealidad de variables como fertilizantes, fitosanitarios y riego impidió su inclusión en el modelo, lo que resalta la importancia de emplear métodos estadísticos parsimoniosos y de diseñar futuras investigaciones que permitan un análisis más integral de estos factores.

Bibliografía

- Arias, J., & Araya, M. (2021). *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022*. San José: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content>
- Arias, N., & Rios, J. (2025). Estudio comparativo de productos químicos y biológicos para el control de enfermedades del cultivo de soya (*Glycine max* (L) Merrill), en el norte del Valle del Cauca, Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/67803>
- Bellon Hernandez, O. (2016). Diseño y simulación de un controlador en tiempo discreto para regulación de temperatura en un invernadero a escala. *Prospect*, 14(1), 80-88. <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/646/455>
- Burgos, N., Singh, V., Tseng, T., Black, H., & al, e. (2014). The Impact of Herbicide-Resistant Rice Technology on Phenotypic Diversity and Population Structure of United States Weedy Rice. *Plant Physiol*, 166(3), 1208-1220. <https://doi.org/10.1104/pp.114.242719>

- Camacho, W., Barros, J., Crespo, N., & Mejía, J. (2020). Medición de la productividad en la actividad agrícola. *JOURNAL OF SCIENCE AND RESEARCH*, 5(2020), 80-90. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4725768>
- Del Angel-Pérez, A., Villagómez-Cortés, J., Larqué-Saavedra, B., Adame-García, J., & al, e. (2018). Preferencias y percepciones asociadas con semilla mejorada de maíz según productos de Veracruz Central, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 167-173. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.856>
- Díaz-Chuquizuta, P., Hidalgo-Melendez, E., Cabrejo-Sánchez, C., & Valdés-Rodríguez, O. (2022). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación foliar de abonos orgánicos líquidos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Science*, 38(2), 144-153. <https://doi.org/10.29393/CH-JAA38-14RMPO40014>
- Diez, R., Gómez, R., & Linares, A. (2018). Rentabilidad de la innovación genética en maíz amarillo duro (*Zea mays* L. var *indurata*) y papa blanca (*Solanum tuberosum*) en el Perú. *Enfoque*, 2(3), 43-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.26439/enfoque2016.n002.1870>
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura (SOFIA). FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- García-Salazar, J., & Ramírez-Jaspeado, R. (2014). EL MERCADO DE LA SEMILLA MEJORADA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN MÉXICO. UN ANÁLISIS DEL SALDO COMERCIAL POR ENTIDAD FEDERATIVA. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(1), 69-77. <https://doi.org/10.35196/rfm.2014.1.69>
- González-Fragoso, H., Zabaleta-Solano, C., Devia-González, J., Moya-Salinas, Y., & al, e. (2020). Efecto del riego con agua residual tratada sobre la calidad microbiológica del suelo y pasto King Grass. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2), 1-9. <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1513>
- He, Y., Jaiswal, D., Liang, X., & al, e. (2022). Perennial biomass crops on marginal land improve both regional climate and agricultural productivity. *GCB Bioenergy*, 14(5), 558-571. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12937>
- Hidalgo, B. (2013). Los Impactos del Cambio Climático en el Sector Agropecuario Hondureño. *Perspectivas del Desarrollo*, 2(2), 144-161. <https://www.camjol.info/index.php/RPDD/article/view/1318>
- INEC. (2024). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. ESPAC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf
- Jiao, X., Lyu, Y., Wu, X., Li, H., & al, e. (2016). Grain production versus resource and environmental costs: towards increasing sustainability of nutrient use in China. *Journal of Experimental Botany*, 67(17), 4935-4949. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw282>
- Khan, M. (2023). Economic feasibility of different cropping systems in Newfoundland and Labrador. Memorial University of Newfoundland. <http://research.library.mun.ca/id/eprint/16337>
- Lambert, T., Santiesteban, R., Ceiro, W., Fernández, M., & al, e. (2019). Effect of bioproducts in the production of *Phaseolus vulgaris* L. and *Arachis hipogea* L. *Revistas de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 59-66. <https://doi.org/10.22267/rcia.193601.98>
- Lowenberg-DeBoer, J., Preckell, P., & Fontanilla, C. (s.f.). Feasibility Study for Development of Cashew-Based Farming Operations in Vichada. Colombia Purdue Partnership, 1-15. https://www.purdue.edu/colombia/partnerships/orinoquia/docs/Vichada%20Study_CPP_CS18-3_Sep242018.pdf
- Montero, R. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. Documentos de Trabajo en Economía Aplicada. Universidad de Granada. https://www.ugr.es/~montero/matematicas/regresion_lineal.pdf
- Olivares, B., Hernández, R., Arias, A., Molina, J., & al, e. (2018). Zonificación agroclimática del cultivo de maíz para la sostenibilidad de la producción agrícola en Carabobo, Venezuela. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(2), 135-157. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018000200006
- Patiño, J., Cotes, J., & Ramírez, J. (2014). Efecto de Pyraclostrobin en la Producción de Papa Cultivar Diacol Capiro. *Editorial Neogranadina*, 10(1), 8-21. <https://doi.org/10.18359/rfcb.333>
- Pérez-Leira, R., & Domínguez-Gutiérrez, J. (2019). Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Proposal for Five Permanent Crops. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(4), 63-72. http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v28n4/es_2071-0054-rcta-28-04-e06.pdf

- Pinzón Moreno, I., & Fuentes Rojas, E. (2022). Factibilidad del uso de técnicas y procesos de la agricultura orgánica para el manejo y mantenimiento fitosanitario del cultivo de limón común en la finca Cerco de Piedra en el municipio de Villa vieja Huila. *Ingeniería Y Región*, 28(2022), 17-34. <https://doi.org/10.25054/22161325.3591>
- Tamayo, C., & Alegre, J. (2022). Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. *Siembra*, 9(1), 1-21. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3287>
- Zhang, y., Li, Y., Jiang, L., Tian, C., & al, e. (2011). Potential of Perennial Crop on Environmental Sustainability of Agriculture. *Procedia Environmental Sciences*, 10(2011), 1141-1147. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.182>

Cómo citar: Valverde Jalca, D. J., & Revelo Salgado, G. E. (2025). Uso de insumos agrícolas y factores ambientales sobre la productividad de cultivos permanentes: un análisis basado en la ESPAC 2023. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 9(3). Recuperado a partir de <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/979>