

# Modelo del portafolio eficiente para la toma de decisiones en la producción agrícola

Efficient portfolio model for decision making in the agricultural production



---

Fuente: Pexels.com Licencia Creative Commons

# Modelo del portafolio eficiente para la toma de decisiones en la producción agrícola<sup>1</sup>

## Efficient portfolio model for decision making in the agricultural production

**Ofelia Alvarado Morales<sup>2</sup>, Javier Francisco Rueda Galvis<sup>3</sup>, Ramón Martínez Huerta<sup>4</sup>,**

Artículo recibido en octubre 13 de 2020; artículo aceptado en noviembre 27 de 2020

Este artículo puede compartirse bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) y se referencia usando el siguiente formato: Alvarado, O., Rueda, J. F. y Martínez, R. (2021). Modelo del portafolio eficiente para la toma de decisiones en la producción agrícola. *I+D Revista de Investigaciones*, 16(2), 67-82. <https://doi.org/10.33304/revinv.v16n2-2021007>.

### Resumen

El presente artículo de investigación analiza la problemática asociada con la toma de decisiones para los agricultores al momento de elegir la combinación óptima de comercialización de sus productos de siembra, con base en las diferentes teorías y modelos que abordan las temáticas de rendimiento, riesgo e incertidumbre. Teniendo como eje central el modelo de Markowitz, se logró establecer un *Modelo de Portafolio Eficiente* en función del comportamiento histórico de los precios de mercado en los periodos de siembra 2015 a 2018 de las empresas hortícolas en el Estado de Sinaloa, México, logrando ofrecer alternativas de producción que garanticen mayores niveles de rentabilidad a menor riesgo.

**Palabras clave:** Modelo eficiente, modelo Markowitz, rentabilidad, riesgo, sector agrícola.

### Abstract

This research article analyzes the problems associated with decision-making for farmers when it comes to choose the optimal combination of marketing their seed products, based on the different theories and models that address the issues of yield, risk and uncertainty. Having as central axis the Markowitz model, it was possible to establish an Efficient Portfolio Model based on the historical behavior of market prices in the 2015 to 2018 planting periods of horticultural companies in the State of Sinaloa, Mexico, managing to offer alternatives of production that guarantee higher levels of profitability at lower risk.

**Keywords:** Efficient model, Markowitz model, profitability, risk, agricultural sector.

<sup>1</sup> Artículo de investigación, de tipo descriptivo y enfoque cualitativo, resultado de un proyecto de investigación culminado, perteneciente al área de Ciencias Sociales, subárea de Gestión Empresarial, desarrollado en el Grupo de Investigación en Competitividad y Productividad Empresarial -GICPE y el Grupo de Investigación en Desarrollo Empresarial Competitivo - PORTER, fue financiado por la Universidad Autónoma de Occidente (Culiacán, México) y la Universidad de Investigación y Desarrollo UDI (Bucaramanga, Colombia). Dirección: Blvd. Lola Beltrán y Blvd. Rolando Arjona, C.P. 80020, Culiacán, Sinaloa; Calle 9 n.º 23-55, Bucaramanga, Santander. PBX: (667) 759 1300; (60) (7) 6352525. Fecha de inicio: junio de 2019. Fecha de terminación: noviembre de 2020.

<sup>2</sup> Ph.D. (c) en Ciencias Administrativas, Universidad Autónoma de Occidente. Grupo de Investigación en Competitividad y Productividad Empresarial -GICPE, Universidad Autónoma de Occidente (Culiacán, México). Dirección: Blvd. Lola Beltrán y Blvd. Rolando Arjona C.P. 80020. PBX: (667) 759 1300. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8186-5281> Correo electrónico: oalvaradom11@hotmail.com.

<sup>3</sup> Ph.D. Administración de Empresas, Universidad Antonio de Nebrija. Grupo de Investigación en Desarrollo Empresarial Competitivo -PORTER, Universidad de Investigación y Desarrollo (Bucaramanga, Colombia). Dirección: Calle 9 n.º 23-55. PBX: (60) (7) 6352525 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2795-7844> Correo electrónico institucional: jrueda31@udi.edu.co

<sup>4</sup> Ph.D. Ciencias Sociales y Economía, Universidad Autónoma de Sinaloa. Grupo de Investigación en Competitividad y Productividad Empresarial -GICPE, Universidad Autónoma de Occidente (Culiacán, México). Dirección: Blvd. Lola Beltrán y Blvd. Rolando Arjona CP 80020. PBX: (667) 759 1300. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7934-4217> Correo electrónico: mahur54@gmail.com

## Introducción

En el Estado de Sinaloa, México, se siembran y exportan productos agrícolas. En términos de generación de riqueza, dichas actividades tomaron gran relevancia durante los últimos años, por lo que posicionaron a la región en el octavo lugar en superficie de cultivos con un total de 1.149.320 hectáreas, lo cual representó el 5,32% en el ámbito nacional y la hacen ocupar el tercer lugar con un valor de producción agrícola de \$48.448 millones de pesos mexicanos (USD 2.155 millones), esto significó el 8,3% del total exportado por parte del país, tal como lo señala el Gobierno Constitucional del Estado de Sinaloa (2017). En lo que respecta al municipio de Guasave, región perteneciente al Estado de Sinaloa en donde se centralizó el desarrollo del presente estudio, la superficie sembrada en el año 2017 fue cercana a las 200.000 hectáreas que constituyen el 7,76% del total nacional, esto hizo que se ubicase en el primer lugar en superficie sembrada y el segundo en términos de valor de la producción agrícola con cerca de 8.505 millones de pesos mexicanos (USD 380 millones), lo cual representó el 17,55% del total estatal.

En cuanto al índice de crecimiento anual, el municipio de Guasave se posicionó en el cuarto lugar con 12,33%, lo cual superó el promedio nacional, dado que la región creció una media de 3,70% hectáreas en cultivo con siembras de frutas y hortalizas, las más significativas son tomate saladette, chile jalapeño, chile morrón, ejote y tomatillo, entre otras, con las que se aportó al estado de Sinaloa en 2017 más de 476,38 millones de pesos (USD 21,190 millones), tal como lo reportan las cifras oficiales del Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa [CODESIN] (2018). A pesar de estos importantes logros para el Estado de Sinaloa, y dada la importante vocación de su población, es necesario incrementar los niveles de competitividad del sector agrícola de la región, con los objetivos de mejorar las tasas de rentabilidad para los productores e impulsar el crecimiento socio económico, así como la calidad de vida en el contexto local y nacional para la actual y futura generación campesina (Guerra, 1998).

Para lograr estos objetivos, resulta de vital importancia que los agricultores desarrollen una mejor capacidad administrativa asociada al proceso de toma de decisiones de los productos de siembra que van a comercializar (Chica, 2019), en la medida en que en innumerables casos no se elige su portafolio de productos bajo criterios de racionalidad y coherencia con base a las condiciones de oferta y demanda que impone el mercado. Dicha condición es mucho más visible en pequeñas y medianas empresas agrícolas Pymes, en las que la actividad de producir y comercializar sus siembras se lleva a cabo en un ambiente de alto riesgo e incertidumbre en términos de escasa información del mercado, por lo que la elección del portafolio está más relacionada con la tradición

agrícola, sin el análisis correcto de las oportunidades rentables del mercado.

En ese sentido, el panorama de los agricultores mexicanos, como el de gran parte de los latinoamericanos, indica que no cuentan con información idónea ni asesoría para responder al dilema de saber qué y cuáles productos de siembra son la combinación correcta para el diseño de un portafolio agrícola que genere mayores rendimientos económicos en menores condiciones de riesgo (Cabello y Ortiz, 2013; Cooper et al., 2004; Villanueva-Mejía, 2018). Al respecto, existen diversas teorías que abordan la temática del análisis del riesgo en función de los rendimientos como una posible solución a la problemática anteriormente expuesta, dentro del escenario del sector agrícola mexicano. No obstante, en el presente estudio se aplicó el modelo formulado por Markowitz (1952), puesto que es el adecuado para que los inversionistas controlen de mejor forma el riesgo con base al rendimiento esperado, de ese modo ellos logran una mejor diversificación al momento de diseñar el portafolio.

Por tanto, el artículo en mención aplica el modelo de Markowitz para la selección de variedades de frutas y hortalizas de siembra, bajo el contexto de desarrollar un *portafolio eficiente* que maximice el rendimiento con un riesgo controlado para los agricultores mexicanos pertenecientes al Estado de Sinaloa, lo anterior, mediante un análisis de datos que abarca los períodos de cultivo entre 2015 y 2018, en el cual se comparan los portafolios que fueron elegidos con los sugeridos en los resultados de aplicar el modelo de Markowitz, esto con el fin de determinar si fueron decisiones racionales que optimizaron su inversión. Así, el cuerpo del texto está constituido por cuatro apartados: la primera es una revisión conceptual de las teorías y modelos de toma de decisiones gerenciales; la segunda contiene la explicación del desarrollo metodológico del estudio; la tercera comprende un análisis de los datos y una discusión de los resultados obtenidos; la cuarta incluye las conclusiones y las recomendaciones generales.

## Marco Teórico

Autores tales como Gibbons (1992); Gintis (2000); Morgenstern y Von Neumann (1947); Nash (1950) Cournot y Edgeworth (1838, citado en Tarziján y Paredes, 2006), entre otros, desarrollaron los conceptos de la teoría de juegos como mecanismo para identificar la elección más adecuada y útil frente a diversas alternativas de decisión, teniendo como punto de partida la *teoría de la utilidad esperada* propuesta por Bernoulli (1954), la cual formula el modelo de elección racional para la toma de decisiones en escenarios microeconómicos con incertidumbre, mediante la valoración cuantitativa de posibles resultados sujetos a la función de utilidad. Con base en estos principios, han surgido diferentes modelos aplicables para la toma de decisiones empresariales bajo el axioma

de establecer las elecciones más adecuadas, soportadas en criterios de racionalidad y coherencia administrativa, en busca del mayor beneficio posible dentro de escenarios con múltiples alternativas de selección y condiciones de riesgo (Jiménez Lozano y Jiménez Muñoz, 2012; Maynard Smith, 1982).

En la práctica, los modelos anteriores se encuentran expuestos a innumerables críticas, porque no cumplen cabalmente con los axiomas propios de la teoría de la utilidad esperada, esto se debe a que el comportamiento humano no siempre tiende a elegir las opciones más racionales durante la toma de decisiones (Bierman, 1989). Por esa razón, Simon (1972) enfocó sus estudios en la toma de decisiones de organizaciones, analizó el comportamiento humano a nivel colectivo e individual y demostró que la racionalidad de las personas y grupos es, por naturaleza, limitada e incluso incoherente en algunas situaciones. En términos administrativos, dicha condición natural conduce a realizar elecciones inadecuadas a partir de la información sesgada o la sobreestimación de los resultados esperados, de ese modo es que se obtienen resultados ineficientes, improductivos y costosos, en términos de pérdidas.

En vista de que el objetivo central es poder tomar decisiones con argumentos racionales a nivel empresarial, las organizaciones deben contar con lineamientos administrativos que obligatoriamente focalicen su atención en las elecciones basadas en los *hechos reales*, la *experiencia*, la *autoridad* y la *intuición*. En ese sentido, es necesario instaurar un análisis de metodologías básicas (ver Tabla 1) que determine las posibles consecuencias de una decisión y valore analíticamente cada alternativa en función del mayor beneficio (Jiménez Lozano y Jiménez Muñoz, 2012).

Acerca de lo anterior, Garavito Hernández et al. (2020) resaltan que, en el ámbito empresarial, el recurso de la información es el elemento más importante para realizar racionalmente una toma de decisiones correcta, pero que en la realidad no se cuenta siempre con un conocimiento amplio del escenario ni de las posibles consecuencias frente a cada alternativa, a lo que se le suma la poca objetividad por el manejo de intereses particulares que generan resultados negativos. Todas estas situaciones son más evidentes en las empresas familiares, tal como lo demuestran los niveles de continuidad ante el cambio generacional (Rueda Galvis y Rueda Galvis, 2017; Rueda, 2009).

Tabla 1  
*Metodología Básica para toma de decisiones empresariales*

1.	Definición del problema
2.	Búsqueda de alternativas
3.	Evaluación de alternativas
4.	Elección de una de las alternativas
5.	Determinación del plan de acción
6.	Comunicación de la decisión
7.	Implementación de la decisión
8.	Control y evaluación

Fuente: Tomado de Jiménez Lozano y Jiménez Muñoz (2012).

### **Modelo del portafolio eficiente**

Si bien existen diversos conceptos teóricos que permiten estructurar modelos para la toma de decisiones del mercado a través de la valoración de los activos de capital (Sharpe, 1964); con arbitraje de precios (Ross, 1976) o mediante el manejo de opciones (Merton, 1973); entre muchos otros, Markowitz (1952) fue el primero en desarrollar un modelo que permite a los inversionistas analizar el mercado y validar el nivel de riesgo a partir de los rendimientos esperados, ya que es reconocido como *portafolio eficiente* y surge a partir de los principios de la teoría de la *racionalidad limitada* (Simon, 1947, 1972). De ahí, Markowitz (1952) desarrolló el *modelo de selección de portafolios de inversión* con el que se contemplan los efectos positivos de la diversificación de productos con riesgos correlacionados, así fue como estableció los principios que permiten definir el concepto de creación del *portafolio eficiente* (Mashayekhi y Omrani, 2015).

En suma, Markowitz (1952) propuso un modelo que integró el rendimiento esperado (E) y la varianza del rendimiento (V) como criterios para la correcta elección de un portafolio, bajo la premisa de que el primero es un promedio ponderado de los rendimientos financieros individuales futuros de cada producto, mientras que el segundo es la relación entre las varianzas y covarianzas según el peso que cada producto posee en el portafolio.

Ahora bien, para establecer el modelo de *portafolio eficiente* es necesario definir, en primer lugar, el concepto de frontera eficiente, el cual está representado por el conjunto total de combinaciones entre la media y la varianza, que pueden ofrecer la máxima utilidad esperada con el fin de que se sufra el menor riesgo posible. Luego, considerando que el riesgo es inherente a cada inversión y no solo la rentabilidad deseada, se establece un total de opciones posibles sobre las cuales se identifican aquellas que representan el mayor beneficio según el riesgo. Todo lo dicho, se efectúa mediante un análisis de elección soportado en los criterios de coherencia y racionalidad de cada una de las diferentes alternativas (Bisang et al., 2008; Markowitz, 1999).

Significa, entonces, que los postulados del modelo de Markowitz resaltan la gran conveniencia de diversificar el portafolio mediante la inclusión de diferentes tipos de activos según los mercados y plazos de tiempo, con lo cual se pueden crear escenarios que proporcionen una alternativa conjunta que minimice el riesgo total de la inversión, así las pérdidas generadas por un producto serían compensadas con las utilidades de otros activos (Lámbarry Vilchis et al., 2010). Por ese motivo, desde el surgimiento de dicha teoría, los portafolios de inversión procuran integrarse por un amplio y diverso número de activos o instrumentos financieros, tales como acciones, bonos, certificados bursátiles y monedas; entre otros, que ofrecen una maximización de la utilidad esperada en función del riesgo propio que debe asumir el portafolio (Gamarra, 2017; Ricciardi y Simon, 2017).

Actualmente, la teoría del portafolio ha desarrollado diversas metodologías que proporcionan mejores herramientas para la toma de decisiones y el diseño estratégico de portafolios de inversión desde varias ópticas, lo cual reduce los niveles de incertidumbre a condiciones razonables, tal y como lo formula el modelo *asset allocation* diseñado por Black y Litterman (1992). La principal característica de aplicación de este modelo es que se centraliza en determinar la utilidad esperada mediante el establecimiento de los niveles de inversión y los porcentajes que debe tener cada producto en el portafolio, a través de lo que se reconoce como carteras de inversión dinámicas. Las *tactical asset allocation* se ajustan constantemente según el comportamiento de cada activo en el mercado, lo cual facilita la venta de aquellos que disminuyen su valor y orienta la inversión en los que se revalorizan con porcentaje de atribución que no son fijos (Franco-Arbeláez et al., 2011; Xidonas et al., 2011).

En concordancia con lo dicho, Michaud (1989) señala que es inadecuado usar series de rentabilidades históricas en la estimación de la utilidad esperada, porque produce sesgos en la elección de los activos de inversión, lo que ocasiona una baja diversificación en los portafolios resultantes. Frente a este inconveniente, Haugen (1993) considera que esto puede solucionarse si se introducen restricciones al modelo que limiten el porcentaje máximo de los recursos a invertir de cada activo financiero, aunque el problema es que los modelos se alimentan con datos históricos, por lo que se debe asumir que existirá un mismo comportamiento en el tiempo, aspecto que no se ajusta a la realidad en todos los casos.

Ante estas circunstancias, las investigaciones realizadas por Ismail y Pham (2018) aplicaron el criterio de la *variación media* formulado por Markowitz (1952) para dar

mayor robustez al modelo en la selección del portafolio en condiciones de incertidumbre, con esto los investigadores permitieron el análisis de la volatilidad de los activos incluidos y las correlaciones ambiguas entre los riesgos de cada uno de ellos, a través de la aplicación del índice del Modelo de Sharpe (1964). No obstante, lo anterior cuestiona la robustez de la frontera eficiente, dado que se obtiene un límite más bajo para las carteras eficientes independientemente de los resultados que arroje la matriz de covarianza. En consecuencia, Georgalos et al. (2021) combinaron los modelos de Markowitz con los realizados por Stott (2006); Bouchouicha y Vieider (2017), de forma que utilizaron las funciones alternativas de ponderación de probabilidades de Prelec (1998); Tversky y Kahneman (1992), con lo cual concluyeron que sí se puede obtener, en gran medida, una explicación racional en función del riesgo a la elección de activos de un portafolio mediante el modelo de Markowitz (Vitt et al., 2003).

Por otra parte, Franco-Arbeláez et al. (2011) también concluyen que el modelo de Markowitz es útil para la elaboración de portafolios óptimos, pues es una herramienta adecuada para el análisis y la gestión de inversiones que estima de manera coherente el rendimiento esperado con base en los niveles de covarianzas. Según lo expuesto por Campos et al. (2013); Kellner y Utz (2019), el gran beneficio de este modelo radica en la racional optimización de portafolios que ha sido probada con éxito en diversos problemas asociados con la toma de decisiones ajenas al comportamiento del mercado bursátil, ellos aplicaron el modelo a la selección de carteras de proveedores y pedidos con los objetivos de *minimizar el costo*, *maximizar la sostenibilidad* y *minimizar el riesgo de suministro*. En conclusión, obtuvieron resultados válidos para el diseño de combinación de portafolios y se demostró, al mismo tiempo, que es posible resolver los problemas de selección de proveedores haciendo uso de los principios del modelo de Markowitz.

## Metodología

La presente investigación es de carácter descriptivo con enfoque cuantitativo, ya que se realizan análisis estadísticos correlacionales-explicativos y se formulan procesos deductivos mediante la aplicación de escalas métricas, esto con el fin de determinar la cartera o portafolio de productos de siembra con base a datos históricos (desde el 2015 al 2018) de tres grupos empresariales frutícolas y hortícolas, los cuales se encuentran ubicados en el Estado de Sinaloa y son objeto de estudio de la investigación (ver Tabla 2).

Tabla 2  
 Ficha técnica del estudio

Participantes:	3 (tres) empresas hortícolas pertenecientes al clúster hortalicero del Municipio de Guasave, Sinaloa.
Métodos obtención de Datos	10 visitas in situ a empresarios.
Fecha toma de datos:	Junio 2019 a septiembre 2020.
Número de preguntas:	7 preguntas.
Tipo de preguntas:	Abierta y cerradas de selección múltiple.
Análisis de datos:	Análisis estadístico correlacional.

Fuente: Autores.

En este sentido, el objetivo de investigación se centró en identificar la combinación más adecuada para el desarrollo de los procesos de siembra de sus productos agrícolas, con el fin de establecer que el *portafolio eficiente* sea óptimo en términos de producción, rentabilidad y riesgo, todo esto mediante la aplicación del modelo de Markowitz. De ahí, se realiza un análisis comparativo entre el portafolio original y el propuesto, luego, un análisis estadístico descriptivo de la información obtenida y, finalmente, la aplicación del método de reducción de gradiente generalizada a través del uso de la herramienta SPSS software (López-Roldán y Fachelli, 2015).

### Datos

Para obtener los datos que permitieron analizar comparativamente los portafolios de inversión original y el propuesto, se revisaron los registros históricos de los años 2015, 2016, 2017 y 2018, relacionados con el número de hectáreas sembradas por cada agricultor y la proporción de cultivo que se destinó del total de la superficie a cada uno de los diferentes productos. Así mismo, con base en el abanico de opciones de los diferentes productos hortícolas susceptibles de siembra en la región del Estado de Sinaloa y conforme a la información oficial suministrada por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados [SINIIM] (2018), para los mismos períodos, se obtuvieron los precios históricos de los productos con

mayor demanda para el mercado nacional según el nivel de rentabilidad reportado en el promedio mensual por las principales centrales de abastos del país, tales como Iztapalapa, Guadalajara, Monterrey, Ciudad de México y Culiacán.

Cabe aclarar que en este análisis se consideraron los datos oficiales correspondientes a los últimos cinco años previos de cada año objeto de estudio, que van desde el 2015 al 2018 para la elaboración de su *portafolio eficiente*, es decir que para el año 2015 se analizaron los datos históricos desde el 2010 al 2014 en el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados [SINIIM] (2018). Así sucesivamente hasta alcanzar los datos correspondientes al 2018.

### Resultados

#### Análisis de datos

Con la información obtenida del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados [SINIIM] (2018), se elaboró un análisis comparativo del comportamiento histórico mensual de los precios que reportaron las 13 principales frutas y hortalizas demandadas durante los 5 años anteriores al 2018, año objeto de estudio (ver Tabla 3). Posteriormente, se desarrolló el análisis de datos según la metodología formulada en la teoría del *modelo de portafolio eficiente*.

Tabla 3  
 Históricos de precios de frutas y hortalizas años 2013 a 2017

Año	Mes	Tomatillo	Saladette Campo Abierto	Saladette Protegido	Cebolla	Calabaza Italiana	Chile Serrano	Chile Jalapeño	Chile Anaheim	Chile Poblano	Chile Caribe	Ejote	Pepino	Chile Morrón
2013	Enero	6,68	8,72	7,62	10,00	8,95	8,27	7,29	10,64	10,49	10,11	7,05	8,80	10,55
	Febrero	8,55	7,92	7,56	8,47	10,58	7,81	7,11	12,20	13,32	12,59	7,11	9,76	10,62
	Marzo	16,47	9,24	8,49	5,66	13,00	10,28	11,04	13,25	12,54	14,42	7,11	11,83	12,44
	Abril	22,06	8,83	7,99	3,00	12,82	14,42	13,35	16,93	13,88	15,66	10,50	7,73	14,08
	Mayo	18,61	12,44	9,55		10,68	15,76	12,95	14,00	15,86	14,70	14,09	5,14	12,54
	Junio	14,00	11,54	9,12		8,40	10,52	10,00	12,00	13,03	12,02	14,60	5,45	12,28
	Julio		10,46	9,04		12,00	6,89	7,83		11,27	10,83	13,57	5,18	16,06
	Agosto		12,07	10,00		16,73	7,75	8,11		12,51			7,47	25,09
	Septiembre		13,18	10,77		13,31	8,71	7,94		14,66			8,23	21,54
	Octubre		13,13	10,39			8,94	7,10		15,63			6,35	
	Noviembre	7,98	15,01	14,03			15,86	10,18		16,69	15,67		4,95	16,67

	Diciembre	7,23	16,10	15,52			16,31	9,96		24,51	13,42		6,05	16,70
2014	Enero	5,33	11,50	9,79	11,60	9,56	13,45	8,80		13,51	12,09	8,83	7,95	16,97
	Febrero	5,10	8,99	6,85	11,81	8,89	12,44	9,71		14,32	11,61	9,39	7,90	15,48
	Marzo	6,32	8,03	6,31	10,99	9,55	11,88	10,99	10,00	13,45	13,51	12,40	8,19	17,54
	Abril	6,74	10,11	7,30	7,83	8,75	11,86	11,19	10,56	20,73	15,46	10,90	7,11	16,89
	Mayo	5,89	8,05	5,99	5,71	11,65	13,67	10,93		20,89	16,52	11,18	6,56	15,59
	Junio	6,22	7,82	6,40	5,00		12,32	8,33		13,30			7,06	17,15
	Julio	7,05	8,43	7,13			12,17	7,85		10,88			6,97	24,03
	Agosto	7,82	9,11	7,25			12,57	8,70		11,55			7,10	25,83
	Septiembre	9,53	9,08	8,33			14,04	9,02		13,96			7,02	25,48
	Octubre	7,47	10,30	8,29			13,67	9,54		12,95			7,64	23,87
	Noviembre	7,13	12,14	9,73			15,65	12,38		13,60			7,29	24,16
	Diciembre	9,66	13,69	11,57			9,54	9,05		17,30	13,52	8,79	7,44	15,94
2015	Enero	12,10	9,85	9,04	6,29	7,95	7,43	6,99		10,84	13,94	9,76	7,79	13,29
	Febrero	12,68	8,68	7,30	6,00	8,05	7,39	6,88		9,20	13,70	8,92	7,87	13,48
	Marzo	10,69	11,60	11,83	6,33	10,41	11,82	8,73	10,75	10,45	13,64	9,17	7,34	15,40
	Abril	10,71	10,20	11,43	6,14	10,00	13,26	11,05	12,88	15,02	15,15	9,65	7,48	18,50
	Mayo	10,11	9,61	10,02	5,84		17,00	13,59	15,00	17,78	15,97	12,05	6,57	19,30
	Junio	11,49	9,59	10,17	8,43		14,99	12,59	15,00	18,34	16,25	12,00	6,08	20,55
	Julio	10,73	11,74	10,41	9,18		13,39	9,82	15,00	14,02	14,67		7,36	17,77
	Agosto	10,64	14,24	10,55			17,47	10,51		15,33	14,11		7,99	
	Septiembre	7,42	10,32	11,31			15,86	11,07		14,63	14,92		9,40	
	Octubre	10,10	11,29	10,80			17,40	14,87		19,19	18,83		8,45	40,00
	Noviembre	13,74	11,39	10,35			15,94	14,59		21,91	22,33		9,18	30,84
	Diciembre	11,06	14,24	15,41		8,57	10,40	12,67	20,00	20,68	18,79		11,64	22,99
2016	Enero	8,92	17,10	14,62	21,40	22,25	14,16	14,61	17,03	17,31	16,45	8,62	14,34	25,26
	Febrero	7,61	13,55	11,86	17,16	10,30	23,92	21,26	21,00	20,73	22,43	9,30	9,99	27,61
	Marzo	9,04	14,10	12,68	13,95	12,00	19,21	18,97	14,40	17,79	22,04	12,10	11,49	27,32
	Abril	9,89	11,55	10,30	7,78	8,64	12,59	12,95	11,52	16,65	19,66	14,21	8,84	23,42
	Mayo	12,14	9,53	8,95	8,58	10,62	11,78	11,61	12,00	17,80	18,56	16,71	7,42	20,06
	Junio	12,76	9,17	8,76		12,59	12,70	10,56		19,54	18,59	16,18	6,77	20,76
	Julio	9,00	10,68	8,22		10,67	13,77	11,66		19,05	14,98	16,43	6,93	20,49
	Agosto	10,65	13,50	9,00		14,33	14,39	12,01		16,78	20,22	17,65	8,05	17,27
	Septiembre	16,38	15,22	11,35		12,67	12,93	11,65		15,97	24,45	15,90	9,41	18,50
	Octubre	15,05	13,64	12,92		11,45	12,86	11,13		14,73	22,32	23,52	10,65	18,26
	Noviembre	9,31	15,28	14,70		11,30	13,37	11,65	11,20	17,79	19,94	21,70	8,79	16,07
	Diciembre	8,37	16,44	11,99		12,18	9,77	9,49	10,09	14,82	16,47	18,50	8,31	14,32
2017	Enero	7,60	10,20	7,62	9,00	10,91	8,74	8,19	11,11	12,03	11,28	14,34	8,40	14,01
	Febrero	9,68	7,21	6,12	6,57	12,10	10,92	8,35	10,66	11,94	11,96	16,47	9,29	14,78
	Marzo	14,03	8,64	6,91	5,23	13,46	14,28	8,96	11,05	12,87	15,20	21,41	10,67	17,42
	Abril	15,96	10,69	9,77	3,00	12,52	16,11	11,92	16,00	16,85	16,42	27,39	10,70	16,43
	Mayo	11,89	12,72	12,74	5,90	11,32	17,81	14,36	15,43	19,00	18,50	23,81	10,90	19,04
	Junio	10,99	15,03	13,90	5,61	11,57	18,92	12,38	12,14	14,36	20,00	21,77	10,95	22,35
	Julio	12,49	16,41	17,33	3,00	11,48	23,11	13,70	13,57	16,29	25,86	20,76	9,43	20,53
	Agosto	16,41	19,89	19,91		13,17	19,54	14,07	14,35	17,83	24,61	20,39	8,79	22,25
	Septiembre	14,18	19,70	16,43		17,48	19,43	12,87	15,24	17,99	24,33	25,05	9,86	19,49
	Octubre	12,50	18,60	13,60		21,66	19,81	13,42	18,36	17,52	20,91	21,59	9,60	18,66
	Noviembre	11,17	20,58	13,09		12,60	19,61	15,61	15,55	19,58	19,65	20,20	9,17	25,38
	Diciembre	10,46	23,76	19,39		14,95	14,30	13,48	14,65	21,45	20,59	22,00	8,19	20,18

Fuente: Autores basados en Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados [SINIIM] (2018).

Así, con base en esta información, se determinó la variación de los precios de los diferentes productos de frutas y hortalizas (ver Tabla 4). Es necesario aclarar que se omitieron los meses en los que no se registró ningún dato en el sistema, ya que esto quiere decir que no hubo venta en el mercado nacional.

Tabla 4  
 Matriz de variación en los precios en los años 2013 al 2017

Año	Mes	Tomatillo	Saladette Campo Abierto	Saladette Protegido	Cebolla	Calabaza Italiana	Chile Serrano	Chile Jalapeño	Chile Anaheim	Chile Poblano	Chile Caribe	Ejote	Pepino	Chile Morrón
2013	Enero	6,68	8,72	7,62	10	8,95	8,27	7,29	10,64	10,49	10,11	7,05	8,8	10,55
	Febrero	8,55	7,92	7,56	8,47	10,58	7,81	7,11	12,2	13,32	12,59	7,11	9,76	10,62
	Marzo	16,47	9,24	8,49	5,66	13	10,28	11,04	13,25	12,54	14,42	7,11	11,83	12,44
	Abril	22,06	8,83	7,99	3	12,82	14,42	13,35	16,93	13,88	15,66	10,5	7,73	14,08
	Mayo	18,61	12,44	9,55		10,68	15,76	12,95	14	15,86	14,7	14,09	5,14	12,54
	Junio	14	11,54	9,12		8,4	10,52	10	12	13,03	12,02	14,6	5,45	12,28
	Julio		10,46	9,04		12	6,89	7,83		11,27	10,83	13,57	5,18	16,06
	Agosto		12,07	10		16,73	7,75	8,11		12,51			7,47	25,09
	Septiembre		13,18	10,77		13,31	8,71	7,94		14,66			8,23	21,54
	Octubre		13,13	10,39			8,94	7,1		15,63			6,35	
	Noviembre	7,98	15,01	14,03			15,86	10,18		16,69	15,67		4,95	16,67
	Diciembre	7,23	16,1	15,52			16,31	9,96		24,51	13,42		6,05	16,7
2014	Enero	5,33	11,5	9,79	11,6	9,56	13,45	8,8		13,51	12,09	8,83	7,95	16,97
	Febrero	5,1	8,99	6,85	11,81	8,89	12,44	9,71		14,32	11,61	9,39	7,9	15,48
	Marzo	6,32	8,03	6,31	10,99	9,55	11,88	10,99	10	13,45	13,51	12,4	8,19	17,54
	Abril	6,74	10,11	7,3	7,83	8,75	11,86	11,19	10,56	20,73	15,46	10,9	7,11	16,89
	Mayo	5,89	8,05	5,99	5,71	11,65	13,67	10,93		20,89	16,52	11,18	6,56	15,59
	Junio	6,22	7,82	6,4	5		12,32	8,33		13,3			7,06	17,15
	Julio	7,05	8,43	7,13			12,17	7,85		10,88			6,97	24,03
	Agosto	7,82	9,11	7,25			12,57	8,7		11,55			7,1	25,83
	Septiembre	9,53	9,08	8,33			14,04	9,02		13,96			7,02	25,48
	Octubre	7,47	10,3	8,29			13,67	9,54		12,95			7,64	23,87
	Noviembre	7,13	12,14	9,73			15,65	12,38		13,6			7,29	24,16
	Diciembre	9,66	13,69	11,57			9,54	9,05		17,3	13,52	8,79	7,44	15,94
2015	Enero	12,1	9,85	9,04	6,29	7,95	7,43	6,99		10,84	13,94	9,76	7,79	13,29
	Febrero	12,68	8,68	7,3	6	8,05	7,39	6,88		9,2	13,7	8,92	7,87	13,48
	Marzo	10,69	11,6	11,83	6,33	10,41	11,82	8,73	10,75	10,45	13,64	9,17	7,34	15,4
	Abril	10,71	10,2	11,43	6,14	10	13,26	11,05	12,88	15,02	15,15	9,65	7,48	18,5
	Mayo	10,11	9,61	10,02	5,84		17	13,59	15	17,78	15,97	12,05	6,57	19,3
	Junio	11,49	9,59	10,17	8,43		14,99	12,59	15	18,34	16,25	12	6,08	20,55
	Julio	10,73	11,74	10,41	9,18		13,39	9,82	15	14,02	14,67		7,36	17,77
	Agosto	10,64	14,24	10,55			17,47	10,51		15,33	14,11		7,99	
	Septiembre	7,42	10,32	11,31			15,86	11,07		14,63	14,92		9,4	
	Octubre	10,1	11,29	10,8			17,4	14,87		19,19	18,83		8,45	40
	Noviembre	13,74	11,39	10,35			15,94	14,59		21,91	22,33		9,18	30,84
	Diciembre	11,06	14,24	15,41		8,57	10,4	12,67	20	20,68	18,79		11,64	22,99
2016	Enero	8,92	17,1	14,62	21,4	22,25	14,16	14,61	17,03	17,31	16,45	8,62	14,34	25,26
	Febrero	7,61	13,55	11,86	17,16	10,3	23,92	21,26	21	20,73	22,43	9,3	9,99	27,61
	Marzo	9,04	14,1	12,68	13,95	12	19,21	18,97	14,4	17,79	22,04	12,1	11,49	27,32
	Abril	9,89	11,55	10,3	7,78	8,64	12,59	12,95	11,52	16,65	19,66	14,21	8,84	23,42
	Mayo	12,14	9,53	8,95	8,58	10,62	11,78	11,61	12	17,8	18,56	16,71	7,42	20,06
	Junio	12,76	9,17	8,76		12,59	12,7	10,56		19,54	18,59	16,18	6,77	20,76
	Julio	9	10,68	8,22		10,67	13,77	11,66		19,05	14,98	16,43	6,93	20,49
	Agosto	10,65	13,5	9		14,33	14,39	12,01		16,78	20,22	17,65	8,05	17,27
	Septiembre	16,38	15,22	11,35		12,67	12,93	11,65		15,97	24,45	15,9	9,41	18,5

2016	Octubre	15,05	13,64	12,92		11,45	12,86	11,13		14,73	22,32	23,52	10,65	18,26
	Noviembre	9,31	15,28	14,7		11,3	13,37	11,65	11,2	17,79	19,94	21,7	8,79	16,07
	Diciembre	8,37	16,44	11,99		12,18	9,77	9,49	10,09	14,82	16,47	18,5	8,31	14,32
2017	Enero	7,6	10,2	7,62	9	10,91	8,74	8,19	11,11	12,03	11,28	14,34	8,4	14,01
	Febrero	9,68	7,21	6,12	6,57	12,1	10,92	8,35	10,66	11,94	11,96	16,47	9,29	14,78
	Marzo	14,03	8,64	6,91	5,23	13,46	14,28	8,96	11,05	12,87	15,2	21,41	10,67	17,42
	Abril	15,96	10,69	9,77	3	12,52	16,11	11,92	16	16,85	16,42	27,39	10,7	16,43
	Mayo	11,89	12,72	12,74	5,9	11,32	17,81	14,36	15,43	19	18,5	23,81	10,9	19,04
	Junio	10,99	15,03	13,9	5,61	11,57	18,92	12,38	12,14	14,36	20	21,77	10,95	22,35
	Julio	12,49	16,41	17,33	3	11,48	23,11	13,7	13,57	16,29	25,86	20,76	9,43	20,53
	Agosto	16,41	19,89	19,91		13,17	19,54	14,07	14,35	17,83	24,61	20,39	8,79	22,25
	Septiembre	14,18	19,7	16,43		17,48	19,43	12,87	15,24	17,99	24,33	25,05	9,86	19,49
	Octubre	12,5	18,6	13,6		21,66	19,81	13,42	18,36	17,52	20,91	21,59	9,6	18,66
	Noviembre	11,17	20,58	13,09		12,6	19,61	15,61	15,55	19,58	19,65	20,2	9,17	25,38
	Diciembre	10,46	23,76	19,39		14,95	14,3	13,48	14,65	21,45	20,59	22	8,19	20,18

Fuente: Autores con base en Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados [SINIIM] (2018).

Con los resultados presentados en la Tabla 4, se determinaron diversos factores como *el rendimiento esperado, la volatilidad de los precios, el riesgo marginal y el riesgo total*, a partir de la aplicación de los cálculos estadísticos de la media y la desviación estándar (ver

Tabla 5). En este punto es importante destacar que se consideró el rendimiento futuro en función del rendimiento histórico, es decir, que se considera estable el comportamiento del mercado para los años siguientes.

Tabla 5

Matriz de indicadores estadísticos precios 2013 al 2017

Año	Tomatillo	Saladette Campo Abierto	Saladette Protegido	Cebolla	Calabaza Italiana	Chile Serrano	Chile Jalapeño	Chile Anaheim	Chile Poblano	Chile Caribe	Ejote	Pepino	Chile Morrón
<b>Rendimiento Esperado</b>	4,54%	3,28%	3,49%	10,00%	7,70%	3,51%	2,64%	2,51%	3,13%	2,23%	7,14%	1,12%	1,44%
<b>Volatilidad</b>	24,40%	17,42%	19,98%	30,51%	32,69%	23,66%	18,45%	16,77%	19,41%	15,07%	17,19%	15,6%	16,4%
<b>Riesgo Marginal</b>	5,37	5,30	5,72	-3,05	4,25	6,74	6,99	6,67	6,21	6,75	2,41	13,92	11,39
<b>Riesgo Total</b>	5,95%	3,03%	3,99%	9,31%	10,7%	5,60%	3,40%	2,81%	3,77%	2,27%	2,95%	2,43%	2,69%

Fuente: Autores

Con el fin de hacer comparaciones entre las variables que representan cada uno de los productos del portafolio, se elaboró la matriz de correlación (ver Tabla 6), en la cual se determinaron indicadores univariantes y covariantes que

muestran sus relaciones, a la vez que se calculó la matriz de varianzas y covarianzas entre los diferentes elementos del portafolio para calcular el riesgo inherente a cada producto (ver Tabla 7).

Tabla 6

Matriz correlación de precios productos hortícolas periodos 2013 al 2017

	Tomatillo	Saladette Campo Abierto	Saladette Protegido	Cebolla	Calabaza Italiana	Chile Serrano	Chile Jalapeño	Chile Anaheim	Chile Poblano	Chile Caribe	Ejote	Pepino	Chile Morrón
<b>Tomatillo</b>	1												
<b>Saladette Campo Abierto</b>	0,0360	1											
<b>Saladette Protegido</b>	0,0621	0,733	1										
<b>Cebolla</b>	-0,430	0,144	0,140	1									
<b>Calabaza Italiana</b>	0,047	0,171	0,036	0,029	1								

<b>Chile Serrano</b>	0,046	0,193	0,164	-0,141	0,107	1							
<b>Chile Jalapeño</b>	0,165	0,221	0,213	-0,055	-0,026	0,786	1						
<b>Chile Anaheim</b>	0,230	-0,182	0,032	-0,235	-0,128	0,470	0,578	1					
<b>Chile Poblano</b>	0,112	0,277	0,325	-0,071	-0,263	0,303	0,429	0,543	1				
<b>Chile Caribe</b>	0,524	0,116	0,202	-0,184	-0,099	0,429	0,488	0,379	0,347	1			
<b>Ejote</b>	0,189	-0,018	0,0627	-0,394	-0,013	0,197	0,110	0,100	0,052	0,154	1		
<b>Pepino</b>	0,052	0,0321	0,0126	0,181	0,427	-0,238	-0,159	-0,175	-0,304	-0,104	-0,084	1	
<b>Chile Morrón</b>	0,102	0,0319	0,007	0,224	0,111	0,358	0,352	0,030	-0,034	0,145	-0,105	0,143	1

Fuente: Autores con base al Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados [SINIIM] (2018).

Teniendo como insumo la información anterior, se elaboró el método de reducción a gradientes no lineal del Solver (GRG nonlinear) mediante la aplicación del modelo de Markowitz para establecer las posibles combinaciones óptimas del portafolio agrícola de las empresas objeto de estudio, cuyos resultados finales se expresan a continuación.

Tabla 7  
 Matriz de varianzas y covarianzas de precios productos hortícolas periodo 2013 al 2017

	Tomatillo	Saladette Campo Abierto	Saladette Protegido	Cebolla	Calabaza Italiana	Chile Serrano	Chile Jalapeño	Chile Anaheim	Chile Poblano	Chile Caribe	Ejote	Pepino	Chile Morrón
<b>Tomatillo</b>	5,95%												
<b>Saladette Campo Abierto</b>	0,16%	3,03%											
<b>Saladette Protegido</b>	0,31%	2,60%	3,99%										
<b>Cebolla</b>	-3,30%	0,82%	0,95%	9,31%									
<b>Calabaza Italiana</b>	0,42%	1,05%	0,26%	0,19%	10,69%								
<b>Chile Serrano</b>	0,25%	0,81%	0,79%	-1,08%	0,83%	5,60%							
<b>Chile Jalapeño</b>	0,75%	0,72%	0,80%	-0,37%	-0,16%	3,49%	3,40%						
<b>Chile Anaheim</b>	1,01%	-0,58%	0,11%	-1,55%	-0,88%	1,97%	2,07%	2,81%					
<b>Chile Poblano</b>	0,56%	0,96%	1,28%	-0,47%	-1,50%	1,42%	1,57%	1,81%	3,77%				
<b>Chile Caribe</b>	2,05%	0,34%	0,66%	-0,73%	-0,53%	1,51%	1,36%	1,02%	1,06%	2,27%			
<b>Ejote</b>	0,85%	-0,06%	0,24%	#N/A	-0,05%	0,81%	0,36%	0,31%	0,17%	0,41%	2,95%		
<b>Pepino</b>	0,19%	0,09%	0,04%	#N/A	2,27%	-0,90%	-0,47%	-0,48%	-0,9%	-0,2%	-0,2%	2,4%	
<b>Chile Morrón</b>	0,36%	0,09%	0,02%	0,79%	0,58%	1,33%	1,05%	0,07%	-0,11%	0,31%	-0,2%	0,37%	2,74%

Fuente: Autores con base al Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados [SINIIM] (2018).

Teniendo como eje de partida el modelo formulado por Markowitz, se analizaron los datos obtenidos mediante la metodología de cambiar los escenarios múltiples veces, presumiendo así niveles de riesgos diferentes en cada caso. Con todo, el Solver (GRG nonlinear) arrojó resultados de rendimiento óptimo para cada nivel estimado (ver Tabla 8) y se logró calcular la frontera eficiente del modelo (ver Gráfico 1).

Tabla 8

Conformación de portafolio óptimo para el año 2018

Portafolio	Desvest	Retorno
Varianza Min	5,34%	6,34%
1	7,40%	9,65%
2	9,46%	11,26%
3	11,52%	12,67%
4	13,57%	13,85%
5	15,63%	14,91%
Retorno Max	17,69%	15,86%

Fuente: Autores.

De acuerdo con la gráfica de la frontera eficiente, cualquier valor que se encuentre por debajo de la línea se debe considerar como un portafolio no eficiente, mientras que, si se quiere obtener la mayor rentabilidad posible

en función del riesgo esperado, la cartera o portafolio de inversión se deberá ubicar arriba de la línea establecida para que sea un *portafolio eficiente* (Markowitz, 1952).

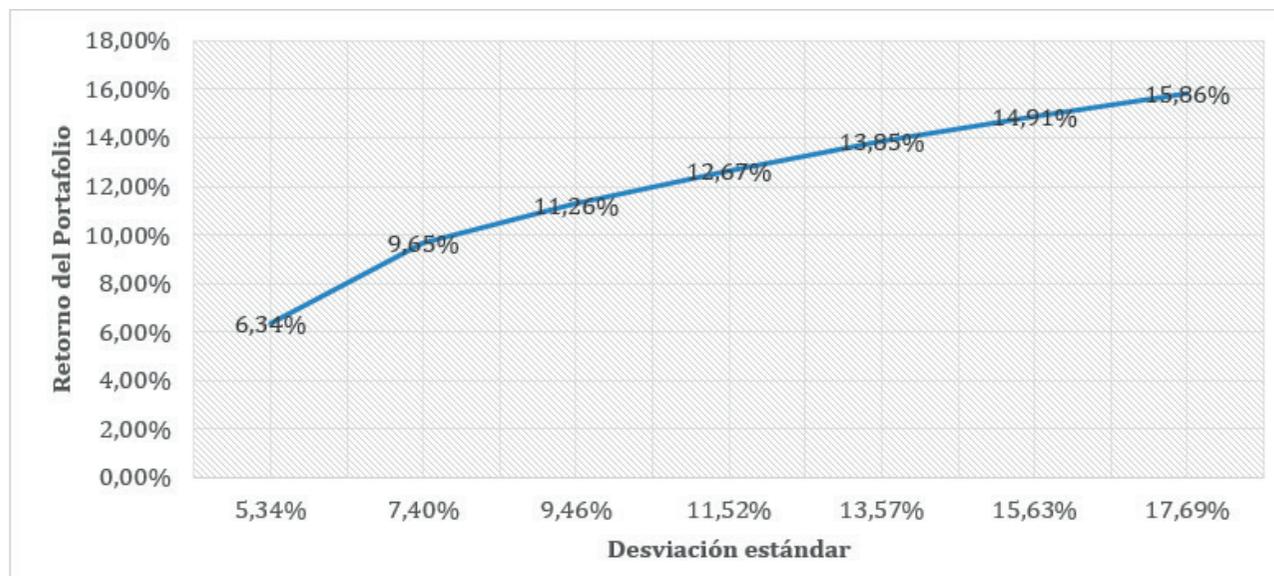


Figura 1. Frontera eficiente para el año 2018. Fuente: Autores.

Ahora bien, retomando la información del portafolio elegido por los empresarios, el cual se denomina "portafolio original", y los resultados generados en el análisis estadístico de los datos para el "portafolio actual", se contó con elementos de juicio que permitieron determinar la composición de un portafolio de productos agrícolas óptimo, que ofreciera la mejor combinación posible y brindara resultados más adecuados en términos de riesgo y rentabilidad de las carteras, tal como se observa

comparativamente en la Tabla 9. Bajo este criterio, se conformaron las carteras de inversión propuestas para cada empresa con los propósitos de observar comparativamente ambos portafolios, determinar si son diferentes y en qué medida difiere uno de otro y, además, de ubicar gráficamente los portafolios elegidos por los agricultores en los cuatro años, esto último según el ejemplo del modelo aplicado por Torrado Porto y Sili (2020).

Tabla 9

Comparativo portafolio original vs portafolio actual

		2015		2016		2017		2018	
Empresa	Producto	% Original	% Actual						
	Empresa 1	Tomatillo	40,11%	50,28%	23,26%	4,53%	27,59%	0,00%	28,99%
Saladette Campo Abierto		18,34%	0,00%	18,60%	0,00%	55,17%	0,00%	34,78%	0,00%
Saladette Protegido		0,00%	0,00%	0,00%	7,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cebolla		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,04%	0,00%
Calabaza Italiana		41,55%	0,00%	58,14%	0,00%	17,24%	4,61%	30,19%	0,00%
Chile Serrano		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Chile Jalapeño		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Chile Anaheim		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	9,84%
Chile Poblano		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Chile Caribe		0,00%	1,86%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,70%
Ejote		0,00%	44,21%	0,00%	88,47%	0,00%	95,39%	0,00%	82,45%
Pepino		0,00%	3,65%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Morrón		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Suma Total</b>		<b>100,00%</b>							
<b>Riesgo</b>		<b>19,90</b>	<b>18,52</b>	<b>19,35</b>	<b>14,88</b>	<b>19,1</b>	<b>17,88</b>	<b>17,48</b>	<b>15,63</b>
<b>Rendimiento</b>		<b>1,66</b>	<b>6,07</b>	<b>3,78</b>	<b>5,16</b>	<b>1,44</b>	<b>12,08</b>	<b>2,69</b>	<b>14,91</b>
Empresa 2	Tomatillo	0,00%	35,89%	0,00%	4,53%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Saladette Campo Abierto	0,00%	0,00%	83,80%	0,00%	88,24%	0,00%	100,00%	0,00%
	Saladette Protegido	76,92%	0,00%	0,00%	7,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Cebolla	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Calabaza Italiana	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,61%	0,00%	0,00%
	Chile Serrano	23,08%	0,00%	5,03%	0,00%	3,53%	0,00%	0,00%	0,00%
	Chile Jalapeño	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	3,53%	0,00%	0,00%	0,00%
	Chile Anaheim	0,00%	0,00%	2,23%	0,00%	3,53%	0,00%	0,00%	0,00%
	Chile Poblano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Chile Caribe	0,00%	20,48%	2,23%	0,00%	1,18%	0,00%	0,00%	0,00%
	Ejote	0,00%	36,80%	0,00%	88,47%	0,00%	95,39%	0,00%	100,00%
	Pepino	0,00%	6,84%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Morrón	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Suma Total</b>		<b>100,00%</b>							
<b>Riesgo</b>		<b>18,47</b>	<b>14,88</b>	<b>19,14</b>	<b>18,86</b>	<b>16,82</b>	<b>15,37</b>	<b>18,77</b>	<b>17,69</b>
<b>Rendimiento</b>		<b>3,30</b>	<b>5,16</b>	<b>3,38</b>	<b>14,61</b>	<b>2,12</b>	<b>11,12</b>	<b>2,2</b>	<b>15,86</b>
Empresa 3	Tomatillo	0,00%	35,90%	0,00%	4,53%	9,93%	0,00%	0,00%	0,00%
	Saladette Campo Abierto	17,52%	0,00%	18,27%	0,00%	14,18%	0,00%	0,00%	0,00%
	Saladette Protegido	58,39%	0,00%	71,07%	7,00%	37,83%	0,00%	93,96%	0,00%
	Cebolla	6,26%	0,00%	0,00%	0,00%	8,27%	0,00%	0,00%	0,00%
	Calabaza Italiana	7,82%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	14,17%	0,00%	0,00%
	Chile Serrano	5,01%	0,00%	0,00%	0,00%	4,26%	0,00%	0,00%	0,00%
	Chile Jalapeño	5,01%	0,00%	10,66%	0,00%	5,67%	0,00%	6,04%	0,00%
	Chile Anaheim	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Chile Poblano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Chile Caribe	0,00%	20,43%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Ejote	0,00%	36,76%	0,00%	88,47%	0,00%	85,83%	0,00%	100,00%
	Pepino	0,00%	6,91%	0,00%	0,00%	19,86%	0,00%	0,00%	0,00%
	Morrón	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Suma Total	100,00%	100,00%		100,00%	100,00%		100,00%	100,00%		100,00%	100,00%
Riesgo	17,67	14,88		19,27	18,86		11,74	10,34		19,09	17,69
Rendimiento	1,01	5,16		3,24	14,61		0,67	9,13		3,47	15,86

Fuente: Autores.

Como se observa, existe una diferencia muy significativa entre el portafolio original y el portafolio actual, en cuanto a que los beneficios esperados conforme al riesgo asumido en función de los rendimientos originales se encuentran por debajo de lo que representa la línea de frontera eficiente. En tal sentido, se evidencia la gran diferencia entre el portafolio original y el actual, en términos de los riesgos y rendimiento esperado para las empresas.

A pesar de que uno de los objetivos principales que postula el modelo de Markowitz es la diversificación, esta condición no se cumple cabalmente en algunos de los portafolios presentados, en razón a que el *portafolio eficiente* establece para el caso de las empresas una cantidad menor de productos que los ofrecidos en el original. La situación anterior acontece porque el modelo de Markowitz se basa en las correlaciones de los activos de riesgo, de modo que se eligen los productos que proporcionan la mayor rentabilidad, considerando el rendimiento esperado y el nivel de riesgo. Entonces, como se observa en el ejemplo de la cebolla, el comportamiento del precio es de una alta volatilidad en el mercado, lo cual genera que se disminuya la probabilidad de obtener mayores rendimientos por el riesgo de mercado que esto implica.

En el caso contrario, productos como el ejote que poseen un nivel de volatilidad moderada, pero con precios que históricamente ha ido al alza en el período de estudio, representan un mejor producto para el portafolio, dado su condición de mayor probabilidad de mejor rendimiento, por tanto, esta verdura ocupa el mayor porcentaje en todos los portafolios propuestos por el modelo eficiente.

En el mercado accionario, Medina (2003) aplicó el modelo de *portafolio eficiente* en la construcción de un portafolio óptimo integrado por cinco acciones colombianas. Así, estimó un retorno medio para cada una de las cinco acciones, la matriz de varianzas y covarianzas de estas, luego, empleó para el cálculo de rendimientos el retorno logarítmico con y sin restricción a la venta en corto y, finalmente, concluyó que la teoría de Markowitz es un buen modelo de diversificación. No obstante, el inconveniente de este es que solo considera la media y la varianza para la distribución de los retornos, teniendo en cuenta que no todos los activos presentan distribución normal. Además, el portafolio no puede dejar de ser eficiente con un cambio en los precios.

## Conclusiones

Según los resultados obtenidos, se establece que existe un incremento significativo en el rendimiento esperado si se lleva a cabo la aplicación de los criterios del modelo de Markowitz, con lo que se cumple el requisito de no aumentar el riesgo que deben asumir las empresas, por tanto, es conveniente su aplicación al sector agrícola para el logro de mayores beneficios. En el presente estudio, el modelo de Markowitz estableció un *portafolio eficiente*, aunque con menor diversificación de productos a los que incluyen originalmente los agricultores durante el período histórico entre 2010 y 2018, situación que es entendible en la medida que sus cultivos de siembra se realizan de forma tradicional en una condición alta de riesgo por no incluir información analítica del comportamiento de los precios en el mercado ni la condición de riesgo que esto implica.

A pesar que el modelo de *portafolio eficiente* formulado por Markowitz ha sido objeto de numerosas críticas en términos de su aplicabilidad para el manejo de escenarios con variables de riesgo e indeterminación, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que es una herramienta útil que contribuye a facilitar el proceso de la toma de decisiones en un entorno complejo, como es el sector agrícola, porque permite la composición de carteras óptimas de inversión para los cultivos de siembra. Considerando un riesgo similar al asumido por los hortaliceros en los periodos de estudio 2015 a 2018, el rendimiento esperado obtenido presentó resultados altamente significativos en términos de rendimientos financieros sobre la inversión.

Para que este tipo de modelos sea aplicable en la realidad a sectores como el agropecuario, resulta necesario establecer programas de educación financiera, capacitaciones y asesorías que le permitan a los pequeños y medianos empresarios construir información actualizada, tanto de los precios como del comportamiento del mercado, con el fin de diseñar portafolios eficientes de siembra que clarifiquen el nivel de riesgo como los beneficios futuros. En este sentido, factores que inciden en la decisión de siembra tales como el conocimiento técnico, el acceso a recurso financieros, el nivel de inversión, las variaciones del clima o las características de cada terreno son elementos que se deben incluir en este tipo de análisis para la adecuada elección del *portafolio eficiente* de cada agricultor.

En definitiva, la aplicación del modelo de Markowitz o cualquier otro por sí mismo no se constituye como

un elemento estratégico capaz de garantizar el diseño de portafolios eficientes para la obtención de una rentabilidad óptima, por lo que el proceso de toma de decisiones debe ser racional y estar apoyado en el análisis de muchos más factores que incidan en el desempeño del sector agrícola. Es por esto que, cualquier modelo no debe ser tenido en cuenta como un factor definitivo y decisorio, sino como un elemento de referencia que rechaza o convalida otro tipo de argumentos para la elección del portafolio más eficiente, reconociendo previamente el amplio panorama de variables volátiles que pueden influir en los resultados asociados con el precio de un producto y nivel de riesgo de su producción, como la comercialización.

## Referencias

- Bernoulli, D. (1954). Exposition of a New Theory on the Measurement of Risk. *Econometrica*, 22(1), 23–36. <https://doi.org/10.2307/1909829>
- Bierman, H. (1989). The allais paradox: A framing perspective. *Behavioral Science*, 34(1), 46–52. <https://doi.org/10.1002/bs.3830340104>
- Bisang, R., Anlló, G., y Campi, M. (2008). Una revolución (no tan) silenciosa. Claves para repensar el agro en Argentina. *Desarrollo Económico*, 48(190–191), 165–208. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3044414>
- Black, F., y Litterman, R. (1992). Global Portfolio Optimization. *Financial Analysts Journal*, 48(5), 28–43. <https://doi.org/10.2469/faj.v48.n5.28>
- Bouchouicha, R., y Vieider, F. M. (2017). Accommodating stake effects under prospect theory. *Journal of Risk and Uncertainty*, 55, 1–28. <https://doi.org/10.1007/s11166-017-9266-y>
- Cabello, A., y Ortiz, E. (2013). Políticas públicas de innovación tecnológica y desarrollo: teoría y propuesta de educación superior. *Convergencia*, 20(61), 135–172. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-14352013000100006&lng=es&tylng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352013000100006&lng=es&tylng=es)
- Campos, M., Suárez, J., y Ojeda, R. (2013). Strategic management model for decision making in agricultural entities. Implementation in a UBPC from Martí municipality (Part I). *Pastos y Forrajes*, 36(1), 95–105. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942013000100008&script=sci\\_abstract&tylng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942013000100008&script=sci_abstract&tylng=en)
- Chica, C. A. (2019). Modelo matemático de programación por metas para coadyuvar a la toma de decisiones en la selección de alternativas de inversión en Pymes. *I+D Revista de Investigaciones*, 13(1), 56–67. <https://doi.org/10.33304/revinv.v13n1-2019005>
- Consejo para el Desarrollo Económico de Sinaloa. (2018). *Reporte sobre la agricultura en Sinaloa al año 2017* (Boletín n° 30). <https://sinaloaennumeros.codesin.mx/wp-content/uploads/2018/06/Reporte-31-del-2018-de-agricultura-2017.pdf>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., y Zhu, J. (2004). Data Envelopment Analysis. En Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. (eds), *Handbook on Data Envelopment Analysis. International Series in Operations Research y Management Science* (Vol. 71, pp. 1–39). Springer.
- Franco-Arbeláez, L. C., Avendaño-Rúa, C. T., y Barbutín-Díaz, H. (2011). Modelo de markowitz y modelo de Black-Litterman en la optimización de portafolios de inversión. *Revista Tecno Lógicas*, 26, 71–88. <https://doi.org/10.22430/22565337.40>
- Gamarra, T. (2017). *Herramientas para la toma de decisiones y transferencia de riesgos del sector de la agroindustria ante los efectos del cambio climático en Uruguay, Argentina y Paraguay. Casos de estudio*. Alianza Clima y Desarrollo (CDKN). <http://saras-institute.org/es/herramientas-para-la-toma-de-decisiones-y-transferencia-de-riesgos-del-sector-de-la-agroindustria-ante-los-efectos-del-cambio-climatico-la-variabilidad-climatica-y-desastres-en-uruguay-argentina-y-p/>
- Garavito Hernández, Y., Mantilla Duarte, C. A., Rueda Galvis, J. F., y Uribe Bermudez, J. M. (2020). Impact of Employee Training and Strategic Alliances on Business Innovation and Survival. *Utopía y Praxis Latinoamericana: Revista Internacional de Filosofía Iberoamericana y Teoría Social*, 5, 77–94. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7528117>
- Georgalos, K., Paya, I., y Peel, D. A. (2021). On the contribution of the Markowitz model of utility to explain risky choice in experimental research. *Journal of Economic Behavior y Organization*, 182, 527–543. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2018.11.010>
- Gibbons, R. (1992). *Game Theory for Applied Economists*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvcmxrzd>
- Gintis, H. (2000). *Game Theory Evolving: A Problem-centered Introduction to Modeling Strategic Behavior*. Princeton University Press. [https://www.researchgate.net/publication/266454271\\_Game\\_Theory\\_Evolving\\_Second\\_Edition\\_A\\_Problem-Centered\\_Introduction\\_to\\_Modeling\\_Strategic\\_Interaction](https://www.researchgate.net/publication/266454271_Game_Theory_Evolving_Second_Edition_A_Problem-Centered_Introduction_to_Modeling_Strategic_Interaction)
- Gobierno Constitucional del Estado de Sinaloa. (2017). *Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021*. <http://saludsinaloa.gob.mx/wp-content/uploads/2018/transparencia/Plan-Estatal-de-Desarrollo-Sinaloa-2017-2021.pdf>

- Guerra, G. (1998). *Manual de Administración de empresas Agropecuarias*. Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA). <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7386E/A7386E.PDF>
- Haugen, R. A. (1993). *Modern Investment Theory*. (3ª ed.). Prentice Hall International.
- Ismail, A., y Pham, H. (2018). Robust Markowitz mean-variance portfolio selection under ambiguous covariance matrix. *Mathematical Finance*, 29(1), 174–207. <https://doi.org/10.1111/mafi.12169>
- Jiménez Lozano, G., y Jiménez Muñoz, A. (2012). Algunos modelos de toma de decisiones. *Novum*, (2), 102–112. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/novum/article/view/45726>
- Kellner, F., y Utz, S. (2019). Sustainability in supplier selection and order allocation: Combining integer variables with Markowitz portfolio theory. *Journal of Cleaner Production*, 214, 462–474. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.315>
- Lámbarry Vilchis, F., Rivas tovar, L. A., y Peña Cruz, M. del P. (2010). Modelos de decisión bajo una perspectiva de análisis de sus procesos. *Revista Universidad y Empresa*, 12(18), 143–176. <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/16953>
- López-Roldán, P., y Fachelli, S. (2015). Software para el análisis de datos: SPSS, R y SPAD. Cap III.1. En P. LópezRoldán y S. Fachelli, *Metodología de la Investigación Social Cuantitativa* (pp. 5–81). Dipòsit Digital de Documents, Universitat Autònoma de Barcelona. <https://ddd.uab.cat/record/131469>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77–91. <https://doi.org/10.2307/2975974>
- Markowitz, H. (1999). The Early History of Portfolio Theory: 1600–1960. *Financial Analysts Journal*, 55(4), 5–16. <https://doi.org/10.2469/faj.v55.n4.2281>
- Mashayekhi, Z., y Omrani, H. (2015). An integrated multi-objective Markowitz–DEA cross-efficiency model with fuzzy returns for portfolio selection problem. *Applied Soft Computing*, 38, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.018>
- Maynard Smith, J. (1982). *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806292>
- Medina, L. Á. (2003). Aplicación de la teoría del portafolio en el mercado accionario colombiano. *Cuadernos de Economía*, 22(39), 129–168. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ceconomia/article/view/9136>
- Merton, R. C. (1973). Theory of Rational Option Pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1), 141–183. <https://doi.org/10.2307/3003143>
- Michaud, R. O. (1989). The Markowitz Optimization Enigma: Is ‘Optimized’ Optimal? *Financial Analysts Journal*, 45(1), 31–42. <https://doi.org/10.2469/faj.v45.n1.31>
- Morgenstern, O., y Von Neumann, J. (1947). *Theory of Games and Economic Behavior*. (2ª ed.). Princeton University Press.
- Nash, J. F. (1950). Equilibrium points in n-person games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 36(1), 48–49. <https://doi.org/10.1073/pnas.36.1.48>
- Prelec, D. (1998). The Probability Weighting Function. *Econometrica*, 66(3), 497–527. <https://doi.org/10.2307/2998573>
- Ricciardi, V., y Simon, H. K. (2017). ¿Qué son las Finanzas del Comportamiento (Behavioral Finance)? E. Díaz y C. Del Valle (Eds.), *Manual de Economía del Comportamiento Volumen III: Finanzas del comportamiento* (pp. 17–35). Instituto Mexicano de Economía del Comportamiento.
- Ross, S. A. (1976). The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*, 13(3), 341–360. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(76\)90046-6](https://doi.org/10.1016/0022-0531(76)90046-6)
- Rueda Galvis, J., y Rueda Galvis, M. (2017). Modelo econométrico de gestión exitosa para la empresa familiar colombiana. *Revista Finanzas y Política Económica*, 9(2), 319–344. <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2017.9.2.6>
- Rueda, J. F. (2009). *Entorno y Gestión de la Empresa Familiar: Una Perspectiva Internacional*. Ediciones Unisalle. [https://ediciones.lasalle.edu.co/libro/entorno-y-gestion-de-la-empresa-familiar\\_124461/](https://ediciones.lasalle.edu.co/libro/entorno-y-gestion-de-la-empresa-familiar_124461/)
- Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425–442. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x>
- Simon, H. A. (1947). *Administrative behavior: a study of decision - making processes in administrative organization*. (2ª ed.). Free Press.
- Simon, H. A. (1972). *El Comportamiento Administrativo. Estudio de los procesos de Adopción de Decisiones en la Organización Administrativa*. (2ª ed.). Aguilar
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. (2018). *Mercados Nacionales. Frutas y Hortalizas*. Secretaría de Economía. <http://www.>

economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=Consultas/MercadosNacionales/PreciosDeMercado/Agricolas/ConsultaFrutasYHortalizas.aspx?SubOpcion=4%7C0

Stott, H. P. (2006). Cumulative prospect theory's functional menagerie. *Journal of Risk and Uncertainty*, 32, 101–130. <https://doi.org/10.1007/s11166-006-8289-6>

Tarziján, J., y Paredes, R. (2006). Modelos de Oligopolio y Teoría de juegos. En Naucalpán de Juárez (Ed.), *Organización Industrial para la estrategia empresarial* (pp. 205–214). Pearson Educación.

Torrado Porto, R., y Sili, M. E. (2020). Toma de decisiones y gestión productiva en el sector agropecuario del Noreste de La Pampa (Argentina). *Revista de Economía e Sociología Rural*, 58(2), 1–19. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.198357>

Tversky, A., y Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297–323. <https://doi.org/10.1007/BF00122574>

Villanueva-Mejía, D. (2018). *Estudios sobre Bioeconomía como fuente de nuevas industrias basadas en el capital natural de Colombia. Análisis Sector Agrícola y Pecuario*. Universidad EAFIT. [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe%202/ANEXO%201\\_An%C3%A1lisis%20sector%20agr%C3%ADcola.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe%202/ANEXO%201_An%C3%A1lisis%20sector%20agr%C3%ADcola.pdf)

Vitt, E., Luckevich, M., y Misner, S. (2003). *Business Intelligence: técnicas de análisis para la toma de decisiones importantes*. McGraw-Hill.

Xidonas, P., Mavrotas, G., Zopounidis, C., y Psarras, J. (2011). IPSSIS: An integrated multicriteria decision support system for equity portfolio construction and selection. *European Journal of Operational Research*, 210(2), 398–409. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.08.028>