



ESCUELA DE NEGOCIOS

MAESTRÍA EN INTELIGENCIA DE NEGOCIOS Y CIENCIA DE DATOS

**MODELADO DE PORTAFOLIOS DE CRÉDITO DE COOPERATIVAS DE
AHORRO Y CRÉDITO DEL SEGMENTO UNO DEL ECUADOR UTILIZANDO
PROGRAMACIÓN LINEAL**

**Profesor
Mario González**

**Autor
Gissela Fernanda Vargas Pacheco
Byron Mauricio Rosales Picon**

2023

RESUMEN

En el contexto financiero actual, la maximización de las carteras de las cooperativas de ahorro y crédito del segmento uno en Ecuador se ha convertido en un desafío estratégico de vital importancia, por lo que este estudio busca maximizar la rentabilidad de los portafolios de crédito de estas cooperativas considerando las restricciones normativas y de participación por tipo de producto crediticio. Para la maximización del portafolio de créditos por institución financiera se utilizó un modelo de programación lineal y además se generaron grupos en base a las similitudes en los montos de colocación de créditos. Las herramientas que se utilizaron para limpieza de datos y la implementación de los modelos fueron los softwares R y Python.

Dando como resultado cuanto debe colocar cada cooperativa para tener una máxima rentabilidad y también se obtuvieron 4 grupos generados por el clúster, evidenciando a las cooperativas que tienen similares características en los montos de colocación tipo de crédito. Donde se mostró la importancia de usar un modelo de maximización como es el de programación lineal y como un modelo estadístico no supervisado deja ver las similitudes de las cooperativas para asignar recursos para la colocación de créditos.

Palabras clave: Cooperativas de Ahorro y Crédito, Maximización, Modelos de programación lineal, Modelo de clúster.

ABSTRACT

In the current financial context, maximization of the portfolios of segment one of the savings and credit cooperatives in Ecuador has become a strategic challenge of vital importance, which is why this study seeks to maximization of the profitability of these cooperatives portfolios considering the regulatory and participation restrictions by type of credit product. For the maximization of the loan portfolio by financial institution, a linear programming model was used and groups were generated based on similarities in loan placement amounts. The tools used for data cleaning and model implementation were R and Python software.

The result was how much each cooperative should place in order to have maximum profitability and also 4 groups generated by the cluster were obtained, showing the cooperatives that have similar characteristics in the amounts of credit placement. It showed the importance of using a maximization model such as linear programming and how an unsupervised statistical model shows the similarities of the cooperatives to allocate resources for credit placement.

Key words: Savings and Credit Cooperatives, Maximization, Linear programming models, Cluster model.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

1. RESUMEN	2
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	1
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
5. IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO	8
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
7. OBJETIVO GENERAL	11
8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
9. JUSTIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	12
1. RECOLECCIÓN DE DATOS	12
2. LIMPIEZA Y TRANSFORMACIÓN DE DATOS.....	12
3. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	14
1. Análisis Descriptivo	15
2. Matriz de correlaciones	19
4. VISUALIZACIÓN DE VARIABLES	20
5. SELECCIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO.....	23
1. Modelo de Programación Lineal	23
2. Modelo de Clúster Jerárquico	26
10.RESULTADOS.....	28
11.DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	34
1. Situación política y económica de las cooperativas del segmento 1 en el Ecuador	34
2. Elementos orientadores del sector de economía popular y solidario.....	35
3. Problemática de las cooperativas del segmento 1	36
4. Propuesta de solución	36
5. Modelos para ayudar al Sector de Economía Popular y Solidario.....	37
6. Objetivos por lograr	37
7. Propuesta para lograr los objetivos	37
12.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
1. Conclusiones	40
2. Recomendaciones.....	41
13.REFERENCIAS	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	16
Tabla 2	17
Tabla 3	28
Tabla 4	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	19
Figura 2	20
Figura 3	21
Figura 4	22
Figura 5	24
Figura 6	30
Figura 7	31

INTRODUCCIÓN

Las cooperativas de ahorro y crédito del segmento uno en Ecuador desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico y social del país, al brindar servicios financieros accesibles a microempresarios, emprendedores y personas de bajos ingresos. Estas instituciones tienen como objetivo principal maximizar sus carteras, es decir, gestionar de manera eficiente los préstamos y activos financieros para lograr un equilibrio entre rentabilidad y riesgo.

La maximización de las carteras implica una cuidadosa planificación y ejecución de estrategias financieras. Las cooperativas deben ser capaces de identificar oportunidades de inversión rentables, evaluar adecuadamente la capacidad de pago de los prestatarios y administrar de forma efectiva los riesgos asociados a los préstamos.

Además, es esencial que las cooperativas diversifiquen sus carteras para minimizar la exposición a riesgos específicos. Esto implica ofrecer una variedad de productos financieros, como préstamos comerciales, de consumo y de vivienda, así como atender diferentes sectores económicos y perfiles de clientes.

La maximización de las carteras no solo beneficia a las cooperativas, sino también a los socios y clientes, ya que permite el acceso a financiamiento adecuado, fomenta el crecimiento empresarial y contribuye al desarrollo económico local. Sin embargo, este proceso requiere una gestión eficiente, un monitoreo constante y una evaluación continua de los resultados para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las cooperativas de ahorro y crédito del segmento uno en Ecuador.

REVISIÓN DE LITERATURA

La maximización de la cartera y la minimización del riesgo son dos objetivos fundamentales en el ámbito de las finanzas. Hay una amplia literatura disponible sobre estos temas que se pueden revisar para este trabajo de investigación.

Esta investigación toma la teoría de la selección de cartera y el modelo de equilibrio general de cartera desarrollada en su trabajo por (Tobin, 1965) quien fue un economista estadounidense. En su artículo seminal de 1958, "Liquidity Preference as Behavior Towards Risk" (Tobin, 1958) propuso una nueva teoría de la demanda de dinero, que integra el análisis keynesiano de la preferencia por la liquidez con la teoría de la selección de cartera. Según Tobin, la demanda de dinero se deriva de la necesidad de los inversores de mantener un saldo de efectivo para cubrir posibles transacciones futuras y como reserva contra la incertidumbre y el riesgo. En otras palabras, el dinero es un activo que proporciona seguridad y protección contra la volatilidad de los mercados financieros.

Aplicando esta teoría, los precursores que emplearon modelos de programación lineal a la gestión de la cartera de los bancos fueron (Chambers & Charnes, 1961) quienes precisaron la cartera "equilibrada" como un conjunto de medidas del Sistema de la Reserva Federal manejadas por los examinadores bancarios; utilizando el coeficiente de adecuación del capital y otras salvaguardias. Este modelo reside en establecer una cartera óptima para un banco en periodos de tiempo al convenio con los requisitos establecidos por los examinadores bancarios.

(Cohen & Hammer, 1967) extendieron el modelo de Chambers y Charnes y en esta propuesta de mejora brindaron tres funciones objetivo-alternativas que se describen a continuación:

- Maximizar el valor actual de los fondos propios al final del último período.

- Maximizar el valor actual del flujo de ingresos netos durante el periodo de planificación.
- Maximizar el valor actual del flujo de ingresos netos durante el periodo de planificación, más los fondos propios de los accionistas al final del periodo.

Este modelo de programación lineal es más robusto lo que a gran escala tiene limitaciones operativas, además, distintas relaciones intertemporales.

(Booth & Dash, 1979) examinaron las diferentes estructuras de modelos: LP (programación lineal), TSLP (programación lineal en dos fases), LGP (programación lineal por objetivos) y TSLGP (programación lineal por objetivos en dos fases). Cada uno de estos modelos están diseñados para representar los problemas de cartera de activos y pasivos que normalmente tiene una institución financiera comercial pequeña. El modelo TSLP introduce directamente la incertidumbre, el modelo LGP permite a la institución financiera establecer más de un objetivo y fijar si todos sus objetivos pueden cumplirse con énfasis a los prioritarios, así, cuando la obtención total de los objetivos se torna imposible, el modelo muestra el grado de no obtención de todos los objetivos no alcanzados. La institución financiera tiene que decidir y clasificar todos los objetivos descubiertos. Finalmente, el modelo de TSLGP une los atributos de objetivos múltiples del LGP como la incertidumbre característica del TSLP.

(Sheng-Yi & Wee Yong, 1998) en su trabajo muestran que, en general, las instituciones financieras buscan maximizar el rendimiento de su cartera, sujetos a restricciones legales, políticas, de límites y de activos totales, que revelan el riesgo y la liquidez de la cartera de activos. Directamente las instituciones financieras tienden a la teoría de la elección de cartera, pues tienen que proporcionar el rendimiento y la liquidez con seguridad. Así, si bien un computador o una inteligencia artificial no puede sustituir a una persona, la programación lineal puede ser de gran ayuda para la toma de decisiones.

Una vez expuestas las fuentes primarias en la cual se basa esta investigación, se procede con la revisión de estudios que aplican los modelos de programación lineal para la optimización de recursos en diversas organizaciones de distintos sectores.

Empezando con (Jain* et al., 2019) quienes en su trabajo optimizaron (maximizaron) la ganancia neta del Banco Central de la India respecto a los intereses de los préstamos, donde se enfocaron en los siguientes tipos de préstamos: personales, automovilísticos, vivienda, agrícolas, comerciales y educativos, también, maximizaron el rendimiento total de las inversiones mediante la transformación de una cierta cantidad basada en la política de inversión del Banco Central de la India, enfocándose en los productos tales como Depósito Fijo, Cuenta de Ahorro, Fondo de Previsión Público y otras políticas de inversión. En el estudio se aplicaron técnicas de programación lineal para maximizar el beneficio tanto de la institución financiera como de los inversionistas.

Por otra parte se tiene el trabajo de (Akpan, 2018) donde se utiliza el concepto de algoritmo Simplex, el cual es un método muy reconocido de la programación lineal. El algoritmo es usado para apoyar en cual sería la manera óptima de asignar materias primas a las variables del estudio (pan grande, pan gigante y pan pequeño) en una empresa dedicada a la producción de panes con el propósito de maximizar los beneficios. En el estudio se obtuvo como resultado de la aplicación del algoritmo Simplex que se debían producir 962 unidades de pan pequeño, 38 unidades de pan grande y 0 unidades de pan gigante para recibir un máximo beneficio. Finalmente, el análisis mostró que el pan pequeño, seguido del pan grande, contribuyen objetivamente al beneficio, por lo tanto, se debe producir más pan pequeño y pan grande para maximizar las ganancias de la empresa.

(Solaja et al., 2019) aplican técnicas de programación lineal a un problema de planificación de la producción en una empresa productora de alimentos para

animales. El modelo de programación lineal fue formulado a partir de los datos diarios de las operaciones de la empresa. Los datos fueron procesados usando la versión 5.0 del software Management Scientist. Ese estudio reveló una mejora en los beneficios mediante la racionalización de los diferentes productos y la eliminación de los productos menos productivos. Esto propone que la empresa puede apoyarse en las técnicas de programación lineal para la planificación de la producción y así mejorar el beneficio mensual que percibe la empresa. Este estudio demostró que las técnicas de programación lineal son herramientas eficaces para ayudar a los directivos al momento de tomar decisiones, distribuir la cantidad de recursos limitados, indicar las mejores operaciones y optimizar los beneficios.

(Kusi et al., 2019) en su trabajo muestran un modelo de programación lineal (LP) para contribuir a ADB, sucursal de Sunyani en la región de Brong Ahafo para destinar sus fondos a potenciales cliente de préstamos para maximizar las ganancias. Para esto utilizaron datos secundarios de los informes anuales y estados financieros de la institución financiera. De los datos empíricos, se diseñó el modelo LP donde se utilizó la aplicación de software computarizada llamada LP Solver basada en el Algoritmo Simplex Revisado. Los resultados del modelo revelaron que ADB, la sucursal de Sunyani conseguiría una ganancia anual de \$476.732,00 solo en préstamos. Este estudio mostró que el método científico utilizado para implementar el modelo de programación lineal propuesto da un aumento significativo para mejorar el margen de utilidad de la institución financiera si se aplica el modelo.

Para (Wulansari & Purnomo, 2022) los rendimientos y los riesgos son una responsabilidad, por lo que para los cálculos es necesario modelos matemáticos y de simulación. Pues cada banco necesita una perspectiva general de cómo están compuestos los activos productivos, a corto plazo, a mediano plazo y, a largo plazo, donde debe evaluarse el riesgo. En este trabajo utilizaron el método de programación lineal determinando los activos productivos como la principal fuente de ingresos de la institución financiera para conseguir la optimización del

beneficio sobre los riesgos. El principal problema de este trabajo fueron las 830 variables como activos bancarios y 19 restricciones como indicadores de riesgo que una vez aplicado el modelo se obtuvo 1.803 Trillyun (criptomoneda) de 11 activos bancarios contables.

(Pan & Xiao, 2017) analizaron el problema de la inversión óptima, donde tuvieron la finalidad de maximizar la ganancia esperada bajo las restricciones de liquidez y tipos de interés estocásticos. El método que emplearon devolvió las soluciones óptimas de inversión y las mejores relaciones entre activos y pasivos. Además, la investigación realizada expuso distintos ejemplos de la afectación en la inversión y en los activos por las restricciones de liquidez.

En la investigación realizada por (Babat et al., 2018) se demuestra que si bien el valor en riesgo (VaR) es una conocida herramienta para la gestión del riesgo, el cálculo de carteras VaR óptimas es complejo ya que el VaR no es convexo y es de naturaleza combinatoria. Por ello, el análisis de un algoritmo para calcular carteras VaR casi óptimas utilizando programación lineal de enteros mixtos (MILP) que garanticen una solución casi óptima que se alcanza por la relación entre carteras de riesgo mínimo que alcanzan la rentabilidad y las carteras de rentabilidad máxima que satisfacen la tolerancia al riesgo. El método de optimización generó resultados satisfactorios utilizando los rendimientos históricos de activos del mercado financiero estadounidense.

En el trabajo de (Sugi Prayuda & Ketut Purnawat, 2019) su objetivo fue investigar si la colocación de fondos en distintos tipos de créditos del Banco BPD Bali era óptima. Los datos que fueron utilizados corresponden a la movilización de fondos y créditos del Banco BPD Bali en 2018. En esta investigación emplearon la programación lineal, y una vez aplicado el modelo se obtuvieron los siguientes resultados: los fondos en los préstamos a las MIPYME escalaron a 5.632 millones de rupias, los préstamos de capital escalaron a 2.602 rupias, los préstamos de inversión escalaron a 4.276 rupias, los préstamos de consumo escalaron a 10.021 rupias con una ganancia total de 1471.140 millones de

rupias. Con lo cual, evidenciaron que al utilizar el método de programación lineal se obtiene la composición de la distribución de fondos y créditos óptimos en la organización.

IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

El dinamismo del sector financiero ecuatoriano impulsa a las cooperativas de ahorro y crédito a implementar una apropiada gestión de los portafolios con los mismos recursos y de ese modo optimizar los excedentes generados como resultado de la intermediación financiera, al mismo tiempo controlar los distintos tipos de riesgos que se generan asociados a la actividad económica de las organizaciones.

Además, los directivos de las cooperativas de ahorro y crédito en un entorno competitivo tienen la responsabilidad de tomar decisiones para adquirir los recursos del público (socios) y desembolsar como obligaciones crediticias a distintas personas. Por esta razón las instituciones deben contar con estrategias financieras que permitan realizar una gestión oportuna del mercado donde mantienen presencia e inclusive expandirse con el propósito de maximizar su rentabilidad, minimizar riesgos y generar valor.

La teoría de la cartera presentada por (Tobin, 1965) manifiesta que el portador de un activo debe equilibrar por una parte las expectativas del rendimiento y la liquidez y por otro el riesgo considerando el coste de la transaccionalidad del activo, en este sentido, se tomará esta teoría por los siguientes motivos:

- Es una de las teorías más aplicadas en la constitución de portafolios.
- Los principios de una institución financiera son liquidez, seguridad y rentabilidad, es decir, se busca un equilibrio entre riesgo y beneficio.
- Las cooperativas de ahorro y crédito buscan maximizar las tasas de rendimiento sujetos a una exposición de riesgo y liquidez.

Además, el presente proyecto toma como referencia el uso de técnicas de investigación operativa, en específico el modelo de optimización del trabajo realizado por (Chambers & Charnes, 1961) siendo uno de los pioneros en la aplicación de modelos de programación lineal a la gestión de la cartera.

Tomando en consideración lo expuesto, el presente proyecto pretende incentivar la construcción y aplicación de los modelos con base a la programación lineal para descubrir el potencial y la rentabilidad resultante que las cooperativas de ahorro y crédito pueden obtener por la optimización de los portafolios.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las cooperativas de ahorro y crédito del segmento uno para ser cada vez más competitivas y conseguir una mayor participación en el mercado necesitan manejar sus productos financieros de manera conveniente y eficaz para asegurar la sostenibilidad comercial y generar confianza en los socios.

Adicionalmente, si las cooperativas optimizan sus portafolios, pueden tener más activos para prestar a sus socios y, por ende, obtener crecimiento de las carteras de créditos y otros instrumentos financieros. Esto puede ayudar a la cooperativa a expandirse y atraer a más socios.

Se debe considerar también que las estrategias en el manejo de las tasas activas y pasivas deben ser apropiadas con la finalidad de generar una mayor rentabilidad, y no dejar de lado como trabajan las diferentes cooperativas de ahorro y crédito puesto que para conseguir mayor colocación en el mercado se ofrecen tasas activas más bajas (para colocación de créditos) y tasas pasivas más altas (respecto a las captaciones).

Además, se debe considerar que para tener una mayor rentabilidad se debe determinar un apetito al riesgo al momento de la colocación de los créditos, por esto distintos autores han mostrado interés en el riesgo crediticio, centrando su inquietud en reconocer factores que afectan en la calidad de la cartera para generar una oportuna gestión de riesgos para mantener niveles estables de liquidez. (Altuve & Briceño, 2018); y, (Lapo et al., 2021) resaltan el valor del estudio de los factores de riesgo crediticio en las instituciones financieras, por la importancia del impacto negativo que genera la existencia de un crédito en mora, el cual afecta directamente a la solvencia de la institución y la rentabilidad de esta.

Pues entonces, cabe hacerse la siguiente pregunta: ¿la programación lineal permitirá modelar de forma óptima los portafolios de las cooperativas de ahorro

y crédito para obtener el máximo beneficio considerando las restricciones de los organismos de control y del mercado?

OBJETIVO GENERAL

Maximizar la rentabilidad de los portafolios de crédito de un grupo de cooperativas del segmento uno del Ecuador considerando las restricciones normativas y de participación por tipo de producto crediticio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar los datos de los balances consolidados, tasas ponderadas de interés activas, volumen de créditos por tipo de producto crediticio de cada una de las cooperativas de ahorro y crédito que han sido reportados al organismo de control.
- Desarrollar un modelo de programación lineal y un clustering jerárquico para maximizar el portafolio de créditos por institución financiera y formar grupos con características similares de portafolios.
- Implementar el modelo de optimización y el modelo no supervisado en el software Python con apoyo de los módulos gurobi y sklearn.cluster.

JUSTIFICACIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La presente sección se encarga de explicar el proceso a detalle y de manera cronológica desde la recolección de datos hasta la selección de los modelos estadísticos utilizados para el desarrollo del proyecto.

1. RECOLECCIÓN DE DATOS

En el presente estudio se utilizará como fuente principal de datos pertenecientes al sector privado publicado la página web de la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria (SEPS), la que brindará los datos de las cooperativas de ahorro y crédito del segmento 1 del Ecuador que hayan presentado información en cada uno de los meses del periodo comprendido de enero 2019 a diciembre del 2022.

Los datos que se emplearán para el desarrollo del proyecto de investigación corresponden a las distintas estadísticas del sistema financiero popular y solidario que se describen a continuación:

- Situación Financiera: recoge los datos de cada una de las cuentas de la cartera de créditos presentes en los estados financieros y los balances generales de las instituciones controladas por la SEPS.
- Cartera de Crédito: reúne los datos de los saldos de los créditos otorgados y la cartera de crédito actual consolidada y por tipo de crédito en las instituciones financieras permitiendo analizar la colocación de recursos por parte de estas.
- Tasas de Interés: recoge la tasa ponderada activa de interés de las instituciones financieras que cobran por la entrega de obligaciones crediticias.

2. LIMPIEZA Y TRANSFORMACIÓN DE DATOS

Una vez que se obtuvieron todas las bases de datos requeridas para el estudio desde la página web del organismo de control, se procedió a la limpieza y

transformación de datos. El proceso se realizó utilizando dos herramientas de análisis de datos que son RStudio¹ y Python².

En el software estadístico RStudio se realizó la concatenación de cada una de las bases mensuales desde el año 2019 hasta el año 2022, resultando las bases consolidadas de colocación, volumen de colocación, tasas ponderadas de colocación, tasas máximas de colocación del Banco Central del Ecuador y la situación financiera de cada institución por cada periodo de estudio.

Cada una de las bases de datos contiene distintas variables de donde se seleccionaron aquellas relevantes para la optimización de portafolios de crédito y finalmente se procedió a concatenar todas las bases por las variables en común fecha de corte de los datos y ruc de las instituciones financieras.

En el software Python se complementó la etapa de limpieza y transformación de variables eliminando los registros correspondientes a las razones sociales Financoop y Conafips puesto que estas son las cajas centrales de las cooperativas de ahorro y crédito y no realizan actividades de intermediación financiera con personas naturales o jurídicas que no sean instituciones financieras. Posteriormente, se eliminaron los registros en la base de datos de las cooperativas que no están presentes en todos los 48 meses de estudio.

Además, en esta etapa se transformó el tipo de dato de la variable fecha corte de *string* a tipo *date*. Por otro lado, después de un análisis de los valores faltantes en las variables que representaban la colocación por cada tipo de crédito se realizó un reemplazo por el valor de cero en cada registro puesto que en la fecha de estudio las instituciones financieras no otorgaron créditos.

¹ Para más información del software estadístico R como descargas, guías, licencias y documentación se recomienda ingresar a la siguiente dirección: <https://docs.posit.co/>

² Para más información de la herramienta Python se recomienda ingresar a la siguiente dirección: <https://www.python.org/>

3. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

En la sección se identificarán las variables que serán utilizadas para la maximización de portafolios de crédito en cada una de las instituciones financieras, además, se realizará una breve descripción de cada una de las variables, por otro lado, se presentará la matriz de correlación de las variables cuantitativas que utiliza el método Pearson para calcular los coeficientes de correlación.

La identificación y descripción de las variables se realizará de la base de datos consolidada que contiene información de volumen de créditos, participación y tasa ponderada activa por cada uno de los tipos de productos crediticios en las instituciones financieras.

Para esto es importante conocer la definición y diferencia entre cada uno de los productos crediticios ya que serán primordiales en nuestro estudio y se describen a continuación en base a lo señalado por el (Banco Central del Ecuador, 2021):

- **Crédito de Consumo:** este tipo de crédito se concede a individuos con el propósito de adquirir bienes, servicios o cubrir gastos no vinculados a actividades productivas o comerciales. Los saldos de este tipo de créditos se registran en la cuenta contable 1402 de los balances generales de cada institución financiera.
- **Microcrédito:** este tipo de crédito se ofrece a individuos o empresas cuyas ventas anuales no superen los \$100.000,00, o a un grupo de prestatarios que actúen como codeudores solidarios. Está diseñado para financiar actividades de producción y/o comercialización a pequeña escala, donde la principal fuente de pago proviene de los ingresos generados por dichas actividades. Los saldos de este tipo de créditos se registran en la cuenta contable 1404 de los balances generales de cada institución financiera.
- **Crédito Inmobiliario:** este tipo de crédito se otorga a individuos con una garantía hipotecaria, y está destinado a la construcción, reparación, remodelación y mejora de propiedades inmobiliarias que sean de su

propiedad. También se puede utilizar para la compra de terrenos destinados a la construcción de viviendas propias, así como para la adquisición de viviendas ya terminadas para uso personal del deudor y su familia, siempre y cuando no estén clasificadas en la categoría de vivienda de interés social y pública. Los saldos de este tipo de créditos se registran en la cuenta contable 1403 de los balances generales de cada institución financiera.

1. Análisis Descriptivo

La base de datos para el estudio cuenta con un total de 25 registros que corresponden a cada una de las instituciones financieras con datos en los 48 meses del periodo de estudio y 13 variables cuantitativas que representan el volumen de deuda concedida por tipo de producto crediticio, participación porcentual de cada tipo de crédito respecto al volumen total de colocación y las tasas ponderadas activas de cada institución en los tipos de crédito.

La Tabla 1 expone la información detallada de cada una de las variables presentes en la base de datos, donde se identifica el nombre, la definición, caracterización y descripción que serán útiles para poder realizar la interpretación de los resultados en las secciones posteriores.

La Tabla 2 presenta las principales medidas de tendencia central, medidas de posición y medidas de dispersión de las 13 variables cuantitativas donde se observa además que no se tienen valores faltantes en la base de datos. El resumen descriptivo incluye el mínimo, máximo, mediana, primer y tercer cuartiles, media de las variables numéricas.

Tabla 1

Descripción de las variables seleccionadas para el modelo de optimización de portafolios

Variable	Definición Operacional	Caracterización	Operacionalización Descripción
RUC	Número de razón social	Cuantitativa	Es la identificación única de cada cooperativa
VC_Total	Volumen de monto de colocación	Cuantitativa	Es la suma del saldo de colocación total de la cartera de créditos de las cooperativas
VCONSUMO	Volumen de monto de colocación de créditos de consumo	Cuantitativa	Es el saldo máximo de colocación de créditos de consumo por cada cooperativa en un mes
VINMOBILARIO	Volumen de monto de colocación de créditos inmobiliarios	Cuantitativa	Es el saldo máximo de colocación de créditos inmobiliarios por cada cooperativa en un mes
VMICROCREDITO	Volumen de monto de colocación de microcréditos	Cuantitativa	Es el saldo máximo de colocación de microcréditos por cada cooperativa en un mes
TPINMOBILIARIO	Tasa activa ponderada de créditos inmobiliarios	Cuantitativa	Representa el promedio de la tasa activa ponderada por cooperativa en los créditos inmobiliarios
TINMOBILIARIO	Tasa activa máxima del Banco Central para créditos inmobiliarios	Cuantitativa	Representa la tasa de interés activa máxima que el Banco Central define para los créditos inmobiliarios

TPMICRO	Tasa activa ponderada de microcréditos	Cuantitativa	Representa el promedio de la tasa activa ponderada por cooperativa en los microcréditos
TMICRO	Tasa activa máxima del Banco Central para microcréditos	Cuantitativa	Representa la tasa de interés activa máxima que el Banco Central define para los microcréditos
TPCONSUMO	Tasa activa ponderada de créditos de consumo	Cuantitativa	Representa el promedio de la tasa activa ponderada por cooperativa en los créditos de consumo
TCONSUMO	Tasa activa máxima del Banco Central para créditos de consumo	Cuantitativa	Representa la tasa de interés activa máxima que el Banco Central define para los créditos de consumo

Tabla 2*Análisis descriptivo de variables cuantitativas*

	VC_Total	VCONSUMO	VINMOBILARIO	VMICROCREDITO	PART_CART_CONS _Max
count	25	25	25	25	25
mean	30,09 M	17,59 M	2,03 M	13,21 M	74%
std	24,93 M	17,38 M	3,70 M	16,24 M	21%
min	5,36 M	3,31 M	0,00 M	0,00 M	34%
25%	13,30 M	6,18 M	0,36 M	4,16 M	55%

50%	17,24 M	10,40 M	1,29 M	8,80 M	81%
75%	35,20 M	22,71 M	2,01 M	15,12 M	90%
max	91,25 M	64,51 M	18,83 M	78,03 M	100%

	PART_CART_CONS _Min	PART_CART_MICRO _Max	PART_CART_MICRO _Min	PART_CART_INM Max	PART_CART_INM_M in
count	25	25	25	25	25
mean	41%	56%	24%	8%	0%
std	25%	26%	20%	7%	0%
min	0%	0%	0%	0%	0%
25%	25%	40%	10%	3%	0%
50%	42%	58%	17%	7%	0%
75%	58%	75%	45%	11%	0%
max	100%	100%	61%	26%	0%

	TPCONSUMO	TPMICRO	TPINMOBILIARIO
count	25	25	25
mean	14,99%	19,79%	10,70%
std	1,98%	1,99%	0,36%
min	11,71%	15,66%	9,52%
25%	12,32%	18,82%	10,59%
50%	15,82%	19,57%	10,77%
75%	16,45%	21,02%	10,88%
max	17,01%	24,62%	11,26%

2. Matriz de correlaciones

La presente sección tiene como finalidad exponer el grado de asociación entre las variables cuantitativas de la base de datos utilizando el coeficiente de correlación de Pearson que se calcula de la siguiente manera:

$$r_{x,y} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde

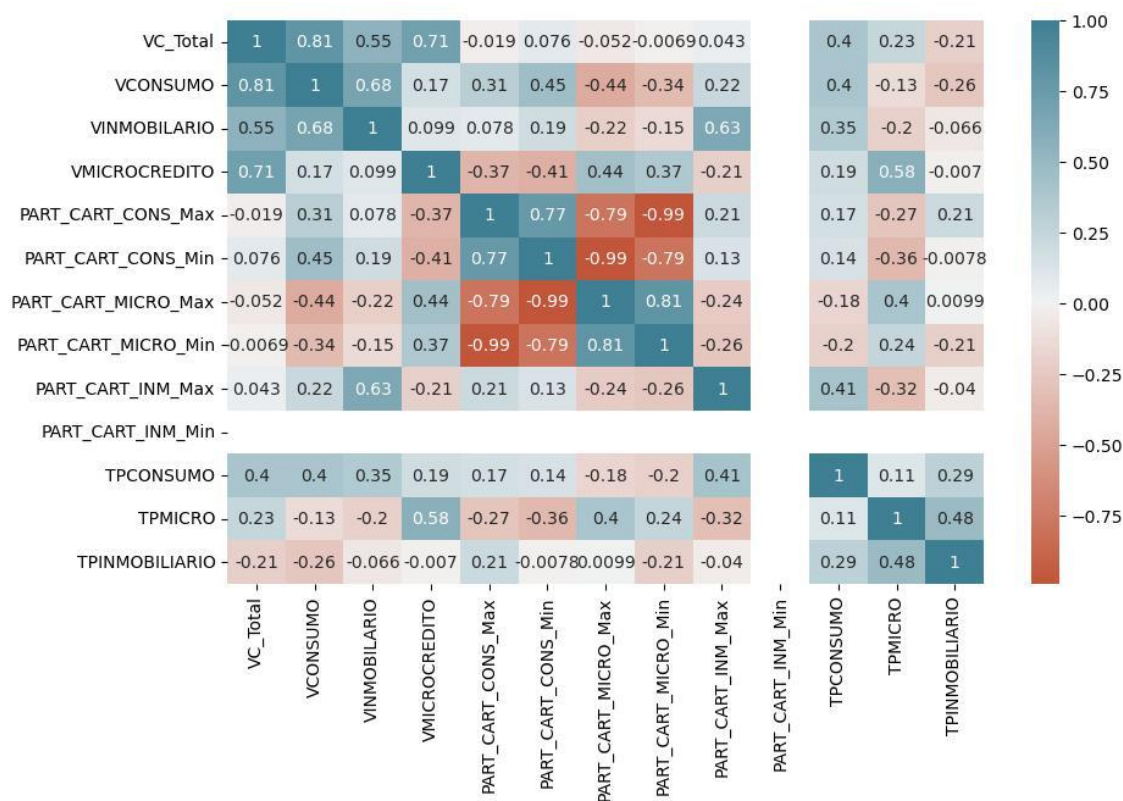
$cov(x,y)$: es la covarianza entre las variables x e y .

σ : es la desviación estándar de la variable.

El coeficiente de correlación de Pearson oscila entre -1 y +1, así entre más cercanos los valores sean a -1 se dice que existe una relación lineal inversa, se presenta una relación lineal entre dos variables cuando el valor del coeficiente se acerca a 1 y finalmente entre dos variables no hay una relación lineal cuando el valor se aproxima a cero.

Figura 1

Matriz de correlaciones



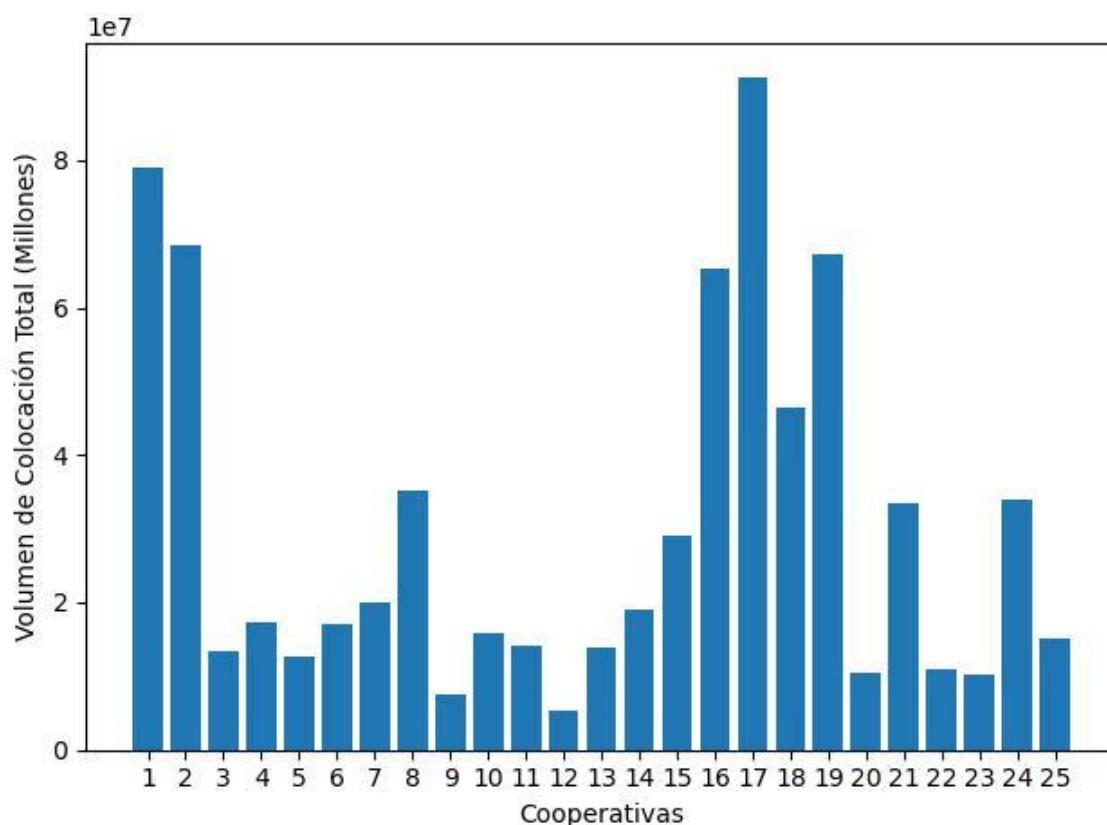
4. VISUALIZACIÓN DE VARIABLES

La visualización de las variables de la base de datos permitirá tener una visión de la composición de cada una de ellas, así también permitir describir el comportamiento de las variables.

En la Figura 2 se observa que la cooperativa que mayor volumen de colocación presenta es la número 17 con más de 8 millones de dólares, mientras que la cooperativa que menor monto de colocación en créditos ha tenido es la número 12 con un monto aproximado de 1 millón de dólares, además, se evidencia que la mayor parte de las instituciones financieras tiene un volumen de colocación por debajo de 4 millones de dólares.

Figura 2

Volumen de total de colocación por institución financiera (Millones de dólares)

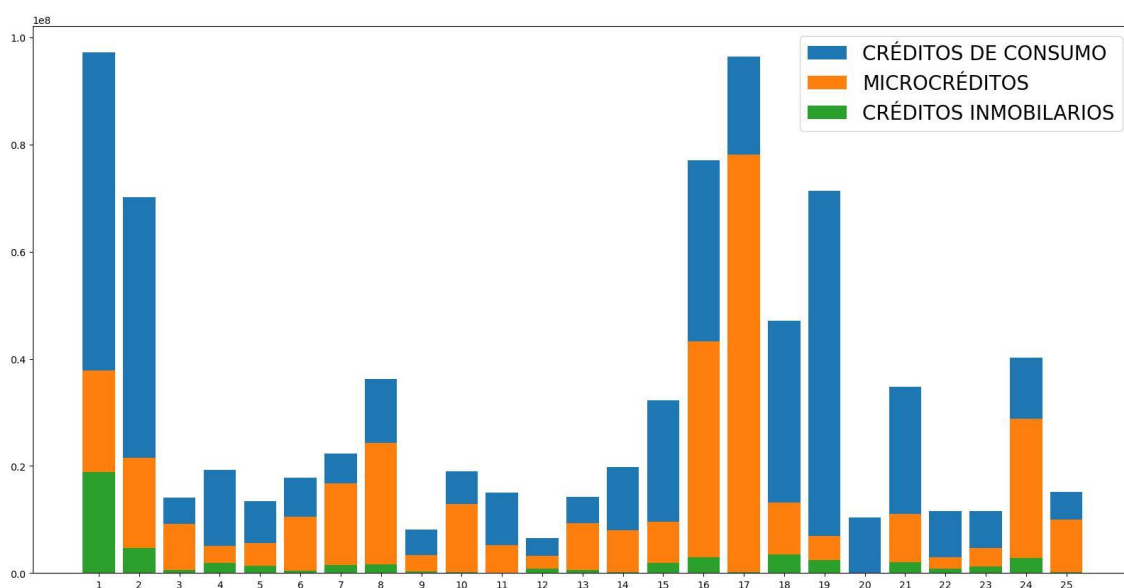


En la Figura 3 se observa que el volumen de monto en créditos de consumo predomina en las instituciones financieras 1, 2, 4, 11, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22 y 23, mientras que el resto de las instituciones tienen mayor preferencia en la

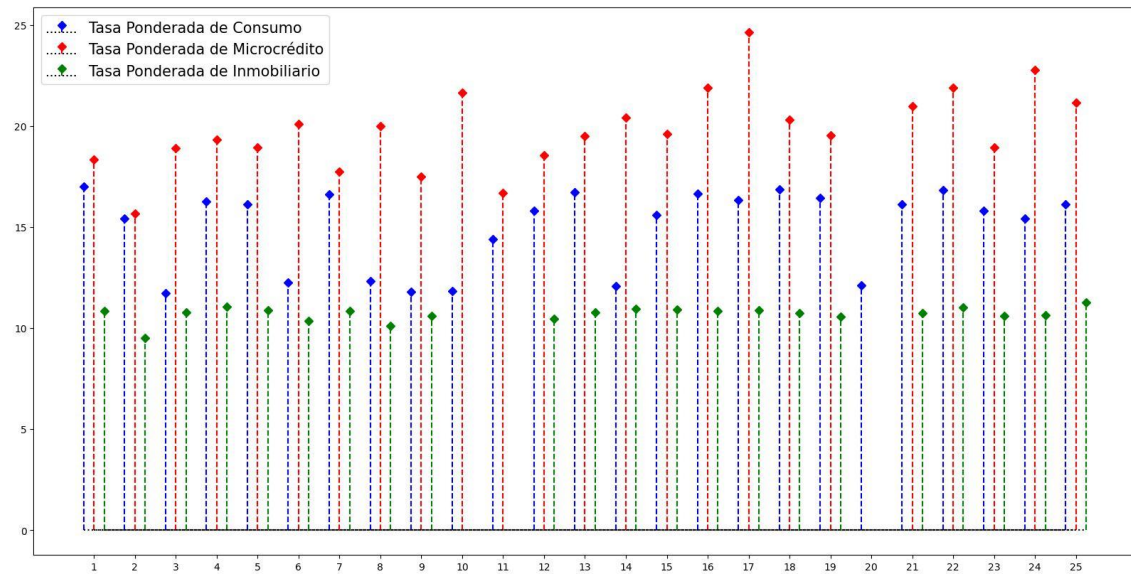
colocación de microcréditos. Además, se evidencia que el monto colocado de créditos inmobiliarios es bajo en cada una de las cooperativas lo cual tiene sentido ya que este tipo de créditos no son rentables para las instituciones. Generalmente, las instituciones financieras presentan una distribución de volumen de colocación en al menos dos tipos de productos crediticios.

Figura 3

Volumen de monto de colocación por tipo de producto (Millones de dólares)



En la Figura 4 se puede observar que todas las instituciones financieras presentan similar comportamiento en las tasas ponderadas activa por tipo de crédito. Las tasas ponderadas activas de los microcréditos son mayores encontrándose en un rango del 15% y 25%, seguido se encuentran las tasas ponderadas activa de los créditos de consumo que no sobrepasan el 18% y finalmente la tasa ponderada activa de los créditos inmobiliarios es la más baja encontrándose alrededor del 10%.

Figura 4*Tasa ponderada activa por tipo de producto de crédito y por cooperativa*

5. SELECCIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO

1. Modelo de Programación Lineal

El modelo de programación lineal del proyecto supone la optimización de una única función objetivo sujeta a distintas restricciones que se mantienen constantes en el periodo de estudio, además, se mostrará las decisiones y políticas que fueron tomadas al principio de planificación del periodo de estudio. La finalidad del proyecto es demostrar el comportamiento hipotético que tendría una institución financiera al aplicar el modelo y la comparación con el sector cooperativista del segmento uno en términos de rendimiento, de esta forma, brindar información basada en datos a los administrativos de las cooperativas para la toma de decisiones en una óptima y eficiente planificación de portafolios. La función objetivo y las restricciones del modelo fueron desarrolladas con base a la revisión literaria de los trabajos realizados por (Jain et al., 2019), (Mohagheghnia & Shirgholami, 2013) y (Wulansari & Purnomo, 2022) los cuales desarrollaron modelos para una institución financiera específica mientras que el proyecto traslada el problema a un grupo de instituciones financieras.

Las siguientes secciones se centrarán en identificar las suposiciones para definir la función objetivo y determinar las restricciones necesarias

1. Supuestos del modelo

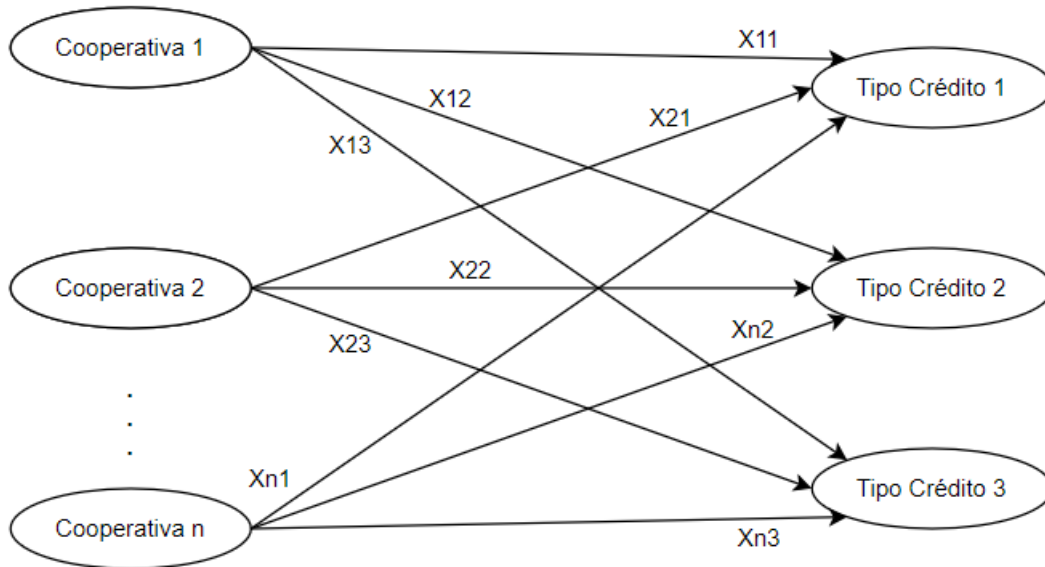
- a) El valor total de recursos asignados a los créditos de las cooperativas para obtener el máximo beneficio es fijo.
- b) Existe una relación lineal entre las variables utilizadas en el problema.

2. Variables de decisión

Se definen las variables X_{ij} que explican el beneficio total para la colocación de la cooperativa i ($i = 1, 2, \dots, 25$) en el tipo de crédito j ($j = 1, 2, 3$).

Figura 5

Esquema de construcción de variables de decisión



3. Constantes

El primer paso es determinar el total de recursos que se asignan para la colocación de distintos tipos de créditos en cada una de las cooperativas que se denominará como R_{ij} para todo $i = 1, \dots, 25$ y para todo $j = 1, 2, 3$.

Luego, se procede definiendo las constantes que representarán el porcentaje de participación de colocación de cada tipo de crédito respecto al total de la colocación en cada cooperativa como sigue:

P_{ij} : porcentaje máximo de participación respecto al total de colocación del tipo de crédito j en la cooperativa i .

p_{ij} : porcentaje mínimo de participación respecto al total de colocación del tipo de crédito j en la cooperativa i .

Seguido se asigna como tp_{ij} a las tasas ponderadas de cada tipo de crédito j en la cooperativa i .

4. Función objetivo

El objetivo de nuestro modelo de programación lineal es maximizar el rendimiento de cada tipo de crédito en cada una de las cooperativas, que en términos matemáticos es:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 tp_{ij} X_{ij}$$

5. Restricciones

La primera restricción establece que el total de recursos asignados a cada tipo de crédito no superen el recurso total para créditos en cada una de las cooperativas.

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 X_{ij} \leq R_{ij}$$

La segunda restricción se refiere a que los recursos asignados a los distintos tipos de créditos no deben superar el total de recursos para la colocación en cada una de las cooperativas.

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 X_{ij} \leq P_{ij} R_i$$

La tercera restricción es que los recursos asignados a los distintos tipos de créditos no deben ser menores al total de recursos para la colocación en cada una de las cooperativas.

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 X_{ij} \geq p_{ij} R_i$$

Finalmente, se presenta la restricción de no negatividad de la variable

$$X_{ij} \geq 0, \forall i = 1, \dots, 25, \forall j = 1, 2, 3$$

6. Modelo

El modelo matemático de programación lineal para el problema propuesto queda formulado de la siguiente manera:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 tp_{ij} X_{ij}$$

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 X_{ij} \leq R_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 X_{ij} \leq P_{ij} R_i$$

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^3 X_{ij} \geq p_{ij} R_i$$

$$X_{ij} \geq 0, \forall i = 1, \dots, 25, \forall j = 1, 2, 3$$

2. Modelo de Clúster Jerárquico

El clustering jerárquico es un algoritmo de agrupamiento utilizado en el aprendizaje automático y la minería de datos para organizar objetos en grupos o clústeres basados en su similitud y recomendado cuando se tienen pocas cantidades de datos. Además, los objetos se agrupan en una estructura jerárquica de clústeres, creando una relación de inclusión o anidamiento, es decir, que los clústeres pueden estar contenidos dentro de otros clústeres en múltiples niveles.

Entre las principales características de este algoritmo se pueden mencionar las siguientes:

- Jerarquía: se construye una jerarquía de clústeres en forma de un árbol donde cada nivel representa diferentes niveles de agrupamiento.
- Aglomerativo o divisivo: el enfoque aglomerativo comienza con cada objeto como un clúster individual y los fusiona gradualmente en clústeres más grandes. El enfoque divisivo comienza con todos los objetos en un solo clúster y los divide en clústeres más pequeños de manera iterativa.
- Medidas de similitud: utiliza medidas de similitud o distancia entre objetos para determinar qué objetos se agrupan, entre las más comunes están la distancia euclidiana y la similitud del coseno.

En el proyecto una vez obtenidos los resultados de la maximización de los beneficios de los portafolios de crédito en cada cooperativa y por tipo de producto crediticio se implementó un clúster jerárquico aglomerante, es decir, utilizando un enfoque ascendente, en primer lugar, consideramos cada institución financiera como un clúster individual, luego, seleccionamos los dos puntos más cercanos y los agrupamos en un nuevo clúster de dos elementos. A partir de ahí, buscamos los clústeres más cercanos para formar un nuevo clúster más grande, y así sucesivamente, hasta que todas las cooperativas pertenezcan a un único clúster. Es importante señalar que la medida de distancia utilizada para generar

los clústeres es la distancia euclidiana³. Finalmente, el proceso permitió crear un dendrograma que ayudó a determinar la cantidad de clústeres que se generan en el conjunto de datos.

³ La definición de la distancia euclidiana entre los puntos $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ y $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ en un espacio euclidiano de n dimensiones como $d_E(P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}$

RESULTADOS

Los resultados informáticos óptimos obtenidos con nuestro modelo figuran en la Tabla 3 donde se especifica el máximo beneficio que se obtiene de la colocación de créditos por tipo de producto en cada una de las cooperativas bajo las restricciones del problema.

Se realiza la interpretación de resultados de la cooperativa número 1 que corresponde a Juventud Ecuatoriana Progresista Ltda considerando que para las demás instituciones financieras es similar. El resultado óptimo para la cooperativa número 1 basado en los datos recogidos especifica que el beneficio máximo que puede tener la institución es de \$60.49 millones de dólares que se distribuye de la siguiente manera: el beneficio neto de los créditos de consumo es de \$47.88 millones de dólares, seguido del beneficio obtenido de los microcréditos por un valor de \$7.66 millones de dólares y finalmente una ganancia en la colocación de créditos inmobiliarios de \$4.95 millones de dólares, es decir, la cooperativa Juventud Ecuatoriana Progresista Ltda con la aplicación del modelo hipotético refleja que la mayor rentabilidad se genera por los créditos de consumo representando el 79% del beneficio total, seguido de los microcréditos que representan el 18% y por último los créditos inmobiliarios son los que menor participación tienen del beneficio que percibe la cooperativa por la colocación de créditos.

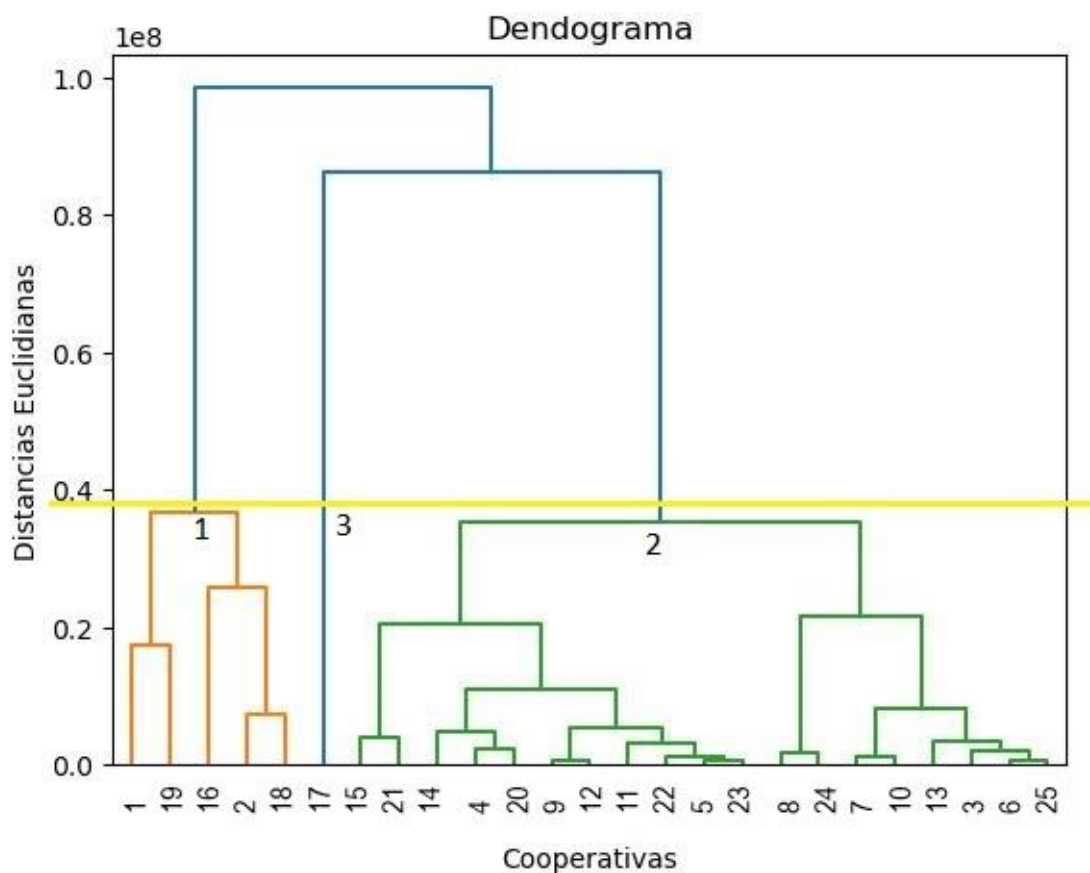
Tabla 3

Resultados de la maximización del beneficio de portafolios (Millones de dólares)

Coop.	x_consumo	x_microcredito	x_inmobiliario	Total
1	47,88 M	7,66 M	4,95 M	60,49 M
2	37,33 M	5,50 M	0,38 M	43,20 M
3	3,15 M	5,69 M	0,04 M	8,87 M
4	12,51 M	0,92 M	0,24 M	13,67 M
5	5,82 M	1,90 M	0,18 M	7,90 M
6	3,98 M	6,77 M	0,01 M	10,77 M
7	2,61 M	11,43 M	0,14 M	14,18 M

8	4,09 M	22,09 M	0,12 M	26,30 M
9	3,92 M	1,86 M	0,04 M	5,81 M
10	2,84 M	12,65 M	0,00 M	15,50 M
11	8,49 M	2,59 M	0,00 M	11,08 M
12	3,31 M	1,40 M	0,17 M	4,87 M
13	2,10 M	8,74 M	0,03 M	10,88 M
14	11,01 M	4,53 M	0,00 M	15,55 M
15	20,10 M	2,40 M	0,21 M	22,71 M
16	30,92 M	26,14 M	0,21 M	57,27 M
17	10,04 M	68,71 M	0,00 M	78,75 M
18	30,59 M	2,52 M	0,30 M	33,41 M
19	63,18 M	1,03 M	0,12 M	64,33 M
20	10,40 M	0,00 M	0,00 M	10,40 M
21	17,47 M	5,25 M	0,14 M	22,86 M
22	6,91 M	0,90 M	0,09 M	7,90 M
23	6,26 M	1,43 M	0,22 M	7,91 M
24	4,46 M	20,45 M	0,27 M	25,19 M
25	4,27 M	7,40 M	0,00 M	11,68 M

Por otra parte, el conjunto de datos de los resultados obtenidos en la maximización de portafolios de crédito (Tabla 3) fueron empleados para el clustering jerárquico de tipo aglomerativo. La Figura 6 presenta el diagrama de dendograma de las cooperativas que fue utilizado para observar la distancia máxima y generar el número óptimo de clústeres para el algoritmo, en este caso, al marcar con la línea color amarillo transversalmente el dendograma se observa la distancia máxima y se genera 3 clústeres que se han marcado con números.

Figura 6*Dendograma de cooperativas*

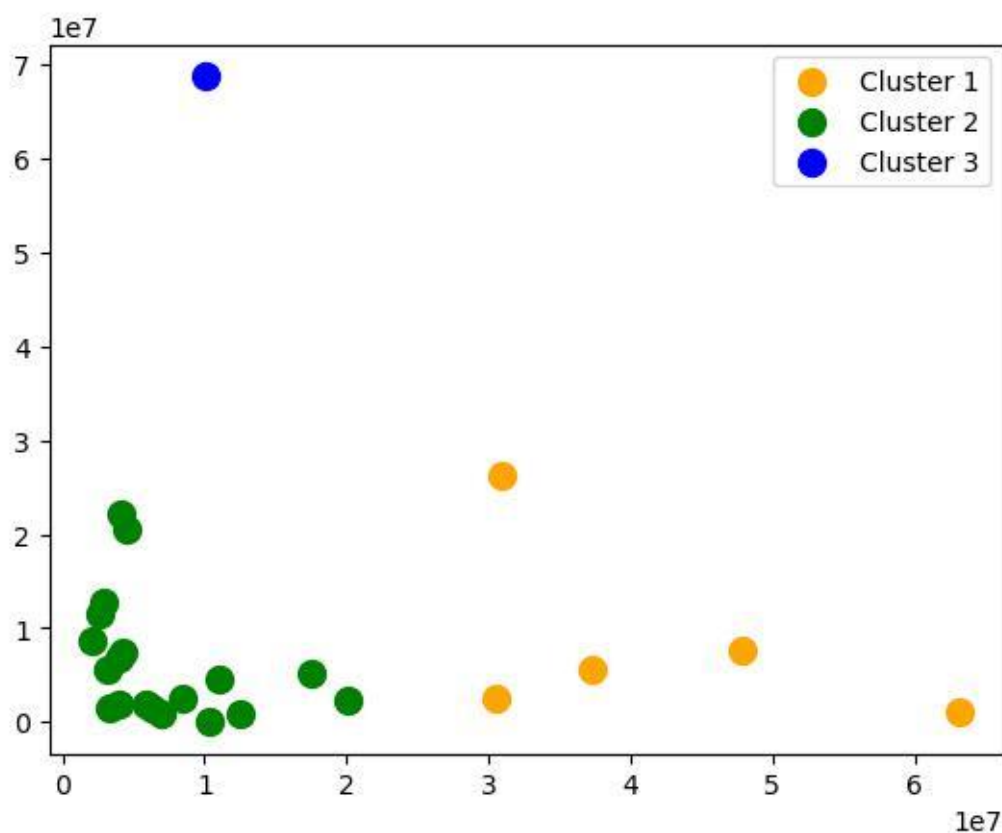
Finalmente, las cooperativas fueron asignadas a uno de los 3 clúster generados con el método aglomerante en Python con la función *AgglomerativeClustering*⁴ de la librería *sklearn.cluster*.

En la Figura 7 podemos observar que el clúster 1 se conforma por 5 de las 25 cooperativas, además, el clúster 2 agrupa el mayor número de cooperativas por similitud de beneficio neto percibido de la colocación de créditos en cada tipo de producto y por último un clúster conformado por una única cooperativa.

⁴ Para más información de parámetros y atributos se tiene una guía en el siguiente enlace: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.AgglomerativeClustering.html>

Figura 7

Clústeres generados y asignados a las cooperativas



La Tabla 4 presenta los resultados de la asignación de clúster a cada una de las cooperativas y se describen a continuación:

- Se puede evidenciar que el clúster 3 está conformado por la cooperativa Alianza del Valle que genera el máximo beneficio de la colocación por un monto de \$78.75 millones del total del grupo de cooperativas, esto representa el 13% del beneficio grupal, además, se evidencia que el giro de su negocio está enfocado en los microcréditos que generan mayor rentabilidad representando el 87% del beneficio neto percibido, luego los créditos de consumo que equivalen al 13% y un valor poco significativo del beneficio de los créditos inmobiliarios en la esta institución.
- En el clúster 1 se encuentran cinco instituciones que son representativas en el segmento 1 de las cooperativas por su tamaño, se puede observar que el beneficio que perciben por la colocación de créditos se encuentra

en el rango de \$33.41 millones a \$64.33 millones, así pues, la representación respecto al beneficio total del grupo está en un rango del 6% al 11%. Además, se tiene que estas cooperativas presentan más del 50% del beneficio del total del portafolio en la colocación de créditos de consumo y el otro 50% del beneficio percibido se distribuye entre microcréditos y créditos inmobiliarios.

- El clúster 2 agrupa el mayor número de instituciones del grupo de estudio, principalmente se observa que la representación del beneficio percibido de cada cooperativa respecto al total se encuentra entre el 1% al 4%, es decir, su representación de rentabilidad es significativa pero no a comparación del resto de cooperativas de los otros clústeres generados. Por otra parte, la distribución del beneficio neto percibido se encuentra distribuido en más del 95% entre créditos de consumo y microcréditos y el porcentaje restante en los créditos inmobiliarios, también destacar que el beneficio neto percibido por cada cooperativa del clúster está desde los \$7.90 millones hasta los \$26.3 millones.

Tabla 4

Clúster asignado a cada cooperativa

N	RAZON SOCIAL	CLÚSTER
1	Juventud Ecuatoriana Progresista Ltda	1
2	Jardín Azuayo Ltda	1
3	San José Ltda	2
4	De La Pequeña Empresa Biblián Ltda	2
5	Tulcán Ltda	2
6	De La Pequeña Empresa De Cotopaxi Ltda	2
7	Riobamba Ltda	2
8	Fernando Daquilema	2
9	Santa Rosa Ltda	2
10	Pilahuin Tío Ltda	2
11	Vicentina Manuel Esteban Godoy Ortega Ltda	2
12	15 de Abril Ltda	2

13	De La Pequeña Empresa De Pastaza Ltda	2
14	23 de Julio Ltda	2
15	Andalucía Ltda	2
16	Cooprogreso Ltda	1
17	Alianza Del Valle Ltda	3
18	29 de Octubre Ltda	1
19	Policía Nacional Ltda	1
	De Los Servidores Públicos del Ministerio de Educación y	
20	Cultura	2
21	San Francisco Ltda	2
22	El Sagrario Ltda	2
23	Cámara De Comercio De Ambato Ltda	2
24	Mushuc Runa Ltda	2
25	Ambato Ltda	2

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Esta sección tiene por objetivo presentar el panorama donde desarrollan las actividades financieras las cooperativas del segmento 1 y brindar estrategias organizacionales que alineen los esfuerzos de las instituciones financieras facilitando la asignación de recursos, mejora de la toma de decisiones y apoye a las cooperativas para alcanzar sus objetivos.

1. Situación política y económica de las cooperativas del segmento 1 en el Ecuador

Se expone la situación política y económica que las cooperativas del segmento 1 atraviesan para desarrollar sus actividades de intermediación financiera.

- El Ecuador se destaca como uno de los países latinoamericanos que ha logrado importantes progresos en el ámbito de la economía popular y solidaria. Esto se debe en gran medida a la existencia de un marco constitucional, legal y regulatorio sólido, que ha brindado seguridad jurídica y ha promovido el orden entre los diferentes actores involucrados.
- Después de atravesar un período de contracción desde finales de 2014, la economía nacional se encuentra en un proceso lento de recuperación y presenta expectativas de crecimiento a corto plazo bastante bajas. Sin embargo, las cooperativas han desempeñado un papel importante al ejercer un efecto contra cíclico contribuyendo significativamente a la generación de empleo y al financiamiento de familias y emprendimientos populares.
- El aporte de las cooperativas a la economía nacional se puede apreciar en términos del crecimiento de la cartera de créditos otorgados, el cual ha superado ampliamente el promedio de crecimiento de la economía en general. Los activos del sector financiero popular y solidario han experimentado un crecimiento constante, a diferencia de los activos bancarios, cuya fluctuación ha seguido el ciclo económico.

Por otra parte, las cooperativas del segmento 1 entre sus fortalezas mantiene un organismo de control que es la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria el que brinda lineamientos estratégicos y cuenta con un sistema automatizado de recolección de información. Las principales oportunidades de estas instituciones financieras son el desarrollo tecnológico para productos y servicios eficientes, apoyo político e interés nacional en el sector, crecimiento del sector de economía popular y solidaria y nuevos servicios financieros (electrónicos). Las cooperativas del segmento 1 presentan debilidades en mantener información incompleta o no fiable, baja sistematización e integración en sus procesos. Por último, las amenazas encontradas son: el entorno económico que afecta a las instituciones, cambios normativos, falta de cultura de la importancia de los datos e información, rivalidad en el sector, mayor competitividad entre cooperativas, uso deficiente de la tecnología en las cooperativas.

2. Elementos orientadores del sector de economía popular y solidario

Para tener una dirección clara y un marco para definir las estrategias organizacionales en cada una de las instituciones financieras controladas por la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria es importante conocer que las cooperativas de ahorro y crédito deben ser sostenibles y estables, además deben proporcionar las mejores prácticas para un correcto funcionamiento para proteger a sus socios y las transacciones que realizan.

Además, las instituciones financieras de la economía popular y solidaria se distinguen de las corporaciones privadas (por ejemplo: bancos) por los siguientes principios y características:

- Se manejan excedentes del ejercicio que pueden ser parte del ahorro de los socios.
- La Asamblea General de Socios que representa a todos los socios de cada cooperativa tiene una membresía abierta y voluntaria.
- Las cooperativas son organizaciones democráticas.

- Participación económica equitativa de los beneficios entre los socios.
- Distribución de excedentes en forma de beneficios para el cumplimiento del balance social.
- Compromiso con la comunidad y transformación social.
- Intercooperación e intracooperación.

3. Problemática de las cooperativas del segmento 1

Por todo el precedente en esta sección y los capítulos anteriores del proyecto se conoce que la problemática a resolver de las cooperativas del segmento 1 es la siguiente:

- a) Mejorar el beneficio neto percibido de la colocación de los distintos tipos de créditos de cada institución financiera, manteniendo un equilibrio sano respecto al riesgo asociado a las nuevas condiciones del mercado y a las restricciones de los organismos reguladores, como por ejemplo las tasas máximas por tipo de producto crediticio.
- b) Contar con modelos estadísticos que les permita tomar decisiones de manera objetiva y confiable a cada cooperativa respecto al portafolio crediticio y a la vez conocer las similitudes de instituciones del segmento en estudio.
- c) Realizar un upgrade de las debilidades y generar propuestas de oportunidades de mejora de las cooperativas del segmento 1 relacionado con falencias en la calidad de datos, así como la información remitida al organismo de control es incompleta y no fiable.
- d) Generar con una de cultura de la importancia de los datos y de información verídica e integra de las cooperativas de manera interna y externa.

4. Propuesta de solución

Se propone el uso de modelos estadísticos que realizarán lo siguiente:

- a) Generación de modelo estadístico de optimización para conocer el beneficio neto que se puede obtener de los distintos tipos de crédito en cada cooperativa del segmento 1.

- b) Generación de modelo estadístico no supervisado para agrupar las instituciones por similitud de resultados del modelo de optimización que en este caso buscar maximizar rentabilidad de las instituciones bajo las restricciones del mercado.

5. Modelos para ayudar al Sector de Economía Popular y Solidario

A continuación, se detalla de manera general los modelos empleados para la solución del problema:

- **Modelo de programación lineal:** modelo matemático utilizado para optimizar (maximizar) el beneficio neto percibido de los distintos tipos de crédito en cada cooperativa sujeta a restricciones políticas y de mercado.
- **Clúster jerárquico:** modelo estadístico no supervisado que segmenta los resultados del modelo de programación lineal en 3 grupos en función del beneficio neto percibido de cada cooperativa frente a cada producto crediticio.

6. Objetivos por lograr

Los objetivos que se desean lograr son los siguientes:

- Identificar las variables significativas que formarán parte de los modelos.
- Identificar las restricciones políticas y de mercado que limiten el beneficio de la colocación de créditos por producto.
- Generar el modelo de optimización y el clúster jerárquico que brinde ayuda para la toma de decisiones, a la vez evaluar el poder de conocimiento de los modelos y de ser la aplicación la rentabilidad que producirían a un plazo determinado.
- Incorporar la información del modelo de optimización para la generación de grupos de cooperativas por similitud de beneficios que pueden obtener y se puedan generar estrategias diferenciadas.

7. Propuesta para lograr los objetivos

La metodología propuesta se basa en un enfoque de negocios para maximizar las oportunidades de crecimiento con base al crecimiento de la rentabilidad de los créditos colocados bajo las restricciones políticas y de mercado de cada tipo de producto en cada cooperativa.



Proceso de recolección y depuración de datos

Se brindará un proceso de acompañamiento en cada una de las cooperativas para brindar las patas de la importancia de generar una cultura de negocio basada en datos que serán posteriormente transformada a información. Para esto se explicará la importancia de la completitud y fiabilidad de los datos dentro de la institución y los que son reportados a los organismos de control. A la vez, la alta dirección conozca los beneficios que atrae a las instituciones el buen manejo de información y lo competitivos que pueden llegar a ser en el mercado.

Proceso de desarrollo del modelo

Se mejorará el modelo de programación lineal tomando como base el modelo estadístico desarrollado en este estudio al cual se complementará información que no se encuentre pública para que en cada institución se afine la herramienta acorde a sus necesidades. A la vez mejorar las estrategias de negocio basado en estos resultados que aún son hipotéticos y a la vez dar a conocer las instituciones que tienen similitudes de la rentabilidad que perciben por la colocación de créditos para la toma de decisiones también sea basada en su peer group.

Proceso de implementación

Las instituciones financieras serán las que decidan la implementación de estos modelos tomando en cuenta la infraestructura tecnológica de cada una y el alcance que le quieran dar al estudio. A la vez se recomendará que áreas deberán ser las encargadas de la actualización de los modelos y con qué frecuencia periódica se debe realizar.

Además, la ejecución de clúster va a permitir a la alta dirección de cada cooperativa accionar estrategias diferenciadas que tiendan a equilibrar o querer pertenecer al grupo que presenta una administración de cartera que permite obtener el máximo beneficio que se obtiene por la colocación de créditos con las tasas de crédito adecuadas y una adecuada gestión de riesgos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

Los capítulos precedentes de este estudio permitieron obtener respuestas para la pregunta principal, los objetivos y las hipótesis del proyecto, mediante la maximización de los portafolios de crédito del grupo de cooperativas analizadas, dando como resultado la manera óptima de distribuir los portafolios por cada tipo de producto crediticio para lograr una máxima rentabilidad. También se implementó un modelo no supervisado (clúster jerárquico) para la agrupación de las cooperativas con base a las similitudes del beneficio ganado por la colocación de créditos.

Los datos obtenidos desde el portal estadístico de la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria tuvieron un tratamiento previo desde la depuración, transformación y consolidación mediante los softwares estadísticos R y Python. Luego estos datos fueron la fuente principal para desarrollar el modelo de programación lineal y el modelo no supervisado de clúster jerárquico para brindar una respuesta a la pregunta central de este estudio.

El modelo de programación lineal que permite obtener la maximización del beneficio que se obtiene de los portafolios de crédito de las cooperativas de ahorro y crédito del segmento 1 puede llegar a ser un gran instrumento para mejorar el crecimiento de cada institución financiera si el enfoque de la problemática a resolver es claro y se acompaña de un análisis correcto de las variables. Así, las cooperativas pueden mejorar su rentabilidad y generar mayor bienestar económico a los socios.

Se debe entender la importancia de los modelos de programación lineal, puesto que son una herramienta útil para maximizar la rentabilidad de los recursos financieros disponibles bajo ciertas restricciones de mercado o normativas. Además, permite accionar estrategias que generen ingresos, mantener una posición financiera sólida, asignar eficientemente los recursos, evitar el desperdicio de capital, mejorar la eficiencia operativa de cada una de las

cooperativas, alcanzar mejores indicadores de rentabilidad y ofrecer un mayor beneficio a sus socios y a la comunidad.

Los modelos de programación lineal pueden construirse y adaptarse a las condiciones del modelo de negocio y a los cambios en las condiciones económicas, los objetivos estratégicos o las restricciones regulatorias en donde se desarrolle la actividad. Por tal efecto proporciona una gestión dinámica y estratégica de los portafolios de crédito asegurando que cada cooperativa se mantenga ágil y preparada para enfrentar los desafíos del entorno financiero.

El modelo de clustering permitió encontrar los 3 clúster de cooperativas que se agruparon por sus similitudes en los beneficios obtenidos por la colocación de crédito. Se observó que existe un clúster con una única cooperativa que presenta el máximo beneficio de la colocación de créditos, la cual se deduce que a pesar de que su cartera de crédito no sea la más grande del segmento genera mayor rentabilidad por la administración y distribución de productos que realiza.

Dado que una inteligencia artificial no puede suplir a un ser humano, la programación lineal y el modelo de clustering logran ser unas excelentes herramientas para la toma de decisiones, más aún si cada cooperativa de ahorro y crédito del segmento 1 lleva este estudio a una aplicación interna donde se puede maximizar cada producto de crédito por otras segmentaciones como asesor o agencia.

2. Recomendaciones

La diversificación de los portafolios de crédito en cada institución financiera es clave, así el modelo de programación lineal permite establecer cuantas restricciones sean necesarias para promover una adecuada diversificación de los activos financieros. La mitigación de riesgos en las instituciones no sería únicamente empírica, es decir por la experiencia de los directivos, pues tendría una conjugación con la analítica de datos permitiendo distribuir los recursos en diferentes clases de activos, sectores económicos o incluso regiones geográficas de mejor manera (eficiente y óptima).

La incorporación de variables macroeconómicas como tasas de interés, inflación o indicadores económicos clave en los modelos de programación lineal puede beneficiar a las cooperativas ya que permite tener un panorama más amplio de la situación donde desarrollan sus actividades. Estas variables macroeconómicas pueden influir en el rendimiento de los activos financieros y en el comportamiento de los mercados, así, en el desarrollo de un modelo más robusto se obtiene una visión más completa de las condiciones económicas y se pueden tomar decisiones más acertadas.

Los modelos de programación lineal deben ser actualizados periódicamente para incorporar los cambios en las condiciones del mercado, regulaciones o políticas internas. Además, es fundamental contar con datos precisos y actualizados para garantizar la validez y confiabilidad del modelo. También se debería establecer una rutina de actualización y revisión de los datos y calibración del modelo para mantener resultados coherentes en la maximización de los portafolios de crédito.

Se recomienda capacitar al personal en la importancia y valor que generan los datos, puesto que son la materia prima para el desarrollo de modelos estadísticos, además, es importante contar con personal capacitado dentro de las instituciones que comprenda los fundamentos del modelo de programación lineal, logre interpretar y aplicar los resultados obtenidos. Proporcionar capacitación y recursos educativos constantes ayudará a que los equipos internos puedan utilizar eficientemente el modelo y aprovechen todas sus ventajas para ser más competitivos.

Por último, enfatizar en seguir investigando y formulándose preguntas dentro del sector de la economía popular y solidaria, que permitan generar el crecimiento de las instituciones financieras que lo conforman y comprender la evolución y contribución que generan en el crecimiento de la economía del país por la generación de empleo y financiamiento de las familias y emprendimientos populares.

REFERENCIAS

- Akpan, N. (2018). *Application of Linear Programming for Optimal Use of Raw Materials in Bakery*.
- Altuve, J. L., & Briceño, A. J. H. (2018). *LA MOROSIDAD DEL SISTEMA BANCARIO*.
- Babat, O., Vera, J. C., & Zuluaga, L. F. (2018). Computing near-optimal Value-at-Risk portfolios using integer programming techniques. *European Journal of Operational Research*, 266(1), 304-315.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.009>
- Banco Central del Ecuador. (2021). *Instructivo de Tasas de Interés del Banco Central del Ecuador*.
https://contenido.bce.fin.ec/home1/economia/tasas/Instructivo_TIMar2021.pdf
- Booth, G. G., & Dash, G. H. (1979). Alternate programming structures for bank portfolios. *Journal of Banking & Finance*, 3(1), 67-82.
[https://doi.org/10.1016/0378-4266\(79\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0378-4266(79)90006-2)
- Chambers, D., & Charnes, A. (1961). Inter-Temporal Analysis and Optimization of Bank Portfolios. *Management Science*, 7(4), 393-410.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.7.4.393>
- Cohen, K. J., & Hammer, F. S. (1967). Operations Research: A New Approach to Bank Decision Making. *Analytical Methods in Banking*, eds KJ Cohen, and FS Hammer,.

- Jain, A. K., Bhardwaj, R., Professor, Technocrats Institute of Technology, Bhopal, MP, India, Saxena, H., & Choubey, A. (2019). Application of Linear Programming for Profit Maximization of the Bank and the Investor. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 4166-4168. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F9337.088619>
- Jain*, A. K., Bhardwaj, R., Professor, Technocrats Institute of Technology, Bhopal, MP, India, Saxena, H., Professor, Career Point University, Kota, Rajasthan, India, Choubey, A., & Professor, Technocrats Institute of Technology, Bhopal, MP, India. (2019). Application of Linear Programming for Profit Maximization of the Bank and the Investor. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 4166-4168. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F9337.088619>
- Kusi, P., Darteh, A. O., Teku, E., & Acheampong, S. (2019). MATHEMATICAL APPLICATION OF REVISED SIMPLEX MODELLING IN OPTIMAL LOAN PORTFOLIO. *Journal of Statistics and Actuarial Research*, 2(1), Article 1.
- Lapo, M. del C., Tello, M., & Mosquera, S. (2021). *Rentabilidad, capital y riesgo crediticio en bancos ecuatorianos*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-76782021000100002
- Mohagheghnia, M. J., & Shirgholami, M. (2013). Optimal Bank Loan Portfolio In Iranian's Banks (Based Linear Programming Modelling). *Research Journal of Finance and Accounting*, 4(2), 98.

- Pan, J., & Xiao, Q. (2017). Optimal asset–liability management with liquidity constraints and stochastic interest rates in the expected utility framework. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 317, 371-387.
<https://doi.org/10.1016/j.cam.2016.11.037>
- Sheng-Yi, L., & Wee Yong, Y. (1998). *Linear Programming for Bank Portfolio Management in Singapore*. Vol. 5 Issue 2(14), p101-114.
- Solaja, O., Abiodun, J., Abioro, M., Ekpudu, J., & Olasubulumi, O. (2019). Application of linear programming techniques in production planning. *International Journal of Applied Operational Research - An Open Access Journal*, 9(3), 11-19.
- Sugi Prayuda, P. B., & Ketut Purnawat, N. (2019). OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION OF FUNDS BANK PEMBANGUNAN DAERAH BALI. *Open Science Journal*, 2(2). <https://doi.org/10.23954/osj.v2i2.853>
- Tobin, J. (1958). Liquidity Preference as Behavior Towards Risk. *The Review of Economic Studies*, 25(2), 65-86. <https://doi.org/10.2307/2296205>
- Tobin, J. (1965). *The Theory of Portfolio Selection in FH Hahn and FRP Brechling*. 3-51.
- Wulansari, S., & Purnomo, M. H. (2022). Modeling Portfolio Based on Linear Programming for Bank Business Development Project Plan. (*IJCSAM*) *International Journal of Computing Science and Applied Mathematics*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.12962/j24775401.v8i1.6467>

