REPORTE DE RESULTADOS DE PREDICCIÓN DE LA VARIABLE CORRUPCIÓN INTENSA

Detalles sobre el presente reporte

- Fecha: 05 de febrero de 2024
- Nivel de observación: año inicial del reporte por municipalidad y año.
- Variables predictoras: únicamente provenientes de la base de datos de SIAF
- Variable predicha: corrupción intensa
- Periodo en el que fue entrenado el modelo: 2016-2020
- Periodo de predicción: 2009-2020
- Tipo de predicción: clasificación
- Ejecución: N°8

Número de variables

La tabla 1 presenta información sobre el número de variables predictoras en la base de datos empleada, cuyo nivel de observación es año inicial del reporte por municipalidad y año.

Tabla 1. Número de variables predictoras antes y después del preprocesamiento

Fuente	Número de variables predictoras antes del preprocesamiento	Número de variables predictoras después del preprocesamiento
SIAF	17 549	14 317
Fuente: elaboración propia		

Métodos de (re)muestreo

Se implementaron tres métodos de (re)muestreo sobre el conjunto de entrenamiento para balancear el número de observaciones por categoría de predicción. El conjunto de prueba mantiene su proporción original.

Tabla 2. Número de observaciones por categoría de predicción según método de (re)muestreo

Método de muestreo	Total de observaciones	Total de observaciones en las que sí ocurrió corrupción intensa	Total de observaciones en las que no ocurrió corrupción intensa
Original	964	692	272
SMOTE	1 384	692	692
SMOTE Tomek-Links	1 368	684	684
Naive Random Oversampling	1 384	692	692
Fuente: elaboración propia			

Hiperparámetros considerados en el Grid Search

Se utilizó el algoritmo gridsearchcv para realización una búsqueda exhaustiva de la mejor combinación de hiperparámetros (Grid Search). Los rangos de hiperparámetros considerados se presentan en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Hiperparámetros considerados en el Grid Search de los Métodos Basados en Árboles

Modelo	n_estimators	max_depth	max_features
Random Forest	250, 500 y 1000	10, 20 y 30	20%, 30%, 40%
Gradient Boosting Trees	250, 500 y 1000	1 y 2	20%, 30%, 40%
LGBM Classifier	250, 500 y 1000	1 y 2	-
Regression Forest	250, 500 y 1000	10, 20 y 30	-
Fuente: elaboración propia			

Tabla 4. Hiperparámetros considerados en el Grid Search de los Métodos de Regularización

Modelo	Cs (Fuerza de la regularización)
Lasso	0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 y 100
Ridge	0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 y 100
Elastic Net	0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 y 100
Fuente: elaboración propia	

También debe considerarse que en el Grid Search se empleó, para todos los modelos, una validación cruzada en K-Folds, donde k siempre tuvo el valor de 5.

Resultados (métricas de desempeño)

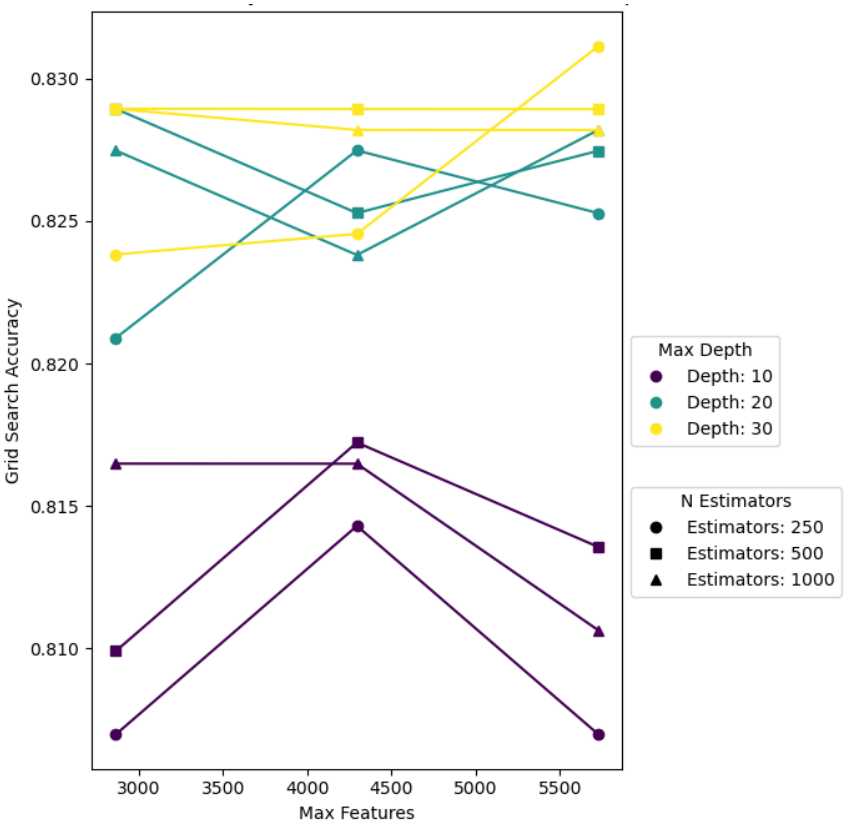
La tabla 5 presenta los resultados de los modelos de Machine Learning para el conjunto de entrenamiento NRO. Tomando en cuenta la métrica F1, el modelo con el mejor desempeño es el modelo **Random Forest** entrenado con el conjunto de entrenamiento SMOTE-Tomek Links. Las combinaciones óptimas de hiperparámetros se reportan en los anexos 1 y 2.

Tabla 5. Métricas de desempeño de los modelos entrenados con el conjunto de entrenamiento SMOTE-Tomek Links

Métrica	Regresión Logística	Lasso	Ridge	Elastic Net	Random Forest	Gradient Boosting Trees	LGBM Classifier	Regression Forest
F1	0.563	0.568	0.568	0.568	0.624	0.589	0.605	0.594
Accuracy	0.626	0.626	0.626	0.626	0.725	0.705	0.717	0.638
AUC ROC	0.562	0.604	0.604	0.604	0.639	0.619	0.629	0.644
F1 (Sí)	0.729	0.726	0.726	0.726	0.818	0.808	0.816	0.727
F1 (No)	0.397	0.411	0.411	0.411	0.430	0.371	0.394	0.460
Fuente: elaboración propia								

El gráfico 1. Muestra el ajuste del modelo óptimo (Random Forest entrenado con el conjunto de entrenamiento SMOTE Tomek-Links) a través de los distintos hiperparámetros considerados durante el proceso de Grid Search.

Grafico 1. Grid Search Accuracy vs. Grid Search Parameters



Variables más importantes según el criterio de impureza de Gini

En esta sección se presentan las 20 variables más importantes según el criterio de impureza de Gini (estimado mediante el comando feature importance) para el modelo óptimo.

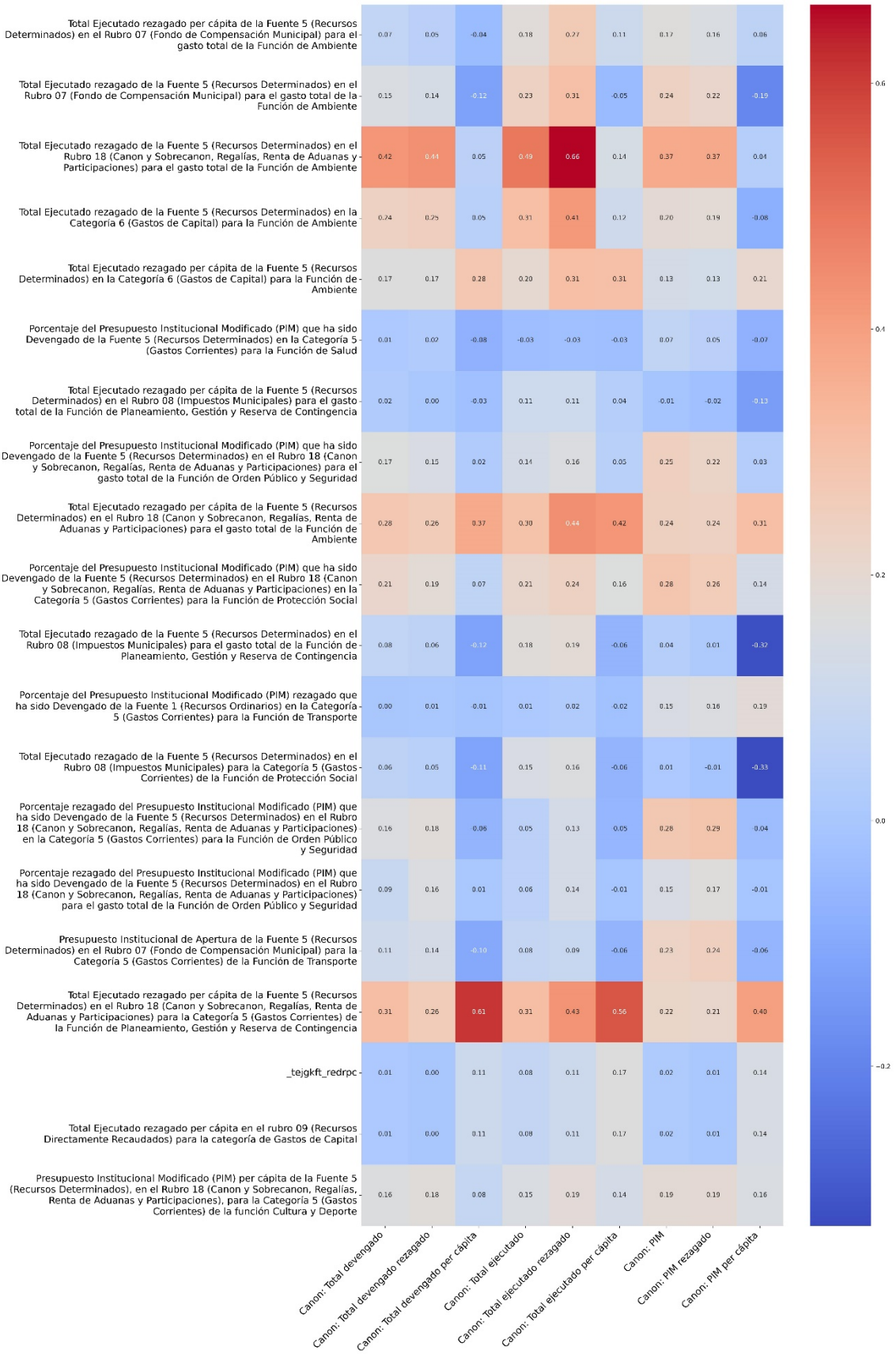
Tabla 6. Veinte variables más importantes de acuerdo con el criterio de impureza de Gini

Variable	Eiqueta	Importance Score
_tejgtotfun_f5r07ambpc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 07 (Fondo de Compensación Municipal) para el gasto total de la Función de Ambiente.	0.045
_tejgtotfun_f5r07amb	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 07 (Fondo de Compensación Municipal) para el gasto total de la Función de Ambiente.	0.015
_tejgtotfun_f5r18amb	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para el gasto total de la Función de Ambiente	0.013
_tejgfun_f5ct06amb	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en la Categoría 6 (Gastos de Capital) para la Función de Ambiente.	0.010
_tejgfun_f5ct06ambpc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en la Categoría 6 (Gastos de Capital) para la Función de Ambiente.	0.009
devppimfun_f5ct05salud	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Salud.	0.008

_tejgtotfun_f5r08pgrcopc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 08 (Impuestos Municipales) para el gasto total de la Función de Planeamiento, Gestión y Reserva de Contingencia.	0.007
devppimtotfun_f5r18opseg	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para el gasto total de la Función de Orden Público y Seguridad.	0.007
_tejgtotfun_f5r18ambpc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para el gasto total de la Función de Ambiente.	0.006
devppimfun_f5r18ct05prots	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Protección Social.	0.006
_tejgtotfun_f5r08pgrco	Total Ejecutado rezagadode la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 08 (Impuestos Municipales) para el gasto total de la Función de Planeamiento, Gestión y Reserva de Contingencia.	0.005
_devppimfun_f1ct05trans	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) rezagado que ha sido Devengado de la Fuente 1 (Recursos Ordinarios) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Transporte.	0.005
_tejgfun_f5r08ct05prots	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 08 (Impuestos Municipales) para la Categoría 5 (Gastos Corrientes) de la Función de Protección Social	0.005
_devppimfun_f5r18ct05opseg	Porcentaje rezagado del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Orden Público y Seguridad.	0.004
_devppimtotfun_f5r18opseg	Porcentaje rezagado del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para el gasto total de la Función de Orden Público y Seguridad.	0.004
piagfun_f5r07ct05trans	Presupuesto Institucional de Apertura de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 07 (Fondo de Compensación Municipal) para la Categoría 5 (Gastos Corrientes) de la Función de Transporte.	0.004
_tejgfun_f5r18ct05pgrcopc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para la Categoría 5 (Gastos Corrientes) de la Función de Planeamiento, Gestión y Reserva de Contingencia.	0.004
_tejgkft_redrpc	tejgkft_redrpc	0.004
_tejgct_r09gstcppc	Total Ejecutado rezagado per cápita en el rubro 09 (Recursos Directamente Recaudados) para la categoría de Gastos de Capital	0.003
pimgfun_f5r18ct05cydeppc	Presupuesto Institucional Modificado (PIM) per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados), en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones), para la Categoría 5 (Gastos Corrientes) de la función Cultura y Deporte	0.003

Asimismo, se visualiza la correlación entre las 20 variables más importantes según el criterio de impureza de Gini y las variables de Canon.

Gráfico 2. Correlación entre las 20 variables más importantes según el criterio de impureza de Gini y las variables de Canon.



Variables más importantes según el criterio de SHAP Values

En esta sección se presentan las 20 variables más importantes según el criterio de SHAP Values para el modelo óptimo.

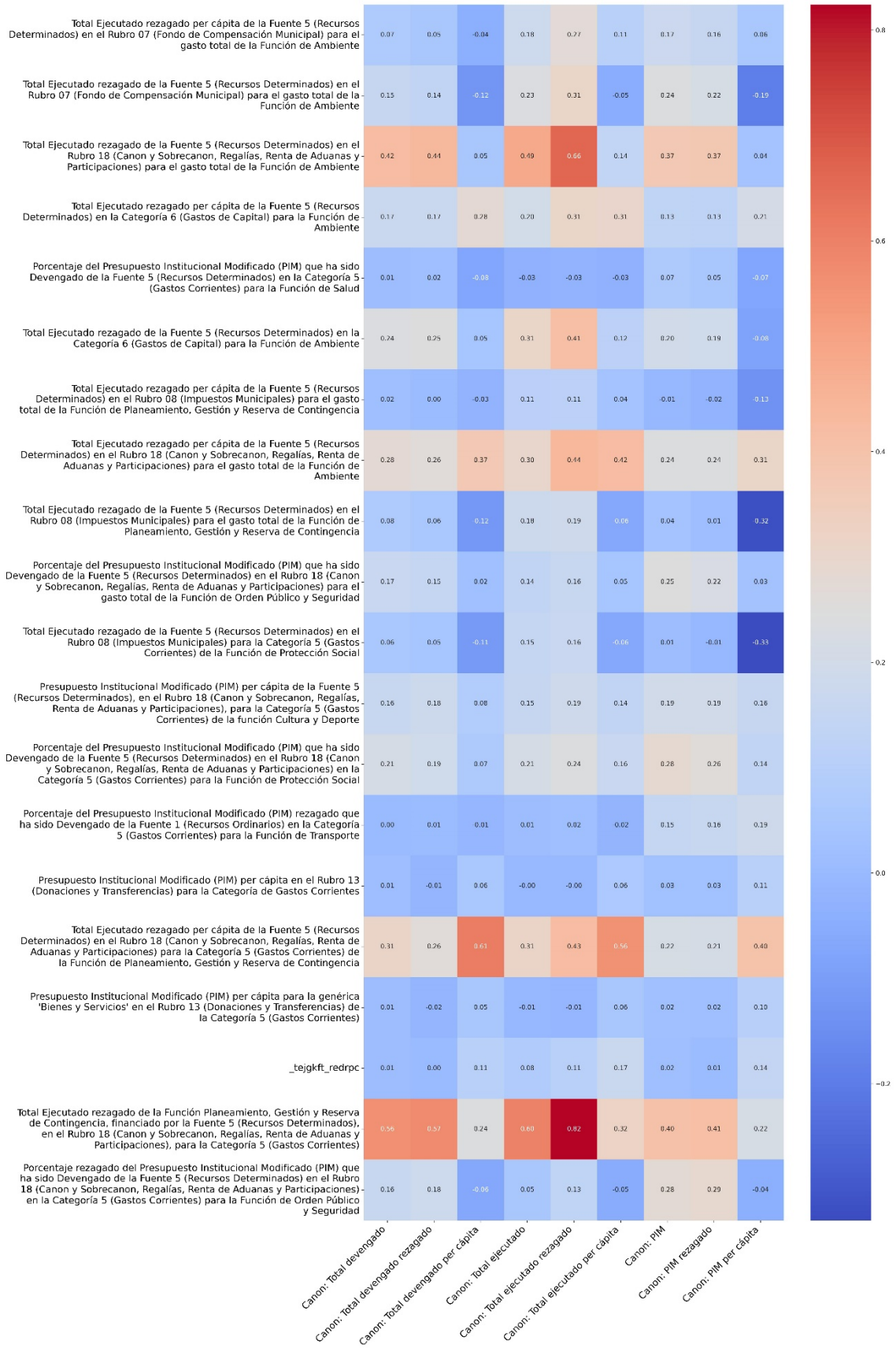
Tabla 8. Veinte variables más importantes de acuerdo con el criterio de SHAP Values.

Variable	Etiqueta	SHAP Values
_tejgtotfun_f5r07ambpc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 07 (Fondo de Compensación Municipal) para el gasto total de la Función de Ambiente.	0.045
_tejgtotfun_f5r07amb	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 07 (Fondo de Compensación Municipal) para el gasto total de la Función de Ambiente.	0.015
_tejgtotfun_f5r18amb	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para el gasto total de la Función de Ambiente	0.014
_tejgfun_f5ct06ambpc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en la Categoría 6 (Gastos de Capital) para la Función de Ambiente.	0.009
devppimfun_f5ct05salud	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Salud.	0.009
_tejgfun_f5ct06amb	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en la Categoría 6 (Gastos de Capital) para la Función de Ambiente.	0.009
_tejgtotfun_f5r08pgrcopc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 08 (Impuestos Municipales) para el gasto total de la Función de Planeamiento, Gestión y Reserva de Contingencia.	0.007
_tejgtotfun_f5r18ambpc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para el gasto total de la Función de Ambiente.	0.006
_tejgtotfun_f5r08pgrco	Total Ejecutado rezagadode la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 08 (Impuestos Municipales) para el gasto total de la Función de Planeamiento, Gestión y Reserva de Contingencia.	0.006
devppimtotfun_f5r18opseg	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para el gasto total de la Función de Orden Público y Seguridad.	0.005
_tejgfun_f5r08ct05prots	Total Ejecutado rezagado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 08 (Impuestos Municipales) para la Categoría 5 (Gastos Corrientes) de la Función de Protección Social	0.005
pimgfun_f5r18ct05cydeppc	Presupuesto Institucional Modificado (PIM) per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados), en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones), para la Categoría 5 (Gastos Corrientes) de la función Cultura y Deporte	0.005
devppimfun_f5r18ct05prots	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Protección Social.	0.005
_devppimfun_f1ct05trans	Porcentaje del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) rezagado que ha sido Devengado de la Fuente 1 (Recursos Ordinarios) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Transporte.	0.004
pimgct_r13gstcrpc	Presupuesto Institucional Modificado (PIM) per cápita en el Rubro 13 (Donaciones y Transferencias) para la Categoría de Gastos Corrientes.	0.004
_tejgfun_f5r18ct05pgrcopc	Total Ejecutado rezagado per cápita de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) para la Categoría 5 (Gastos Corrientes) de la Función de Planeamiento, Gestión y Reserva de Contingencia.	0.004
pimgge_r13ct05biserpc	Presupuesto Institucional Modificado (PIM) per cápita para la genérica 'Bienes y Servicios' en el Rubro 13 (Donaciones y Transferencias) de la Categoría 5 (Gastos Corrientes).	0.004
_tejgkft_redrpc	_tejgkft_redrpc	0.004
_tejgfun_f5r18ct05pgrco	Total Ejecutado rezagado de la Función Planeamiento, Gestión y Reserva de Contingencia, financiado por la Fuente 5 (Recursos Determinados), en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones), para la Categoría 5 (Gastos Corrientes).	0.004

_devppimfun_f5r18ct05opseg	Porcentaje rezagado del Presupuesto Institucional Modificado (PIM) que ha sido Devengado de la Fuente 5 (Recursos Determinados) en el Rubro 18 (Canon y Sobrecanon, Regalías, Renta de Aduanas y Participaciones) en la Categoría 5 (Gastos Corrientes) para la Función de Orden Público y Seguridad.	0.003

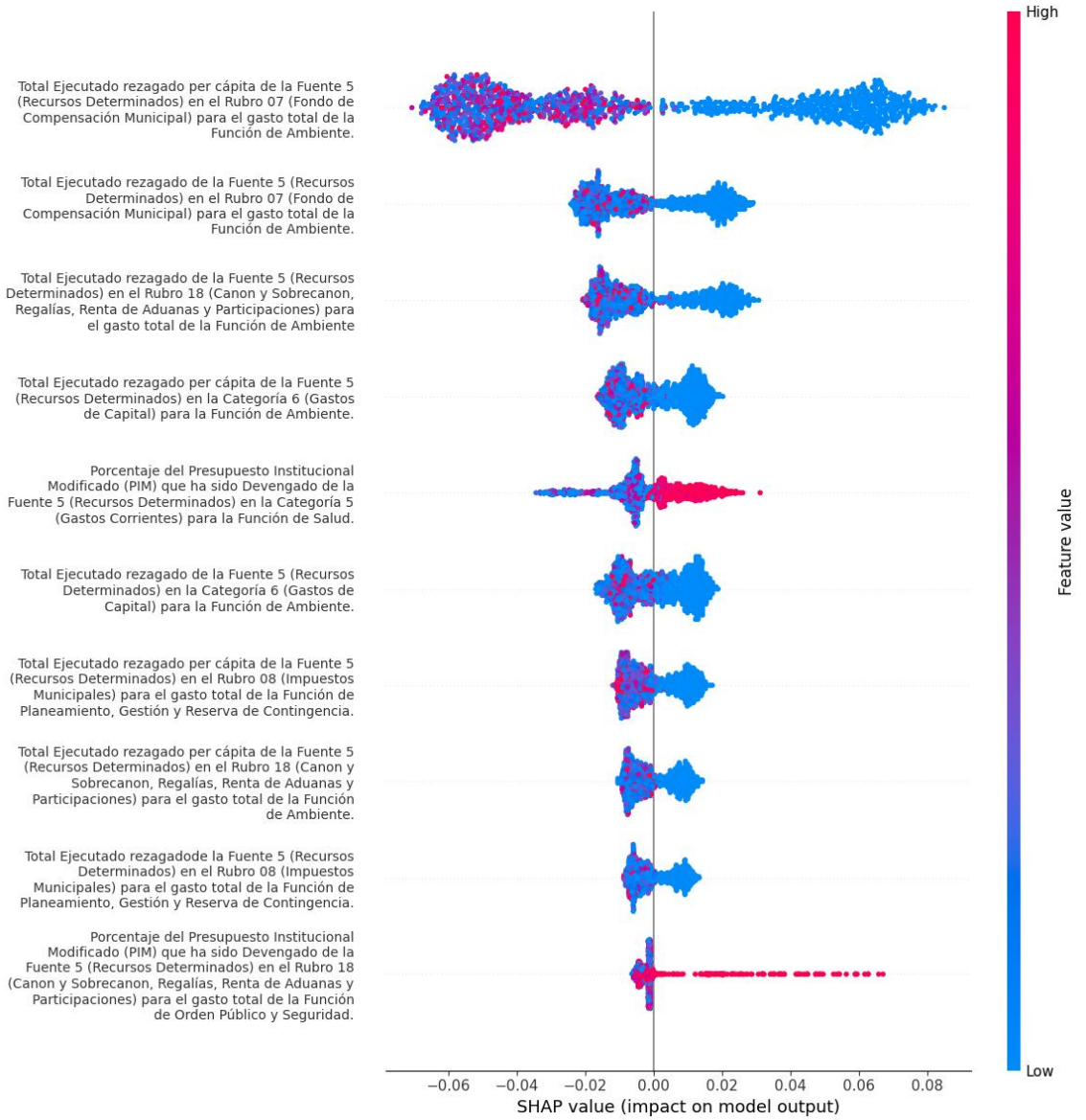
Asimismo, se visualiza la correlación entre las 20 variables más importantes según el criterio SHAP Values y las variables de Canon.

Gráfico 3. Correlación entre las 20 variables más importantes según el criterio de SHAP Values y las variables de Canon.



Adicionalmente se presenta un gráfico de SHAP Values que indica cómo cada una de las 10 variables más importantes influye en la predicción de casos de corrupción intensa para el modelo óptimo seleccionado. Cada punto representa una observación: los puntos rojos indican valores altos de la característica y los azules, valores bajos. La posición horizontal de los puntos refleja la magnitud de la influencia de la característica en la predicción. Las características están ordenadas de mayor a menor impacto en el eje vertical. Un punto hacia la derecha sugiere que la característica incrementa la probabilidad de corrupción intensa, mientras que un punto hacia la izquierda sugiere lo contrario. La concentración de puntos muestra la variabilidad de la influencia de la característica: una mayor dispersión indica mayor variabilidad en su impacto en las predicciones.

Gráfico 4. 10 variables más importantes según criterio SHAP para casos positivos de Corrupción intensa



ANEXOS

Anexo 1. Combinación óptima de hiperparámetros para modelos SMOTE Tomek-Links basados en árboles

Modelo	n_estimators	max_depth	max_features
Regression Forest	500	20	-
LGBM Classifier	1000	2	-
Gradient Boosting Trees	1000	2	20%
Random Forest	250	30	40%
Fuente: elaboración propia			

Anexo 2. Combinación óptima de hiperparámetros para modelos SMOTE Tomek-Links de regularización

Modelo	Cs (Fuerza de la regularización)
Lasso	100
Ridge	100
Elastic Net	100
Fuente: elaboración propia	

RESULTADOS CON UN STEPS DE 0.01 PARA EL MODELO REGRESSION FOREST

La siguiente tabla presenta los resultados óptimos cuando se consideran steps de 0.01 unidades para establecer el threshold en el modelo Regression. Se muestra que el modelo óptimo, según la métrica F1, es el modelo Regression Forest entrenado con el conjunto de entrenamiento **original** con un threshold de 0.65.

Tabla 97. Métricas de desempeño de los modelos entrenados con el conjunto de entrenamiento Original

Métrica	**Regresión Logística**	**Lasso**	**Ridge**	**Elastic Net**	**Random Forest**	**Gradient Boosting Trees**	**LGBM Classifier**	**Regression Forest (threshold = 0.65)**
F1	0.550	0.600	0.600	0.600	0.566	0.554	0.577	0.633
Accuracy	0.643	0.722	0.722	0.722	0.729	0.703	0.744	0.708
AUC ROC	0.561	0.625	0.625	0.625	0.656	0.621	0.644	0.664
F1 (Sí)	0.754	0.821	0.821	0.821	0.832	0.812	0.843	0.799
F1 (No)	0.345	0.378	0.378	0.378	0.300	0.297	0.312	0.467
Fuente: elaboración propia								