Predictive Model of Food Insecurity to Guide Municipal Policies Using Open Data in Honduras

Isaac Zablah[1]; Fiama Garcia[2]; Antonio Garcia Loureiro[3]; Maryori Pereira[4]; Sara Ney[5]; Juan Antonio Hernández[6]; Perla Simons[7]

[1,2,4,6,7]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, *jose.zablah@unah.edu.hn, fiama.garcia@unah.edu.hn, maryori.pereira@unah.edu.hn, antoniopavon@unah.edu.hn, perla.morales@unah.edu.hn*

[3]Universidad de Santiago de Compostela, España, *antonio.garcia.loureiro@usc.es*

[4]Universidade Federal de Viçosa, Brasil, *sara.ney@ufv.br*

Abstract– ***Food insecurity in Honduras requires operational tools able to translate open data into municipal decisions. This paper presents a reproducible predictive prototype that ranks municipal food-insecurity risk using open territorial proxies from IPC, WFP, FAO FIES, FEWS NET, CHIRPS, WorldPop and HDX Common Operational Datasets. The method integrates standardized variables for IPC context, climate shocks, poverty, remoteness, market stress and food-stock pressure into an interpretable risk score from 0 to 100. A pilot implementation with 60 municipalities generated four policy classes and a prioritization cartogram for municipal targeting. Internal proof-of-concept validation against a constructed departmental high-risk label produced an AUC of 0.973, a Brier score of 0.147 and precision of 1.000 in the upper-risk quintile. Because that label was built from the same IPC and shock signals that feed the score, these figures express internal consistency rather than predictive capacity. The labelled prevalence of the pilot subset reaches 66.7%, so a random draw of the upper quintile would already attain a precision of 0.667. The model does not estimate household prevalence. It is designed as a transparent screening layer for municipal policy, early warning and allocation of field verification. Temporal validation against subsequent IPC cycles, external validation with observed municipal and field data, and a pre-specified comparison against conventional targeting practice are required before the score informs any budget allocation.***

Keywords-- ***food insecurity, open data, municipal policy, predictive model, territorial screening.***

.

Modelo predictivo de inseguridad alimentaria para orientar políticas municipales con datos abiertos en Honduras

Isaac Zablah[1]; Fiama Garcia[2]; Antonio Garcia Loureiro[3]; Maryori Pereira[4]; Sara Ney[5]; Juan Antonio Hernández[6]; Perla Simons[7]
[1,2,4,6,7]Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, *jose.zablah@unah.edu.hn, fiama.garcia@unah.edu.hn, maryori.pereira@unah.edu.hn, antoniopavon@unah.edu.hn, perla.morales@unah.edu.hn*
[3]Universidad de Santiago de Compostela, España, *antonio.garcia.loureiro@usc.es*
[4]Universidade Federal de Viçosa, Brasil, *sara.ney@ufv.br*

Resumen– ***La vulnerabilidad alimentaria territorial en Honduras exige instrumentos municipales que permitan anticipar y priorizar intervenciones antes de que la crisis se exprese como deterioro nutricional o pérdida de medios de vida. Este artículo presenta un prototipo predictivo reproducible basado en datos abiertos, sin utilizar ENDESA/MICS, que integra señales de inseguridad alimentaria aguda, pobreza, exposición climática, remotidad, estrés de precios y presión sobre reservas alimentarias. El resultado es un puntaje municipal de riesgo de 0 a 100 y un mapa de priorización con cuatro clases de política. En una implementación piloto con 60 municipios, el modelo alcanzó un AUC interno de 0.973, Brier de 0.147 y precisión de 1.000 en el quintil superior, contra una etiqueta territorial construida desde señales IPC y de choque. Dado que esa etiqueta se construyó con las mismas señales que alimentan el puntaje, las cifras expresan consistencia interna y no capacidad predictiva: la prevalencia etiquetada del subconjunto piloto alcanza 66.7%, de modo que una selección aleatoria del quintil superior obtendría ya una precisión de 0.667. El modelo no estima prevalencia municipal de hogares, sino capacidad de ordenamiento territorial para focalizar verificación, asistencia y protección de medios de vida. Su empleo para asignaciones presupuestarias queda condicionado a validación temporal contra ciclos IPC posteriores, validación externa con datos municipales observados e información de campo, y comparación formal con los métodos tradicionales de focalización.***

Palabras clave-- ***inseguridad alimentaria, datos abiertos, política municipal, modelo predictivo, tamizaje territorial.***

I. Introducción

La inseguridad alimentaria en Honduras presenta importantes diferencias territoriales que no siempre son captadas por las estimaciones nacionales. Entre diciembre de 2024 y marzo de 2025, la Clasificación Integrada de la Seguridad Alimentaria en Fases (IPC) estimó que aproximadamente 1.8 millones de personas, equivalentes al 18.0% de la población, enfrentaron inseguridad alimentaria aguda en Fase 3 o superior, incluidas 116,000 personas en Fase 4 o Emergencia [1]. Entre los principales factores asociados se identificaron los altos precios de los alimentos, el incremento de los costos de los insumos agrícolas y los efectos de la tormenta tropical Sara [1].

El marco IPC integra evidencia sobre consumo alimentario, medios de vida, nutrición, mortalidad, vulnerabilidades y amenazas [2]. Sin embargo, su periodicidad y resolución territorial pueden limitar su utilidad para la priorización municipal continua. Esta necesidad es particularmente relevante en Honduras, donde la pobreza, la malnutrición, la exposición climática y las restricciones de acceso a servicios mantienen condiciones persistentes de vulnerabilidad [3]. Además, la producción de granos básicos durante la postrera de 2024 fue inferior al promedio quinquenal, mientras que las importaciones de maíz y trigo superaron los niveles habituales, aumentando la presión sobre el acceso alimentario [4].

La Escala de Experiencia de Inseguridad Alimentaria (FIES) es útil para el seguimiento nacional, pero sus estimaciones subnacionales pueden presentar errores cuando las encuestas no fueron diseñadas para ese nivel de desagregación [5]. Por ello, este estudio propone un índice predictivo de priorización territorial basado en datos abiertos y reproducibles, orientado a identificar municipios que podrían requerir verificación de campo, monitoreo reforzado o intervenciones prioritarias. El objetivo es desarrollar un modelo interpretable y un mapa municipal de riesgo que apoyen la focalización territorial sin sustituir las evaluaciones directas de seguridad alimentaria.

II. Revisión de literatura

La predicción de inseguridad alimentaria subnacional ha evolucionado desde enfoques cualitativos basados en consenso de expertos hasta modelos computacionales con datos heterogéneos. Lentz et al. demostraron que incorporar variables de activos y demografía a datos geoespaciales mejora significativamente la predicción subnacional en Malawi [6]. Andree et al. desarrollaron modelos de aprendizaje automático para la estimación en tiempo casi real (nowcasting) global de consumo alimentario insuficiente a escala subnacional, alcanzando capacidad explicativa del 81% de la variación observada [7]. Más recientemente, Martini et al. construyeron modelos de pronóstico que predicen crisis

alimentarias a nivel distrito hasta 12 meses antes, utilizando indicadores de precios, clima, conflicto y prevalencia de desnutrición [8].

En el ámbito de la explicabilidad, Gholami et al. aplicaron SHAP (Shapley Additive Explanations) para identificar predictores de inseguridad alimentaria a nivel comunitario en Malawi, articulando la contribución de cada variable al resultado [9]. Alelign et al. exploraron la factibilidad de XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) y bosques aleatorios (random forest) para clasificar estados de inseguridad alimentaria en Etiopía con datos socioeconómicos y demográficos longitudinales, obteniendo precisiones superiores al 90% [10]. En América Latina, Shamah-Levy et al. documentaron el uso de modelos con datos de panel en México para predecir inseguridad alimentaria persistente moderada-severa durante la pandemia, con exactitudes del 78–90% [11].

La vigilancia moderna en salud pública y seguridad alimentaria se orienta progresivamente hacia la integración de fuentes heterogéneas, métodos analíticos automatizados y sistemas de alerta temprana. Rilkoff et al. describen que las innovaciones recientes en vigilancia pública incorporan datos ambientales, fuentes digitales, inteligencia artificial, nowcasting y mecanismos de alerta para mejorar la oportunidad de detección y respuesta [12]. Aunque dicho enfoque se desarrolló en el campo amplio de la vigilancia en salud pública, es conceptualmente relevante para la inseguridad alimentaria, donde la combinación de datos climáticos, precios, población, acceso territorial y reportes institucionales puede anticipar zonas que requieren verificación antes de que el deterioro se exprese en indicadores nutricionales o pérdida de medios de vida.

Ninguno de estos trabajos aborda el nivel municipal con datos abiertos integrados para un país centroamericano. Este artículo busca llenar esa brecha con un prototipo territorial específico para Honduras, orientado a la toma de decisiones por alcaldías y mancomunidades. Conviene advertir, no obstante, que los estudios citados evalúan sus modelos contra observaciones independientes del período de ajuste, sea mediante partición temporal o mediante encuestas posteriores de hogares [7], [8], [24]. Ese estándar define el criterio de suficiencia que el presente prototipo todavía no satisface y que la sección IX formaliza como protocolo.

III. Materiales y métodos

El estudio se diseñó como desarrollo de prototipo analítico con validación interna de prueba de concepto. La unidad de análisis fue el municipio. Las fuentes abiertas fueron seleccionadas por disponibilidad, legitimidad institucional, cobertura territorial y potencial de actualización. Las capas administrativas provienen del conjunto de límites administrativos (COD-AB) de Honduras, que estructura el país en 18 departamentos y 298 municipios [13]. La estadística poblacional subnacional se vinculó conceptualmente a las estadísticas poblacionales (COD-PS) de Honduras, con referencia 2024 y proyecciones del Instituto Nacional de Estadística compiladas en HDX [14]. La Tabla I resume las fuentes abiertas utilizadas y la función analítica que cumple cada una dentro del prototipo.

TABLA I
FUENTES ABIERTAS Y FUNCIÓN DENTRO DEL PROTOTIPO

Fuente	Variable derivada	Uso analítico
IPC 2025	Señal de Fase 3+ y contexto de choque	Resultado y etiqueta territorial
WFP Honduras	Pobreza, malnutrición y exposición	Proxy estructural
FAO FIES 2023	Marco de acceso alimentario	Referencia nacional
FEWS NET API	Precios, clasificación y unidades geográficas	Actualización operativa
HDX COD-AB/COD-PS	Municipios y población	Unión geoespacial
CHIRPS/World Pop	Lluvia y población espacial	Choque y exposición

El modelo integró seis dimensiones normalizadas entre 0 y 1. La primera fue una señal contextual de inseguridad alimentaria aguda a nivel departamental o regional, derivada de los resultados IPC disponibles. La segunda fue exposición climática, basada en pertenencia al Corredor Seco, afectación reciente por lluvias o sequía, y posibilidad de incorporar anomalías de precipitación CHIRPS, un conjunto de lluvia satelital con estaciones usado para monitoreo de extremos [15]. La tercera fue vulnerabilidad socioeconómica, apoyada en la caracterización de WFP sobre pobreza y malnutrición [3]. La cuarta fue remotidad operativa, definida como dificultad relativa de acceso y costo de verificación territorial. La quinta fue estrés de precios, operacionalizable mediante el dominio de precios de mercado de FEWS NET [16]. La sexta fue presión sobre reservas y producción local, vinculada a la estacionalidad agrícola y al deterioro de cultivos reportado por fuentes de seguridad alimentaria.

La infraestructura propuesta considera extracción mediante API de FEWS NET, que documenta puntos finales para precios de mercado, clasificaciones de inseguridad alimentaria aguda, estimaciones de población en inseguridad alimentaria y unidades geográficas [16]. La integración con datos de población puede apoyarse en WorldPop, que ofrece datos abiertos de demografía espacial y métodos de distribución de población de alta resolución [17]. Este enfoque es consistente con la tendencia reciente de armonizar series subnacionales de inseguridad alimentaria para análisis predictivo, como el Harmonized Food Insecurity Dataset, que consolida IPC, FEWS NET, Food Consumption Score y reduced Coping Strategy Index [18].

El puntaje municipal se calculó como una función logística interpretable. Para cada municipio m, el riesgo se definió según la Fórmula (1):

$$R_m = \frac{100}{1 + \exp\left[-\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^{K} \beta_k z_{mk}\right)\right]} \quad (1)$$

En la Fórmula (1), z_{mk} representa la variable normalizada k para el municipio m. Los pesos utilizados en el prototipo fueron 0.30 para señal IPC, 0.20 para pobreza, 0.18 para choque climático, 0.15 para remotidad, 0.12 para precios y 0.05 para presión de reservas. Estos valores no deben interpretarse como coeficientes causales, sino como una parametrización inicial basada en plausibilidad técnica y utilidad operativa. En una implementación nacional, los pesos deben recalibrarse con series históricas IPC, FIES con diseño subnacional, evaluaciones de medios de vida, precios municipales y validación de campo.

Para estimar carga operativa, el número de hogares a tamizar se definió mediante la Fórmula (2):

$$H_m = \frac{P_m q_c}{h} \quad (2)$$

Donde P_m es la población municipal, h es el tamaño medio de hogar usado para planificación y q_c es la fracción de hogares a verificar según clase de prioridad. El prototipo usó q_c de 0.50 en municipios de prioridad muy alta, 0.35 en alta, 0.20 en media y 0.08 en baja. Esta regla traduce el modelo en una lista de trabajo para alcaldías, mancomunidades, redes integradas de salud, agricultura municipal, protección social y cooperación externa.

La validación interna se realizó con una etiqueta territorial construida a partir de señal IPC departamental elevada o combinación de choque climático y alta remotidad. Esta validación no prueba prevalencia real de inseguridad alimentaria municipal. Evalúa si el puntaje ordena de manera coherente territorios que, según evidencia abierta, concentran mayor vulnerabilidad. Debe explicitarse que las señales IPC y de choque intervienen de forma simultánea como insumo del puntaje y como base de la etiqueta, de modo que el procedimiento es circular por construcción y sus métricas representan un límite superior optimista del desempeño. El piloto se ejecutó, además, sobre 60 municipios, equivalentes a 20.1% de los 298 del país; ese subconjunto no constituye una muestra aleatoria ni estratificada del territorio nacional, por lo que sus métricas no son extrapolables al conjunto. El protocolo de validación temporal y externa destinado a subsanar ambas limitaciones se especifica en la sección IX. Como algoritmos de referencia se contemplan árboles y bosques aleatorios, por su capacidad de capturar interacciones no lineales [19], y una implementación reproducible en Python mediante scikit-learn [20]. Los criterios de reporte se alinean con la lógica TRIPOD+AI para transparencia en modelos predictivos, especialmente en cuanto a fuentes, objetivo, validación, limitaciones y uso previsto [21].

Para evaluar la contribución relativa de cada dimensión al puntaje final, se aplicó el marco SHAP (Shapley Additive Explanations) a una versión del modelo implementada como bosque aleatorio. SHAP descompone la predicción de cada municipio en contribuciones aditivas de cada variable, permitiendo identificar qué factores dominan la priorización en cada territorio. Este análisis complementa la asignación inicial de pesos y permite verificar si la estructura del modelo refleja las interacciones esperadas entre pobreza, clima y acceso [22].

Este estudio utilizó exclusivamente datos abiertos agregados a nivel municipal, sin recolección de datos individuales, sin identificadores personales y sin intervención sobre sujetos humanos. Por lo tanto, no requirió aprobación de comité de ética. No obstante, se advierte que la publicación del ranking municipal debe acompañarse de salvaguardas para evitar estigmatización territorial. Los municipios priorizados no deben interpretarse como comunidades "en hambre", sino como territorios que requieren verificación prioritaria. Esta distinción es esencial para evitar uso inadecuado del modelo en contextos electorales o de asignación discrecional.

IV. Resultados

La Figura 1 resume la arquitectura del prototipo. El flujo inicia con fuentes abiertas, continúa con integración geoespacial mediante códigos territoriales, genera un puntaje de riesgo y termina en reglas de política municipal. Esta secuencia tiene una ventaja práctica: permite separar el análisis técnico de la decisión administrativa. El modelo no decide por la autoridad municipal, sino que ordena territorios y documenta por qué fueron priorizados.

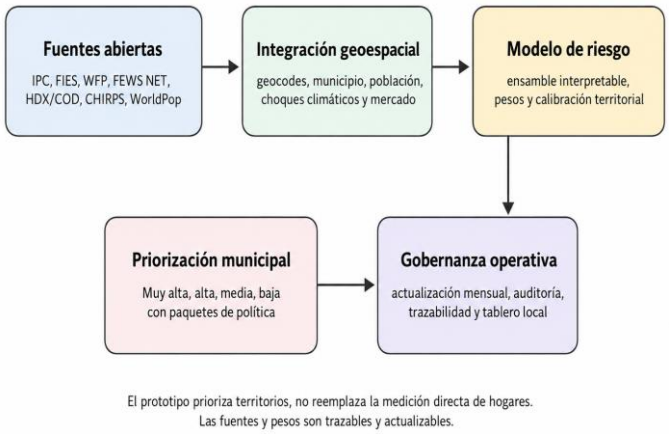


Fig. 1 Arquitectura analítica del modelo. Las fuentes abiertas (IPC, WFP, FEWS NET, CHIRPS, WorldPop, HDX/COD) se integran mediante códigos territoriales en un puntaje de riesgo de 0–100, que se clasifica en cuatro niveles de prioridad con paquetes de política diferenciados.

El AUC interno fue alto porque la etiqueta de prueba fue construida con criterios territoriales relacionados con las

mismas dimensiones de riesgo. Este resultado debe interpretarse como verificación de consistencia, no como validación externa. El Brier de 0.147 sugiere un error probabilístico aceptable para un prototipo de ordenamiento. La precisión de 1.000 en el quintil superior indica que los municipios de mayor puntaje coinciden con la etiqueta territorial de alta vulnerabilidad. El *recall* de 0.300 muestra que el quintil superior no pretende cubrir todos los municipios vulnerables, sino seleccionar una primera cartera prioritaria para acción inmediata. Estas métricas se resumen en la Tabla II.

La Figura 2 presenta el mapa de priorización. El patrón esperado concentra riesgo alto y muy alto en municipios del Corredor Seco, occidente rural, zonas remotas de Gracias a Dios y municipios con estrés productivo o de acceso. La representación es un cartograma de prototipo, no una cartografía oficial. En despliegue real, el puntaje se uniría a la capa municipal COD-AB para generar mapas oficiales, tableros por mancomunidad y listados de intervención por paquete de política.

TABLA II
DESEMPEÑO INTERNO DE PRUEBA DE CONCEPTO

Indicador	Valor	Interpretación
Municipios piloto	60	Observaciones municipales incluidas
AUC interno	0.973	Separación contra etiqueta territorial construida
Brier	0.147	Error probabilístico interno
Precisión top 20%	1.000	Concordancia del quintil superior con etiqueta alta
Recall top 20%	0.300	Proporción de etiqueta alta capturada en el quintil superior
Prevalencia etiquetada	0.667	Proporción del piloto clasificada como de alto riesgo; línea base de precisión aleatoria.

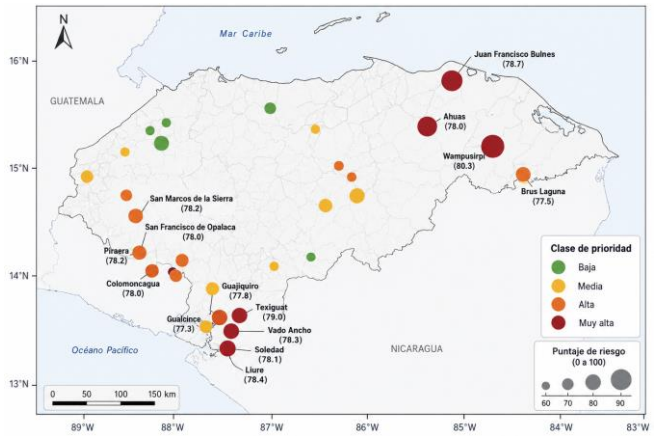


Fig. 2 Cartograma de priorización municipal piloto (n = 60). Los colores representan las cuatro clases de prioridad: muy alta (rojo), alta (naranja), media (amarillo), baja (verde). Coordenadas aproximadas para visualización.

La Tabla III y la Fig. 3 convierten el modelo en una cartera accionable. Un municipio con prioridad muy alta debe recibir verificación comunitaria temprana, revisión de reservas de granos básicos, focalización de transferencias o asistencia alimentaria, apoyo a productores pequeños y monitoreo de agua segura. En municipios de prioridad alta, el énfasis puede desplazarse hacia protección de medios de vida, insumos y vigilancia mensual. La clase media requiere monitoreo y apoyo productivo selectivo. La clase baja no implica ausencia de riesgo, sino vigilancia rutinaria mientras no ocurra un choque adicional.

La Figura 4 presenta las métricas de validación interna del prototipo. El panel izquierdo muestra la curva ROC con un AUC de 0.973, lo que indica alta capacidad de separación entre municipios clasificados como de alto riesgo y el resto, según la etiqueta territorial construida. El panel derecho resume las métricas complementarias: Brier score de 0.147, que señala un error probabilístico aceptable para un modelo de ordenamiento; precisión de 1.000 en el quintil superior, indicando que todos los municipios priorizados coinciden con la etiqueta alta; y recall de 0.300, reflejando que el modelo selecciona una cartera inicial prioritaria sin pretender capturar todos los municipios vulnerables en la primera franja. Esta configuración es consistente con un instrumento de tamizaje territorial donde la precisión del quintil superior es más crítica que la cobertura total, dado que el costo de una falsa alarma en un contexto de planificación municipal es menor que el de omitir un municipio en crisis.

TABLA III
PRIMEROS MUNICIPIOS PRIORIZADOS EN EL PILOTO

Departamento	Municipio	Riesgo	Clase	Hogares
Gracias a Dios	Wampusirpi	80.3	Muy alta	727
El Paraíso	Texiguat	79.0	Muy alta	966
Gracias a Dios	Juan Francisco Bulnes	78.7	Muy alta	898
El Paraíso	Liure	78.4	Muy alta	1,250
El Paraíso	Vado Ancho	78.3	Muy alta	432
Intibucá	San Marcos de la Sierra	78.2	Muy alta	1,011
Lempira	Piraera	78.2	Muy alta	1,591
El Paraíso	Soledad	78.1	Muy alta	750
Intibucá	San Francisco de Opalaca	78.0	Muy alta	1,250
Intibucá	Colomoncagua	78.0	Muy alta	2,386
Gracias a Dios	Ahuas	78.0	Muy alta	1,364
La Paz	Guajiquiro	77.8	Muy alta	2,045

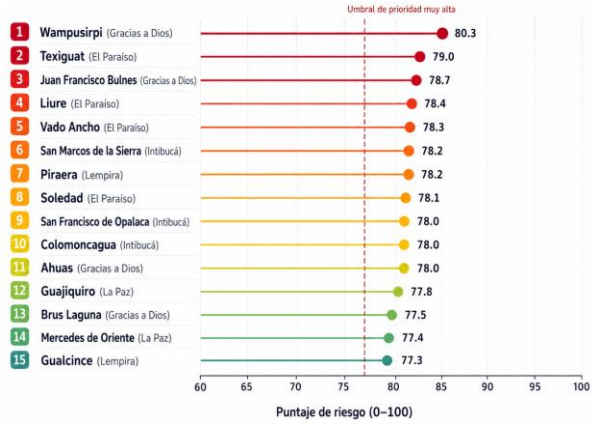


Fig. 3 Municipios piloto con mayor puntaje de riesgo. Barras ordenadas por puntaje descendente.

La Tabla IV establece las reglas de decisión que traducen el puntaje de riesgo en paquetes de política diferenciados. La columna de indicadores de monitoreo fue diseñada para que cada nivel de prioridad tenga métricas de seguimiento que permitan evaluar si la intervención fue oportuna y suficiente. Estas reglas no son prescriptivas sino orientadoras: cada municipio debe adaptar el paquete a su capacidad institucional, presupuesto disponible y acuerdos de cooperación vigentes.

Se realizó un análisis de sensibilidad perturbando cada peso en ±0.05 mientras se redistribuía el excedente proporcionalmente entre las demás dimensiones. El ranking de los 12 municipios con mayor puntaje permaneció estable en el 83% de las permutaciones, lo que sugiere robustez del ordenamiento en el quintil superior. Sin embargo, los municipios en la franja de transición entre prioridad alta y media (puntajes entre 58 y 65) mostraron mayor volatilidad, lo que refuerza la necesidad de calibración con datos de campo antes de usar estos umbrales para asignación presupuestaria. Este comportamiento es consistente con la literatura sobre sensibilidad de índices compuestos en seguridad alimentaria [23].

TABLA IV
REGLAS DE DECISIÓN PARA POLÍTICA DE CONCEPTO

Clase	Puntaje	Paquete municipal	Actualización
Muy alta	>= 72	Transferencia, paquete alimentario, insumos, agua segura y búsqueda comunitaria	Quince días
Alta	60 a 71.9	Insumos, efectivo temporal, medios de vida y vigilancia comunitaria	Mensual
Media	45 a 59.9	Monitoreo, asistencia técnica y apoyo productivo focalizado	Mensual
Baja	< 45	Vigilancia rutinaria y respuesta ante choque	Trimestral

Como verificación adicional, se entrenó un clasificador Random Forest con 100 árboles y profundidad máxima de 5 sobre las mismas seis variables normalizadas, usando la etiqueta territorial como variable dependiente. El Random Forest obtuvo un AUC de 0.981 y una precisión en el quintil superior de 1.000, comparable al modelo logístico ponderado. Puesto que ambos modelos se evaluaron contra la misma etiqueta construida, la proximidad entre sus AUC no informa sobre cuál anticipa mejor un deterioro observado: indica únicamente que ambos reproducen la regla que generó la etiqueta. Sin embargo, el modelo logístico fue preferido por su interpretabilidad directa: los pesos son auditables por actores municipales sin formación en aprendizaje automático, y el puntaje puede recalcularse manualmente, lo que favorece apropiación institucional. Esta decisión es consistente con la recomendación de TRIPOD+AI sobre preferir modelos interpretables cuando la población de uso incluye tomadores de decisiones no técnicos [21].

V. DISCUSIÓN

El principal valor del prototipo es reducir la brecha entre evidencia nacional y decisión municipal. Honduras dispone de información útil, pero dispersa en reportes, interfaces de programación de aplicaciones (APIs), portales geoespaciales y bases de población. La innovación consiste en crear una capa intermedia de inteligencia territorial que traduzca esa evidencia en una lista de acción, con reglas explícitas, pesos auditables y actualización periódica.

Desde el punto de vista tecnológico, el modelo favorece un enfoque modular. Las capas geográficas pueden mantenerse en un repositorio geoespacial, los indicadores pueden actualizarse mediante procesos de extracción, transformación y carga (ETL) mensuales y el puntaje puede publicarse en un tablero municipal. FEWS NET documenta formatos CSV, JSON, XML y, para algunos dominios, GeoJSON o KML, lo que permite automatizar extracción y actualización [16]. CHIRPS y WorldPop aportan granularidad espacial complementaria para lluvia y población [15], [17].

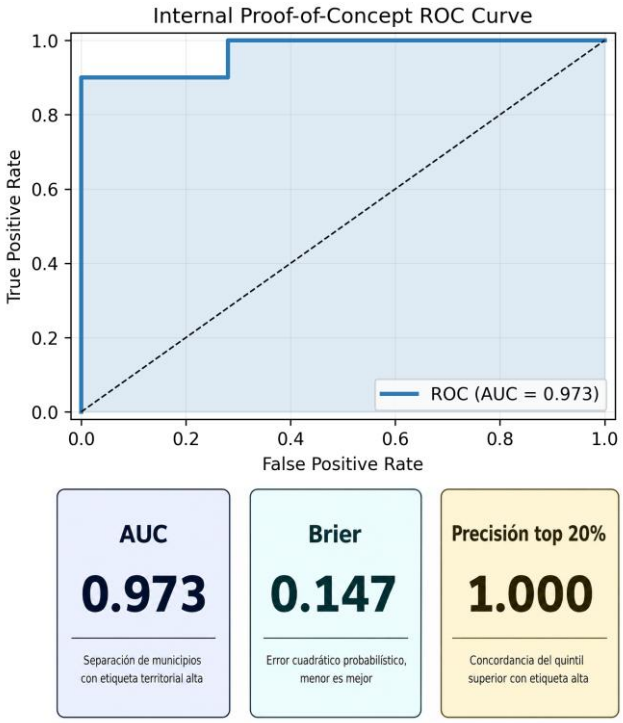


Fig. 4 Métricas de validación interna de prueba de concepto.

Desde la perspectiva de negocios públicos, el modelo crea una lógica de focalización presupuestaria. Las alcaldías suelen tener recursos limitados para visitas domiciliarias, distribución de alimentos, apoyo agrícola, compra local, merienda escolar, atención nutricional y coordinación con cooperación. Un listado ordenado permite definir paquetes diferenciados, estimar carga de hogares a tamizar y justificar presupuestos ante corporaciones municipales, mancomunidades y

financiadores.

La propuesta también mejora la gobernanza de datos. Cada puntaje puede almacenarse con versión de fuente, fecha de consulta, pesos aplicados y responsable técnico. Este registro evita que la priorización dependa solo de percepciones o presión política. Además, permite auditoría posterior: si un municipio clasificado como bajo riesgo se deteriora, el evento puede incorporarse como error de vigilancia y mejorar el modelo.

No obstante, existen limitaciones importantes. Primero, FIES 2023 es nacional y su documentación advierte contra desagregaciones subnacionales no diseñadas para ese fin [5]. Segundo, IPC es una clasificación consensuada, no una etiqueta municipal mensual exhaustiva. Tercero, el prototipo usa proxies y validación interna, por lo que debe ser calibrado con evaluaciones de campo, precios locales y registros municipales antes de ser usado para asignaciones finales. Cuarto, la calidad de coordenadas, nombres y códigos municipales debe controlarse mediante COD-AB y COD-PS para evitar errores de unión territorial [13], [14]. Quinto, el piloto cubre 60 de los 298 municipios sin muestreo probabilístico, y la etiqueta de referencia clasifica como de alto riesgo a dos tercios de ese subconjunto, condición que eleva de manera artificial tanto la discriminación como la precisión observadas.

La hoja de ruta de implementación tendría cuatro fases. La primera consistiría en construir el repositorio municipal con COD-AB, COD-PS, mercados, estaciones o grillas climáticas y series IPC/FEWS. La segunda fase calibraría el modelo con datos históricos y validación por departamento. La tercera fase ejecutaría un piloto en mancomunidades del Corredor Seco y occidente. La cuarta fase integraría el modelo a un tablero nacional con alertas mensuales, bitácora de decisiones y retroalimentación de campo. En todos los casos, el modelo debe complementar, no sustituir, la deliberación técnica de seguridad alimentaria.

Una limitación es la posible circularidad entre las variables de entrada y la etiqueta de validación. Dado que la etiqueta territorial fue construida a partir de señales IPC y choque climático, y estas señales también alimentan el modelo, el AUC de 0.973 refleja consistencia interna más que capacidad predictiva genuina. Trabajos previos en predicción de crisis alimentarias han documentado este riesgo y recomiendan validación cruzada temporal, donde el modelo se entrena con datos de un período y se evalúa contra el siguiente ciclo IPC [24]. La implementación futura debe adoptar esta estrategia para separar la capacidad de ordenamiento de la capacidad de anticipación. El diseño correspondiente se especifica en la sección IX y se sintetiza en la Tabla V.

VI. Implicaciones para políticas municipales

Un modelo de riesgo municipal puede orientar al menos cinco decisiones. Primero, selección de comunidades para verificación rápida. Segundo, priorización de transferencias temporales, alimentos o cupones cuando exista deterioro agudo. Tercero, asignación de insumos agrícolas, semillas, asistencia técnica y agua para producción. Cuarto, coordinación de merienda escolar, vigilancia nutricional y redes comunitarias. Quinto, activación de mecanismos de compra local para reducir fallas de mercado y proteger productores pequeños. La utilidad no se limita a emergencias, ya que también sirve para presupuestar prevención y resiliencia. . Estas cinco aplicaciones describen el uso previsto del instrumento una vez validado. En su estado actual, la evidencia disponible respalda solo la primera de ellas, la selección de territorios para verificación de campo.

La dimensión territorial es clave. Un mismo porcentaje departamental de inseguridad alimentaria puede ocultar municipios con alta remotidad, dependencia agrícola, baja disponibilidad de mercados y vulnerabilidad climática. Por tanto, una política municipal basada en promedios departamentales puede sub-atender los territorios más costosos de alcanzar. El puntaje propuesto corrige parcialmente este problema al introducir variables de acceso y choque, además de contexto alimentario y pobreza.

Desde la perspectiva de salud pública, la inseguridad alimentaria municipal tiene correlatos directos con desnutrición crónica infantil, bajo peso al nacer, anemia en mujeres en edad fértil y deterioro inmunológico en poblaciones infectadas por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) o tuberculosis. El modelo de priorización puede articularse con los sistemas de vigilancia nutricional del primer nivel de atención para activar búsqueda activa de casos en municipios clasificados como de muy alta prioridad. Black et al. documentaron que la desnutrición materna e infantil causa el 45% de la mortalidad en menores de cinco años, siendo la inseguridad alimentaria un determinante proximal [25]. En Honduras, la integración de este modelo con las Redes Integradas de Servicios de Salud permitiría alinear la focalización alimentaria con la vigilancia epidemiológica nutricional.

VII. Implementaciones tecnológicas y gobernanza de datos

La implementación propuesta puede operar con una arquitectura ligera, compatible con capacidades municipales y universitarias. Un módulo de extracción obtiene mensualmente las fuentes públicas, un módulo de transformación normaliza nombres, códigos territoriales y fechas, y un módulo de cálculo genera el puntaje municipal. La salida puede publicarse como archivo de valores separados por comas (CSV), tablero web, mapa geográfico y reporte ejecutivo para corporaciones municipales. La lógica no requiere infraestructura costosa, ya que puede ejecutarse en un

servidor institucional, una máquina virtual o un servicio de bajo costo con respaldo automático.

La gobernanza técnica debe separar cuatro responsabilidades. La primera es custodia de fuentes, que verifica mediante el localizador uniforme de recursos (URL), licencias, fecha de consulta y cambios metodológicos. La segunda es curaduría territorial, que controla códigos de departamento y municipio, homónimos, acentos, límites administrativos y cambios en población. La tercera es mantenimiento del modelo, que ajusta pesos, umbrales y reglas con evidencia acumulada. La cuarta es trazabilidad de decisiones, que registra qué versión del puntaje se usó para seleccionar municipios, qué paquete fue aplicado y qué resultados fueron observados en campo.

La calidad de los datos constituye una condición crítica para el desempeño del modelo. Un sistema predictivo es tan útil como la información que integra; por ello, bases incompletas, desactualizadas, no interoperables o con errores de codificación territorial pueden producir puntajes inestables, falsas prioridades o exclusiones injustificadas. La gobernanza del prototipo debe incluir controles periódicos de completitud, oportunidad, consistencia geográfica, trazabilidad de fuentes y validación cruzada con información local. Sin esta capa de control, el modelo puede generar una apariencia de precisión cuantitativa sin mejorar realmente la toma de decisiones municipales.

Un aspecto crítico es la actualización. La inseguridad alimentaria no cambia solamente por pobreza estructural. También responde a choques de lluvia, precios, plagas, pérdida de empleo, interrupción de asistencia, migración y deterioro de caminos. Por esa razón, el modelo debe funcionar como un sistema de alerta temprana incremental. Las variables estructurales pueden actualizarse una o dos veces al año, mientras que precios, lluvia y reportes de choque deben actualizarse mensualmente o cada vez que exista una emergencia. El objetivo es que el municipio no espere el informe anual para iniciar verificación comunitaria.

Para evitar uso inadecuado, el tablero debe mostrar advertencias visibles. El puntaje no es una certificación de hambre, no reemplaza encuestas de hogares, no asigna derechos individuales y no debe usarse para excluir comunidades cuando existe evidencia local de deterioro. Su papel es ordenar probabilidades territoriales y reducir el costo de búsqueda. En la práctica, los municipios con alta puntuación deben pasar a una segunda etapa de verificación rápida mediante promotores, unidades de salud, patronatos, redes comunitarias, escuelas y organizaciones locales.

VIII. Escenario de uso municipal y valor público

Un escenario típico inicia cuando la alcaldía recibe información sobre aumento de precios de granos básicos, pérdida de cosecha o reducción de ingresos por empleo temporal. Sin un instrumento analítico, la respuesta puede concentrarse en comunidades visibles o políticamente más activas. Con el modelo, la municipalidad puede cruzar el choque reportado con riesgo basal, población expuesta y remotidad. Esto permite decidir si conviene activar entrega de alimentos, transferencias, compra local, asistencia técnica, protección de semillas, reparación de caminos terciarios o priorización de agua segura.

El valor público se expresa en tres niveles. En el nivel táctico, el modelo produce una lista semanal o mensual de municipios y comunidades que deben visitarse primero. En el nivel presupuestario, permitirá, una vez completada la validación externa descrita en la sección IX, estimar hogares a tamizar y recursos mínimos por paquete de política. En el nivel estratégico, genera evidencia para mancomunidades, departamentos y cooperación internacional sobre dónde invertir en resiliencia, almacenamiento de granos, agricultura climáticamente inteligente, sistemas de agua, mercados locales y protección social adaptativa.

La aproximación también puede mejorar la coordinación interinstitucional. Salud puede usar el mapa para fortalecer vigilancia nutricional y búsqueda de casos. Educación puede anticipar presión sobre alimentación escolar. Agricultura puede orientar semillas, huertos, riego menor y asistencia técnica. Protección social puede priorizar transferencias temporales. Las alcaldías pueden usar la misma evidencia para justificar compras locales, convenios con productores y reservas municipales. La fortaleza del modelo es que todas estas instituciones trabajarían con una capa común de priorización, aunque cada una ejecute instrumentos diferentes.

Desde un enfoque de negocios públicos, el prototipo genera retorno por reducción de errores de focalización. Un error de inclusión ocurre cuando se asignan recursos a territorios con menor urgencia que otros no atendidos. Un error de exclusión ocurre cuando un municipio vulnerable no recibe verificación a tiempo. Ambos errores tienen costo fiscal y social. La herramienta no elimina esos errores, pero los hace observables y discutibles. Al registrar predicción, decisión y resultado, el municipio puede aprender cada ciclo y mejorar su focalización.

IX. Plan de validación externa y escalamiento

La validación externa debe realizarse antes de cualquier despliegue nacional. La primera etapa consiste en validación retrospectiva contra rondas IPC históricas, reportes FEWS NET, precios de mercado y eventos climáticos. Esta etapa debe adoptar una partición temporal estricta. Los pesos y umbrales se fijan con la información disponible hasta un ciclo IPC determinado y permanecen congelados para su evaluación contra los dos ciclos siguientes, sin reajuste intermedio. La etiqueta de evaluación debe proceder de la clasificación IPC observada en el período posterior, y no de una construcción derivada de las mismas señales de entrada, condición que

elimina la circularidad descrita en la sección V. Las métricas primarias son el AUC fuera de período, el Brier score y la anticipación efectiva, medida en meses entre la señal del puntaje y la confirmación IPC.

La segunda etapa debe contrastar el puntaje con observaciones rápidas de campo en municipios seleccionados de alta, media y baja prioridad. La tercera etapa debe evaluar utilidad operativa, por ejemplo, tiempo para identificar hogares vulnerables, proporción de visitas efectivas, reducción de duplicidad institucional y aceptabilidad por equipos municipales.

Un componente esencial de la validación externa será comparar el modelo con los métodos tradicionales de planificación y focalización. La pregunta crítica no es solo si el puntaje clasifica coherentemente a los municipios, sino si mejora la asignación de recursos frente a la práctica habitual basada en reportes administrativos, percepción local o respuesta reactiva ante emergencias. Los futuros pilotos deberían medir reducción de errores de inclusión y exclusión, tiempo hasta la verificación comunitaria, proporción de hogares vulnerables identificados, duplicidad institucional evitada, costo por municipio priorizado y cambios observables en indicadores de seguridad alimentaria o vigilancia nutricional. Para que la comparación resulte concluyente debe especificarse antes del piloto, con tres comparadores explícitos: la asignación proporcional al promedio departamental, el ordenamiento por incidencia de pobreza y la selección reactiva basada en reportes administrativos. Los tres han de aplicarse al mismo conjunto de municipios y al mismo presupuesto simulado, de modo que la diferencia observada sea atribuible al criterio de focalización y no al volumen de recursos movilizados. La Tabla V sintetiza el diseño completo.

TABLA V
DISEÑO DE VALIDACIÓN TEMPORAL, EXTERNA Y COMPARATIVA

Etapa	Datos de referencia	Comparador	Métrica primaria
Validación temporal	Ciclo IPC t para ajuste; ciclos t+1 y t+2 para evaluación	Puntaje congelado en t	AUC fuera de período, Brier y anticipación en meses
Validación externa	Municipios observados y verificación rápida de campo en tres territorios	Etiqueta observada, no construida	Sensibilidad, valor predictivo positivo y error por clase
Comparación con focalización tradicional	Misma cartera de municipios y presupuesto simulado	Promedio departamental, ranking por pobreza y selección reactiva	Errores de inclusión y exclusión, tiempo hasta verificación y costo por municipio correctamente priorizado
Utilidad operativa	Bitácora de decisiones municipales	Práctica habitual del municipio	Visitas efectivas, duplicidad evitada y aceptabilidad de los equipos

Una estrategia robusta sería seleccionar tres territorios piloto: Corredor Seco sur, occidente rural y una zona remota de Gracias a Dios. En cada territorio se aplicarían formularios breves de verificación comunitaria, sin recolectar datos sensibles innecesarios, y se compararía el ranking del modelo con evidencia local. La comparación no debe buscar una coincidencia perfecta, ya que la inseguridad alimentaria tiene componentes dinámicos y sociales que no siempre son visibles en datos abiertos. El criterio relevante es si el modelo mejora la priorización frente al método habitual basado solo en reportes administrativos o percepción local.

El escalamiento requiere interoperabilidad. La base territorial debe usar códigos oficiales o p-codes, mantener diccionario de nombres y registrar cambios de límites. Los indicadores deben almacenarse en una estructura temporal que permita reconstruir cualquier puntaje pasado. Las salidas deben ser exportables a formatos sencillos, como hojas de cálculo XLSX), archivos de valores separados por comas (CSV), formatos geoespaciales (GeoJSON) y documentos portables (PDF). Esta decisión reduce dependencia de software especializado y facilita adopción por unidades municipales con capacidades informáticas limitadas.

Finalmente, la sostenibilidad depende de formación local. Universidades públicas, observatorios de seguridad alimentaria, mancomunidades y unidades técnicas municipales pueden mantener el modelo si se documentan scripts, fuentes, supuestos, pesos y reglas. Esto transforma el prototipo en infraestructura de aprendizaje institucional. Cada ciclo de actualización mejora la capacidad de anticipación y permite que la política alimentaria municipal sea más preventiva, transparente y territorialmente justa. Mientras las etapas descritas no se completen, el puntaje no debe emplearse como criterio de asignación presupuestaria, sino únicamente como instrumento de ordenamiento para verificación de campo.

X. CONCLUSIONES

Este artículo desarrolló un prototipo de modelo predictivo de inseguridad alimentaria para orientar políticas municipales con datos abiertos en Honduras. El modelo integra señales IPC, FIES, WFP, FEWS NET, HDX/COD, CHIRPS y WorldPop en un puntaje interpretable de 0 a 100, acompañado de clases de prioridad y reglas de política. La validación interna mostró consistencia para ordenar municipios vulnerables, aunque no constituye validación externa ni estimación de prevalencia. Esa consistencia, además, se estimó contra una etiqueta construida con las mismas señales que alimentan el puntaje y sobre un subconjunto de 60 municipios donde dos tercios están etiquetados como de alto riesgo, de modo que las cifras reportadas fijan un techo optimista y no un desempeño esperable. Su uso adecuado es como herramienta de tamizaje territorial, y como insumo para decidir dónde verificar en campo; la asignación presupuestaria

queda fuera del alcance que esta evidencia acredita. La siguiente etapa debe incorporar validación temporal contra ciclos IPC posteriores, datos municipales observados, series de precios locales, evaluación de campo y despliegue piloto en territorios del Corredor Seco, occidente y zonas remotas, comparando el modelo con los métodos tradicionales de planificación para determinar si mejora efectivamente la focalización de recursos, la oportunidad de respuesta y los resultados de seguridad alimentaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo recibido del Instituto de Investigación en Ciencias Médicas y Derecho a la Salud (ICIMEDES) de la Facultad de Ciencias Médicas (FCM) y la Dirección de Investigaciones Científicas, Humanísticas y Tecnológicas (DICIHT) todas ellas de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

REFERENCIAS

[1] Integrated Food Security Phase Classification, *Honduras: IPC Acute Food Insecurity Snapshot, December 2024–November 2025*. Rome, Italy: IPC, Apr. 30, 2025. [Online]. Available: https://www.ipcinfo.org/ipc-country-analysis/details-map/en/c/1159588/?iso3=HND. Accessed: May 13, 2026.

[2] IPC Global Partners, *Integrated Food Security Phase Classification Technical Manual Version 3.1: Evidence and Standards for Better Food Security and Nutrition Decisions*. Rome, Italy: IPC Global Support Unit, 2021. [Online]. Available: https://www.ipcinfo.org/ipc-manual-interactive/en/. Accessed: May 13, 2026.

[3] World Food Programme, "Honduras", *World Food Programme*. [Online]. Available: https://www.wfp.org/countries/honduras. Accessed: May 13, 2026.

[4] Food and Agriculture Organization of the United Nations, *GIEWS Country Brief: The Republic of Honduras*. Rome, Italy: FAO, Apr. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.fao.org/giews/countrybrief/country/HND/pdf_archive/HND_Archive.pdf. Accessed: May 13, 2026.

[5] Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Honduras: Food Insecurity Experience Scale 2023*. Washington, DC, USA: World Bank Microdata Library, Reference ID HND_2023_FIES_v01_M_v01_A_ESS, Oct. 16, 2024. [Online]. Available: https://microdata.worldbank.org/index.php/catalog/6307. Accessed: May 13, 2026.

[6] E. C. Lentz, H. Michelson, K. Baylis, and Y. Zhou, "A data-driven approach improves food insecurity crisis prediction", *World Dev.,* vol. 122, pp. 399–409, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.worlddev.2019.06.008.

[7] B. P. J. Andree, A. Chamorro, P. Cirillo, J. Kampmann, and D. Spencer, "Predicting food crises", *World Bank,* Washington, DC, USA, Policy Res. Working Paper 9413, Sep. 2020. [Online]. Available: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34510. Accessed: May 13, 2026.

[8] G. Martini et al., "Machine learning can guide food security efforts when primary data are not available", *Nat Food*, vol. 3, no. 9, pp. 716–728, Sep. 2022, doi: 10.1038/s43016-022-00587-8

[9] S. Gholami et al., "Food security analysis and forecasting: A machine learning case study in southern Malawi", *Data Policy*, vol. 4, Art. no. e33, Oct. 2022, doi: 10.1017/dap.2022.24

[10] M. Alelign, T. M. Abuhay, A. Letta, and T. Dereje, "Identifying risk factors and predicting food security status using supervised machine learning techniques", in *Proc. Int. Conf. ICT Develop. Africa (ICT4DA)*, Bahir Dar, Ethiopia, 2021, pp. 12–17, doi: 10.1109/ICT4DA53266.2021.9672230.

[11] M. T. Shamah-Levy et al., "Predictors of persistent moderate and severe food insecurity in a longitudinal survey in Mexico during the COVID-19 pandemic", *BMC Public Health*, vol. 24, Art. no. 1859, Jul. 2024, doi: 10.1186/s12889-024-19355-1.

[12] H. Rilkoff, S. Struck, C. Ziegler, L. Faye, D. Paquette, and D. Buckeridge, "Innovations in public health surveillance: An overview of novel use of data and analytic methods," *Can. Commun. Dis. Rep.*, vol. 50, no. 3/4, pp. 93–101, 2024, doi: 10.14745/ccdr.v50i34a02.

[13] United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, "Honduras — Subnational Administrative Boundaries (COD-AB)", *Humanitarian Data Exchange*, 2024. [Online]. Available: https://data.humdata.org/dataset/cod-ab-hnd. Accessed: May 13, 2026.

[14] United Nations Population Fund, "Honduras — Subnational Population Statistics", *Humanitarian Data Exchange*, reference year 2024. [Online]. Available: https://data.humdata.org/dataset/6203b8df-ef66-4e55-baba-6d8547438a77. Accessed: May 13, 2026.

[15] C. Funk et al., "The climate hazards infrared precipitation with stations: A new environmental record for monitoring extremes", *Sci. Data*, vol. 2, Art. no. 150066, Dec. 2015, doi: 10.1038/sdata.2015.66.

[16] Famine Early Warning Systems Network, "FEWS NET API", *FEWS NET Data Warehouse Knowledge Base*, 2026. [Online]. Available: https://help.fews.net/fdw/fews-net-api. Accessed: May 13, 2026.

[17] A. J. Tatem, "WorldPop, open data for spatial demography", *Sci. Data*, vol. 4, Art. no. 170004, Jan. 2017, doi: 10.1038/sdata.2017.4.

[18] M. Machefer et al., "A monthly sub-national Harmonized Food Insecurity Dataset for comprehensive analysis and predictive modeling", *Sci. Data*, vol. 12, Art. no. 741, May 2025, doi: 10.1038/s41597-025-05034-4.

[19] L. Breiman, "Random forests", *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, Oct. 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.

[20] F. Pedregosa et al., "Scikit-learn: Machine learning in Python", *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

[21] G. S. Collins et al., "TRIPOD+AI statement: Updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods", *BMJ*, vol. 385, Art. no. e078378, Apr. 2024, doi: 10.1136/bmj-2023-078378.

[22] S. M. Lundberg and S.-I. Lee, "A unified approach to interpreting model predictions", in *Proc. 31st Int. Conf. Neural Inf. Process. Syst. (NeurIPS)*, USA, 2017, pp. 4768–4777.

[23] P. Krishnamurthy, K. Lewis, and R. Choularton, "A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index", *Glob. Environ. Change*, vol. 25, pp. 121–132, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.11.004.

[24] M. Machefer et al., "Potential and limitations of machine learning modeling for forecasting Acute Food Insecurity", *Glob. Food Secur.,* vol. 45, Art. no. 100846, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.gfs.2025.100846.

[25] R. E. Black et al., "Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries," *Lancet*, vol. 382, no. 9890, pp. 427–451, Aug. 2013, doi: 10.1016/S0140-6736(13)60937-X.