

INFORME DE SIMULACIÓN DE ESCENARIOS AGROPRODUCTIVOS PARA EL CULTIVO DE PAPA, AÑO 2024

PIDARA

Proyecto Integral de Diversificación
Agroproductiva y Reconversión Agrícola



Ministerio de
Agricultura y Ganadería

INFORME DE SIMULACIÓN DE ESCENARIOS AGROPRODUCTIVOS PARA EL CULTIVO DE PAPA, AÑO 2024

Proyecto Integral de Diversificación Agroproductiva y Reconversión Agrícola-PIDARA

Elaborado por:

Triviño Zambrano Juan José

Quito – Ecuador

2025

RESUMEN

El objetivo del informe de simulación de escenarios agroproductivos de rubros agrícolas, es proporcionar una prospectiva de cómo diferentes variables y condiciones pueden afectar la productividad agrícola en el futuro. En este informe, se utilizan modelos de simulación para prever cómo podrían desarrollarse diferentes situaciones en función de cambios de factores claves en la productividad agrícola.

Palabras clave: simulación, rendimientos, papa

ABSTRACT

The objective of the simulation report on agricultural production scenarios is to provide a forecast of how different variables and conditions may affect agricultural productivity in the future. In this report, simulation models are used to predict how different scenarios could develop based on changes in key factors in agricultural productivity.

Keywords: simulation, yields, potato

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. METODOLOGÍA.....	6
2.1. Random Forest.....	6
2.2. Selección de variables.....	6
3. RESULTADOS.....	10
4. BIBLIOGRAFÍA.....	10

1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*) es un cultivo esencial para la seguridad alimentaria mundial y un pilar de los sistemas productivos de Ecuador. Considerada el cuarto rubro alimenticio más importante a nivel mundial después del maíz, arroz y trigo, su relevancia radica no solo en su capacidad nutritiva, sino en su contribución a la soberanía alimentaria y la economía rural. En Ecuador, las provincias de la región andina concentran la mayor parte de la producción, con rendimientos que, aunque en aumento, aún muestran brechas significativas en comparación con estándares internacionales.

La implementación de modelos de simulación, por ejemplo, SUBSTOR-POTATO y AquaCrop han demostrado ser una herramienta estratégica para abordar los desafíos agroproductivos de la papa en Ecuador. Estas herramientas permiten simular escenarios de crecimiento bajo diferentes condiciones climáticas, prever el impacto de plagas y enfermedades, además de optimizar recursos, como agua y fertilizantes. La combinación de técnicas de teledetección, sistemas de información geográfica (GIS) y modelación agronómica amplía el potencial de prácticas de agricultura de precisión, asegurando una gestión más eficiente y sostenible de los recursos agrícolas.

El sector enfrenta retos significativos: apenas el 3 % de los agricultores utilizan semillas certificadas, lo que perpetúa problemas de sanidad vegetal y disminución de rendimientos. Además, factores como: bajas temperaturas, exceso de lluvias y la presión de plagas (tizón tardío) contribuyen a pérdidas que pueden superar el 30 % de la producción anual. Las mujeres representan el 47 % de la fuerza laboral en este cultivo, evidenciando su rol fundamental en la sostenibilidad de las comunidades rurales. Sin embargo, la baja organización de productores (solo un 8 % pertenece a una asociación) limita la capacidad de implementar soluciones tecnológicas y económicas a escala.

Encuentros y reuniones temáticas de expertos y profesionales; así, en el X Congreso Ecuatoriano de la Papa han enfatizado en la necesidad de enfoques innovadores y sostenibles para aumentar la productividad de este tubérculo. Entre las innovaciones destacadas se encuentran prácticas como la biofertilización, el uso de variedades resistentes a condiciones extremas y la incorporación de tecnologías de monitoreo remoto para prever y mitigar impactos adversos. Estas iniciativas no solo buscan mejorar los rendimientos, sino también reducir el uso de agroquímicos y fortalecer la resiliencia frente al cambio climático.

El rubro de la papa en Ecuador, además de representar un componente esencial de la dieta nacional, es un motor económico y cultural. Para maximizar su potencial, es imperativo avanzar en la adopción de tecnologías modernas, mejorar la calidad de las semillas y fomentar la integración de modelos predictivos que permitan una planificación más efectiva. Este enfoque integrado, combinado con políticas públicas inclusivas puede garantizar una producción sostenible, resiliente y competitiva a nivel global.

La modelización de cultivos aparece como un enfoque alternativo para aumentar la eficiencia de la experimentación agronómica. De este modo, se ha convertido en una herramienta cada vez más valiosa para asimilar el conocimiento derivado de los experimentos de campo, integrados con los avances en tecnología informática. Estos modelos enfatizan la investigación basada en procesos; así pues, la simulación basada en procesos de plantas y suelos y, su respuesta a diferentes factores ambientales.

2. METODOLOGÍA

La presente metodología tiene como objetivo medir la sensibilidad del cultivo al tiempo y/o a las condiciones climáticas, mediante el desarrollo de un modelo de rendimiento basado en información meteorológica, para lograr este objetivo se necesita identificar los predictores apropiados.

2.1. Random Forest

Los modelos de árboles, el Random Forest, particularmente, son buenos para capturar complejidades no lineales y las interacciones entre variables sin la necesidad de especificar explícitamente estas relaciones.

El modelo de bosque aleatorio (Random Forest) es un algoritmo de aprendizaje automático no paramétrico que se puede aplicar para problemas de regresión (como, por ejemplo, predecir el rendimiento de un cultivo) además de clasificación (por ejemplo, clasificación de cultivos). El “bosque” que se construye es un conjunto de árboles de decisión, generalmente entrenados con el método “bagging”. La idea general de este método es que una combinación de modelos de aprendizaje aumenta el resultado general. Un algoritmo de Random Forest tiene varios parámetros de ajuste que deben configurarse antes del entrenamiento, en particular el tamaño del nodo, la cantidad de árboles y la cantidad de características.

En general cuando se utiliza Random Forest para regresión, el bosque predice tomando el promedio o la media de los resultados de todos los árboles. Por otro lado, cuando se utiliza para clasificación, cada árbol da un “voto”. Luego, el bosque elige la clasificación con la mayoría de los “votos”.

Para la regresión, la formulación matemática del modelo de Random Forest es:

$$\hat{y} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(x)$$

Donde:

- $\hat{y}$ es la predicción del modelo Random Forest,
- B es el número total de árboles en el bosque,
- $T_b(x)$ es la predicción del (b)-ésimo árbol de decisión, y
- x son las variables independientes o predictores.

Cada árbol T_b se construye a partir de una muestra bootstrap (muestra aleatoria con reemplazo) del conjunto de entrenamiento y en cada nodo de cada árbol, se selecciona un subconjunto aleatorio de características para determinar la mejor división.

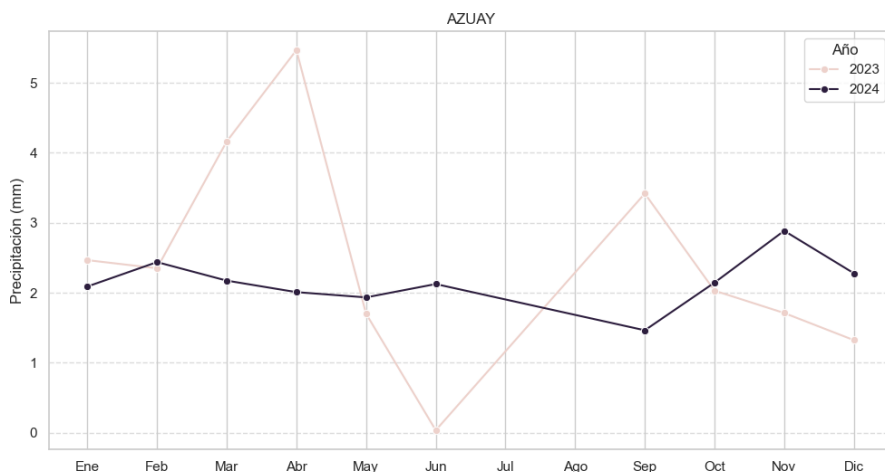
2.2. Selección de variables

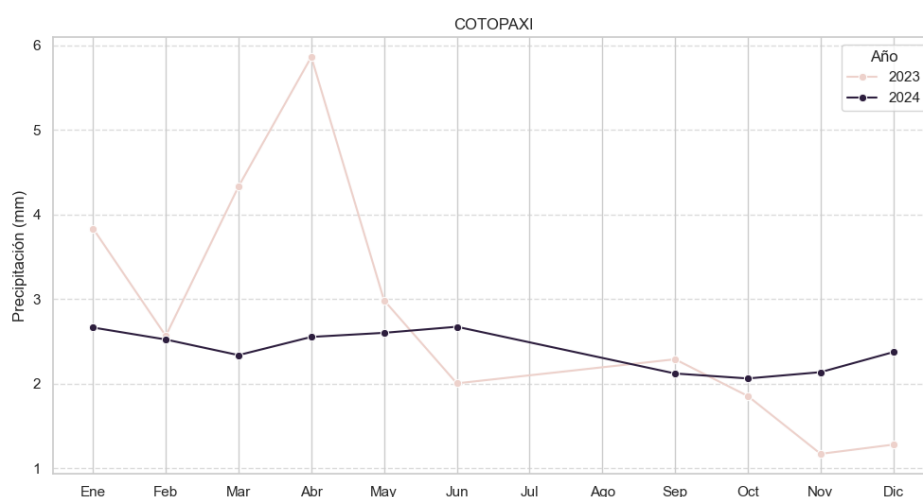
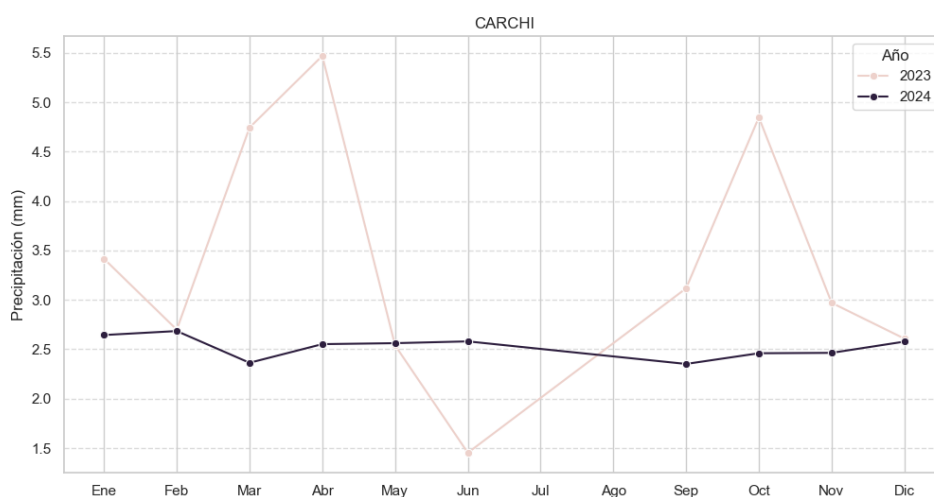
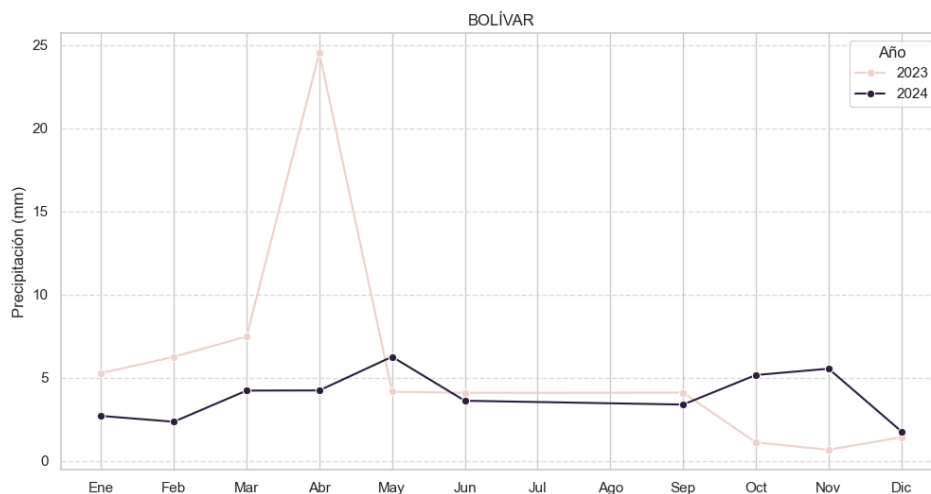
En problemas de modelización de cultivos, frecuentemente se necesita tanta información como sea posible en las variables de entrada del modelo; esto, debido a las complejas relaciones entre el clima y el rendimiento. Sin embargo, dichos procesos suelen estar caracterizados por conjuntos de datos con un número muy limitado de muestras. Este tamaño de muestra reducido por lo general requiere un modelo simple (con un nivel de complejidad no demasiado alto) para evitar el sobreajuste. Por lo tanto, es necesaria una selección de variables explicativas para limitar

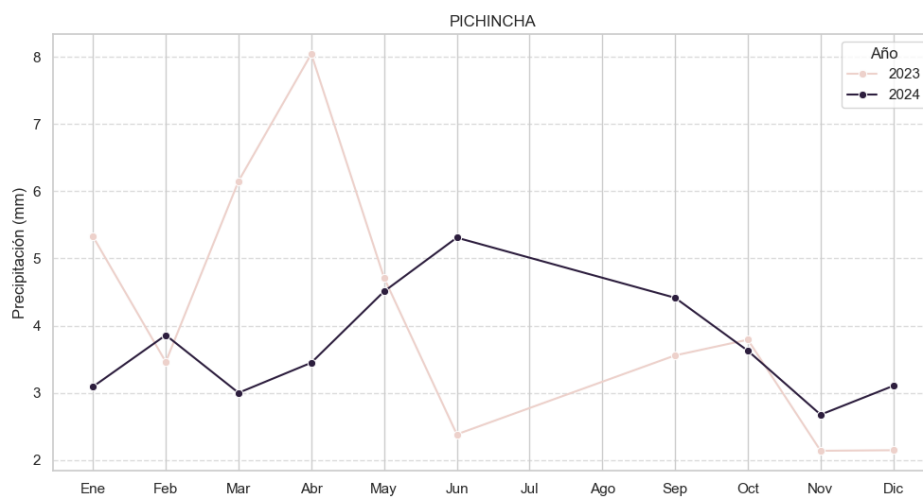
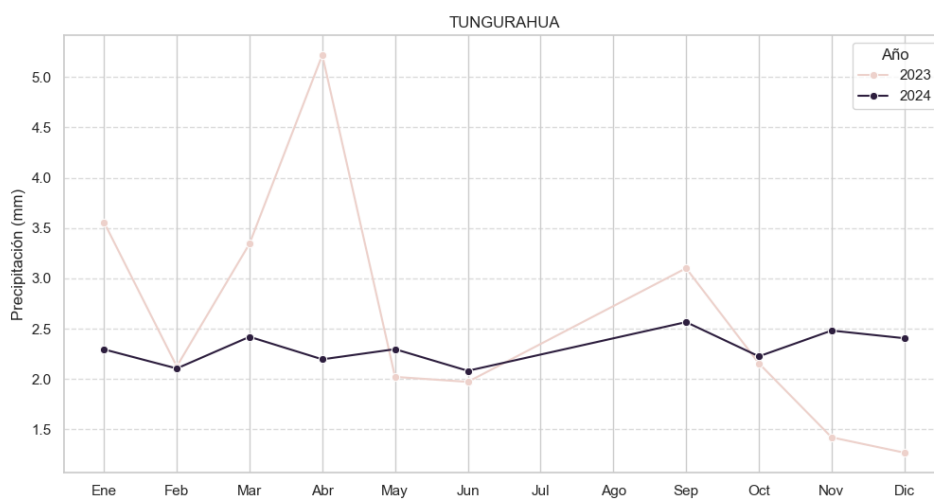
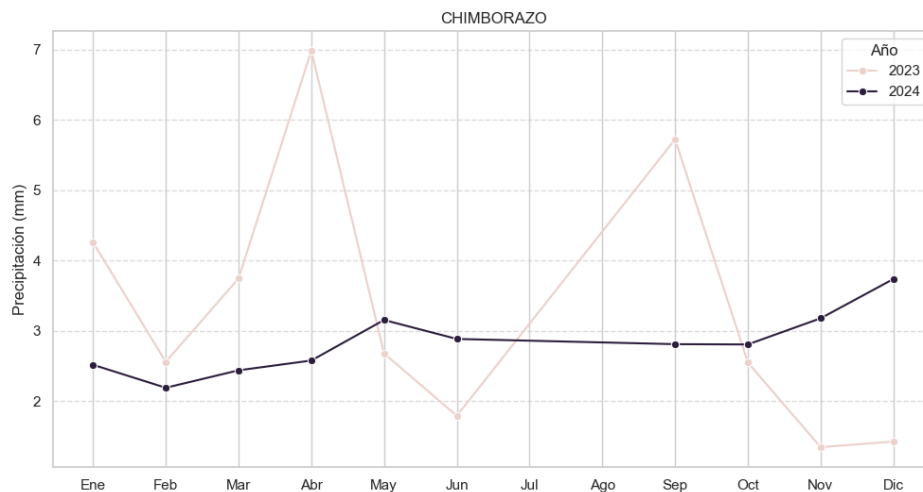
el número de entradas. En otras palabras, este método ayuda a limitar el número de parámetros del modelo y, por ende, su complejidad. Lo cual es parte del principio de parsimonia que privilegia modelos más simples sobre otros más complejos para un mismo nivel de rendimiento.

En este proceso de selección, se busca obtener la mejor combinación de predictores (variables explicativas) desde un punto de vista estadístico; sin embargo, este procedimiento a menudo tiene un costo computacional muy alto, ya que es necesario probar muchas combinaciones de predictores. Además, es imposible evaluar todos los modelos posibles y los valores de los parámetros de regularización en cada combinación posible. Por esta razón, se suelen considerar métodos más prácticos, como la selección hacia adelante, la eliminación hacia atrás o el método escalonado. Para realizar estos métodos se utiliza, a menudo, un proceso iterativo que permite establecer una jerarquía de las variables explicativas, desde unas pocas variables hasta muchas, incluso alrededor de un centenar de variables meteorológicas.

Gráfico 1. Comparativa de precipitación en las provincias productoras







3. RESULTADOS

Tabla 1. Comparativa de escenarios agroproductivos

PROVINCIA	Rendimientos 2023 (t/ha)	Rendimientos 2024 (t/ha)
AZUAY	18.45	21.92
BOLÍVAR	38.56	37.87
CARCHI	52.91	49.87
CHIMBORAZO	40.52	37.06
COTOPAXI	17.45	18.47
PICHINCHA	42.22	40.78
TUNGURAHUA	39.07	42.72

Se analizaron los rendimientos del cultivo de papa en siete provincias clave de la región andina de Ecuador, bajo dos escenarios climáticos diferentes: uno correspondiente a las condiciones registradas en el año 2023 y otro basado en el clima de 2024. Los resultados reflejan variaciones en los rendimientos debido a las diferencias en las condiciones climáticas.

En el escenario de 2023, la provincia con el mayor rendimiento fue Carchi, con 52,91 toneladas por hectárea, seguida de Pichincha y Chimborazo, con 42,22 y 40,52 toneladas por hectárea, respectivamente. Por otro lado, Cotopaxi registró el menor rendimiento, alcanzando apenas 17,45 toneladas por hectárea, evidenciando posibles limitantes agroproductivas relacionadas con las condiciones locales.

Para el escenario proyectado, del año 2024, se observa una disminución generalizada en los rendimientos en varias provincias, destacando Chimborazo con una reducción significativa de 40,52 a 37,06 toneladas por hectárea y Carchi, que bajó de 52,91 a 49,87 toneladas por hectárea. Sin embargo, provincias como Azuay y Cotopaxi mostraron incrementos moderados, alcanzando 21,92 y 18,47 toneladas por hectárea, respectivamente; lo que podría estar asociado a una mejor adaptación a las condiciones climáticas o prácticas agronómicas mejoradas.

En términos generales, las variaciones en los rendimientos entre los dos escenarios subrayan la importancia de considerar las fluctuaciones climáticas en la planificación de estrategias de manejo del cultivo de papa. Estos resultados resaltan la necesidad de adoptar tecnologías y prácticas agrícolas adaptativas para mitigar los efectos del cambio climático y maximizar la productividad, en las diferentes regiones productoras del país.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Racines, M., Cuesta, X., Montero, B., Cuasapaz, P., Panchi, N., Benavidez, H. (Eds). 2023. Libro de Memorias del X Congreso Ecuatoriano de la Papa. San Gabriel, Ecuador. Pp 148.
- Divya, K.L., Mhatre, P.H., Venkatasalam, E.P. *et al.* Crop Simulation Models as Decision-Supporting Tools for Sustainable Potato Production: a Review. *Potato Res.* **64**, 387–419 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09483-9>