

DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ DURO SECO

Moreno Aguirre, B.
Salvador Sarauz, S.

*Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del
Sistema de Información Nacional
Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
Quito, Ecuador*

*bmoreno@magap.gob.ec
dapi@magap.gob.ec*

RESUMEN

El incremento de la producción de maíz duro seco en 90% durante los últimos cuatro años es explicada por el aumento del rendimiento en más del 50% durante el mismo período, mas no por la expansión de la superficie cultivada. La modelización del rendimiento por medio de mínimos cuadrados ordinarios para estimadores robustos indicó que esta variable tiene un comportamiento diferente durante el ciclo de invierno y verano respecto al uso de los distintos insumos. Durante el ciclo de invierno se observa que la producción aumenta en 0.5 t/ha en promedio, si el volumen de agua disponible asciende a 150 mm³, el uso de fertilizantes incrementa en 3 qq/ha o la superficie del cultivo se expande en 25 ha; y en 0.83 t/ha si se utiliza un paquete tecnológico de alto rendimiento. Por otro lado durante el ciclo de verano se evidencia que la producción aumenta en 0.5 t/ha en promedio cuando la siembra del cultivo se realiza en suelo apto para maíz duro seco, el volumen de agua disponible aumenta en 200 mm³, se incrementa el uso de fertilizantes en 2 qq/ha o se expande la superficie del cultivo en 6 ha. El rendimiento que se puede alcanzar bajo las condiciones óptimas para los dos ciclos es de 9.5 t/ha; lo cual requeriría el aumento del riego en 370 mm³ para invierno y 1070 mm³, para que el uso de 9.4 qq/ha de fertilizantes adicionales en invierno y de 8.5 qq/ha en verano, y la expansión del hectareaje promedio en 74 ha en invierno y 14 ha en verano.

ÍNDICE

Resumen

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 El Cultivo de Maíz en el Ecuador
- 1.2 Factores de la producción y el rendimiento

2. OBJETIVO

- 2.1 Datos
- 2.2 Modelo

3. RESULTADOS

- 3.1 Función de producción de invierno
- 3.2 Función de producción de verano

4. CONCLUSIONES

5. ANEXO

- 1 Invierno
 - 1.1 Resultados
 - 1.2 Validación Supuestos
 - 1.2.1 Multicolinealidad
 - 1.2.2 Homocedasticidad
 - 1.2.3 Normalidad
 - 1.2.4 Autocorrelación
 - 1.3 Ajuste del Modelo
- 2. Verano
 - 2.1 Resultados Modelo
 - 2.2 Validación Supuestos
 - 2.2.1 Multicolinealidad
 - 2.2.2 Homocedasticidad
 - 2.2.3 Normalidad
 - 2.2.4 Autocorrelación
 - 2.2.5 Ajuste del Modelo

1. INTRODUCCIÓN

1.1 *El Cultivo de Maíz en el Ecuador*

Durante los últimos doce años, el maíz ha sido uno de los principales cultivos en el Ecuador en términos tanto de hectareaje como de producción, ubicándose como el tercer producto con mayor superficie cosechada, representando entre el 13% y 15% de la superficie total nacional, y el quinto producto con mayor producción, representando entre el 3% y el 7% de la producción nacional.(INEC, 2014)

Se considera un cultivo de alto potencial económico y seguridad alimentaria, debido a su uso en la alimentación humana y en la elaboración de balanceados para la industria pecuaria. A causa del crecimiento de la población y de la industria aviar, porcina y ganadera el consumo de maíz duro seco creció en 60% entre el período 2002-2011.(INEC, 2014)

Ante el aumento de las importaciones (40% entre 2002-2011) (BCE, 2014) que acompañó el crecimiento del consumo, el Gobierno Nacional generó una serie de políticas de incentivos productivos, con el objetivo de convertir al Ecuador en un país autosuficiente de maíz. De esta manera, la producción creció durante el período de 2011-2014 en 90%, mientras que, en el período 2008-2011 creció 8% (INEC, 2014; MAGAP, 2014).

El aumento de la producción no es justificado por un incremento en la superficie sembrada, dado que esta creció solo el 9% durante el mismo período. En su defecto, la evolución de la producción total de maíz es explicada por el crecimiento del rendimiento en más del 50% entre los años 2011-2014.(INEC, 2014; MAGAP, 2014)

Este estudio pretende evaluar a través de una función de producción promedio cuáles son los factores que influyen en la variación del rendimiento del cultivo de maíz. De manera que se identifique la relación entre el rendimiento y las distintas variaciones en el manejo del cultivo.

A continuación a manera de introducción se presentan los requerimientos agronómicos del cultivo de maíz y las relaciones esperadas, de acuerdo a la teoría, entre cada uno de los principales factores de la producción y el rendimiento.

El resto del documento se organiza en tres secciones. En la primera sección se presenta la metodología utilizada, describiendo los datos procesados y el modelo econométrico generado. En la segunda sección se detallan los resultados, sus interpretaciones y las pruebas realizadas al modelo. Finalmente en la tercera sección se exponen las conclusiones del estudio.

1.2 *Factores de la Producción y el Rendimiento*

El maíz es una planta de gran adaptabilidad con la capacidad de responder ante diferentes medios. Sin embargo, cada variedad adaptada a su medio desarrolla necesidades agroecológicas muy específicas, por lo que resulta muy sensible al estrés. En este sentido, una corrección en el manejo agronómico del cultivo obtiene mejoras significativas en el rendimiento. Dicho manejo agronómico se perfila en función de las relaciones observadas entre los factores de la producción y el rendimiento. (Cirilo, s.f.)

Las relaciones establecidas en la literatura entre el rendimiento y los distintos factores de la producción, tales como agua, luz, calor, fertilizantes y semilla, constituyen la base teórica de este estudio y permitirán definir la forma funcional de cada una de las variables presentes en el modelo.

Los requerimientos agroecológicos del maíz de tierras bajas sugieren desarrollar el cultivo a 0-500 msnm, en suelos francos con buen drenaje y profundos donde se registre una temperatura promedio de 25 °C y se reciba 1000-2000 mm de precipitación durante todo el ciclo. Adicional, se recomienda utilizar 5-7 qq/ha de fertilizantes nitrogenados, 2-3 qq/ha fertilizantes fosforados y 2-3 qq/ha de fertilizantes potásicos. Se sugiere ocupar 16 kg/ha de semilla para obtener una densidad de 55,000 – 65,000 pl/ha, sembrando con un distanciamiento entre surco de 0.8 a 0.4 cm entre postura. (Villavicencio, Vásquez, 2008; Egúez, Pintado, 2011)

La textura del suelo afecta al rendimiento, debido a que determina la capacidad del mismo para retener y drenar agua y aire permitiendo eliminar el agua en exceso, retener la humedad en época de sequía y proporcionar una buena respiración a la planta (FAO, 2006). Se recomienda realizar el cultivo de maíz en suelos de textura fina a media; especialmente en suelos de tipo franco-limosos, franco-arcillosos y franco arcillo-limoso (Ruiz et al. 2013). Se prefieren estos tipos de suelos, puesto a que son relativamente sueltos, tienen alta fertilidad debido a la presencia de limos y alta retención de agua, a causa de la presencia de arcilla. Se espera que el rendimiento del cultivo sea mayor cuando se realiza en suelos de este tipo.

La importancia de la temperatura proviene de su incidencia en la germinación de la semilla y en los procesos vegetativos de la planta. Una temperatura cálida durante la siembra y las últimas semanas del ciclo son positivas, debido a que reducen la duración del ciclo, pues propician una rápida germinación de la semilla y maduración del

grano (Segura, Andrade, 2011). Sin embargo, temperaturas superiores a los 35 °C tienen efectos negativos sobre la fotosíntesis, la traslocación, la fertilidad de las florecillas, el éxito de la polinización y otros aspectos del metabolismo que reducen la productividad de la planta (Lafitte, s.f.). En este sentido, la relación que se espera entre la temperatura y el rendimiento sigue una curva en U invertida.

La cantidad de agua y su distribución a lo largo del ciclo vegetativo de la planta son fundamentales para el crecimiento y el rendimiento del cultivo (Llanos 1984). De manera que si existe sequía durante el establecimiento del cultivo las plántulas mueren reduciendo su población; durante la etapa de floración se reduce la formación de granos y de mazorcas; o durante el llenado del grano se obtiene un llenado parcial y más lento (Lafitte, s.f.). Por otro lado si existen inundaciones durante el ciclo productivo de la planta se reduce el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes disminuyendo la capacidad productiva de la planta (Lafitte, s.f.). Por este motivo, la relación que se espera entre la precipitación y el rendimiento también sigue una curva en U invertida.

El maíz es muy exigente en elementos nutritivos, comparado con otros cultivos (Deras, s.f.). La fertilización es una labor importante en el desarrollo del cultivo, puesto que aporta a la planta los nutrientes esenciales que no se encuentran disponibles en la composición natural del suelo. Los macronutrientes de mayor deficiencia en los suelos de los trópicos son el nitrógeno, fósforo y potasio (Lafitte, s.f.). Deficiencias de cualquiera de estos conlleva la reducción del crecimiento de las hojas, las mazorcas y los granos; por lo que se obtiene una menor producción (Lafitte, s.f.). Sin embargo, se debe considerar que un uso excesivo de fertilizantes puede producir acidez en los suelos (Egüez, Pintado, 2011). Cuando esto ocurre se produce una cierta toxicidad en el suelo que limita el crecimiento de la planta (Lafitte, s.f.). La relación esperada entre el rendimiento y la cantidad de fertilizante utilizado es igual que las dos variables anteriores, de incrementos decrecientes.

Adicional, existen otros elementos del manejo del cultivo ajenos a las características biológicas que inciden en el rendimiento. Los más importantes de estos elementos son el paquete tecnológico utilizado y la tecnificación del cultivo. Un paquete tecnológico se compone de insumos agroquímicos, fertilizantes y semillas de similares calidades que determinan la capacidad productiva de la planta. Por otro lado, la tecnificación implica la mecanización de labores culturales y la construcción de infraestructura productiva. La aplicación de paquetes tecnológicos de alto rendimiento o paquetes acordes a la calidad del suelo y variedad sembrada incrementan el rendimiento del cultivo, debido a que aportan los nutrientes necesarios para el desarrollo de la planta y protegen a la misma de plagas

y enfermedades (FUNPROVER, 2013). De la misma forma, la tecnificación como la implementación del riego por goteo o la mecanización de la siembra resulta en el aumento del rendimiento, debido a que propicia un mejor aprovechamiento de los recursos y homogeniza la labor cultural realizada (Olvera, Ojeda, Bahena, Alpuche, 2014; Granados s.f.).

En resumen, se esperan altos rendimientos en ambientes que presenten alta radiación, elevada amplitud térmica, no posean limitantes hídricas o nutricionales importantes, y cuyo cultivo sea manejado de manera mecanizada y técnica.

2. METODOLOGÍA

2.1 Datos

Los datos utilizados en este estudio provienen de las bases disponibles del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca del Ecuador - MAGAP.

Las variables de manejo del cultivo tales como nivel de fertilización, tipo de semilla, tipo de riego, paquete tecnológico y superficie sembrada se obtuvieron de los Operativos de Rendimientos Objetivos realizados por el MAGAP para el cultivo de maíz durante los ciclos de invierno y verano del 2014.

Los Operativos de Rendimientos Objetivos consisten en el levantamiento de información aleatoria de las principales características y del rendimiento del cultivo mediante la cosecha de una muestra y la realización de una encuesta al productor.

La información recopila una serie de corte transversal con 416 observaciones de productores en el ciclo de invierno y de 388 productores en el ciclo de verano, correspondientes a las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena y Loja.

La información edafológica utilizada es la textura del suelo, misma que se obtuvo de la información georeferenciada del proyecto “Generación de información geográfica para la gestión del territorio a nivel nacional”, escala 1:25,000 realizada por MAGAP-IEE (2009-2013). La textura utilizada se encuentra clasificada de acuerdo a su clase: en arenoso, franco, limoso, arcilloso, etc. Esta información se obtuvo a nivel parroquial y fue asignada a cada productor según su ubicación geográfica.

Las variables climatológicas de precipitación y temperatura se obtuvieron del reporte mensual del 2014, realizado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. La precipitación corresponde a la acumulada del ciclo productivo (4 meses) de cada agricultor,

mientas que la temperatura al promedio. Estas se calcularon a nivel provincial y se asignaron a cada observación en función de su ubicación geográfica y fecha de siembra.

2.2 Modelo

Con base a las relaciones de incrementos decrecientes descritas anteriormente entre los insumos productivos y el rendimiento se determinó el siguiente modelo teórico:

$$R = T-T2 + P-P2 + F-F2 + Ap \\ + Var + Pt + Sup + \mu$$

Dónde:

R: Rendimiento al 1% de impureza y 13% de humedad (t/ha)

T: Temperatura promedio del ciclo (°C)

P: Precipitación acumulada del ciclo (mm³)

F: Fertilización aplicada (qq/ha)

Ap: Aptitud del suelo (Dummy)

Var: Variedad/híbrido de alto rendimiento (Dummy)

Pt: Paquete tecnológico (Dummy)

Sup: Superficie sembrada el cultivo (ha)

μ: Término de perturbación estocástica

Se incluyen polinomios de las variables temperatura, precipitación, fertilización y cantidad semilla porque la relación entre estas y el rendimiento es de incrementos decrecientes hasta que alcanzan un punto máximo y empieza a decrecer (U invertida). Permiten obtener el punto de inflexión y distinguir el efecto antes y después de este.

La variable dummy aptitud del suelo busca reflejar la importancia de sembrar en suelos aptos para el cultivo de maíz en la obtención de altos rendimientos. Esta variable toma el valor de 1 si el suelo es apto para el cultivo, es decir si la textura corresponde a la recomendada (franco, franco limoso, franco arcilloso, franco arcillo limoso) y 0 si no lo es.

La variable dummy variedad permite identificar la incidencia de la calidad del material vegetativo en el rendimiento. Toma el valor de 1 si la semilla o plántula utilizada corresponde a una variedad o híbrido específico de alto rendimiento y 0 de lo contrario.

La variable dummy paquete tecnológico de alto rendimiento busca identificar el efecto en el rendimiento del uso de insumos de alta calidad. Toma el valor de 1 si el productor utilizó en la producción el Kit del programa Plan Semilla de Alto Rendimiento subsidiado por el Estado.

La variable superficie sembrada se utiliza como una proxy del nivel de tecnificación y un mayor uso de recursos productivos. Debido a las economías de escala agropecuaria que maximizan el acceso a las fuentes de producción, existe una fuerte correlación entre el tamaño del productor y su

capacidad de inversión en infraestructura y mecanización, así como también su capacidad de adquisición de insumos productivos de alta calidad y conocimientos técnicos sobre el buen manejo del cultivo. De esta manera se espera que a mayor superficie sembrada, se obtenga mayor rendimiento.

El término de perturbación estocástica es un componente aleatorio que recoge la variación en el rendimiento que no es explicado por las variables independientes utilizadas en este modelo. En este sentido, término este refleja la variación del rendimiento ocasionada por variables aleatorias no cuantificables, tales como la suerte o la presencia de enfermedades o plagas en el cultivo.

La herramienta estadística escogida para la identificación de los factores que más inciden en el rendimiento del cultivo de maíz es el análisis de Regresión Lineal, siguiendo el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios – MCO, ajustado para estimadores robustos.

Se aplicó esta metodología dada la consideración que se cumplen los supuestos de linealidad de parámetros, no multicolinealidad entre las variables independientes, y exogeneidad entre las variables independientes y el error; mismos permiten obtener estimadores consistentes y eficientes. Se utilizan estimadores robustos, debido a que el modelo presenta problemas de heterocedasticidad, y la implementación de la varianza muestral permite que los estimadores sean además insesgados.

La congruencia estadística del modelo y sus estimadores se determinó por medio del ajuste del modelo medido por el coeficiente de determinación R², la significancia global de la ecuación medida por el estadístico F, la significancia individual de las variables medidas por el estadístico t-Studenty, la demostración del cumplimiento de los supuestos del modelo a través de las pruebas de correlación, el test de White, el test de Asimetría y Kurtosis, y el test de Durbin Watson. Adicional se probó por errores de especificación utilizando los criterios de información de Akaike y Schwarz. En el Anexo 1 se presentan los resultados de cada una de las pruebas mencionadas.

3. RESULTADOS

El análisis descriptivo de la información recopilada, previo a la modelización, develó diferencias estructurales en el manejo y desarrollo del cultivo durante el ciclo de invierno y de verano. La diferencia en la disponibilidad de agua propicia el desarrollo del cultivo bajo condiciones diferentes. Siendo así que durante el verano siembran en su gran mayoría solo aquellos productores que cuentan con una infraestructura de riego; mientras que en el invierno siembran todos aquellos que cuentan con un terreno más o menos apto para el cultivo.

Considerando que la implementación de una infraestructura de riego requiere de una mayor inversión, se relaciona al cultivo de maíz durante el ciclo de verano con un manejo más tecnificado y con insumos de alto rendimiento.

Para comprobar si estas diferencias son estadísticas o solo descriptivas, se realizó la prueba de Chow¹. Los resultados confirman que existe un cambio estructural² en el comportamiento del rendimiento y por ello resulta mejor plantear dos regresiones, una para cada ciclo, que tendrán mayor ajuste que una regresión para los dos ciclos en conjunto.

3.1 Función de producción de invierno

El modelo utilizado para el ciclo de invierno es:

$$R = T + P + F + Dk + Advanta + Pt + Sup + \mu$$

El análisis descriptivo de las variables permitió develar que el nivel de fertilización durante el ciclo de invierno no supera lo recomendado por el INIAP (2008)³, por lo cual no resulta necesario incluir el polinomio de la fertilización.

De igual manera no es necesario incluir el polinomio de la temperatura y precipitación, puesto que sus valores más altos (27 °C y 1,080 mm³) se encuentran por debajo de los límites superiores 30 °C y 2,000 mm³ de los rangos recomendados para el cultivo de maíz.

Los híbridos de mayor rendimiento y uso incluidos en el modelo son DK 7088, Advanta Insignia.

Reemplazando los valores resultantes de la estimación se tiene:

$$R = 0.03T + 0.003P + 0.14F + 0.61Dk + 0.1.45Ad + (0.00) (0.00) (0.00) (0.74) (0.01) + 0.83Pt + 0.02Sup (0.06) (0.00)$$

El modelo estimado presentó un buen grado de ajuste, explicando en un 89% la variación de la variable dependiente. Tanto el valor estadístico F como los t-Student indican al 95% de confianza que las variables explicativas del modelo son estadísticamente significativas en su conjunto e individualmente.

Que la variable aptitud del suelo no sea estadísticamente significativa, no implica que el tipo de suelo no incida en el rendimiento, sino únicamente que la muestra no permite distinguir apropiadamente el efecto.

¹La prueba de Chow consiste en la ejecución de una prueba de hipótesis que compara la igualdad de los coeficientes estimados de un mismo modelo para dos grupos distintos.
²El estadístico obtenido es igual a 8,16 que supera el valor crítico de la distribución F con (9,792) grados de libertad.

Realizando un análisis de los signos de los coeficientes, estos son congruentes con los esperados. Lo que refleja que un aumento en la temperatura, precipitación y fertilización por debajo de los 30 °C, 2000 mm³ y 16 qq/ha ayudan a obtener un mayor rendimiento. Asimismo, utilizar un paquete tecnológico de alto rendimiento y tecnificar el cultivo propicia un mayor rendimiento. Adicional, se observa que el uso de los híbridos DK7088, Advanta Insignia, aumenta la productividad del cultivo.

La temperatura registrada en el ciclo no presenta una gran variación, siendo así que el 88% de los productores registran temperaturas de 26 °C y 27 °C. Un aumento de la temperatura en 0.5 °C genera en promedio un incremento en la producción de 0.015 t/ha.

En contraste, la precipitación registrada durante el ciclo presenta una alta variación entre las distintas zonas maiceras, oscilando desde los 400 mm³ y los 1.090 mm³. El 50% de los productores recibieron menos de 830 mm³ de agua por medio de la precipitación. Por cada 100 mm³ de agua adicional que estos pudiesen recibir durante todo su ciclo productivo su rendimiento incrementaría en promedio en 0.3 t/ha. Aumentar 100 mm³ de agua durante todo el ciclo implicaría aplicar una lámina de 0.83 mm³ de riego diariamente.

De igual manera, la fertilización total por hectárea reportada por los agricultores presenta una alta variación, encontrándose entre 0-16 qq/ha. El volumen de fertilización promedio por hectárea es de 6.6 qq/ha; de donde el 50% de los productores utilizan 7 o más quintales de fertilizante por hectárea. Si el uso de fertilizante aumentase en 2 qq/ha, la producción podría aumentar en promedio 0.28 t/ha.

Por otro lado, si se utiliza un paquete tecnológico de alto rendimiento, la producción aumenta en promedio en 0.83 t/ha. Considerando que el 38% de los productores reportaron utilizar un paquete tecnológico de alto rendimiento, extender la cobertura del Programa Plan Semilla de Alto rendimiento que permite a los agricultores acceder a paquetes tecnológicos de alto rendimiento incrementaría relevantemente la productividad del cultivo de maíz en el Ecuador.

En concordancia con lo último expuesto, si se utilizan los híbridos (de alto rendimiento) DK7088, Advanta Insignia, el rendimiento es en promedio 0.61 t/ha y 1.45 t/ha respectivamente, más alto que si se utilizan otras variedades o híbridos. Durante el ciclo de invierno se observa el uso de una amplia gama de variedades, mejoradas e híbridos. Reducir el uso de variedades nativas y aumentar el uso de los tres híbridos mencionados

³Se recomienda utilizar 5-7 qq/ha de nitrógeno, 2-3 qq/ha de potasio, 2-3 qq/ha de fósforo, 4 qq/ha sulfato de amonio y 3-4 qq/ha de magnesio y azufre (INIAP, 2008).

⁴La variable Pionner es estadísticamente significativa al 90% de confianza. El resto de variables significativas del modelo son estadísticamente significativas al 95% de confianza. La significancia estadística implica que la probabilidad de que los coeficientes sean iguales a 0 es menor al 10% en el primer caso y 5% en el segundo caso.

implicaría un mayor rendimiento. Dado que el 20% de los productores reportan actualmente utilizar cualquiera de estos dos híbridos, resulta viable el aumento de su uso.

Por último, se obtiene que para aumentar en promedio la productividad en 0.5 t/ha, el tamaño de la superficie sembrada debe incrementar en 25 ha. En este sentido bajo el modelo propuesto, se requieren de 25 ha para alcanzar economías de escala y acceder a un mayor nivel de mecanización y tecnificación. Considerando que el hectareaje promedio sembrado es de 3 - 5 ha, se puede afirmar que se requiere que se asocien entre cinco y ocho productores para realizar un cultivo más tecnificado.

Estos resultados probaron⁵ ser consistentes e inesgados al cumplir con los supuestos de linealidad en los parámetros, no multicolinealidad entre las variables independientes, exogeneidad, y normalidad de los errores; y al estar correctamente especificados. Además los resultados mostraron ser eficientes, a pesar de presentar problemas de heterocedasticidad, debido a la utilización de la varianza estimada muestral.

3.2 Función de producción de verano

El modelo utilizado para el ciclo de verano es:

$$R = T + P + F + Ap + Dk + Sup + \mu$$

Una vez más el análisis descriptivo de las variables demostró que el modelo no requiere de los polinomios de las variables temperatura, precipitación y fertilización, debido a que los valores registrados no superan los límites superiores recomendados para el cultivo de maíz duro seco en tierras bajas.

Durante este ciclo se registra el uso únicamente de híbridos de alto rendimiento. Entre los híbridos de mayor uso el único cuyo rendimiento sobresale es Dk7088, razón por la cual es el único tipo de material vegetativo incluido en el modelo.

Reemplazando los valores resultantes de la estimación se tiene:

$$R = 0.11T + 0.002P + 0.22F + 0.58Ap + 0.61Dk + 0.09Sup$$

(0.00) (0.00) (0.00) (0.05)⁶ (0.05) (0.00)

El modelo estimado presentó un buen grado de ajuste, explicando en un 86% la variación de la variable dependiente. Al 95% de confianza, tanto el valor estadístico F como los t-Student indican que las variables explicativas del modelo son estadísticamente significativas en su conjunto e individualmente.

Al analizar los signos de los coeficientes obtenidos, se observa que estos son congruentes con los esperados. En este sentido el aumento de la temperatura, precipitación y la fertilización por debajo del límite de 30 °C, 2,000 mm y 16 qq/ha genera un mayor rendimiento. De igual manera la siembra en suelo apto, el uso del híbrido Dk 7088, y una mayor tecnificación incrementan la productividad del cultivo durante este ciclo.

Al igual que en el ciclo anterior, la temperatura registrada no presenta una gran variación, siendo así que el 93% de los productores registran temperaturas de 25 °C y 26 °C. Se observa que el aumento de la temperatura en 0.5 °C genera en promedio un incremento en la producción de 0.05 t/ha.

Una vez más, la precipitación registrada durante el ciclo presenta una alta variación entre las distintas zonas, oscilando desde los 9 mm³ y los 519 mm³. La precipitación acumulada promedio durante este ciclo es de 130 mm³, lo cual refleja la presencia de uso de riego durante este ciclo. Por cada 100 mm³ de agua adicional que estos pudiesen recibir durante todo su ciclo productivo su rendimiento incrementaría en promedio en 0.2 t/ha. Al igual que en invierno, aumentar 100 mm³ de agua durante todo el ciclo implicaría el uso de una lámina de 0.83 mm³ de riego diariamente.

La fertilización total por hectárea reportada por los agricultores presenta una alta variación, encontrándose entre 0 - 15 qq/ha. El volumen de fertilización promedio por hectárea es 7,53 qq/ha, en donde el 50% de los agricultores utilizan 7 o más quintales de fertilizante por hectárea. Si el uso de fertilizante aumentase en 2 qq/ha, la producción podría aumentar en promedio 0,44 t/ha.

Durante este ciclo se observa que la realización del cultivo en suelo apto para el mismo, es decir en suelo cuya textura sea franco, franco limoso, franco arcilloso, o franco arcillo limoso genera un aumento del rendimiento en 0.58 t/ha. Debido a que el 85% de los productores reportan realizar el cultivo en suelo apto, se considera que la disminución en el rendimiento nacional ocasionada por un mal uso del suelo no es económicamente relativa.

Adicional, si se utiliza un paquete tecnológico de mayor calidad que incluya el híbrido (de alto rendimiento) DK7088 el rendimiento es en promedio 0.61 t/ha más alto que si se utilizan otras variedades o híbridos. Dado que el 16% de los productores reportan actualmente utilizar este híbrido, resulta viable el aumento de su uso.

⁵Para ver los resultados de todas las pruebas realizada ver el Anexo 1. Las variables Aptitud del Suelo y Dk7088 son estadísticamente significativas al 90% de confianza.

⁶El resto de variables son estadísticamente significativas al 95% de confianza. La significancia estadística implica que la probabilidad de que los coeficientes sean iguales a 0 es menor al 10% en el primer caso y 5% en el segundo caso.

Por último, se obtiene que para aumentar en promedio la productividad cerca de media tonelada por hectárea, el tamaño de la superficie sembrada debe incrementar en 6 ha. Dado que el 54% de los agricultores siembran menos de 2 ha y un 26% adicional siembran entre 2 y 5 ha, incrementar la superficie del cultivo en 12 ha implicaría la asociación de 2 a 3 productores.

Estos resultados se probaron⁷ consistentes e insesgados al cumplir con los supuestos de linealidad en los parámetros, no multicolinealidad entre las variables independientes y exogeneidad, y normalidad de los errores; y al estar correctamente especificados. El modelo presenta heterocedasticidad, razón por la cual se utiliza la varianza muestral estimada, lo que permite obtener resultados eficientes.

4. CONCLUSIONES

El análisis descriptivo y la prueba de Chow muestran que existe una diferencia estructural en el comportamiento del rendimiento y los principales insumos entre el ciclo de verano y el de invierno. Razón por la cual es necesario hacer un modelo específico para cada ciclo.

Se evidencia que las variables que generan un mayor incremento en la producción durante el invierno son el aumento de la disposición de agua, la fertilización, y el uso de paquetes tecnológicos de alto rendimiento. Tanto el aumento del agua disponible durante el ciclo en 100 mm³ como el incremento del uso de fertilizantes en 2 qq/ha generan un aumento de la producción en 0.3 t/ha. Por otro lado se observa que el uso de paquetes tecnológicos de alto rendimiento, tales como los provistos por el programa Plan Semilla de Alto Rendimiento del MAGAP, incrementan la producción en 0.83 t/ha. De los paquetes tecnológicos utilizados, aquellos que contienen los híbridos Dk 7088 y Advanta Insignia tienen una especial incidencia en el rendimiento, aumentando la producción en 0.61 t/ha, 1.45 t/ha adicionales respectivamente. Debido a que solo el 39% de los agricultores reportaron participar en el programa Plan Semilla de alto Rendimiento y el 20% indicaron utilizar estos híbridos, se considera viable la expansión del uso paquetes tecnológicos de alto rendimiento.

Respecto al modelo aplicado al ciclo de verano, se observa que las variables que más inciden en el rendimiento son el aumento de la disposición de agua, la fertilización, la siembra en suelo apto, la calidad de la semilla y la tecnificación-mecanización del cultivo. El aumento de la disposición de agua en 100 mm³, por debajo de los requerimientos máximos del cultivo, incrementan el rendimiento en promedio 0.2 t/ha. Por

otro lado, el aumento de la fertilización en 2.5 qq/ha, la siembra del cultivo en suelo apto para maíz duro seco, el uso del híbrido Dk 7088 o la expansión de la superficie del cultivo en 6 ha, genera un aumento de la producción en aproximadamente media tonelada.

Al comparar los dos ciclos, se puede observar que las variables precipitación, fertilización y tecnificación-mecanización además de ser estadísticamente significativas son económicamente relevantes, debido a que generan incrementos en el rendimiento promedio en aproximadamente 10% y requieren de un ajuste viable del manejo del cultivo.

El aumento requerido en la disponibilidad de agua es mayor en verano que en invierno; de manera que para producir 0.5 t/ha adicionales se requieren 170 mm³ de agua adicionales durante todo el ciclo, mientras que en verano se requieren 250 mm³.

En contraste, el aumento requerido en la fertilización y la superficie sembrada es mayor en invierno. De manera que para aumentar la producción en 0.5 t/ha en invierno se requiere aumentar la fertilización en 3.5 qq/ha y el hectareaje sembrado en 25 ha; mientras que en verano se requieren 2.5 qq/ha adicionales y la expansión de la superficie sembrada en 6 ha. Esto último es el reflejo de que los productores maiceros de verano tienen un mayor nivel de tecnificación y acceso a los factores de la producción, debido a la escala de sus economías.

En concordancia con lo último expuesto, se observa que la participación en el programa Plan Semilla de Alto Rendimiento, que permite el acceso de los agricultores a insumos (semilla, fertilizantes, agroquímicos) de mayor calidad no es estadísticamente significativo durante el ciclo de verano, pero sí de gran importancia tanto estadística como práctica en el ciclo de invierno. Analizando la cobertura del programa (39% invierno, 45% verano) se sugiere la expansión de la participación durante el ciclo de invierno y una mayor focalización del programa durante el ciclo de verano.

La expansión de la participación en el programa Plan Semilla durante el ciclo de invierno permitirá reducir el amplio espectro de variedades nativas y mejoradas utilizadas durante el invierno e incrementar el uso de híbridos. De acuerdo a los resultados observados se recomienda propagar durante dicho ciclo el uso de las variedades Dk 7088, y Advanta Insignia. En lo que respecta al ciclo de verano, debido a que se reporta el uso solo de híbridos, la única variedad que registra en promedio un mayor rendimiento estadísticamente significativo es Dk 7088.

⁷Para ver los resultados de todas las pruebas realizada ver el Anexo I

Considerando el modelo planteado y los requisitos agroeconómicos del cultivo de maíz duro seco en tierras bajas, se establece que el rendimiento que un agricultor con las condiciones óptimas puede alcanzar durante el ciclo de invierno es 9.09 t/ha. Este rendimiento lo obtiene un agricultor que realiza el cultivo en suelo apto a una temperatura promedio de 25 °C y con una precipitación acumulada de 1,200 mm³; utiliza 16 qq/ha de fertilizantes (nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio y sulfato de amonio), y cuyo hectareaje es 80 ha, lo que le permite acceder a un paquete tecnológico de alto rendimiento.

Sin embargo, el agricultor promedio durante este ciclo obtiene un rendimiento de 4.33 t/ha. Reconociendo que el agricultor promedio es aquel que siembra en suelo apto, a una temperatura de 26.5°C, con una precipitación acumulada de 830 mm³; utiliza 6,6 qq/ha de fertilizante y tiene un hectareaje de 5 ha, lo que no le permite alcanzar economías de escala y acceder a paquetes tecnológicos de alto rendimiento.

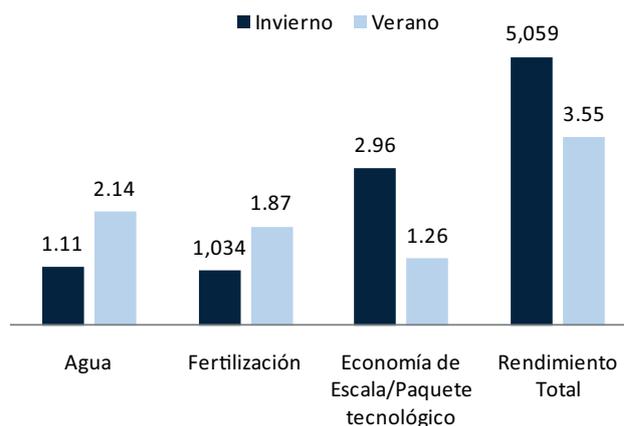
De igual manera, el rendimiento que se puede alcanzar en verano considerando las condiciones óptimas y el modelo propuesto es 9.6 t/ha. Dicho rendimiento se obtiene al realizar el cultivo en suelo apto, con una temperatura promedio de 26 °C y una precipitación acumulada de 1.200 mm³; utilizar 16 qq/ha de fertilizantes variados, y sembrar una superficie de 20 ha, lo que le permite acceder a un paquete tecnológico de alto rendimiento.

Sin embargo, el agricultor promedio obtiene un rendimiento de 6 t/ha en verano. El agricultor promedio de verano es aquel que siembra en suelo apto, registra una temperatura promedio de 27 °C y una precipitación acumulada de 130 mm³, utiliza 7.5 qq/ha de fertilizante y siembra una superficie de 6 ha.

Cerrar las brechas entre las condiciones de un agricultor promedio y las condiciones óptimas significarían el aumento del rendimiento en 5.05 t/ha en invierno y de 3.55 t/ha en verano, lo que permitiría alcanzar un rendimiento promedio nacional de cerca de 9.5 t/ha. En el siguiente gráfico se muestra cuánto aumenta el rendimiento con el ajuste en la disposición del agua, la fertilización y la escala de producción o calidad del paquete tecnológico hasta los ideales.

Cerrar la brecha entre las condiciones del agricultor promedio y las condiciones óptimas implicaría un aumento del riego en 370 mm³ para invierno y 1.070 mm³, el uso de 9.4 qq/ha de fertilizantes adicionales en invierno y de 8.5 qq/ha en verano, y la expansión del hectareaje promedio en 74 ha en invierno y 14 ha en verano.

Incremento del Rendimiento por Tipo de Ajuste en el Manejo del Cultivo



Fuente: MAGAP/CGSIN-DAPI
Elaboración: MAGAP/CGSIN-DAPI

5. BIBLIOGRAFÍA

Banco Central del Ecuador (2014). Comercio exterior: totales por código (2002-2011) Nandina. Ecuador. Recuperado el 12 de marzo del 2014 de <http://contenido.bce.fin.ec/contenido.php?CNT=ARB0000203>

Cirilo A., (s.f) Rendimiento del cultivo de maíz: Manejo de la densidad y distancia entre surcos en maíz. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: Argentina. Recuperado el 12 de marzo del 2014 de <http://biblioteca.org.ar/libros/210724.pdf>

Deras H., (s.f.) Guía técnica El cultivo del maíz. IICA: El Salvador. Recuperado el 12 de marzo del 2014 de <http://www.iica.int/Esp/regiones/central/salvador/Documents/Documentos%20PAF/GuiaTecnicaelCultivodelMaiz.pdf>

Egüez J., Pintado P. (2001) Guía para la producción de maíz en la sierra sur del Ecuador. INIAP-MAGAP-SENESCYT: Ecuador. Recuperado el 12 de marzo de http://www.iniap.gob.ec/~iniapgob/sitio/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=2&sobi2Id=460&Itemid=

Granados G. (s.f) Manejo integrado de plagas. En El Maíz en los Trópicos. FAO. Recuperado el 12 de marzo del 2014 de <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s22.htm>

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INEC (2014). Encuesta de Superficie y Producción Continua [ESPAC 2002-2013]. Ecuador. Recuperado el 12 de marzo del 2014 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2014). Reporte Mensual de Temperatura y Precipitación. Ecuador

FAO (2006). Textura del suelo. En FAO Training. Recuperado el 12 de marzo del 2014 de ftp://ftp.fao.org/fi/Cdrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

FUNPROVER (2013) Validación, demostración y capacitación sobre tecnología para producción de maíz. En Agroentorno, marzo. Recuperado el 12 de marzo del 2015 de http://www.funprover.org/agroentorno/agro_marzo013/validaciondemostracioncapacitacionteparaproduccmaiz.pdf

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – Instituto Espacial Ecuatoriano (2009-2013) “Generación de información geográfica para la gestión del territorio a nivel nacional”, escala 1:25.000. Ecuador.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Coordinación General del Sistema Nacional de Información. Ecuador (2014). Operativo de Rendimientos Objetivos Maíz Invierno y Verano (2014). Ecuador.

Lafitte H. (s.f) Estréses abióticos que afectan al maíz. En El Maíz en los Trópicos. FAO. Recuperado el 12 de marzo del 2014 de <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7676s12.htm>

Llanos M. (1984) El maíz: su cultivo y aprovechamiento. Ediciones Mundi-Prensa: España.

Olvera M., Ojeda W., Bahena G., Alpuche O., (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudios de caso en Chihuahua, México. Ambiente y Desarrollo, 18(35). Recuperado el 12 de marzo del 2015 de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382014000100004&script=sci_arttext

Ruiz J., Medina G., González I., Flores H., Ramírez G., Ortiz C., et al. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo: México.

Segura M., Andrade L. (2011). Efecto de las condiciones agrometeorológicas de un cultivar criollo y dos híbridos de maíz en cuatro fechas de siembra. Informe técnico del proyecto de investigación para obtener el título de ingeniero agropecuario. Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de Ciencias de la Vida. Carrera de Ingeniería en ciencias agropecuarias. Ecuador.

Villavicencio A., Vásquez W. (Ed.) (2008) Guía técnica de cultivos: Maíz Duro Seco. INIAP-MAGAP: Ecuador

6. ANEXO

Resultados y Validación Regresiones de Invierno y Verano

1. Invierno

1.1 Resultados

$$R = T + P + F + Dk + Advanta + Pt + S up + \mu$$

Linear regression

Number of obs = **417**
 F(7, 410) = **480,04**
 Prob > F = **0,0000**
 R-squared = **0,8916**
 Root MSE = **1,8451**

Rendimiento	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[90% Conf. Interval]	
Temp	,0361757	,0102789	3,52	0,000	,0192301	,0531213
Prec	,0032515	,0004428	7,34	0,000	,0025215	,0039816
Fer	,1495726	,0297932	5,02	0,000	,1004562	,1986891
Dk	,6199497	,3163975	1,96	0,051	,0983435	1,141556
Advanta	1,456687	,3839242	3,79	0,000	,8237576	2,089616
Pt	,8350215	,2004246	4,17	0,000	,5046057	1,165437
Superficie	,0251721	,0129229	1,95	0,052	,0038678	,0464764

1.2 validación Supuestos

1.2.1 Multicolinealidad

Para validar el cumplimiento del supuesto de no multicolinealidad entre las variables explicativas se graficó la matriz de correlación entre cada una de las variables continuas del modelo, y luego se determinó la matriz de coeficientes de correlación donde se comprobó que las variables independientes de la regresión tienen un bajo nivel de correlación entre ellas, siendo el coeficiente más alto 0.39.

Figura 1: Gráfica Matriz de Correlación

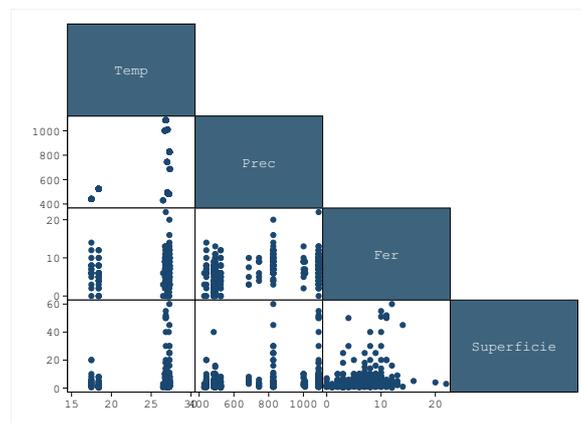


Figura 2: Matriz de Coeficientes de Correlación

	Temp	Prec	Fer	Ap	Dk	Superficie
Temp	1,0000					
Prec	0,1339	1,0000				
Fer	-0,0574	0,1897	1,0000			
Ap	0,1581	0,1397	0,1327	1,0000		
Dk	-0,2880	0,0423	-0,0414	-0,0318	1,0000	
Superficie	0,1148	0,1167	0,3313	0,1287	-0,0113	1,0000

1.2.2 Homocedasticidad

Para estudiar la presencia de heterocedasticidad en el modelo considerado se realizó la prueba de White, en la que se obtuvo una probabilidad ji cuadrado menor al nivel de significancia trabajado ($1.3e-08$). Con este valor p, se rechaza la hipótesis nula, que enuncia que existe homocedasticidad. Por lo tanto, se concluye que la regresión presenta problemas de heterocedasticidad.

Debido a que la muestra utilizada es grande, resulta válido tratar este problema a través de la utilización de estimadores robustos. Los estimadores robustos se obtienen utilizando la varianza estimada muestral, es decir la matriz de varianza-covarianza de los estimadores correcta. De esta manera si bien no se corrige por la heterocedasticidad, no se sobreestima o subestima la varianza y los errores estándar del modelo, permitiendo llegar a conclusiones e inferencias correctas.

1.2.3 Normalidad

Se evaluó la normalidad de los errores con una serie de pruebas gráficas y de hipótesis que contrastan la distribución de los errores del modelo con una distribución normal. Primero se procedió a analizar el histograma de los residuos, los gráficos de normalidad por cuartiles y por normalidad, y la densidad de Kerner. En todos estos gráficos se muestra que la distribución de los errores sigue una distribución muy similar a la normal.

Figura 3: Histograma residuos

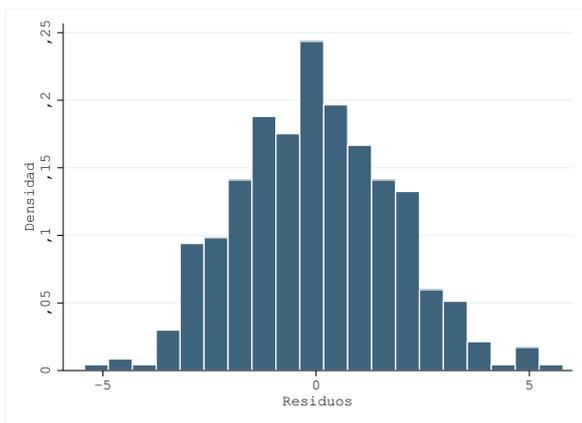


Figura 4: Normalidad (P-P)

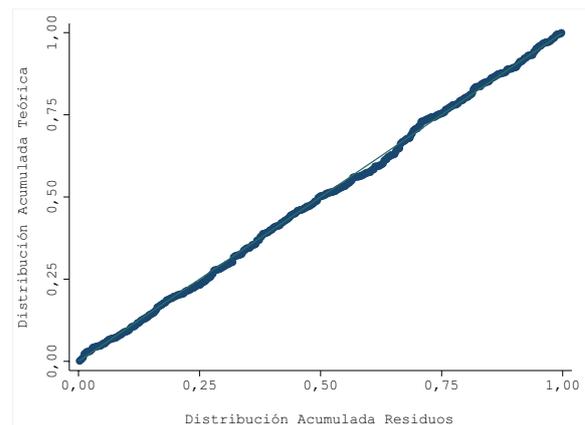


Figura 5: Normalidad (Q-Q)

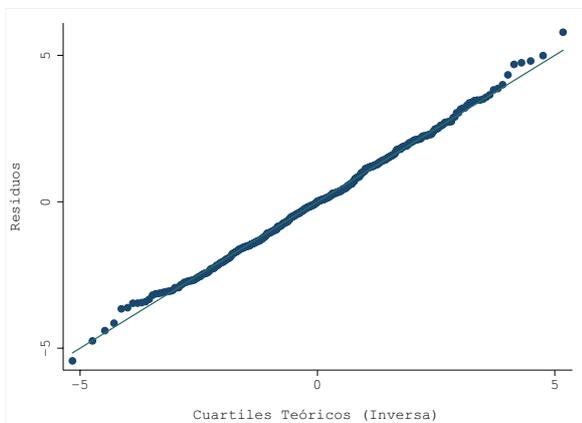
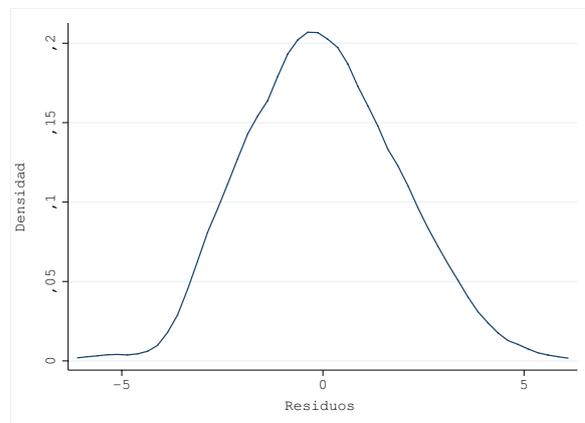


Figura 6: Densidad de Kerner



En concordancia con los gráficos anteriores, los valores de Asimetría(0.12) y Kurtosis (2.90) reflejan que la distribución de los errores es muy cercana a la normal, con un leve sesgo hacia la cola izquierda y un leve ensanchamiento (curva platicúrtica). Para evaluar si las diferencias entre la distribución de los errores y la normal son estadísticamente distintas se realizaron las pruebas de hipótesis Asimetría/Kurtosis (similar al Jarque-Bera)y Shapiro-Wilk. Los valores de probabilidad obtenidos en estas pruebas son 0.56 y 0.80 respectivamente, mismos que superan el nivel de significancia estadística trabajado. Por lo cual no se rechazan las hipótesis nulas de que la Asimetría y Kurtosis de la distribución de los errores es igual a la normal, y de que la muestra de los errores proviene de una población normalmente distribuida.

1.2.4 Autocorrelación

Para analizar la autocorrelación de los errores se realizó la prueba de Durbin-Watson. El estadístico obtenido al nivel de significancia 0.05 es igual a 2.20 que supera el punto de significancia superior (1.86), lo cual implica que no existe evidencia de correlación serial positiva de primer orden.

1.2.5 Ajuste del Modelo

Se analizó la correcta especificación del modelo a través de los criterios de información de Akaike y Schwarz, comparando entre el modelo empírico presentado y el modelo teórico que incluye los polinomios de la temperatura, precipitación y fertilización. Los resultados obtenidos muestran que no es necesario incluir los polinomios.

Model	Obs	ll (null)	ll (model)	df	AIC	BIC
.	417	.	-842,7081	9	1703,416	1739,714

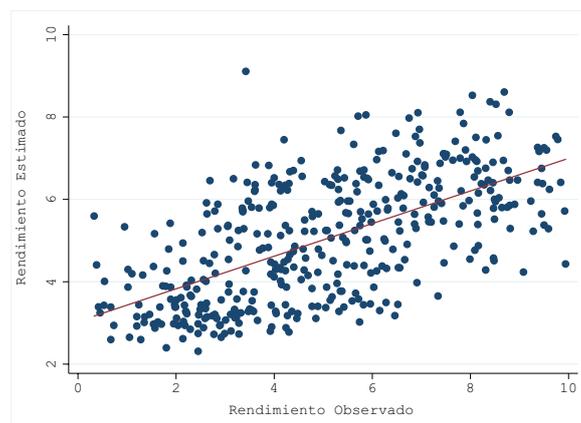
Modelo empírico

Model	Obs	ll (null)	ll (model)	df	AIC	BIC
.	417	.	-842,0906	12	1708,181	1756,578

Modelo teórico

Por último se revisó el ajuste del modelo calculando el rendimiento estimado por el modelo y comparándolo con el rendimiento observado. En la siguiente gráfica se observa que los rendimientos estimados son los mismos que los rendimientos observados. Adicional, la media de los dos rendimientos es el mismo (5.02).

Figura 7: Ajuste del Modelo



Linear regression

Number of obs = 388
 F(6, 382) = 471,18
 Prob > F = 0,0000
 R-squared = 0,8720
 Root MSE = 2,0043

Rendimiento	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[90% Conf. Interval]	
Temp	,0981604	,0149661	6,56	0,000	,0734834	,1228373
Prec	,0017981	,0007971	2,26	0,025	,0004839	,0031124
Fer	,2703367	,0503425	5,37	0,000	,1873293	,3533441
Ap	,3971439	,2913767	1,36	0,174	-,0832932	,877581
Dk	,723925	,292879	2,47	0,014	,2410107	1,206839
Superficie	-,0258371	,0183703	-1,41	0,160	-,0561271	,0044529

2.2 Validación Supuestos

2.2.1 Multicolinealidad

Al igual que en el modelo para el invierno, se graficó la matriz de correlación entre cada una de las variables continuas del modelo y se determinó la matriz de coeficientes de correlación para validar el cumplimiento del supuesto de no multicolinealidad. Tanto en la gráfica como en la matriz de coeficientes de correlación se comprobó que no existe multicolinealidad, siendo el coeficiente más alto 0.55.

Figura 8: Gráfica Matriz de Correlación

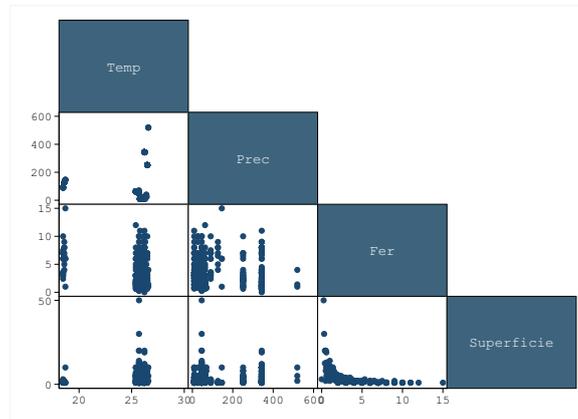


Figura 9: Matriz de Coeficientes de Correlación

	Temp	Prec	Fer	Ap	Dk	Superficie
Temp	1,0000					
Prec	0,1339	1,0000				
Fer	-0,0574	0,1897	1,0000			
Ap	0,1581	0,1397	0,1327	1,0000		
Dk	-0,2880	0,0423	-0,0414	-0,0318	1,0000	
Superficie	0,1148	0,1167	0,3313	0,1287	-0,0113	1,0000

2.2.2 Homocedasticidad

Para estudiar la presencia de heterocedasticidad en este modelo se realizó nuevamente la prueba de White, y se obtuvo una probabilidad ji cuadrado menor al nivel de significancia trabajado ($2.5e-04$). Con este valor p, se rechaza la hipótesis nula, que enuncia que existe homocedasticidad. Por lo tanto, se concluye que la regresión presenta problemas de heterocedasticidad al igual que el modelo del ciclo anterior.

Debido a que la muestra utilizada es grande, resulta válido tratar este problema a través de la utilización de estimadores robustos. Los estimadores robustos se obtienen utilizando la varianza estimada muestral, es decir la matriz de varianza-covarianza de los estimadores correcta. De esta manera si bien no se corrige por la heterocedasticidad, no se sobreestima o subestima la varianza y los errores estándar del modelo, permitiendo llegar a conclusiones e inferencias correctas.

2.2.3 Normalidad

Se evaluó la normalidad de los errores con una serie de pruebas gráficas y de hipótesis que contrastan la distribución de los errores del modelo con una distribución normal. Primero se procedió a analizar el histograma de los residuos, los gráficos de normalidad por cuartiles y por normalidad, y la densidad de Kerner. En todos estos gráficos se muestra que la distribución de los errores sigue una distribución muy similar a la normal.

Figura 10: Histograma residuos

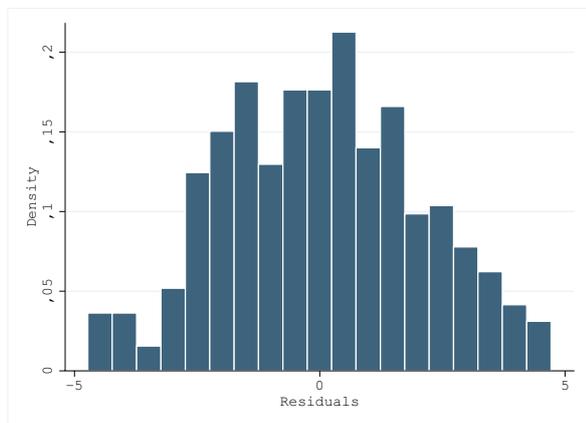


Figura 11: Normalidad (P-P)

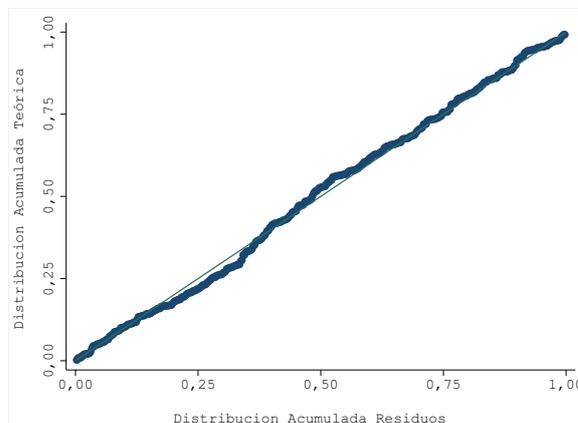


Figura 12: Normalidad (Q-Q)

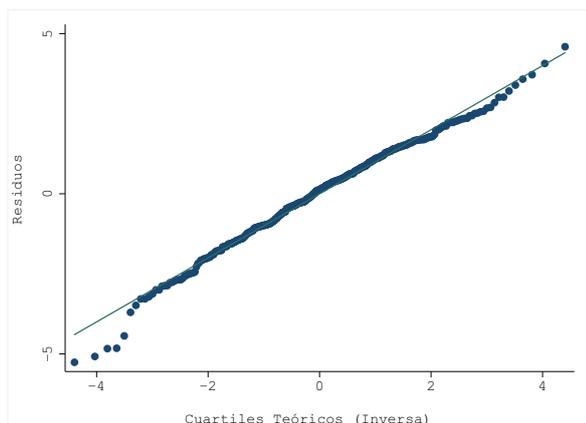
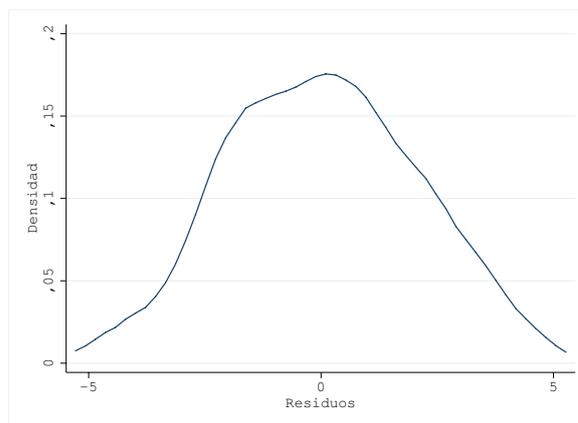


Figura 13: Densidad de Kerner



En concordancia con los gráficos anteriores, los valores de Asimetría (0.35) y Kurtosis (2.47) reflejan que la distribución de los errores es muy cercana a la normal, con un leve sesgo hacia la cola izquierda y un leve ensanchamiento (curva platicúrtica). Para evaluar si las diferencias entre la distribución de los errores y la normal son estadísticamente distintas se realizaron las pruebas de hipótesis Asimetría/Kurtosis (similar al Jarque-Bera) y Shapiro-Wilk. Los valores de probabilidad obtenidos en estas pruebas son 0.08 y 0.14 respectivamente, mismos que son superiores al nivel de significancia estadística trabajado. Por lo cual no se rechazan las hipótesis nulas de que la Asimetría y Kurtosis de la distribución de los errores es igual a la normal, y de que la muestra de los errores proviene de una población normalmente distribuida.

2.2.4 Autocorrelación

Para analizar la autocorrelación de los errores se realizó la prueba de Durbin-Watson. El estadístico obtenido al nivel de significancia 0.05 es igual a 1.87 que supera el punto de significancia superior (1.86), lo cual implica que no existe evidencia de presencia de correlación serial positiva de primer orden.

2.2.5 Ajuste del Modelo

Se analizó la correcta especificación del modelo a través de los criterios de información de Akaike y Schwarz, comparando entre el modelo empírico presentado y el modelo teórico que incluye los polinomios de la temperatura, precipitación y fertilización. Los resultados obtenidos muestran que no es necesario incluir los polinomios.

Model	Obs	ll (null)	ll (model)	df	AIC	BIC
.	388	.	-810,8652	9	1639,73	1675,379

Modelo empírico

Model	Obs	ll (null)	ll (model)	df	AIC	BIC
.	388	.	-825,9639	6	1663,928	1687,694

Modelo teórico

Por último se revisó el ajuste del modelo calculando el rendimiento estimado por el modelo y comparándolo con el rendimiento observado. En la siguiente gráfica se observa que los rendimientos estimados son los mismos que los rendimientos observados. Adicional, la media de los dos rendimientos son muy similares 5.15 y 5.16.

Figura 14: Ajuste del Modelo

