

Análisis de los determinantes del rendimiento del maíz en Nicaragua

*Rigoberto Castillo Cajina y Ricardo Bird Moreno**

Resumen

La presente investigación conlleva la estimación de un modelo lineal y otro multinomial de los determinantes del rendimiento del cultivo de maíz en Nicaragua, utilizando las encuestas agropecuarias realizadas por el Ministerio Agropecuario (MAG), en conjunto con el Banco Central de Nicaragua (BCN). Aunque ineludible, los resultados evidencian que no basta el uso de maquinaria agrícola, semillas mejoradas y fertilizantes para lograr rendimientos similares a los obtenidos en otros países de la región, como El Salvador y México. Todo proyecto orientado a aumentar el rendimiento debe contemplarse como un proceso integral para optimizar el manejo de los cultivos.

Palabras claves: Nicaragua, rendimientos del maíz, modelo lineal y multinomial, encuestas agropecuarias.

Código JEL: Q19, C5

* Especial reconocimiento al personal de la Dirección de Investigaciones Económicas del Banco Central de Nicaragua y de la Dirección de Estadísticas del Ministerio Agropecuario. Para comentarios comunicarse a los correos: rcc@bcn.gob.ni y rbm@bcn.gob.ni. El contenido de este documento es de exclusiva responsabilidad de sus autores y no representa la posición oficial del BCN.

1. Introducción

De manera frecuente se afirma que en Nicaragua existe una brecha en materia tecnológica y de capital humano, que impide que nuestros productores sean más productivos. Se han realizados esfuerzos desde el gobierno central, sector privado, instituciones y organismos internacionales, orientados a mejorar la productividad. Estos esfuerzos reflejan la importancia de la seguridad alimentaria, autosuficiencia de consumo doméstico y aumento del ingreso de las familias rurales, como formas de enfrentar la pobreza. Además de la importancia de la producción agrícola para la alimentación animal y el uso industrial.

El Ministerio Agropecuario (MAG) en conjunto con el Banco Central de Nicaragua (BCN), con apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) y la asesoría del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, han levantado encuestas agropecuarias desde 1995. Estas encuestas tienen como objetivo generar información agropecuaria de calidad, que permita mejorar la toma de decisiones del sector y la formulación de políticas. No obstante, su aprovechamiento ha sido escaso y la información recopilada es procesada solo para estimar la producción de los rubros incluidos en ellas.

Esta investigación propone un análisis de varianza para encontrar diferencias en rendimientos para distintas variables cualitativas, que se pueden rescatar de las encuestas agropecuarias. Se pretende tener una primera aproximación del impacto de variables asociadas al uso de semillas, tipo de tecnología, uso de fertilizantes y manejo agronómico del cultivo. Esto permite realizar afirmaciones empleando técnicas estadísticas con base a encuestas de alcance nacional.

Antes del análisis de varianza sobre los determinantes del rendimiento del maíz, se caracteriza la producción y los rendimientos para la época de primera del ciclo agrícola 2012/13^{1/}. Se han implementado proyectos de semilla certificada, promovidos por el gobierno nacional y la Organización

1/ Disponible en web del MAG.

de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Sin embargo, no se cuenta con información nacional sobre el efecto particular del uso de distintas semillas y de otros factores determinantes del rendimiento del cultivo.

Los resultados sustentan el conocimiento existente en torno a los bajos rendimientos, identifica los departamentos más productivos, el uso escaso de tecnología, el elevado uso de semilla criolla, el alto porcentaje de cultivos sin fertilizar, la fuerte concentración de productores en parcelas pequeñas y el uso destinado más al consumo humano y animal, entre otras variables analizadas. El estudio muestra que, dadas las condiciones ambientales y el manejo agronómico del cultivo, el uso de tractores tiene un efecto positivo en el rendimiento, superior al efecto del uso de semilla mejorada o certificada y de fertilizantes.

Entre las limitantes del estudio se destacan tres: (1) El alcance de las encuestas agropecuarias se limita a determinar la producción de granos básicos con inferencia a nivel de departamento, eso no permite inferir a niveles geográficos más pequeños. (2) El mayor número de variables de la encuesta son dicotómicas, al ajustar un modelo lineal, exponencial o logarítmico, se obtienen por construcción ajustes bajos. (3) La encuesta no está diseñada para establecer la forma en que las variables incluidas afectan el rendimiento, tampoco para medir el impacto de los programas implementados por el Gobierno y el sector privado.

El documento está organizado en seis partes. La primera parte contiene la presente introducción. La segunda parte establece el marco conceptual para delimitar el estudio y definir las variables a utilizar. La tercera parte justifica las técnicas de selección de la muestra. En la cuarta parte se presenta una caracterización de la producción y rendimientos del maíz en el período estudiado. La quinta parte estima dos modelos para realizar el análisis de varianza de los determinantes del rendimiento. Por último, se concluye enfatizando que las políticas de apoyo al productor deben ser integrales, donde la entrega de semilla por sí sola, es insuficiente para aumentar el rendimiento.

2. Marco conceptual

2.1. Origen e importancia del maíz

Según Ranere, A. et al. (2009) existe evidencia molecular que indica que el antecesor del maíz es una planta nativa del trópico seco del sur oeste de México. El maíz pertenece al grupo de gramíneas más importantes y corresponde a la especie *Zea Mays*, originaria de América. Se estima que apareció hace más de ocho mil años y una de las hipótesis con mayor fuerza es que comenzó a cultivarse a partir de la teosinte, una maleza silvestre que tiene cinco especies en México, Guatemala y Nicaragua.

El maíz se difundió en el mundo entre los siglos XVI y XVIII. En la actualidad, cumple una función importante en la alimentación de más de 400 millones de habitantes (Ibid). Este grano es el cultivo de mayor relevancia a nivel mundial, tanto por su volumen de producción, diversidad de uso y cantidad de países productores. El mayor destino es para consumo forrajero y la fabricación de fructosa, aceites y combustibles, habiéndose distinguido más de 600 derivados (Mific, 2007).

A nivel mundial, en el ciclo 2011/12 se produjo un aproximado de 883.3 millones de toneladas métricas de maíz (19,471 millones de qq.), de las cuales 35.5 por ciento pertenece a Estados Unidos, superior al segundo productor que fue China, cuya producción representó 21.8 por ciento del total. Para el ciclo 2012/13, se produjo 855.1 millones de toneladas métricas (USDA, 2013).

En materia de productividad, el rendimiento promedio de la siembra de maíz en Estados Unidos sobrepasa los 100 qq/mz (USDA, 2013), superior a los 19 qq/mz que exhibe Nicaragua^{2/}. Por su parte, en Centroamérica, El Salvador, Costa Rica y Guatemala son los que tienen mayores rendimientos, los que sobrepasaron en 133.7, 40.7 y 33.1 por ciento, respectivamente, a los de Nicaragua, en el período 2001-2012. Según la misma fuente en El

2/ Conforme las cifras procesadas de las encuestas de producción. El MAG en sus informes reporta rendimientos entre 21 y 22 qq/mz.

Salvador, el rendimiento promedio (44.4 qq/mz) se acerca al de México (46.1 qq/mz) y son seguidos por Belice (39.8 qq/mz).

En cuanto al comercio exterior nicaragüense, en el período 2000-2012, las exportaciones de maíz promediaron 1.2 millones de dólares anuales (US\$1.1 millones por maíz blanco), mientras las importaciones fueron 19.4 millones de dólares anuales (US\$18.1 millones correspondieron a compras de maíz amarillo). En términos de volumen, las exportaciones promedio anuales ascendieron a 4,982 toneladas (99.8% maíz blanco) y las importaciones a 77,221 toneladas (95% maíz amarillo). Con relación a la producción total, las exportaciones de maíz representan cerca de 1.5 por ciento, denotando el uso preponderante de la producción para el consumo interno (DGA, 2012).

En términos de valor bruto de producción, para el período 2011-2012, el maíz representó 7.0 por ciento de la producción agrícola. En relación a la producción agrícola para el consumo interno, el maíz destinado para este fin representó el 12.3 por ciento, similar a la producción de arroz y de frijoles.

Según el BCN, para el año 2007, la producción de maíz representó el 55 por ciento de la oferta total, mientras las importaciones representaron 30 por ciento, correspondiendo el restante a márgenes de comercialización y transporte. Por la demanda, el 38 y 56 por ciento, correspondieron al consumo intermedio y consumo final^{3/}.

El maíz es un producto relevante en la dieta de los nicaragüenses, es consumido por el 80 por ciento de la población en forma de tortilla (Magfor, 2004), representa cerca de 29 por ciento de la energía dietética del nicaragüense (FAO y UE, 2010). El consumo de maíz y sus derivados, para los habitantes del área urbana de las cabeceras departamentales y de las dos Regiones Autónomas del Caribe del país, ascendía a 1.0 por ciento. A nivel de quintiles, el quintil más pobre destina un poco más del 2.0 por ciento de su ingreso al consumo de maíz y derivados, 5 veces más, en términos

3/ A precios de 2006.

porcentuales, que el porcentaje destinado para este fin por las familias del quintil 5 (BCN, 2007).

El consumo de maíz con alto contenido de proteínas mejora el estado nutricional de los niños que lo consumen (Ortega, E. et al. 2008). Así, el consumo de maíz podría ayudar a reducir la alta prevalencia de desnutrición crónica y de anemia, las cuales en Nicaragua alcanzan 21.7 y 11.8 por ciento del total de niños, respectivamente (PNUD, 2009).

Debido a la importancia del maíz en materia de seguridad alimentaria y a la relevancia de este cultivo en relación a la producción agropecuaria, el Gobierno y la cooperación internacional han impulsado programas orientados a entregar semillas mejoradas y capacitar a los productores. El objetivo detrás de estos programas es aumentar el rendimiento de los cultivos, pero según las encuestas procesadas aún queda espacio para aprovechar de mejor manera los esfuerzos realizados.

2.2. Determinantes del rendimiento del cultivo de maíz

El rendimiento del cultivo de maíz, como en todos los cultivos, tiene componentes fijos, difícilmente modificables por el productor y componentes variables, los cuales el productor puede ajustar con base a su conocimiento y experiencia del cultivo. La forma y cuantía en cómo estos componentes afectan el rendimiento suelen determinarse a través de investigaciones en el campo experimental. A pesar de que esta investigación no es de carácter experimental, se requiere del conocimiento básico de los factores de producción del maíz, a fin de justificar las variables que serán utilizadas en el análisis de varianza. A continuación se presentan los determinantes reales del rendimiento del cultivo en estudio.

La literatura sugiere que los determinantes del rendimiento del cultivo de maíz son diversos y varían de acuerdo a las particularidades de cada región (Bartolini, R. 1990; Parsons, D., 1999; Mific, 2007; Renare A. et al. 2009). Entre los factores fijos se encuentran la disponibilidad de luz y anhídrido carbónico, duración de estación de cultivos y suelos. Entre los factores variables se encuentran el riego, fertilización, deshierbe y genotipo

(Bartolini, R. 1990). En todos estos elementos, de acuerdo a Parsons, D., (1999), el factor genético es el más importante, mientras los ambientales lo son hasta cierto punto. El tipo de semilla a utilizar debe ajustarse a las condiciones ambientales y el manejo del cultivo debe acomodarse al tipo de semilla y al entorno ambiental.

Considerando la gran variedad de semillas y ecosistemas, es imposible abordar el manejo y condiciones ambientales óptimas para cada una de ellas. Por lo tanto, se describen aspectos genéricos relativos al impacto sobre el rendimiento del maíz (Parsons, D., 1990). Específicamente, se consideran elementos asociados a: clima, suelo, preparación del campo, fertilización, manejos de la siembra y del cultivo.

El maíz es un cultivo que soporta un rango de temperatura bastante amplio (10-40°C), lo que permite que se cultive en diversas regiones y países, la temperatura óptima oscila entre 20-30°C y necesita suficiente agua, más no en cantidades que saturen el suelo. Requiere sol para su crecimiento, especialmente en la época de floración (20°C mínima) y se recomienda sembrar en áreas que se encuentren a alturas mayores o iguales a 300 metros sobre el nivel del mar (la óptima alrededor de 550 msnm) con una máxima de 1,000 msnm. Lo anterior deja en desventaja las zonas bajas del Pacífico nicaragüense, que mantienen temperaturas superiores a 30°C y se encuentran próximos al nivel del mar, mientras en las zonas más altas y en el Caribe se debe poner principal atención a la retención de aguas, erosión y al drenaje de los suelos.

El maíz se adapta mejor a suelos profundos y fértiles, con textura franca que facilite la absorción de humedad y nutrientes, suelos granulares con alto contenido de materia orgánica y un pH entre 6 y 7. Por ello, los suelos aluviones cerca de ríos y suelos vírgenes con vegetación natural exuberante (que no obstruya la luz solar) y pendientes bajas, tienden a favorecer el cultivo de maíz. Aquellos suelos que no tengan estas propiedades imponen un reto adicional al manejo del cultivo y encarecen los costos de producción mediante la aplicación de insumos. Por ejemplo, estiércol, material orgánico, abono verde o cal en caso de que se requiera aflojar la arcilla, mejorar su drenaje o realizar aplicación de azufre, según sea el caso.

A fin de aumentar el rendimiento del cultivo de maíz se requiere una adecuada preparación del suelo. La fertilización es fundamental en todas las etapas del cultivo, especialmente para aquellas variedades híbridas y su efectividad depende de la cantidad y época de aplicación, la que determina el tipo de fertilizante a utilizar. Por ejemplo, se estima que para alcanzar un rendimiento de 400 ton/ha, se requiere utilizar 110 kg de nitrógeno, 40 kg de fósforo, 80 kg de potasio, 7 kg de calcio, 6 kg de magnesio y otros 6 kg de azufre (Parsons, D., 1999).

En países en donde se depende más de las lluvias, la siembra del maíz debe realizarse al inicio de la estación lluviosa y esperar a que la temperatura del suelo alcance 10°C. Esta es la razón de que existan tres épocas de siembra en Nicaragua: la primera coincide con el inicio de las lluvias, la postrera se realiza posterior a la canícula (interrupciones de lluvia a mediados de julio) para aprovechar el reinicio del período lluvioso, y apante que se realiza en las zonas donde las lluvias continúan después de noviembre.

El manejo agronómico del cultivo tiene una alta incidencia en su rendimiento y comprende el control de las malezas, aporque y escaldado, suministro de agua de ser necesario, desespigamiento, combate de plagas y enfermedades para proteger al grano. Las malezas compiten con las plántulas en luz y nutrientes y la selección del herbicida debe considerar el tipo de maleza, clima, suelo y el método de aplicación. Por su parte, el aporque ayuda a eliminar malezas de forma mecánica, beneficia al anclaje de las plantas, contrarrestando los efectos negativos del viento y facilita el riego en surcos. El desespigamiento sirve para eliminar espigas en exceso a las requeridas para la polinización (se deja cerca del 25% de las espigas), con lo que se garantizan más nutrientes a los granos, aumentando la producción entre 5 y 20 por ciento.

En resumen, los determinantes del rendimiento son diversos y están vinculados entre sí, lo que impone fuertes restricciones a la estadística de variables nominales de las encuestas de producción utilizadas, debilitando su efectividad para fines predictivos. No se puede avanzar en lograr estimaciones de rendimiento sin estudios experimentales. Sin embargo, queda el espacio para el análisis descriptivo que permita identificar

aproximaciones a los determinantes descritos con el análisis de varianzas, contar con una visión de las diferencias en rendimiento entre ciertas categorías y obtener pautas para generar algunas conclusiones generales, que permitan identificar recomendaciones de política y mejorar los instrumentos de recolección de información.

3. Marco muestral y selección de muestra

3.1. Encuestas de producción agropecuaria y selección de ciclos

Para el desarrollo de esta investigación se contó con las bases de datos de las encuestas agropecuarias, la descripción metodológica se encuentra en el documento “Encuestas agropecuarias por muestreo” (Magfor, 1995). Estas fueron iniciadas en 1995 con el apoyo del PNUD y AID, con la asesoría del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Tienen el objetivo de generar información para mejorar la toma de decisiones del sector agropecuario y la formulación de políticas en las áreas de mayor sensibilidad como la seguridad alimentaria. El aprovechamiento de las encuestas se ha limitado a estimar la producción de los sectores incluidos por ejemplo, granos básicos, café y hato ganadero.

La cobertura inicial de las encuestas agropecuarias incluían todos los departamentos del país, exceptuando la Región Autónoma del Caribe Norte que fue incorporada en 2005. El marco muestral está dado por un marco cartográfico, que utilizó como base las hojas topográficas a escala 1: 50,000. La superficie de cada departamento fue particionada en distintas áreas, las cuales se estratificaron de acuerdo al porcentaje que representaba la tierra cultivable, en relación al área total.

Una vez estratificados los sectores, fueron cuadrículados y de forma aleatoria se seleccionaron puntos de estas cuadrículas, de acuerdo a reglas específicas, se asignaron a las fincas que las contenían, convirtiéndose éstas en las unidades de estudio. De forma aleatoria fueron seleccionadas 5,600 fincas, con las que se estima contar con información con margen de error menor al 10 por ciento, un nivel de confianza de 95 por ciento y una desagregación por departamento.

Las encuestas agropecuarias se realizan para estimar la producción en cada ciclo agrícolas de primera, postrera y apante. Además se han realizado encuestas de costos de producción para distintos cultivos. En un principio, los datos eran únicamente relativos al área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento de granos básicos y café. Posteriormente se incorporaron variables socioeconómicas, mejorando así la calidad de la información.

La selección de la época de primera para el análisis radica en la importancia relativa de ésta dentro del total de la producción (entre el 62% y 73% de la producción se obtiene en el ciclo de primera). Asimismo, se consideró que la siembra de apante se realiza únicamente en ciertas regiones, lo que impide hacer el análisis descriptivo para todos los departamentos.

En cuanto a las encuestas a considerar para el análisis estadístico de los determinantes del rendimiento, se pensó en un inicio realizar un estudio de panel, lo que no fue posible porque las unidades encuestadas no son las mismas en todas las encuestas. Se decidió realizar un estudio de corte transversal para la encuesta 2012/13. Los métodos que se estiman en la sección 5.2 tomaron como base 2,858 fincas encuestadas que reportaron producción de maíz.

Los datos usados en el análisis descriptivo de la sección 4 son cifras expandidas, mientras que los datos empleados en las regresiones no lo son. Debido a que las regresiones procuran encontrar diferencias significativas en rendimiento entre las fincas que fueron encuestadas y no estimar la producción total.

4. La producción y rendimiento del maíz en la épocas de primera

En esta sección se caracteriza el uso de la tierra, aspectos relativos a la producción y características socio económicos de las fincas. La encuesta refleja la preponderancia de la condición jurídica en forma de propiedad privada individual (98.5%) y el uso del área de las fincas como pasto. Estos

últimos han representado el 58.2 por ciento del área total, seguidos por el área de tacotales (12.8%), cultivos anuales (12.1%) y forestales (10.0%).

El área sembrada de granos básicos en el ciclo 2012/13 fue de 901,9 miles de manzanas. Dentro de este total, el maíz es el cultivo con mayor cantidad de áreas (51.8%), seguido por el frijol (36.2%). Estas participaciones distaron sustancialmente del sorgo, cuya área representó el 6.6 por ciento del total, y del arroz seco, que apenas representa el 2.6 por ciento.

Del total de la producción de maíz, el 66.9 por ciento se ha producido en la época de primera, 25.3 por ciento en postrera y apenas el 7.9 por ciento en apante. En promedio, en la época de primera, se sembraron 316.2 miles de manzanas. En apante es la época en que se siembra menos área de maíz (7.9%), contrario al frijol rojo y negro, cuya producción en esta época es de 40.4 y 45.4 por ciento, respectivamente.

Los departamentos en donde se siembra más maíz de primera han sido Jinotega, Matagalpa y Nueva Segovia, las que en su conjunto representaron 47.1 por ciento del total de área sembrada. Al respecto, las mayores producciones se dan en estos departamentos, los que en su conjunto han producido el 67 por ciento del total. Siguiendo a estos departamentos, aparecen Siuna (6.5%), Estelí (4.7%) y Chinandega (4.0%).

El rendimiento promedio de la siembra de maíz en la época de primera ha sido de 19.1 quintales por manzana. Los mayores rendimientos se han logrado en Nueva Segovia (33.5 qq/mz), Jinotega (25.1 qq/mz) y Masaya (21.0 qq/mz). El resto de departamentos se encuentra por debajo de la media, presentándose los menores rendimientos en Carazo (9.6 qq/mz), Boaco (11.6 qq/mz) y Caribe Sur (12.0 qq/mz).

En el período 2012/13, el 48.8 por ciento de la producción se destinó a la venta, el 37.4 por ciento al consumo humano y 10.9 por ciento al consumo animal. El 2.5 por ciento de la producción fue destinado para el uso de semilla.

Con relación a las fincas en las cuales se cosecha maíz, el 38.4 por ciento del área sembrada se dio en fincas de entre 5 y 25 manzanas; el 30.2 por ciento en fincas de entre 25-100 manzanas y 16.5 por ciento en fincas de entre 0.1 a 5 manzanas. Similares porcentajes se presentan al analizar la producción, denotando escasa diferencias en rendimiento en dependencia del tamaño de las fincas. En la mayoría de éstas (91.2%) no llevan registros contables, apenas el 1.2 por ciento lleva registro formal.

Existe una diferencia marcada entre el rendimiento en dependencia del tipo de equipo utilizado para roturar el suelo. En aquellas fincas en que se utilizó tractor, el rendimiento promedio ascendió a 35.9 quintales por manzana, en las que utilizaron bueyes, el rendimiento fue de 21.4 quintales por manzana y 15.8 quintales por manzana en las que usaron espeque. Cabe señalar, que del total de fincas, solo el 3.9 por ciento de ellas utilizaron tractores, mientras que el 72.9 por ciento roturaron con espeque u otro medio artesanal. Esto obedece en gran medida, a que el cultivo de granos básicos en Nicaragua se concentra en unidades de producción familiar de pequeños y medianos productores, para quienes resulta imposible utilizar maquinaria agrícola como la mencionada anteriormente (Inide-MAG, 2013).

5. Análisis de varianza del rendimiento del maíz

5.1. Selección de variables

Como se mencionó en la sección 2.2 las variables que determinan el rendimiento del cultivo de maíz son diversas. No obstante, se puede clasificar las mismas en los siguientes grupos: ambientales, genéticas y manejo agronómico del cultivo. Cualquier intento de estimar los determinantes del rendimiento debe contar con medidas relativas a temperatura, altura, cantidad de agua, tipo de suelo, pendientes, luminosidad, tipo de semilla y variables asociadas a la fertilización, manejo de siembra y de cosecha.

La encuesta de producción 2012/13, si bien brinda la ubicación de las parcelas, no cuenta con mapas de isobaras, isotermas, isoyetas, ni de luminosidad que permita asociar dichos datos a las parcelas encuestadas. Por ello, asumiendo que a nivel de departamento las características mencionadas

son similares. Se realizó una clasificación *ad hoc* de los departamentos en tres categorías: precipitación alta, media y baja, con base a datos de precipitaciones históricas registradas en las estaciones pluviométricas más cercanas. Esta clasificación se sometió a consideración de los técnicos de la Dirección de Estadísticas del MAG, quienes con todas las reservas conceptuales y disponibilidad de información señalaron, al igual que los autores, que esta clasificación podría ser una primera aproximación a las variables ambientales.

Con la encuesta se cuenta con la información de la pendiente predominante de la finca y el mes de siembra, variables que fueron utilizadas como *proxies* de las variables ambientales. Las pendientes se clasificaron en cuatro grados, incrementándose en la medida en que pasa del grado 1 al 4 y de acuerdo a la conceptualización realizada en la sección 2.2., se debe esperar, *ceteris paribus*, un mayor rendimiento en suelos con pendientes planas, los que facilitan el uso de maquinaria para la preparación y manejo del suelo, fertilización de los cultivos e infiltración uniforme del agua. Por su parte, el rendimiento logrado al sembrar en el mes de mayo podría indicar una mayor oportunidad de la disponibilidad de agua para una efectiva germinación de la semilla. Existen factores que tienden a reducir el efecto de estas variables, tales como el drenaje de suelos, requerimientos de las semillas y la forma en que se cultiva, sin mencionar el uso de fertilizantes y manejo de los cultivos.

En cuanto a las variedades de las semillas, la encuesta señala 65 variedades. Dada la baja participación de algunas variedades y el gran número de ellas, a fin de realizar el análisis de varianza, se procedió a clasificar las mismas en tres categorías: criolla, mejorada e híbrida, conforme recomendaciones de técnicos de la Dirección de Estadísticas del MAG. Esta última clasificación es la utilizada en el análisis de varianza ^{4/}.

El efecto de fertilizar en el rendimiento se captura a través de una variable categórica, en la cual el encuestado responde si utiliza o no fertilizantes, por lo que esta variable categórica es utilizada como *proxy* del efecto de fertilizar en el rendimiento.

4/ Se ensayaron distintas clasificaciones sin que los resultados hayan diferido significativamente.

Tabla 1. Rendimiento por tipos de semillas*(quintales por manzana)*

Variedad semilla	Área sembrada	Área perdida	Área cosechada	Área a cosecha	Total área cosechada	Producción	Rendimiento
DEKALAB-233	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	7.8	80.0
I-991	7.7	0.1	7.4	0.2	7.6	403.8	53.1
Brasil	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	7.4	41.4
Guayapele	0.6	0.0	0.1	0.5	0.6	22.5	39.5
Ligero	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	2.1	33.3
Tuza rosada	0.4	0.0	0.2	0.2	0.4	11.3	31.4
DR-64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	30.0
Híbrido H-INTA 991	1.8	0.1	0.0	1.7	1.7	50.7	29.7
H-53	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	2.4	29.5
NB-90	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	2.2	25.6
Catacama	3.9	0.6	1.2	2.1	3.3	82.9	24.9
Holote rojo	0.6	0.0	0.0	0.6	0.6	15.4	24.6
H5	24.4	4.9	11.1	8.4	19.4	468.3	24.1
Mazorca de oro	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	2.9	24.0
INTA amarillo	0.9	0.0	0.0	0.8	0.9	20.1	22.9
Tuza amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	22.8
HS-5	0.7	0.1	0.5	0.0	0.6	12.6	22.2
HS-8	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3	7.1	21.8
Maíz blanco	4.8	1.7	1.9	1.2	3.2	69.3	21.8
NB-6	48.9	9.7	28.2	11.1	39.3	791.8	20.2
INTA rojo	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	3.0	20.0
AH-36	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	1.8	20.0
Breve	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	1.2	20.0
CA-45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	20.0
H-6	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	2.2	20.0
NB-2	3.2	0.0	3.2	0.0	3.2	63.0	20.0
Mejorado	27.5	3.4	15.9	8.2	24.1	471.7	19.6
HS-93	0.4	0.0	0.0	0.4	0.4	6.8	17.4
Santa rosa	0.5	0.4	0.1	0.0	0.1	1.3	17.3
Maizón / Jalapeño	31.5	3.5	22.5	5.6	28.1	481.5	17.2
Criollo	71.2	9.4	49.4	12.4	61.8	996.8	16.1
NB-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
Amarillo	1.9	0.4	1.4	0.2	1.5	24.8	16.0
Maicillo	3.8	0.7	3.1	0.0	3.1	49.2	15.7
Holotillo	22.4	3.8	15.1	3.5	18.6	280.4	15.1
Nicaragua II	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	1.2	15.0
Maicito	6.4	1.4	4.8	0.2	5.0	75.4	15.0
Híbrido	1.2	0.5	0.4	0.4	0.8	11.2	14.8
Cuarenteño	2.5	1.0	1.0	0.4	1.5	21.0	14.5
Tuza morada	8.3	0.5	5.8	2.0	7.8	110.8	14.2
MQ	0.3	0.0	0.0	0.2	0.3	3.4	13.4
Rosa	1.7	0.4	1.3	0.0	1.3	16.6	13.1

.../..

Tabla 1. Rendimiento por tipos de semillas*(quintales por manzana)**(continuación)*

Variedad semilla	Área sembrada	Área perdida	Área cosechada	Área a cosecha	Total área cosechada	Producción	Rendimiento
Tuza blanca	5.2	1.2	4.0	0.0	4.0	51.5	12.9
HS-56	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	2.1	12.6
Maíz Masatepe	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	12.5
C-3-83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	12.0
Variedad NB-9043	0.6	0.1	0.5	0.0	0.5	5.8	12.0
H-41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	12.0
Maicena	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.8	12.0
Acro	0.4	0.2	0.2	0.0	0.2	3.0	11.9
Pujagua pinolero	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	1.4	10.6
NB-100	1.1	0.0	1.1	0.0	1.1	11.2	10.3
Rocomex	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	10.0
Chilamate	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	10.0
Holote rosado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
Masaya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	8.0
Tico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	8.0
Salco	1.2	0.1	0.8	0.3	1.0	6.7	6.5
Cubano	0.3	0.0	0.1	0.2	0.3	1.8	6.1
LP-21	0.9	0.0	0.9	0.0	0.9	2.6	3.0
Nutrinta amarillo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
Amatamba indio	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	1.0
TO TAL	289.5	44.5	183.5	61.5	245.0	4,693.1	19.2

Fuente: Encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio.

Cabe señalar, que en el rendimiento no sólo afecta si se fertiliza o no, sino que debería considerarse el tipo de fertilizante, etapa de aplicación, tipo de suelo y el tipo de siembra utilizado, pero no se cuenta con dicha información.

La encuesta recoge si el cultivo de maíz es intercalado o no, utilizándose esta variable nominal como explicativa del modelo de análisis de varianza. Considerando las características de la finca (pequeño tamaño, escasa tecnología y dificultades propias en el manejo del cultivo), se espera que las variedades intercaladas quiten nutrientes a las plantas de maíz, reduciendo el rendimiento de éstas y aumentando los requerimientos de fertilización.

De la encuesta se recoge el tipo de roturación del suelo, como la variable nominal que permite conocer la calidad de preparación y manejo del suelo. El sistema de roturación se clasifica en tractor, bueyes y otros. Es de esperar

que en aquellas fincas donde se utilice tractor, el rendimiento sea mayor, por que el manejo de esta maquinaria se facilita en suelos planos. El uso de tractor permite una mejor deshierba y roturación del suelo; facilitando la fijación de las raíces, la infiltración más uniforme del agua y el mejor aprovechamiento de nutrientes.

5.1. Análisis exploratorio

Los rendimientos esperados por departamentos deben diferir dadas las distintas características entre ellos, tanto de suelo, como de temperatura y precipitación.

Tabla 2. Rendimientos versus otras variables productivas por departamento
(porcentaje dentro de cada departamento)

Departamento	Área (miles mz.)		Producción (miles qq)	Rendimiento (qq/mz)	Variedad de semilla (%)		
	Sembrada	Cosechada			Criolla	Mejorada	Híbrida
Boaco	0.4	0.3	0.0	15.2	15.9	14.2	25.5
Carazo	1.4	1.9	0.1	6.2	5.8	7.1	1.6
Chinandega	1.1	1.5	0.1	12.8	11.9	16.2	
Chontales	2.4	2.6	0.1	13.1	14.0	12.5	0.0
Estelí	0.2	0.2	0.0	14.8	13.2	15.7	26.4
Granada	5.9	7.9	0.6	10.7	10.3	10.9	20.0
Jinotega	1.3	1.1	0.0	26.6	21.5	32.2	21.6
León	2.2	2.6	0.1	11.5	10.6	12.5	13.8
Madriz	0.8	0.7	0.0	17.5	17.5	16.3	20.9
Managua	0.4	0.6	0.0	9.8	9.1	11.2	7.3
Masaya	7.6	8.8	0.5	16.6	14.1	20.2	12.4
Matagalpa	2.9	3.6	0.3	16.6	15.2	18.2	15.2
Nva. Segovia	3.1	3.3	0.1	27.3	22.7	24.5	33.5
RAAN	1.4	1.9	0.1	13.0	13.4	12.8	11.3
Río San Juan	0.3	0.2	0.0	12.7	12.2	12.6	16.8
Rivas	1.3	1.6	0.1	7.0	6.0	12.2	
Zealya Centro-Oeste	34.5	40.8	2.1	13.4	13.6	13.4	9.0
% dentro del total	67.2	79.6	4.2	14.5	12.8	15.6	22.6

Fuente: encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio

En la Tabla 2 se muestran los rendimientos promedios por departamento para la época de primera del ciclo 2012/2013. Se observa que en los departamentos de Nueva Segovia y Jinotega se presentan los mayores rendimientos, seguidos por Madriz, Masaya, Matagalpa y Boaco, con diferencias cercanas a 40 por ciento entre los dos grupos. El mayor

rendimiento en Nueva Segovia y Matagalpa es consistente con el mayor uso de semilla híbrida, comparado a la ausencia de uso de este tipo de semillas en departamentos como Rivas, Carazo y Managua, en los cuales los rendimientos son bajos.

Al clasificar el rendimiento en tres categorías *ad hoc*: alto (>25 qq/mz), medio (entre 15 y 25 qq/mz) y bajo (<15 qq/mz), se observa que el rendimiento promedio de los cultivos que utilizan semilla híbrida es de 25.6 qq/mz, superior en 160 por ciento al rendimiento utilizando semilla criolla (*ceteris paribus*). Asimismo, dentro de la categoría de rendimientos altos, la variedad de semilla híbrida supera en 1.36 veces al obtenido con semilla criolla.

Tabla 3. Rendimiento por variedad de semilla
(*quintales/manzana*)

Categoría de rendimiento	Variedad de semilla			
	Criolla	Mejorada	Híbrida	Total general
alto	33.3	36.5	45.3	36.5
bajo	9.1	9.2	9.6	9.1
medio	17.9	17.6	18.4	17.8
Total general	15.2	17.5	25.6	16.7

Fuente: encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio

La Tabla 4 refleja resultados similares, que sugieren una diferencia significativa entre el uso de semilla criolla, mejorada e híbrida. Conforme a la clasificación realizada, el 50 por ciento de los casos, el uso de semilla criolla implica bajos rendimientos y apenas el 11 por ciento se logran rendimientos altos.

El uso de semilla certificada en Nicaragua, que abarca parte de las semillas híbridas y mejoradas, es relativamente bajo. Esto es consistente con los resultados presentados por el estudio del IICA (2009), en el que se menciona que en Nicaragua se utiliza un 24 por ciento de semillas mejoradas, por debajo de la región centroamericana (46%) y aún más lejos del porcentaje utilizado en El Salvador (91%).

Tabla 4. Rendimiento por variedad de semilla
(porcentajes)

Categoría de rendimiento	Variedad de semilla			
	Criolla	Mejorada	Híbrida	Total general
Alto	11.0	18.4	34.1	15.4
Bajo	50.0	43.0	22.4	45.5
Medio	39.0	38.6	43.5	39.1
Total general	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio

Los mayores rendimientos parecen asociarse al uso de fertilizantes, aunque en menor escala que la variedad de la semilla. Por ejemplo, en Madriz se tienen los más altos porcentajes de fincas fertilizadas. No obstante, tiene rendimientos menores que Jinotega (68.5% de las fincas fertilizan) y rendimientos similares a los de Boaco, en donde apenas el 22.2 por ciento de las fincas utilizan fertilizantes. Por otra parte, Estelí, León y Chinandega tienen niveles de fertilización por encima de Jinotega, sin embargo, los rendimientos son marcadamente menores, denotando posiblemente los efectos de las diferencias entre las condiciones ambientales, tipos de suelo y uso de mejores semillas.

Tabla 5. Caracterización de siembra por departamento
(porcentaje dentro de cada departamento)

Departamento	Fertiliza		Intercala		Roturación			Pendiente ^{1/}				Mes de siembra		
	Si	No	Si	No	Tractor	Animal	Ninguno	1	2	3	4	Mayo	Junio	Julio
Boaco	21.2	78.8	6.1	93.9	0.6	3.4	96.1	7.8	14.5	31.3	46.4	75.4	23.5	1.1
Carazo	29.9	70.1	42.9	57.1	1.4	58.2	40.5	50.3	26.2	20.7	2.7	69.0	30.6	0.3
Chinandega	80.2	19.8	6.6	93.4	10.4	38.7	50.9	30.2	29.2	28.3	12.3	95.3	4.7	0.0
Chontales	23.9	76.1	3.0	97.0	3.0	3.5	93.5	13.4	19.9	39.3	27.4	63.2	36.8	0.0
Estelí	84.0	16.0	13.8	86.2	2.2	57.5	40.3	16.6	21.5	41.4	20.4	98.3	1.7	0.0
Granada	76.4	23.6	10.9	89.1	1.8	70.0	28.2	67.3	6.4	6.4	20.0	62.7	36.4	0.9
Jinotega	68.5	31.5	3.9	96.1	2.8	26.4	70.9	2.0	15.4	29.5	53.1	77.6	22.4	0.0
León	84.3	15.7	16.9	83.1	13.3	59.0	27.7	51.8	15.7	21.7	10.8	96.4	3.6	0.0
Madriz	90.5	9.5	5.4	94.6	2.0	55.8	42.2	20.4	27.2	38.1	14.3	97.3	2.7	0.0
Managua	44.7	55.3	23.9	76.1	3.5	39.4	57.1	29.6	32.3	29.6	8.4	86.3	12.4	1.3
Masaya	75.6	24.4	15.3	87.7	26.7	60.3	13.0	58.0	32.1	9.2	0.8	65.6	33.6	0.8
Matagalpa	42.0	58.0	1.3	98.7	1.3	13.3	85.4	11.1	32.3	47.3	9.3	81.9	17.7	0.4
Nva. Segovia	88.1	11.9	2.0	98.0	14.9	27.4	57.7	11.4	36.8	30.3	21.4	68.2	30.3	1.5
RAAN	11.2	88.8	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	5.6	34.5	50.4	9.4	92.0	7.7	0.3
Río San Juan	28.0	72.0	0.6	99.4	0.0	9.8	90.2	28.0	18.9	26.8	26.2	70.1	29.9	0.0
Rivas	63.9	36.1	3.6	96.4	2.4	51.5	46.2	27.2	36.7	33.7	2.4	47.3	45.0	7.7
Zealya Centro-Oeste	33.3	66.7	0.0	100.0	1.7	6.9	91.3	7.6	16.7	44.1	31.6	52.8	46.5	0.7
% dentro del total	55.6	44.4	9.2	90.8	5.2	34.2	60.7	25.8	24.5	31.1	18.6	76.4	22.7	0.9

1/ : De menor a mayor pendiente.

Fuente: Encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio.

Al separar el rendimiento por uso de fertilizantes, se observa que el rendimiento promedio de aquellas fincas que fertilizan es de 18.1 quintales por manzana, lo que no es superior al rendimiento obtenido por las fincas que no fertilizan, denotando que existen variables relativas a condiciones ambientales, manejo y tipo de semilla que son más relevantes. También puede apreciarse que las fincas grandes son las que más fertilizan.

Tabla 6. Rendimiento por uso de fertilizantes
(rendimientos qq/mz)

Categoría de rendimiento	Uso de fertilizante		
	Fertiliza	No fertiliza	Total general
Alto	37.8	31.6	36.5
Bajo	9.0	9.3	9.1
Medio	18.1	17.5	17.8
Total general	19.7	13.8	16.7

Fuente: Encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio.

Tabla 7. Tamaño de finca por uso de fertilizante
(rendimientos qq/mz)

Tamaño de finca	Uso de fertilizante		
	Fertiliza	No fertiliza	Total general
1-2 Mzs	45.3%	54.7%	100%
2-5 Mzs	50.4%	49.6%	100%
>5 Mzs	63.5%	36.5%	100%
Total general	49.5%	50.5%	100%

Fuente: Encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio.

Al analizar el rendimiento según modalidad de siembras, se observa un mayor rendimiento en aquellas que no intercalan cultivos, sugiriendo que intercalar cultivos reduce los nutrientes disponibles para la producción de maíz. Las mayores diferencias se presentan en aquellas fincas clasificadas como rendimiento alto, las fincas que no intercalan cultivos tienen un rendimiento mayor en 4.5 quintales por manzana.

Tabla 8. Rendimiento por cultivos intercalados
(rendimientos qq/mz)

Categoría de rendimiento	Intercala		Total general
	Si	No	
Alto	32.1	36.6	36.5
Bajo	7.2	9.4	9.1
Medio	17.5	17.8	17.8
Total general	10.9	17.3	16.7

Fuente: Encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio.

La roturación utilizada para la preparación del suelo sugiere que se logra un mayor rendimiento en las fincas que utilizan tractores, en las cuales el rendimiento promedio alcanza 31.5 quintales por manzana, el doble de los conseguidos utilizando bueyes y espeque. Estos mayores rendimientos podrían asociarse al mayor uso de semillas híbridas en ciertos departamentos como Masaya, Nueva Segovia y Jinotega. Por su parte, si bien en Chinandega, el uso de tractores es alto (10.4% contra 5.2% de promedio nacional) los rendimientos son bajos, lo que podría ser consistente con las condiciones ambientales poco favorables en materia de humedad, temperatura, altura y velocidad de los vientos. En general el uso de tractores aún es mínimo (8.8%), tal como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 9. Rendimiento por tipo de roturación
(rendimientos qq/mz)

Categoría de rendimiento	Uso de fertilizante			
	Tractor	Bueyes	Espeque	Total general
Alto	47.9	38.1	32.1	36.5
Bajo	9.6	8.5	9.3	9.1
Medio	19.0	18.4	17.5	17.8
Total general	31.5	18.4	15.2	16.7

Fuente: Encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio.

Tabla 10. Tamaño de finca por tipo de roturación
(rendimientos qq/mz)

Tamaño de finca	Uso de fertilizante			
	Tractor	Bueyes	Espeque	Total general
1-2 Mzs	3.4%	35.4%	61.3%	100%
2-5 Mzs	3.4%	25.4%	71.2%	100%
>5 Mzs	8.8%	19.9%	71.3%	100%
Total general	4.1%	29.7%	66.2%	100%

Fuente: Encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13, procesamiento propio.

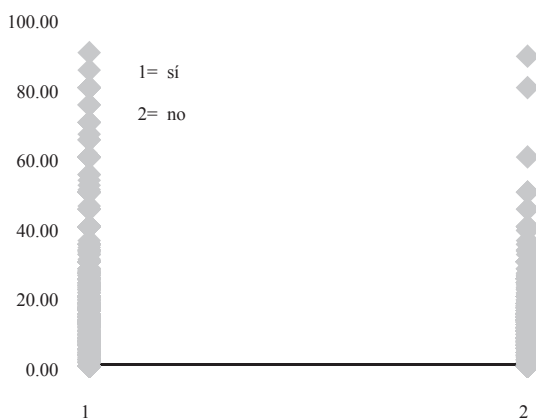
Del análisis exploratorio se sugiere que los mayores rendimientos se logran en aquellas fincas que utilizan semilla híbrida, fertilizan, usan tractores y no intercalan el cultivo. Dada la interrelación existente entre las variables, con el objetivo de separar los efectos propios de cada una de ellas, se procedió a realizar un análisis de varianza con un modelo lineal. Por las limitantes que podrían presentarse al utilizar un modelo lineal (posible violación de algunos supuestos que se detallan más adelante) y considerando la preponderancia de variables nominales, se realizó un modelo multinomial, para estimar la probabilidad de obtener rendimientos altos en dependencia de la categoría de cada variable nominal considerada.

5.2. Modelo lineal multivariable

Para determinar las diferencias de rendimiento en dependencia de cada categoría dentro de las variables utilizadas, se estimó un modelo de regresión lineal multivariado con un tamaño de muestra de 2,858 fincas. Para ello, se debió ajustar la base original y eliminar las observaciones con rendimiento igual a cero^{5/}. *A priori* no se espera contar con un buen ajuste del modelo, en cuanto la variable explicada es una variable continua mientras todas las explicativas son discretas. El Gráfico 1, muestra el rendimiento *versus* uso de fertilizantes.

No fue posible ajustar un modelo lineal que explique el rendimiento en función de si la finca fertiliza o no, más es posible interpretar el coeficiente de la variable *dummy* con valor 1 para aquellas fincas que fertilizan como la diferencia de rendimiento con el obtenido en aquellas fincas que no lo hacen. Lo anterior, bajo el supuesto que el parámetro es estadísticamente significativo una vez que se ajusta por heterocedasticidad^{6/}.

Gráfico 1: Rendimientos del cultivo versus fertilización



Fuente: Elaboración propia, con base en encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13.

5/ No se puede estimar los determinantes de una variable cuyo valor es cero.

6/ Se observa una marcada diferencia en las varianzas de las muestras de fincas que fertilizan y las que no. Situación similar ocurre con las otras variables que se incorporan al modelo.

Las variables *dummies* utilizadas son híbridas (criolla es la base y toma valor 0), mejorada (toma valor 1), intercala (0 es no, 1 es sí), fertiliza (0 es no, 1 es sí), tractor (0 es espeque), bueyes (0 es espeque), pluvialta (0 es pluviosidad baja, 1 es alta), pluvmedia (0 es pluviosidad baja, 1 es media) y pend2, pend3 y pend4 representan las pendientes (0 es pendiente de nivel 1 que es la más baja).

Se probaron distintas especificaciones, incluyendo efectos cruzados de las variables y se seleccionó aquel modelo con significancia estadística, signos esperados o interpretables y con parsimonia. Se realizaron las corridas en Eviews, versión 7.0, se corrigió por heterocedasticidad^{7/}, obteniéndose los resultados presentados en la Tabla 11.

El ajuste lineal resulta ser pobre, obteniéndose un R² ajustado de 0.23. No obstante, el modelo resulta ser significativo a nivel de cada variable y a nivel global, tal como lo indican los valores t de cada parámetro y el estadístico F.

Un punto interesante que presentan los resultados es la mayor importancia relativa, para explicar diferenciales de rendimientos entre categorías, de la forma en que el suelo es roturado. El uso de tractores, a como lo sugiere la literatura y la evidencia experimental, aumenta significativamente el rendimiento en cuanto hace más homogénea la mezcla de residuos vegetales con el suelo, facilita la profundización adecuada de semillas y el adecuado crecimiento radicular de las plantas, entre otras (Parsons, D., 1999).

Si bien los resultados muestran que el uso de semillas híbridas aumenta el rendimiento, el impacto no es el esperado a nivel promedio. No obstante, se observan casos particulares en que con el uso de este tipo de semillas los rendimientos alcanzan niveles superiores a 70 quintales por manzana, los cuales son superiores a los del promedio de la muestra (19.1 qq/mz). La explicación a ello podría asociarse a los siguientes factores: el tipo de semilla híbrida no es el más adecuado a las características ambientales, el manejo de la siembra y el cultivo no se adecua a los requerimientos de las semillas híbridas.

^{7/} Dado el tamaño de la muestra se estima que la corrección por heterocedasticidad empleado es adecuado.

Tabla 11. Regresión ajustando por heterocedasticidad (pluv y pend)

Dependent Variable: REND

Method: Least Squares

Date: 09/24/13 Time: 10:34 Sample (adjusted): 1 2858

Included observations: 2858 after adjustments

HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 9.0000)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	10.20408	1.05615	9.66161	0.00000
HIBRIDA	6.97635	1.93143	3.61201	0.00030
MEJORADA	1.71784	0.49136	3.49612	0.00050
INTERCALA	-5.16431	0.64059	-8.06181	0.00000
FERTILIZA	4.16169	0.52687	7.89886	0.00000
TRACTOR	15.26624	3.41930	4.46473	0.00000
BUEYES	3.40498	0.91859	3.70674	0.00020
PLUVALTA	-1.77275	0.91704	-1.93311	0.05330
PLUVMEDIA	-4.40141	1.11396	-3.95114	0.00010
PEND2	3.73502	0.81153	4.60244	0.00000
PEND3	3.52514	0.76226	4.62458	0.00000
PEND4	5.76443	1.29669	4.44550	0.00000
R-squared	0.22993			
Adjusted R-squared	0.22695			
S.E. of regression	9.75948			
Sum squared resid	271074.10000			
Log likelihood	-10560.52000			
F-statistic	77.25156			
Prob(F-statistic)	0.00000			
Mean dependent var		16.74866		
S.D. dependent var		11.10002		
Akaïke info criterion		7.39855		
Schwarz criterion		7.42356		
Hannan-Quinn criter.		7.40757		
Durbin-Watson stat		0.36779		

1/ : De menor a mayor pendiente.

Fuente: Elaboración propia, con base en encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13.

Al intercalar cultivos se reduce el rendimiento, debido a que el cultivo intercalado consume los nutrientes del maíz. Lo anterior puede estar relacionado al hecho de que el 44.4 por ciento de las fincas de la muestra no fertilizaron, aumentando así la competencia por nutrientes con el cultivo; en los casos en que se fertilizó la cantidad de insumos no fue suficiente para

compensar esta demanda adicional; o bien, el cultivo intercalado se sembró en las etapas en que el maíz requería el mayor uso de nutrientes (durante la germinación y antes de la floración), causando daños en su desarrollo y posterior rendimiento.

Asimismo, la diferencia en rendimiento en aquellos cultivos que fertilizan y los que no lo hacen es de solamente 4.1 quintales por manzana. Habría que analizar en mayor detalle el tipo de fertilizantes, las dosis utilizadas, fechas y formas de aplicación de los mismos. Se debe recordar que una mala aplicación podría conllevar a un desperdicio de nutrientes, más en un ambiente de suministro de agua con alta volatilidad, como sucede cuando se depende de precipitaciones para irrigar los cultivos.

Los coeficientes relativos a las pendientes señalan que a medida que esta aumenta también lo hace el rendimiento, contrario a la idea de que suelos más planos permiten un mejor manejo de la tierra y una infiltración más uniforme del agua, favoreciendo el rendimiento del cultivo. Una posible explicación a esta aparente contradicción podría ser que los mayores rendimientos se dan en las zonas altas del país, las cuales tienen climas más cercanos a los óptimos (20-30°C), mayor intensidad de lluvia, vegetaciones más abundantes y suelos menos agotados, que aquellos de las regiones bajas que han sido utilizados intensivamente en monocultivos, como en León y Chinandega. Asimismo, podría existir cierta interacción no recogida en el modelo con el uso de semillas híbridas y mejoradas, que se dan en mayor proporción en las regiones con pendientes más pronunciadas.

Conforme los resultados anteriores se puede estimar que el rendimiento promedio de aquellos cultivos en que se utilizan semillas híbridas, fertilizan, no intercalan y usan tractor es 27 quintales por manzana mayores que aquellos de semilla criolla, que no fertilizan, intercalan y utilizan espeque para la roturación del suelo. Si al rendimiento promedio le sumamos estos 27 quintales, se alcanzaría un valor cercano a 46 quintales por manzana, resultado similar a los obtenidos en El Salvador y México.

Para finalizar esta sección es necesario señalar dos elementos que impiden obtener un modelo conceptual y estadísticamente más significativo. En primer lugar, existen variables importantes omitidas en el modelo,

tales como las relativas al manejo de la siembra y la cosecha que fueron mencionadas en la sección 2.2., en la medida en que se relacionen con las variables empleadas podrían producir un sesgo en las estimaciones de los parámetros^{8/}. Segundo, no se cuenta con variables continuas como regresores, debilitando así el poder predictivo del modelo. Aún en el caso de que las encuestas sean mejoradas para incorporar nuevas variables y mejorar las *proxies* empleadas. El método estadístico utilizado no puede suplantar la investigación experimental, a través de la cual se puede hacer una evaluación más minuciosa del manejo adecuado de todas las etapas involucradas durante la siembra, desarrollo y cosecha del cultivo.

5.3. Modelo multinomial

Considerando que los supuestos del método de mínimos cuadrados ordinarios no se satisfacen en su totalidad y tomando en cuenta que no se dispone de variables explicativas continuas, se procedió a estimar un modelo multinomial, que al ser estimado por el método de máxima verosimilitud reduce los efectos negativos originados en la violación de tales supuestos. En esta sección se describen los resultados de una regresión multinomial en la que se estiman las probabilidades de pasar de una categoría de rendimiento a otra en función de la categoría de cada una de las variables explicativas. Para estimar esta regresión se utilizó el programa estadístico SPSS versión 20.0.

La variable explicada es el rendimiento en quintales, mientras que las explicativas son variables categóricas; el tipo de variedad, el uso o no de fertilizantes, la pendiente y tipo de roturación, que fueron las mismas empleadas en el modelo de regresión lineal. A fin de evitar la multicolinealidad perfecta se seleccionó dentro de cada variable una categoría como base, misma que, para el caso de rendimiento fue la referida al rendimiento promedio, mientras que para las variables explicativas la selección se realizó conforme la Tabla 12:

8/ Esto podría estar ocasionando el signo positivo y creciente asociado a la pendiente.

Tabla 12. Codificación de variables de modelo multinomial

Variable	Código	Valor	Categoría
Variedad de semilla	Var	0	Criolla
		1	Mejorada
		2	Híbrida ^{1/}
Uso de fertilizantes	Fert	1	Si
		2	No ^{1/}
		1	Baja
Pendiente	Pend	2	Media 1
		3	Media 2
		4	Alta ^{1/}
Tipo de roturación	Rot	0	Tractor
		1	Bueyes
		2	Espeque ^{1/}

1/ : Categoría base.

Fuente : Elaboración propia, con base en encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13.

Habiendo codificado las variables y estimado el modelo en la Tabla 13, se observa que este en su conjunto e individualmente es significativo, no obstante, el ajuste observado continua siendo bajo^{9/}.

El estadístico de chi-cuadrado es la diferencia en las $-2 \log$ verosimilitudes entre el modelo final y el modelo reducido. El modelo reducido se forma omitiendo un efecto del modelo final. La hipótesis nula es que todos los parámetros de ese efecto son 0.

En cuanto a la interpretación de los resultados, de la Tabla 17 se recuperan los Exp (B) y se compara su valor con la unidad. Si el Exp (B) es superior a 1, implica que la probabilidad de pasar de un rendimiento medio a uno alto aumenta, al moverse de la categoría en análisis partiendo de la categoría base para cada variable explicativa. Con base a este razonamiento, no se pueden rechazar las siguientes hipótesis:

- La probabilidad de pasar de una categoría de rendimiento medio a alto aumenta con el uso de tractor, bueyes y fertilizantes relativo al uso de espeque y la no fertilización.

9/ Las estimaciones de pseudo R cuadrado se aproximan a uno en la medida en que el ajuste es mejor. No obstante, la interpretación de estos estadísticos no tiene igual interpretación que el R2 del modelo lineal, por lo que deben tratarse con cuidado.

- Las pendientes de menor inclinación no aumentan la probabilidad de obtener un rendimiento alto relativo a las pendientes más fuertes.
- La probabilidad de obtener rendimientos bajos se incrementa en la medida en que se utiliza semilla criolla y se siembra en terrero con poca pendiente.

Tabla 13. Resumen del procesamiento de los casos

		N	Porcentaje marginal
Categ_Rend	Alto	441	15.4
	Bajo	1299	45.5
	Medio	1118	39.1
Var	Criolla	1513	52.9
	Mejorada	1175	41.1
	Híbrida	170	5.9
Fert	Si	1444	50.5
	No	1414	49.5
Pend	1	558	19.5
	2	698	24.4
	3	1014	35.5
	4	588	20.6
Rot	Tractor	120	4.2
	Bueyes	773	27.0
	Ninguno	1965	68.8
Válidos		2858	100.0
Perdidos		0	
Total		2858	
Subpoblación		59 ^{1/}	

1/ : La variable dependiente solo tiene un valor observado en 12 (20.3%) sub poblacionales.

Fuente: Elaboración propia, con base en encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13.

De los resultados anteriores, destaca la importancia relativa del grado de mecanización de la roturación el suelo, uso de fertilizantes y la pendiente del terreno. A como se explicó anteriormente podría reflejar una mayor importancia relativa de aspectos ambientales (mejores condiciones de temperatura, humedad y suelo en aquellas regiones con pendientes

pronunciadas) que las posibles afectaciones negativas que podrían ocasionarse por una infiltración no homogénea de la humedad.

Tabla 14. Información del ajuste del modelo

Modelo	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo la intersección	876.331			
Final	472.106	404.225	16	0.000

Fuente: Procesamiento propio.

Tabla 15. Pseudo R-cuadrado

Cox y Snell	0.132
Nagelkerke	0.152
McFadden	0.070

Fuente: Procesamiento propio.

Tabla 16. Contrastes de la razón de verosimilitud

Efecto	Criterio de ajuste del modelo	Contrastes de la razón de verosimilitud		
	-2 log verosimilitud del modelo reducido	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	472.106 ^{1/}	0.000	0	
Var	526.473	54.366	4	0.000
Fert	623.227	151.121	2	0.000
Pend	527.593	55.487	6	0.000
Rot	535.687	63.581	4	0.000

1/ : Este modelo reducido es equivalente al modelo final ya que la omisión del efecto no incrementa los grados de libertad.

Notas : El estadístico de chi-cuadrado es la diferencia en las -2 log verosimilitudes entre el modelo final y el modelo reducido. El modelo reducido se forma omitiendo un efecto del modelo final. La hipótesis nula es que todos los parámetros de ese efecto son 0.

Fuente : Elaboración propia, con base en encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13.

Tabla 17. Estimaciones de los parámetros

Cat_Rend ^{1/}	B	Error tip.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Al 95% para Exp(B)	
							Límite inferior	Límite superior
Intersección	-0.899	0.233	14.851	1	0.000			
[Var=0]	-0.692	0.207	11.197	1	0.001	0.501	0.334	0.751
[Var=1]	-0.185	0.205	0.813	1	0.367	0.831	0.556	1.243
[Var=2]	0 ^{2/}			0				
[Fert=1.00]	0.899	0.140	41.004	1	0.000	2.458	1.866	3.237
[Fert=2.00]	0 ^{2/}			0				
Alto [Pend=1.00]	-0.950	0.208	20.813	1	0.000	0.387	0.257	0.582
[Pend=2.00]	-0.483	0.174	7.698	1	0.006	0.617	0.439	0.868
[Pend=3.00]	-0.726	0.163	19.916	1	0.000	0.484	0.352	0.666
[Pend=4.00]	0 ^{2/}			0				
[Rot=.00]	1.688	0.263	41.066	1	0.000	5.408	3.227	9.063
[Rot=1.00]	0.545	0.151	13.074	1	0.000	1.725	1.284	2.319
[Rot=2.00]	0 ^{2/}			0				
Intersección	-0.367	0.221	2.768	1	0.096			
[Var=0]	0.788	0.210	14.051	1	0.000	2.198	1.456	3.318
[Var=1]	0.649	0.213	9.278	1	0.002	1.913	1.260	2.903
[Var=2]	0 ^{2/}			0				
[Fert=1.00]	-0.662	0.089	54.690	1	0.000	0.516	0.433	0.615
[Fert=2.00]	0 ^{2/}			0				
Bajo [Pend=1.00]	0.443	0.149	8.793	1	0.003	1.557	1.162	2.087
[Pend=2.00]	0.068	0.131	0.269	1	0.604	1.070	0.828	1.382
[Pend=3.00]	0.069	0.116	0.356	1	0.551	1.071	0.854	1.344
[Pend=4.00]	0 ^{2/}			0				
[Rot=.00]	-0.376	0.286	1.737	1	0.188	0.686	0.392	1.201
[Rot=1.00]	0.027	0.113	0.055	1	0.815	1.027	0.822	1.282
[Rot=2.00]	0 ^{2/}			0				

1/ : La categoría de referencia es: medio.

2/ : Este parámetro se ha establecido a cero porque es redundante.

Fuente : Elaboración propia, con base en encuesta de producción de granos básicos, época de primera ciclo 12/13.

6. Conclusiones

Esta investigación brinda estimaciones de las diferencias en rendimientos, en función de variables recopiladas en las encuestas agropecuarias del ciclo agrícola 2012/13. Los resultados son los esperados en términos de la dirección del efecto y brindan una idea de la dimensión de estos en materia de roturación de suelos, variedad de semillas y uso de fertilizantes, lo que se constituye en el principal aporte de la investigación. No obstante, a

como es de esperarse en regresiones con variables nominales, el ajuste del modelo es bajo.

A pesar de ello, es interesante observar cómo el tipo de roturación del suelo es la variable que más influye en el rendimiento, aún por encima de la selección de la semilla. Asimismo, la parte no explicada del modelo (alta) se encuentra en variables omitidas, las cuales, a criterio de los autores están más asociadas al manejo agronómico del cultivo. En este sentido, si las encuestas quieren utilizarse para cuantificar de mejor manera los determinantes del rendimiento, es necesario incorporar variables relacionadas a este tema en el instrumento de recolección de información.

La importancia del manejo agronómico del cultivo es tal, que, de acuerdo a estimaciones derivadas del modelo, aun utilizando semilla mejorada o híbrida y roturando el suelo de forma tecnificada, no se alcanzan los rendimientos obtenidos en El Salvador y México.

Cabe señalar que aun logrando incorporar a la encuesta variables relativas al manejo del suelo, cuantificar la cantidad de fertilizantes utilizados y las variables asociadas al tipo de suelo de cada finca, el uso de estos modelos no sustituyen los resultados que puedan obtenerse en investigaciones experimentales. No obstante, al afinar la encuesta se podrían dar ideas de hacia dónde encaminar las capacitaciones y orientar los programas de apoyo al sector agrícola.

7. Referencias bibliográficas

Bartolini, R. (1990). *El Maíz*. Colección Agroguias Mundi-Prensa. Asturias, España. Mundi-Prensa.

BCN y MAG. (2013). *Encuestas Agropecuarias Ciclos de Primera 2001 al 2013*. Dirección General de Políticas, División de Encuestas. Managua, Nicaragua. 18 pp.

- BCN. (2007). *Encuesta Ingresos y Gastos de los Hogares 2006-2007*. Banco Central de Nicaragua. División de Estudios Económicos. Managua, Nicaragua. 35 pp.
- DGA. (2012). *Principales Productos y Destino de Exportación*. Estadísticas de la Dirección General de Aduanas.
- FAO y UE. (2010). *Food security information for decision making: Price monitoring and analysis country brief, Nicaragua*. consultado 2 June. 2013 en <http://www.fao.org/docrep/013/am179e/am179e00.pdf>.
- IICA. (2009). *Mapeo del mercado de semillas de maíz y frijol en Centroamérica*. IICA, Proyecto Red SICTA, COSUDE. Managua, Nicaragua. 82 pp.
- Inide-MAG. (2013). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Dirección de Estadísticas y Censos. Managua, Nicaragua., Inide. 70 pp.
- Magfor. (1995). *Encuestas Agropecuarias por Muestreo*. Dirección General de Políticas. Managua, Nicaragua. 12 pp.
- Magfor. (2004). *IV Encuesta de Consumo de Alimentos de Nicaragua*. Ministerio Agropecuario y Forestal. Dirección General de Políticas. Managua, Nicaragua. 98 pp.
- Mific. (2007). *Maíz Blanco Nicaragua*. Documento de trabajo. Ministerio de Fomento, Industria y Comercio. Dirección de Política Comercial Externa. Managua, Nicaragua. 24 pp.
- Ortega, E., Coulson, A., Ordóñez, L. y Pachón, H. (2008). Efectos de la ingesta de maíz de alta calidad de proteína versus maíz convencional en el crecimiento y morbilidad de niños nicaragüenses desnutridos de 1 a 5 años de edad. *ALAN*. Vol. 58. No. 4. 377-385.

- Parsons, D., (1999). *Manuales para educación agropecuaria, Maiz*. Mexico D.F., Mexico: Trillas, 56 pp.
- PNUD. (2009). *Programa conjunto modelo integrado, Tuktan yamni-muih bin muihni yamni. MDG Achievement Fund*. Documento de trabajo UNICEF, PNUD, OPS/OMS, PMA y FAO. Managua, Nicaragua. 49 pp.
- Ranare, A., Piperno, D., Holst, I., Dickau, R. y Iriarte, J. (2009). The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS, Vol.106* No. 13, 5014-5018.
- Salazar, P., Holt, G., y Uriza, A. (2009). *Instalación de una planta procesadora de masa y tortilla con maíz de variedad local en Nicaragua*. Documento de trabajo. Mangua, Nicaragua 80 pp.
- USDA. (2013). *World agricultural supply and demand estimates report*. United States Department of Agriculture Consultado 9 Aug. 2013 de <https://new.attenbabler.com/index.php/2013/07/11/july-2013-usda-world-agriculture-supply-and-deman-estimates/>