

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**Evaluación de Impactos de las Estrategias de Adaptación sobre los Efectos del
Clima en los Rendimientos del Cultivo de Frijol en El Trifinio**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado como requisito para optar por el grado de**

MAGISTER SCIENTIAE

En Economía, Desarrollo y Cambio Climático

Por:

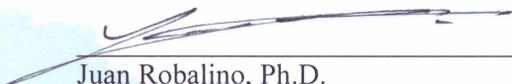
Rosa Nila Alfaro Gómez

Turrialba, Costa Rica, Febrero 2017

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN ECONOMÍA, DESARROLLO Y CAMBIO CLIMÁTICO

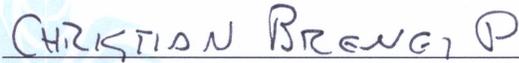
FIRMANTES:



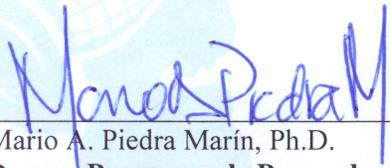
Juan Robalino, Ph.D.
Director de tesis



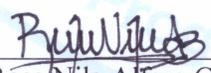
Jacob van Etten, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Pablo Imbach, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Mario A. Piedra Marín, Ph.D.
Decano Programa de Posgrado



Rosa Nila Alfaro Gómez
Candidata

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida, ser mi fortaleza y regalarme la virtud de fe, con Él nada es imposible cuando se pone esfuerzo y dedicación. Gracias Padre, por caminar a mi lado y ayudarme a construir mis sueños. Cuando creí que ya no podía, siempre me mostraste, en pequeños detalles, que tus promesas llegan en tu tiempo.

A mi papá, quien está en el cielo gozando de plenitud eterna, gracias por haberme enseñado a superarme cada día y a servir siempre con amor. Papá, sé que hay alegría y gozo por un logro más en mi vida.

A mi mamá y hermanos, quienes han sido mi inspiración para sacarlos y salir adelante, y a mis amigos y amigas de cerca y lejos, pues han estado atentos en todo momento. En especial, a mi profesora y gran amiga, Carmen Elena Aguiluz.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Programa del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), por financiar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Robalino, por ser mi director guía en este proceso de aprendizaje, por su acompañamiento, interés, paciencia, apoyo y conocimientos aportados, para que se desarrollara el estudio.

Al Dr. van Etten, por facilitarme acceso a la información de Bioversity Internacional y por sus comentarios.

Al Dr. Imbach, por proporcionarme acceso a los de datos de precipitación y sus comentarios. Así como también por la disponibilidad de su equipo de trabajo que me colaboró cuando lo requerí.

Un especial agradecimiento a Selena Georgiou, Christian Brenes y Kaue de Sosa, por el apoyo brindado en la construcción de la base de datos.

A los compañeros y compañeras de la promoción: Natalia Merida, Patricia Roche, Karem del Castillo, Alejandra Ospina, Giovanni González, Melisa Peña, Noelia Larios y Daniel Estange, por los momentos compartidos y por brindarme una mano amiga cuando lo necesité.

Al personal docente y administrativo, por todo el apoyo, amabilidad y atención brindado durante mi estadía en CATIE.

Aprecio la ayuda en la clasificación de semillas proveída por el Ing. Julio Cesar Villatoro Mérida del ICTA, Dr. Juan Carlos Rosas de Zamorano, Dr. Narcizo Meza del DICTA, e Ing. Adelfaro Clara Melara del CENTA.

De igual forma, al Dr. David Voegtlin, Dr. Erik Sack 's y Dr. Ephantus Juma Muturi, por todo el apoyo brindado para empezar este proyecto.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
LISTA DE ACRÓNIMOS	VII
RESUMEN GENERAL	VIII
ABSTRACT	VIII
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. GENERAL	2
2.2. ESPECÍFICOS.....	2
2.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS.....	2
3. SÍNTESIS REFERENCIAL	3
4. PRINCIPALES RESULTADOS	4
5. PRINCIPALES CONCLUSIONES	5
6. LITERATURA CITADA	5
CAPÍTULO II	8
1 INTRODUCCIÓN	9
2 REVISIÓN DE LITERATURA	11
3 DATOS	14
3.1 OBSERVACIONES	14
3.2 RENDIMIENTO.....	18
3.3 TRATAMIENTO.....	19
3.4 PASOS PARA CALCULAR ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO	20
3.5 OTRAS VARIABLES	26
4 METODOLOGÍA	28
4.1 MODELOS ECONOMÉTRICOS.....	28
4.1.1 <i>Determinantes de la adopción</i>	28
4.1.2 <i>Determinantes del rendimiento</i>	29
4.1.3 <i>Estimaciones del contrafactual y el efecto</i>	30
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1 DETERMINANTES DE LA ADAPTACIÓN.....	32
5.2 ESTIMACIONES DEL EFECTO DE LA ADAPTACIÓN SOBRE LA PRODUCTIVIDAD	36

5.2.1	<i>Efectos en los niveles de rendimiento</i>	36
5.2.2	<i>Efectos en los rendimientos controlados por otras variables independientes</i>	39
5.2.3	<i>Efecto de tratamiento y contrafactual</i>	42
5.2.3.1	Efecto tratamiento	43
5.2.3.2	Efecto de heterogeneidad.....	47
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
7	BIBLIOGRAFÍA	50
8	ANEXOS	56
8.1	LISTADO DE SEMILLA DE FRIJOL MEJORADO Y CRIOLLO	56
8.2	DETALLE DE SEMILLA MEJORADA CULTIVADA EN PRIMERA Y POSTRERA.....	58
8.3	FRECUENCIA DE SIEMBRA DE SEMILLAS CRIOLLA Y MEJORADA EN PRIMERA.....	59
8.4	FRECUENCIA DE SIEMBRA DE SEMILLA CRIOLLA Y MEJORADA EN POSTRERA	60
8.5	ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN EL MODELO DE RENDIMIENTOS PARA PRIMERA (MAYO - AGOSTO) Y POSTRERA (SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2014) EN EL CULTIVO DE FRIJOL.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	NÚMERO DE OBSERVACIONES PARA PRIMERA Y POSTRERA.....	15
TABLA 2.	ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS UTILIZADAS EN LOS MODELOS ECONÓMICOS	16
TABLA 3.	CLASIFICACIÓN DE LA ESCALA DE LOS VALORES DE IPE.....	22
TABLA 4.	PORCENTAJE DE OBSERVACIONES EN LA ESCALA DE LOS VALORES DE IPE POR MES	26
TABLA 5.	ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS Y EFECTOS MARGINALES EN EL MODELO DE ADAPTACIÓN PARA PRIMERA (MAYO – AGOSTO 2014) Y POSTRERA (SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2014) EN EL CULTIVO DE FRIJOL.....	32
TABLA 6.	ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN EL MODELO DE RENDIMIENTOS PARA PRIMERA (MAYO – AGOSTO 2014) Y POSTRERA (SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2014) EN EL CULTIVO DE FRIJOL	36
TABLA 7.	ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EN LOS MODELOS DE RENDIMIENTOS DE SEMILLA MEJORADA Y SEMILLA CRIOLLA PARA PRIMERA (MAYO – AGOSTO 2014) Y POSTRERA (SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2014) EN EL CULTIVO DE FRIJOL.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	GRÁFICO DE PORCENTAJE DE SIEMBRA DE SEMILLA MEJORADA PARA PRIMERA Y POSTRERA	20
FIGURA 2.	GRÁFICOS DE FRECUENCIAS DE ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO PARA EL 2014 POR MES PARA PRIMERA Y POSTRERA.	23
FIGURA 3.	MAPAS CON EL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO PARA EL 2014 POR MES Y COMUNIDAD PARA PRIMERA (MAYO-AGOSTO).....	24
FIGURA 4.	MAPAS CON EL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADO PARA EL 2014 POR MES Y COMUNIDAD PARA POSTRERA (SEPTIEMBRE-DICIEMBRE)	25
FIGURA 5.	CURVAS DE COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE RENDIMIENTO LOGARÍTMICO (KG HA-1) OBTENIDO Y ESTIMADO PARA PRIMER CICLO (MAYO - AGOSTO 2014) DE PRODUCCIÓN DE FRIJOL	45
FIGURA 6.	CURVAS DE COMPARACIÓN DEL PROMEDIO LOGARÍTMICO DE RENDIMIENTO (KG HA-1) OBTENIDO Y ESTIMADO PARA EL SEGUNDO CICLO (SEPTIEMBRE - DICIEMBRE 2014) DE PRODUCCIÓN DE FRIJOL.....	46

LISTA DE ACRÓNIMOS

CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CC	Cambio Climático
CENTA	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CHIRPS	Grupo Climático de Estaciones de Riesgo de Precipitación con Infrarojos
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
DICTA	Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria
EPM	Evaluación Participativa Masiva
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FEWSNET	Sistema de Alerta Temprana para Prevención de la Hambruna
Ha	Hectárea
HFIAS	Índice de Escala del Componente de Acceso de la Inseguridad Alimentaria
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
IPE	Índice de Precipitación Estandarizado
Kg	Kilogramos
Km	Kilómetro
MAP	Programa Mesoamericano
MCO	Mínimos Cuadrados Ordinarios
MPL	Modelo de Probabilidad Lineal
Mz	Manzana
PPI	Índice de Progreso de la Pobreza
QQ	Quintales
ZAMORANO	Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

RESUMEN GENERAL

Los escenarios de cambio climático para la región Centro Americana indican que habrá incrementos en temperatura y reducción en precipitación; estos cambios afectarán la seguridad alimentaria de miles de agricultores de subsistencia, que dependen de la producción agrícola. En vista de eso, los agricultores tienen que buscar estrategias para disminuir la vulnerabilidad en la producción y mantener la seguridad alimentaria de sus familias. De acuerdo con los expertos, los productores serán afectados por los cambios, pero no tanto si toman medidas sembrando semillas mejoradas. Es por eso que la evaluación de este estudio se enfocó en estimar la relación entre la probabilidad de adaptarse por la siembra de semilla de frijol mejorada y el impacto del rendimiento por la decisión de adopción. La estimación de los determinantes se realizó a través de un modelo probabilístico, regresión múltiple y sistemas de ecuación simultánea. Los modelos fueron construidos a partir de variables climáticas, geofísicas y socioeconómicas. En el estudio se encontró que las variables climáticas explican el efecto en la adaptación en los periodos de producción primera y postrera, pero en el modelo de rendimiento, las variables climáticas demuestran un efecto positivo para la medida en primera, mientras que en la no adaptación se observa ese efecto solo para postrera. En cuanto a la medición de impactos en el rendimiento, los resultados fueron positivos con incrementos en los rendimientos para los productores que deciden adaptarse en primera, no así para los que se adaptan en postrera, es decir, aunque se perciben beneficios por la adaptación, la brecha de rendimiento no es significativa.

Palabras clave: adaptación, adopción, efectos, semilla, índice.

ABSTRACT

The climate change scenarios for Central America region indicate an increase in temperature and decrease in precipitation, those changes will affect the food security of thousands of subsistence farmers who depend on agricultural production. In fact, the farmers have to look for strategies to reduce the vulnerability in production and to maintain the food security of their families. According to the experts, the farmers will be affected by the changes, but the impact may be reducing if they take actions by planting improved seeds. That is the reason why the assessment of this study is focused on estimating the relationship between the probability of farmer's adaption by planting improved beans seed and the impact on yield by the decision that they have made. The estimation of the determinants is performed by using a probabilistic model, multiple regression, and simultaneously equation systems. The models were constructed using climatic, geophysical and socioeconomic variables. The study has found that climatic variables explain the effect on adaptation during the periods of the first and second production season, but in the yield model, climatic variables show a positive effect for the adaptation on the first season, while in the non-adaptation the effects were only observed on the second season. With regard of measuring the yield impacts, the results were positive with increases in yields for farmers who decide to adapt at first season, but not for those that adapted in the second season. Although benefits are perceived by adaptation, the yield gap is not significant.

Key words: adaptation, adoption, effects, seed, index.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El clima está cambiando y los más afectados son los que dependen de la agricultura de subsistencia.

En Centro América, particularmente, en el corredor seco se estima que existen más de un millón de familias que dependen de la agricultura. (FAO 2015) Ellos tienen limitaciones de recursos y necesitan tener acceso a variedades de semillas que sean adecuadas a las condiciones de sus suelos, que tengan bajo costo de adquisición, que utilicen bajas cantidades de insumos, que produzcan buenas cosechas y que tengan buena aceptación en el mercado. (Araya y Hernández 2008; van Etten *et al.* 2016)

Es por ello que este estudio es parte del proyecto Prueba3 que Bioversity Internacional está desarrollando en la región El Trifinio Guatemala, Honduras y El Salvador en coordinación con el Programa Agroambiental Mesoamericano (CATIE/ MAP).

Bioversity es una institución internacional dedicada a proporcionar investigación científica en manejo de prácticas y políticas de uso, seguridad y biodiversidad agrícola, con el fin de mantener la sostenibilidad de la seguridad alimentaria y nutrición. Mientras que MAP tiene como objetivo fortalecer la asistencia técnica y disminuir la pobreza en Mesoamérica con el apoyo financiero de las embajadas de Suecia, Finlandia, Noruega y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE.

El proyecto Prueba3 está enfocado en desarrollar y validar variedades de frijol adaptadas al clima de la zona utilizando la metodología "Crowdsourcing crop improvement: evidence base and outcalin model" con su traducción en español "adaptación climática mediante ensayos en finca con la evaluación participativa masiva (EPM)". (van Etten 2011)

La EPM consiste en involucrar y empoderar a los agricultores como investigadores para mejorar sus propias semillas bajo sus condiciones y sin ningún tipo de supervisión. Las capacidades construidas en el proceso de mejoramiento y selección no solo ayudan al productor, sino también a los vecinos que perciben las mejoras en los rendimientos por innovar.

Los agricultores reciben tres paquetes de semillas con diferentes variedades, sin conocer el nombre de la semilla, ellos monitorean todas las etapas de desarrollo del cultivo desde la siembra hasta la degustación. Durante ese periodo la información recolectada por el agricultor es proveída vía teléfono en tres momentos para almacenarla en la base de datos de Bioversity automáticamente. Primero, cuando se mide la arquitectura y vigorosidad de la planta en la etapa vegetativa. Luego, en el monitoreo de plagas y enfermedades, y resistencia a sequía en la etapa reproductiva. En último lugar, cuando se cosecha, se valora la aceptación del mercado y se degusta la calidad, sabor y apariencia. (van Etten *et al.* 2016) Con la información que se almacenó se procede al análisis y divulgación a los productores participantes del proyecto.

Al evaluar cuál de las tres variedades presentó mejores resultados en todos los aspectos estudiados, el productor puede tomar mejor decisión para los próximos ciclos de producción porque ha construido capacidad de adaptación, lo cual reduce su vulnerabilidad y mejora en su resiliencia ante los escenarios previstos en el incremento de temperaturas y la reducción anual en precipitación. (Imbach *et al.* 2010)

En este sentido, el productor asegura la disponibilidad del grano de frijol, para suplir las necesidades de su familia por la adopción y siembra de semilla mejorada.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Evaluar los impactos de las estrategias de adaptación ante la variabilidad climática en el cultivo de frijol de los pequeños productores en ciento cuarenta y tres comunidades del Trifinio (Guatemala, Honduras y El Salvador).

2.2. Específicos

- Identificar las variedades de frijol que siembran los productores del Trifinio.
- Generar índices de variabilidad climática de la región del Trifinio.
- Estimar los efectos de las variables climáticas, geofísicas y socioeconómicas sobre la adopción de variedades de semillas mejoradas.
- Estimar el efecto de utilizar semillas mejoradas sobre el rendimiento.
- Estimar los efectos de la adopción sobre la reducción de los rendimientos ante eventos climáticos adversos.

2.3. Preguntas de investigación e hipótesis

¿Hay diferencias entre las características de los productores que se adaptan y los que no se adaptan?

H₁: Existen diferencias entre los productores que se adaptan y no se adaptan en las características climáticas, geofísicas y socioeconómicas en primera y postrera.

¿Ha tenido efectos positivos la semilla mejorada sobre los rendimientos?

H₁: Las variedades de semilla mejorada aumentan rendimientos en los productores que la utilizan.

¿Han reducido las pérdidas en rendimientos de frijol debido al clima los agricultores que siembran semillas mejoradas?

H₁: Los productores que utilizan semillas mejoradas son menos afectados en términos de rendimientos por hectárea ante los eventos climáticos.

3. SÍNTESIS REFERENCIAL

El frijol es un grano esencial en la dieta de los Centroamericanos, porque provee de nutrientes y vitaminas, pero es un cultivo muy susceptible a los excesos de agua o sequía, lo cual afecta los rendimientos y en consecuencia, la seguridad alimentaria, principalmente de quienes dependen de su producción. Por ser un grano importante, muchos han puesto su interés en investigar sobre el cultivo y desarrollar variedades que sean resistentes a plagas y enfermedades y más resistente el desarrollo de variedades tolerancia a la sequía. Para mayor detalle revisar estudios previos (Pastor-Corrales y Schwartz 1994; Daniel 1997; Rosas *et al.* 1997; Rosas *et al.* 2000a; Rosas *et al.* 2000b; Mejía 2001; Frahm *et al.* 2003; Rosas 2003; Frahm *et al.* 2004; Rosas *et al.* 2004a; Rosas *et al.* 2004b; CIAT 2005; Beebe *et al.* 2011; Berrios *et al.* 2011; Beebe *et al.* 2012; Porch *et al.* 2013; Rosas 2014; Rosas *et al.* 2015; Blair *et al.* 2016).

Debido a los cambios en los patrones climáticos, no solamente se hace necesario innovar con variedades que tengan buenas respuestas a las condiciones bióticas, sino también que respondan a condiciones abióticas. Por ende, los centros de investigación están enfocando los estudios a variedades tolerantes a la sequía, siendo El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) uno de los principales centros de investigación para Latinoamérica en asocio con las agencias nacionales de investigación.

En cuanto a los estudios concernientes a evaluaciones de impacto de estrategias de adaptación al cambio climático y efectos en los rendimientos de los cultivos, se han realizado con mayor evidencia para algunos países de África y Asia, comparado con América Latina, dichos estudios han utilizado ecuaciones simultáneas, para evaluar impactos en los rendimientos haciendo uso de contrafactuales. La mayoría de los involucrados en estos estudios han sido Chavas, Okezie, Di Falco y Veroseni, Abdulai y Huffman, Kassie, Abid, Huang, y Alen.

Para América Latina, La Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe (CEPAL) ha evaluado efectos del cambio climático en los rendimientos de granos básicos con una función de producción en conjunto con un modelo Ricardiano, pero sin incluir contrafactuales en los

modelos, pues dichos modelos tienen diferente enfoque; sin embargo, las variables que se analizan son utilizadas también en los modelos con contrafactuales. En otras palabras, se incluyen variables endógenas (trabajo, capital e insumos), exógenas (clima e irrigación) y características del productor, para estimar los determinantes. (CEPAL *et al.* 2010; Ordaz *et al.* 2010)

Para esta investigación, la variable de impacto es la adopción de semilla mejorada. Además, la estimación de los efectos de la medida haciendo uso de ecuaciones simultáneas con contrafactuales; Sin embargo, en la región no se ha utilizado la metodología para el sector agrícola. Por lo tanto, se tomó como referencia el estudio Does Adaptation to Climate Change Provide a Food Security? A Micro-Perspective from Ethiopia. (Di Falco *et al.* 2011)

Estudios similares con el uso de la metodología, han encontrado que la probabilidad de adaptarse aumenta estadísticamente significativamente en la medida que los agricultores dispongan de información climática, extensión en los cultivos tanto del gobierno como intercambio de experiencia con vecinos, disponibilidad de créditos y disponibilidad de maquinaria. Además, el impacto de la medida se refleja en un aumento de los rendimientos cuando se cuenta con un suelo fértil, disponibilidad de animales en la finca, días dedicados al trabajo en la finca, fertilización del cultivo. (Alene y Manyong 2007; Di Falco *et al.* 2011; Di Falco y Veronesi 2013; Abdulai y Huffman 2014; Huang *et al.* 2015)

4. PRINCIPALES RESULTADOS

De los 2331 productores encuestados, el 89 por ciento (2070) siembran semilla de frijol, mientras que 11 por ciento (261) no cultiva.

La producción se obtiene de tres ciclos productivos: apante, primera y postrera. Los dos últimos han sido de interés en este estudio, encontrándose que la mayoría siembra en postrera, predominando en ambos periodos el cultivo de las semillas criollas en la decisión de siembra.

El 83% tiene un hogar consolidado donde vive la pareja mujer y hombre, pero de ellos el 46% son mujeres jefas de hogar, 42% hombres jefes y el resto corresponde a los hijos e hijas.

El 45.40% no sabe leer ni escribir.

El tamaño promedio de la familia es de cinco miembros, la cual tiene un consumo anual de 156 kilogramos de frijol por familia, casi tres veces más el consumo per cápita de la región.

Las familias tienen una inseguridad alimentaria moderada, por lo que solamente el 11% dispone para agregar fertilizante al cultivo.

Los agricultores se adaptan más cuando las condiciones de los patrones de precipitación históricos han sido lluviosas.

Se refleja un aumento de la productividad con significancia estadística cuando se evalúa adaptación en los dos periodos considerados, pero a medida se añaden más variables

explicativas resulta evidente una disminución promedio del efecto en 8%; aunque sigue siendo positivo no es estadísticamente significativo.

Los efectos de los índices de precipitación son positivos en la productividad de semilla mejorada para primera y postrera; sin embargo, para semilla criolla solamente en postrera se observa que los índices son positivos en el rendimiento.

El impacto es positivo en la diferencia de los efectos del rendimiento para los adaptados y no adaptados en primera, pero es positivo solamente para los adaptados en postrera, siendo negativo para los no adaptados.

Aunque el impacto es positivo no significativo para los adaptados, pues la brecha entre los rendimientos demuestra que no existen diferencias significativas en el rendimiento por cultivar semilla mejorada o criolla, a pesar de que en promedio se siembran áreas menores a media hectárea, que podrían manarse con facilidad.

5. PRINCIPALES CONCLUSIONES

Los agricultores que toman medidas de adaptación sembrando semillas mejoradas, en vez de semillas criollas, reciben un aumento promedio de nueve por ciento para primera y siete por ciento para postrera.

Los efectos en el rendimiento son distintos para los que se adaptan y no se adaptan. Los que se adaptan tienden a ser retribuidos con mayores beneficios en rendimientos que los que no se adaptan.

El grupo de productores, que no se adaptan en postrera parece que no son favorecidos en el rendimiento por adaptarse, ya que se tendría una disminución en el rendimiento.

Los que se adaptan, el adaptarse hace que se reduzca la varianza en la productividad entre productores en el ciclo de primera. Sin embargo, para los que no se adaptan, el adaptarse podría aumentar la varianza en el rendimiento entre productores en postrera.

6. LITERATURA CITADA

- Abdulai, A; Huffman, W. 2014. The adoption and impact of soil and water conservation technology: An endogenous switching regression application. *Land Economics* 90 (1): 26-43.
- Alene, A; Manyong, V. 2007. The effects of education on agricultural productivity under traditional and improved technology in northern Nigeria: an endogenous switching regression analysis. *Empirical economics* 32 (1): 141-159.
- Araya, R; Hernández, JC. 2008. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. Heredia, Costa Rica, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. 42 p.

- Beebe, S; Ramírez, J; Jarvis, A; Rao, IM; Mosquera, G; Bueno, JM ; Blair, MW. 2011. Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change. *Crop adaptation to climate change, Australia*: 356-369.
- Beebe, S; Rao, I; Mukankusi, C; Buruchara, R; Hershey, C. 2012. Improving resource use efficiency and reducing risk of common bean production in Africa, Latin America and the Caribbean.
- Berrios, E; Lopez, C; Kohashi, J; Acosta, J; Miranda, S; Mayek, N. 2011. Advances in Mexico on Bean Breeding for Tolerance to High Temperature and Drought. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34 (4): 247-255.
- Blair, MW; Cortés, AJ; This, D. 2016. Identification of an ERECTA gene and its drought adaptation associations with wild and cultivated common bean. *Plant Science* 242: 250-259. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945215300376>
- CEPAL, (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CH); UKAID, (Department for International Development, UK ; CCAD, (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, ES). 2010. *La economía del cambio climático en Centroamérica. (Síntesis)*.
- CIAT, (Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali). 2005. *The impact of the bean research network in Central America: past, present, and future*. Consultado 26 oct. de 2016. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72164/67269.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Daniel, E. 1997. The temperature dependence of photoinhibition in leaves of *Phaseolus vulgaris* (L.) Influence of CO₂ and O₂ concentrations. *Plant Science* 124 (1): 1-8.
- Di Falco, S; Veronesi, M; Yesuf, M. 2011. Does Adaptation to Climate Change Provide Food Security? A Micro-Perspective from Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics* 93 (3): 829-846.
- Di Falco, S ; Veronesi, M. 2013. How Can African Agriculture Adapt to Climate Change? A Counterfactual Analysis from Ethiopia. (Article). *Land Economics* 89 (4): 743-766. Disponible en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=91585563&site=ehost-live>
- FAO, (Food and Agriculture Organization of The United Nations, Italy). 2015. *Disaster Risk Programme to strengthen resilience in the Dry Corridor in Central America* Consultado 18 oct. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/emergencies/resources/documents/resources-detail/en/c/330164/>.
- Frahm, M; Rosas, JC; Mayek, N; López, E; Acosta, JA ; Kelly, JD. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agronomía Mesoamericana* 14 (2): 143-150.
- Frahm, MA; Rosas, JC; Mayek-Pérez, N; López-Salinas, E; Acosta-Gallegos, JA ; Kelly, JD. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica* 136 (2): 223-232.
- Huang, J; Wang, Y; Wang, J. 2015. Farmers' Adaptation to Extreme Weather Events through Farm Management and Its Impacts on the Mean and Risk of Rice Yield in China. *American Journal of Agricultural Economics* 97 (2): 602-617.
- Imbach, P; Molina, L; Locatelli, B; Corrales, L. 2010. Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica.
- Mejía, O. 2001. *Common beans atlas of the Americas*. Michigan State University, Department of agricultural economics. Consultado 04 oct. 2016. Disponible en <https://www.msu.edu/~bernsten/beanatlas/>

- Ordaz, JL; Mora, J; Acosta, A; Serna Hidalgo, B; Ramírez, D. 2010. El Salvador: Efectos del cambio climático sobre la agricultura.
- Pastor-Corrales, M ; Schwartz, HF. 1994. Problemas de producción del frijol en los trópicos. CIAT, Cali, Colombia
- Porch, TG; Beaver, JS; Debouck, DG; Jackson, SA; Kelly, JD; Dempewolf, H. 2013. Use of wild relatives and closely related species to adapt common bean to climate change. *Agronomy* 3 (2): 433-461.
- Rosas, J; Varela, O ; Beaver, J. 1997. Registration of Tío Canela-75's small red bean (race Mesoamerica). *Crop science* 37 (4).
- Rosas, J; Castro, A; Beaver, J; Pérez, C; Garcés, A ; Lépiz-Idelfonso, R. 2000a. Mejoramiento genético para tolerancia a altas temperaturas y resistencia a mosaico dorado en frijol común. *Agronomía Mesoamericana* 11 (1): 1-10. Consultado 16 de sept. 2016.
- Rosas, J; Erazo, J; Moncada, J. 2015. Tolerancia a la sequía en germoplasma de frijol común y frijol tepari. *REVISTA CEIBA* 32 (2): 91-106.
- Rosas, JC; Castro, A; Flores, E. 2000b. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y El Caribe. *Agronomía Mesoamericana* 11 (2): 37-46.
- Rosas, JC. 2003. El cultivo del frijol común en América tropical. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano.
- Rosas, JC; Beaver, JS; Beebe, S ; Viana-Ruano, A. 2004a. Nomenclatura de variedades de frijol común liberadas en Centro América y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana* 15 (2): 221-224.
- Rosas, JC; Beaver, JS; Escoto, D; Perez, CA; Llano, A; Hernández, J; Araya, R. 2004b. Registration of Amadeus 77's small red common bean. *Crop science* 44 (5): 1867-1869.
- Rosas, JC. 2014. Contribuciones del Programa de Investigaciones en Frijol en Centro América y El Caribe. *REVISTA CEIBA* 52 (1): 65-73.
- van Etten, J. 2011. Crowdsourcing crop improvement in sub-saharan africa: a proposal for a scalable and inclusive approach to food security. *IDS bulletin* 42 (4): 102-110.
- van Etten, J; Beza, E; Calderer, L; Van Duijvebdiijk, K; Fadda, C; Fantahun, B; Kidane, YG; Van de Gevel, J; Gupta, A; Mengistu, DK. 2016. First experiences with a novel farmer citizen science approach: crowdsourcing participatory variety selection through on-farm triadic comparisons of technologies (TRICOT).

CAPÍTULO II

Evaluación de Impactos de las Estrategias de Adaptación sobre los Efectos del Clima en los Rendimientos del Cultivo de Frijol en El Trifinio

Rosa Nila Alfaro Gómez, Juan Robalino, Jacob van Etten, Pablo Imbach

RESUMEN

Se evaluaron los impactos de las estrategias de adaptación y los efectos del clima en los rendimientos del cultivo de frijol. La evaluación se basó en la estimación de la relación entre la probabilidad de adaptarse, estimación de efectos en rendimientos y medición de impacto en rendimiento por la siembra de semilla mejorada de frijol.

Para el análisis se utilizaron datos provenientes de una encuesta realizada a 2331 agricultores de la zona del Trifinio (Guatemala, Honduras y El Salvador), extracción de datos de precipitación de la base de datos CHIRPS y extracción de datos de paisaje.

La estimación de los parámetros se realizó a través de un modelo probabilístico, regresión múltiple y sistemas de ecuación simultánea. Los modelos fueron construidos a partir de variables climáticas, geofísicas y socioeconómicas.

En el estudio se halló que la asociación entre las variables estudiadas y la probabilidad de adaptarse varían significativamente en magnitud en los ciclos de primera y postrera. Además, se encontró que el efecto en el rendimiento de las variables climáticas es positivo para la medida de adaptación en primera. Mientras que para postrera el efecto positivo solo se observa en el rendimiento de las semillas criollas. Así mismo resultó esencial implementar medidas de adaptación porque los beneficios están reflejados en incrementos de rendimiento para los que deciden adaptarse en primera. Sin embargo, en postrera los beneficios no son tan evidentes para los que se adaptan.

Palabras clave: adaptación, adopción, efectos, semilla, índice.

1 INTRODUCCIÓN

Adaptarse al cambio climático es crucial para las comunidades que dependen de la agricultura, ya que se verán afectadas por temperaturas más elevadas, escasez de agua, sequías, precipitación extrema, incremento de plagas y enfermedades, y pérdida de materia orgánica en los suelos, etc. (Altieri y Nicholls 2009; Aguilar 2011). En Centroamérica, los datos de las últimas cuatro décadas indican que el incremento de temperaturas extremas ha sido de 0.2 a 0.3°C por década (Aguilar *et al.* 2005). De igual forma la precipitación ha tenido un cambio en la intensidad, distribución y frecuencia (Oropeza 2004; Villers y Trejo 2004; Aguilar *et al.* 2005). Mientras tanto, las proyecciones para la región muestran un incremento en temperatura y una reducción anual en precipitación en cantidad y distribución (Imbach *et al.* 2010).

Según Aguilar 2011; Eitzinger *et al.* 2013; FEWSNET 2015, la reducción en precipitación implica un mayor estrés hídrico y una alta vulnerabilidad para las comunidades más pobres, porque sus sistemas de producción y medios de vida son afectados, como consecuencia se tendrán pérdidas económicas y de producción en los cultivos de maíz y frijoles (CEPAL *et al.* 2010). Estos son granos básicos de importancia para los dos millones de pequeños agricultores y agricultores de subsistencia de la región (FAO 2014; IICA 2014), representando más de un millón de familias de subsistencia en el corredor seco. (FAO 2015)

En particular, el cultivo de frijol es uno de los principales alimentos en la dieta diaria de miles de personas de limitados recursos económicos. Ésta es la fuente más importante de proteína, hierro, fibra, ácido fólico, tiamina, potasio, magnesio y zinc (Rosas *et al.* 2000b; CEPAL *et al.* 2010; Schmidt *et al.* 2012; IICA 2014; Ambachew *et al.* 2015). Su consumo promedio en kilogramos per cápita por año es 13.9 para Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua (FAO 2013; IICA 2014) pero en las zonas rurales el consumo es mucho más alto. De todos ellos, los mayores consumidores son Nicaragua (23.4) y El Salvador (15.2).

En el 2014, la región sufrió de desabastecimiento de frijol por varios factores; sin embargo, se tiene evidencia que el clima influyó en la producción debido a que el verano y el veranillo de julio fue más extendido y las lluvias comenzaron más tarde de lo normal (FEWSNET 2014; Lara y Arceda 2014). Estos cambios de patrones fueron notorios y sentidos en Guatemala, Honduras y El Salvador, especialmente en Guatemala en los municipios de El Progreso, Zacapa, Chiquimula, Jalapa y Jutiapa se reportó pérdidas de cosecha por sequía en un 80 a 90 por ciento (Blunden y Arndt 2015). Además, en octubre hubo inundaciones en Honduras y El Salvador por las lluvias intensas.

En consecuencia, la reducción en la producción repercutió en alza de precios del frijol y la seguridad alimentaria. Para ayudar a las familias, los gobiernos de Guatemala, Honduras y El Salvador tomaron medidas de corto plazo, tales como: importación de frijoles de Etiopía, entrega de paquetes agrícolas de semilla mejorada e incentivos para mejorar las prácticas agrícolas. (FEWSNET 2014; Sain *et al.* 2016)

De acuerdo con lo anterior, las condiciones bióticas y abióticas repercuten en gran medida en los rendimientos del cultivo de frijol. Es por ello que, desde hace más de tres décadas, los fitomejoradores han desarrollado variedades mejoradas para incrementar la productividad del cultivo. En América Latina y El Caribe se tienen disponibles más de noventa variedades mejoradas resistentes a plagas y enfermedades e incluso un poco más reciente, variedades tolerantes a sequía con alto contenido de nutrientes. (Rosas *et al.* 2000b; Rosas *et al.* 2004; CIAT 2014; Rosas 2014; IICA y COSUDE 2016)

La liberación de variedades mejoradas ha representado una alternativa para enfrentar pérdidas en los rendimientos del cultivo en la época de primera y postrera ante las variaciones de las condiciones climáticas. Si bien, la disponibilidad de semilla mejorada está desde hace varios años, aun no se han evaluado mucho los efectos de las medidas de adaptación en la región, es decir, si al cambiar las semillas tradicionales por variedades mejoradas se reducen los efectos negativos en los rendimientos a nivel local, cuando se modelan con variables climáticas. En particular si las mejoras también la reciben los productores de subsistencia con poco acceso a recursos, tecnología, con suelos degradados y localizados en zonas con alto porcentaje de pendiente. (Rosas 2000)

Es por eso que, el objetivo de este estudio fue evaluar los impactos de las estrategias de adaptación ante la variabilidad climática en el cultivo de frijol de los pequeños productores en ciento cuarenta y tres comunidades del Trifinio (Guatemala, Honduras y El Salvador). Para el análisis se utilizaron datos provenientes de la encuesta que se realizó a 2331 productores, con cobertura en los departamentos Chiquimula, Jalapa y Zacapa en Guatemala; Ocotepeque en Honduras; Chalatenango y Santa Ana en El Salvador. En total se entrevistaron agricultores de 27 municipios de la zona, desde marzo a septiembre de 2015.

Para conocer los efectos en la probabilidad de adaptarse y el impacto recibido en los rendimientos por el uso de semilla mejorada se utilizaron modelos probabilísticos, regresiones múltiples y ecuaciones simultáneas. A este último se le agregó un contrafactual invirtiendo las dos ecuaciones de rendimiento para hacer supuestos en la evaluación y así estimar los rendimientos; primero, ¿qué habría ocurrido si los que se adaptaron no se hubieran adaptado? y segundo, ¿qué habría ocurrido si los que no se adaptaron lo hubieran hecho? Para el desarrollo de este estudio se tomó de base la metodología de Di Falco *et al.* (2011), con la única diferencia que se evaluó cada uno de los modelos por separado y se asumió que los errores se distribuyen normal, con media cero y varianza constante.

En el estudio se encontró que la mayoría de las familias evaluadas siembran semillas de frijol criollas en los periodos de primera y postrera. Aunque se cultiva en ambos periodos, hay mayor preferencia en cultivar en el ciclo de postrera. En los modelos econométricos, se observa que la productividad de las semillas mejoradas incrementa al incluir los índices de precipitación en primera y postrera; sin embargo, para semilla criolla solamente ese efecto se percibe en postrera. Igualmente, los resultados indican un impacto positivo no significativo de ocho por ciento en promedio por la siembra de semilla mejorada. En cuanto a la diferencia de los

rendimientos obtenidos y estimados para primera y postrera al evaluar con el sistema de ecuaciones simultaneas, resultó que los que se adaptan perciben mayores beneficios. Mientras que, los que no se adaptan en postrera, si se, reducirían su producción.

Aunque se tienen efectos positivos en los rendimientos por cultivar semilla mejorada en áreas de menos de media hectárea. Los aumentos en los rendimientos podrían estar limitados debido a que en promedio las familias tienen un índice de pobreza del 42 por ciento y un índice de inseguridad alimentaria moderada del 8.55 por ciento, con estas características es difícil que los agricultores brinden el manejo agronómico que requiere el cultivo de semillas mejoradas de frijol.

Finalmente, para responder al estudio, el documento está organizado en distintas secciones. La siguiente sección describe información del cultivo de frijol y los efectos del clima; así como evidencias de los estudios relacionados al cambio climático con modelos econométricos en algunos países. La sección 3 indica las tres fuentes principales de obtención de la información y su descripción; la sección 4 representa la metodología utilizada con modelos econométricos de probabilidad, regresión múltiple y ecuaciones simultáneas; la sección 5 demuestra los resultados obtenidos al evaluar los distintos determinantes y estimaciones del contrafactual y el efecto, y la sección 6 presenta las conclusiones y las recomendaciones.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

(a) Generalidades del cultivo de frijol

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa que se adapta a temperaturas promedio de 17 a 25 °C (Rosas *et al.* 2000a; Beebe *et al.* 2011; Berrios *et al.* 2011), se cultiva en Centro América en latitudes bajas a latitudes medias, desde 400 hasta 2000 msnm y sus requerimientos hídricos durante el ciclo productivo están entre 363 a 450 mm de lluvia (Rosas 2003; Beebe *et al.* 2011). Además, los suelos donde se cultiva deben ser profundos (50 cm), fértiles, con al menos 1,5 por ciento de materia orgánica en la capa arable y de textura liviana con no más de 40 por ciento de arcilla como los de textura franco, franco limoso y franco arcilloso. El pH del suelo idóneo está en el rango entre 6 y 7,5. (Rosas 2003)

Las semillas deben sembrarse a 2-3 cm de profundidad; cuando la humedad y la temperatura del suelo son óptimas, la germinación está entre los 3-4 días y la emergencia a los 5-6 días después de la siembra; se utiliza de 40-50 kg. de semilla/hectárea, con lo cual se alcanza una densidad de plantas entre 200-250,000 plantas/hectárea. (Rosas 2003)

En la región, las mayores áreas de siembra están en Nicaragua, seguido por Guatemala, El Salvador, Honduras y Belice, con rendimiento promedio de 11 Qq/Mz, equivalentes a 713kg/ha. (IICA 2014)

(b) Efectos del clima en el cultivo de frijol

La reducción de precipitación de 60 a 200 milímetros en la época lluviosa en Centroamérica y El Caribe (Beebe *et al.* 2011), unida a otros factores como ubicación de parcelas en zonas con alto porcentaje de pendiente, suelos compactos, suelos degradados deficientes en nitrógeno y fósforo, poco o ningún acceso a tecnología (Rosas *et al.* 2000b; Graham *et al.* 2003; Beebe *et al.* 2011; Beebe *et al.* 2012; Porch *et al.* 2013), tiene repercusiones en la seguridad alimentaria como consecuencia de los bajos rendimientos, particularmente, el cultivo de frijol en las etapas de germinación y emergencia; floración y formación de vainas; y llenado de vainas es susceptible a los cambios ambientales extremos (Rosas 2003; Beebe *et al.* 2011; Eitzinger *et al.* 2013). La humedad adecuada del suelo mejora la productividad en las etapas críticas porque ayuda en el establecimiento uniforme del cultivo, evita aborto de la flor y obtiene un tamaño máximo del grano.

Tanto el déficit como el exceso de lluvias es problemático para el cultivo, pero cuando se presentan altas temperaturas el rendimiento puede disminuir hasta un 21 por ciento por cada grado de temperatura, de manera relativa (Gourdji *et al.* 2015). Aparte del incremento de la temperatura, el estrés hídrico causado por la sequía afecta al cultivo debido a que es sembrado después del maíz, es decir, más del 60 por ciento de la producción se obtiene con la humedad almacenada en el suelo en el ciclo de postera. (Frahm *et al.* 2003; Frahm *et al.* 2004)

Para lograr incrementos en los rendimientos con un clima cambiante, los fitomejoradores han trabajado en conjunto con los agricultores, de manera que los productores tengan distintas opciones de frijoles mejorados disponibles para cambiar o actualizar las semillas que son más sensibles y que producen bajos rendimientos, ya que la adopción de nuevas variedades permiten que los agricultores sean más resilientes (Rosas *et al.* 2000b; Rosas *et al.* 2004; IPCC2007; Rosas 2014), pues la capacidad de adaptarse aumenta la resiliencia a los eventos extremos y su recuperación. (Lin 2011)

Porch *et al.* (2013) reporta que es necesario tomar acciones inmediatas para identificar genes en el cultivo de frijol común que sean resistentes al incremento de temperatura, al estrés presentado por la sequía, a las plagas y enfermedades. De lo contrario, la productividad será afectada en dos tercios, por lo que el fitomejoramiento del cultivo de frijol es la clave para la adaptación al cambio climático (CC) ante escenarios con patrones de alteración, incidencia e intensidad. (Beebe *et al.* 2011; Beebe *et al.* 2012)

Desde hace más de tres décadas se iniciaron los procesos de investigación para mejorar las semillas de frijol en la región, con los proyectos y centros investigación Bean/Cowpea, Dry Grain Pulses CRSP, PROFRIJOL-CIAT, Zamorano, DICTA, ICTA, CENTA, Programa de Fitomejoramiento de Mesoamérica (FP). (CIAT 2005; Hocdé 2006; Reyes 2012; CIAT 2014)

Sin embargo, la tasa de mejoramiento de semillas en el tiempo no ha sido tan rápida como los cambios en la variabilidad del clima, pues no solamente se necesitan cultivos resistentes a

plagas y enfermedades, sino cultivos que tolerantes a la variabilidad del clima, contengan alto contenido de nutrientes, proporcionen importantes rendimientos con limitado manejo agronómico y sean aceptados por el mercado (Porch *et al.* 2013; Ambachew *et al.* 2015). Por lo tanto, es crítico entender la importancia de la seguridad alimentaria y los retos para mantenerla en un clima tan cambiante. (Bee 2014)

(c) Evaluación de medidas de adaptación al cambio climático con modelos econométricos

Los estudios que han evaluado medidas de adaptación al CC e impactos en los rendimientos con modelos econométricos; se han enfocado en incluir la decisión de adaptación como una variable latente, por ejemplo, la variable binaria adaptación es representada por adopción de medidas, percepción de riesgo, tecnología, educación, prácticas sustentables, uso de fertilizante, etc. Entre las variables que explican el efecto de la medida se ha reportado clima, características del suelo, fertilidad del suelo, pendiente, profundidad, activos, insumos, medidas de conservación, características del agricultor, acceso a información, demografía, ubicación de la parcela, etc. (Alene y Manyong 2007; Di Falco y Chavas 2009; Di Falco *et al.* 2011; Okezie *et al.* 2011; Di Falco y Veronesi 2013; Abdulai y Huffman 2014; Di Falco 2014; Kassie *et al.* 2014; Abid *et al.* 2015; Huang *et al.* 2015)

Además, el análisis de los modelos que miden impactos se han realizado a través de ecuaciones simultáneas. Estas ecuaciones son sistemas completos cuando se considera la mayor cantidad de variables endógenas como variables existen en la ecuación (Baltagi 2011), teniendo en cuenta el efecto causal de una variable sobre otra (*ceteris paribus*), es decir, si una variable cambia, los demás parámetros deben mantenerse igual.

Al analizar el efecto causal se requiere utilizar razonamiento contrafactual, el cual se representa como posibles supuestos y resultados reales (Wooldridge 2012). Es muy importante analizar la heterogeneidad, porque explica la ocurrencia de un fenómeno en distintas regiones geográficas y ayuda a evitar el sesgo por la inestabilidad espacial o autocorrelación. Al considerar la heterogeneidad se asegura que la varianza para cada uno de las observaciones sea igual y constante en la regresión. (Anselin 2001)

En Centroamérica, el análisis del impacto por el CC en la producción y los rendimientos en cultivos de granos básicos maíz, frijoles y arroz se ha realizado con una función de producción, incluyendo variables explicativas endógenas tales como trabajo, características de los agricultores, capital y otros insumos; y como variables exógenas variables climáticas e irrigación (CEPAL 2010). Mendelsohn (2000) impulsó la función de producción por medio de la determinación del precio de la tierra utilizando variables climáticas. Él encontró que la adaptación es eficiente en productores que trabajan de forma independiente sólo si los costos son menores a los beneficios cuando se evalúan las variables climáticas, es decir, debería haber una maximización de beneficios individuales netos.

Además, Isik y Devadoss (2006) indican que al modelar datos históricos del clima y de los rendimientos con modelos econométricos, la temperatura y precipitación reflejan impactos en diferentes cultivos. Aunque las variables climáticas tienen un efecto en los rendimientos, también la fertilidad del suelo tiene una relación entre la densidad y distribución de las raíces para extraer los nutrientes y agua disponibles en el mismo (Ho *et al.* 2005; Lynch 2005; Henry *et al.* 2010). Asimismo, la probabilidad de una buena cosecha incrementa al cultivar buena semilla. (Rosas 2003)

3 DATOS

Los datos provienen de tres fuentes principales:

- 1) Encuestas a productores,
- 2) Extracción de datos de precipitación de la base de datos Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (CHIRPS),
- 3) Extracción de datos de paisaje derivados del modelo de elevación Misión Topográfica (SRTM2000), Sistema de información Territorial Trinacional (SINTET 2016) y (Finnfor/CATIE 2013).

La encuesta fue la herramienta utilizada para recolectar información cuantitativa y cualitativa de productores. Con ella se obtuvo información relacionada con áreas de siembra, rendimientos, aspectos socioeconómicos, características de la familia y del hogar, pero principalmente las preferencias de siembra de semillas criollas o mejoradas.

3.1 Observaciones

Los datos de la encuesta muestran que, de los 2,331 productores encuestados, el 89 por ciento (2070) siembran semilla de frijol, mientras que 11 por ciento (261) no cultiva. De los que cultivan, se seleccionaron los agricultores que siembran en los periodos de producción de primera y postrera, ya que ellos dependen de las condiciones climáticas para el desarrollo y la producción. Los que cultivan en apante, se dejaron fuera del análisis, porque hacen uso de riego para abastecer las necesidades hídricas del cultivo.

Por lo tanto, se contó con 845 productores que siembran en primera (12 por ciento representa semilla mejorada y 88 por ciento con semilla criolla) y 1805 productores de postrera (14 por ciento cultivan semilla mejorada y 86 por ciento semilla criolla). De ellos, hay quienes siembran en los dos periodos evaluados. Así como también, la mayoría maneja dos unidades de áreas con distintos nombres de semilla. A excepción de uno para primera y tres para postrera que siembra hasta cinco parcelas. Entonces sobre ese número de productores y las observaciones por unidades de áreas (913 para primera y 2167 para postrera) se realizaron las evaluaciones de los modelos determinantes de rendimientos (Tabla 1).

Tabla 1. Número de observaciones para primera y postrera

Detalle	Observaciones	
	Ciclo	
	Primera	Postrera
Total de productores encuestados	2331	
Productores que siembran frijol	2070	
Productores que sembraron frijol solo en primera	215	
Productores que sembraron frijol solo en postrera	1119	
Productores que siembran en primera y postrera	702	
Productores que siembran en apante	34	
Total de productores que siembran en análisis	2036	
	917	1821
Total de observaciones por unidad de área sembradas	1017	2332
Productores con una unidad de área sembrada	772	1692
Productores con dos unidades de área sembrada	206	552
Productores con tres unidades de área sembrada	31	70
Productores con cuatro unidades de área sembrada	7	15
Productores con cinco unidades de área sembrada	1	3
Total de número de áreas evaluadas	913	2167
Total de productores evaluados en los modelos	845	1805

Nota: La suma del número de productores que cultivan en primera y en postrera es diferente al total de los productores que siembran frijol debido a que hay algunos que siembran en ambos ciclos. Además, el total de unidades de áreas evaluadas en los modelos se reducen porque hay datos perdidos en las variables de rendimiento, edad del jefe de hogar, años de experiencia y las variables de paisaje.

Entre otras características particulares encontradas en los productores de frijol revelan que, el 83 por ciento tiene un hogar consolidado donde ambos miembros (mujer y hombre) viven en el hogar. Sin embargo, al indagar en la posición del hogar, el 46 por ciento son mujeres jefas de hogar y 42 por ciento hombres jefes y el resto de la posición corresponde a los hijos, hijas, yerno y nuera. La edad promedio de la mujer y el hombre están entre 45 y 41 años de edad respectivamente. El 45.40 por ciento no sabe leer ni escribir. El tamaño promedio de la familia es de cinco miembros, la cual tiene un consumo anual de 156 kilogramos de frijol por familia (Tabla 2).

Desafortunadamente, el promedio del índice de pobreza es de 42 puntos, a pesar de que el 71 por ciento recibe entradas de ingresos en distintas actividades fuera de la finca. Este promedio del índice ubica a las familias en una probabilidad de 38 por ciento de vivir bajo la línea nacional de pobreza (Desiere *et al.* 2015). Esto se refleja en el promedio del índice de inseguridad alimentaria con 8.55 puntos indicando una inseguridad alimentaria moderada (Tabla 2).

Aunque, el 83 por ciento de los hogares tiene animales en el hogar, en su mayoría aves; esto no mitiga las necesidades básicas, ni ayuda a superar las deficiencias de la inseguridad alimentaria y el bajo nivel de pobreza. Con estas características, solamente el 11 por ciento podría dar un buen manejo al cultivo de frijol de semilla mejorada, ya que ese porcentaje de familias son los únicos que agregan fertilizante al cultivo.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas utilizadas en los modelos econométricos

Variable	Clasificación de variable	Primera		Primera		Postrera		Postrera		Postrera		Postrera	
		Toda la muestra		Semilla criolla		Semilla mejorada		Toda la muestra		Semilla criolla		Semilla mejorada	
		Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.
Dependiente													
Producción	kg	126.33	6.85	108.800	5.646	251.457	36.696	268.744	8.421	243.971	8.565	423.383	27.871
Rendimiento	kg/ha	509.831	14.790	473.450	14.220	769.450	59.632	647.836	9.378	628.326	9.507	769.622	32.260
Área de cultivo	Ha	0.257	0.008	0.254	0.009	0.290	0.025	0.427	0.016	0.404	0.018	0.573	0.030
Adaptación													
	Binaria	na	na	0.000	0.000	1.000	0.000	na	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
Semilla criolla	Porcentaje	88	na	0.000	0.000	0.000	0.000	86.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
Semilla mejorada	Porcentaje	12	na	0.000	0.000	0.000	0.000	14.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
Independientes													
Precipitación													
Mayo	IPE	0.372	0.006	0.401	0.006	0.170	0.022	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Junio	IPE	0.254	0.003	0.243	0.003	0.334	0.015	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Julio	IPE	-1.021	0.002	-1.013	0.002	-1.083	0.007	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Agosto	IPE	-0.160	0.003	-0.172	0.004	-0.078	0.012	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Septiembre	IPE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.434	0.004	0.469	0.004	0.217	0.014
Octubre	IPE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.822	0.003	0.827	0.003	0.786	0.007
Noviembre	IPE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.192	0.006	0.219	0.006	0.022	0.016
Diciembre	IPE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.245	0.004	0.267	0.005	0.108	0.013
Activos													
Propietario de animales	Binaria	0.820	0.012	0.821	0.013	0.808	0.035	0.845	0.008	0.849	0.008	0.817	0.022
Características del productor													
No sabe leer ni escribir	Binaria	0.450	0.015	0.478	0.017	0.280	0.040	0.458	0.010	0.471	0.011	0.379	0.027
Sabe leer y escribir	Binaria	0.310	0.014	0.307	0.015	0.384	0.044	0.357	0.010	0.343	0.011	0.441	0.028
Completó primaria	Binaria	0.170	0.011	0.163	0.012	0.216	0.037	0.139	0.007	0.141	0.008	0.121	0.018
Completó secundaria	Binaria	0.028	0.005	0.021	0.005	0.080	0.024	0.023	0.003	0.021	0.003	0.034	0.010
Educación superior técnica o universitaria	Binaria	0.003	0.002	0.003	0.002	0.008	0.008	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003	0.003

Nota: na= no aplica

Pasa...

Continuación de la tabla 2 estadísticas descriptivas

Variable	Clasificación de variable	Primera		Primera				Postrera		Postrera			
		Toda la muestra		Semilla criolla		Semilla mejorada		Toda la muestra		Semilla criolla		Semilla mejorada	
		Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.	Media	Error Est.
Jefe del hogar													
Hombre y mujer	Binaria	0.830	0.011	0.836	0.012	0.824	0.034	0.838	0.008	0.839	0.008	0.835	0.021
Mujer sola	Binaria	0.096	0.009	0.096	0.010	0.096	0.026	0.108	0.006	0.112	0.007	0.084	0.015
Hombre solo	Binaria	0.041	0.006	0.044	0.007	0.024	0.014	0.038	0.004	0.036	0.004	0.053	0.012
Edad del jefe de hogar	Número	44.000	0.430	44.468	0.464	44.726	1.154	45.000	0.298	44.678	0.321	45.000	0.806
Tamaño de la familia	Número	6.000	0.083	6.000	0.089	5.000	0.220	6.000	0.049	6.000	0.053	5.000	0.128
Años cultivando la variedad de frijol	Número	8.000	0.250	9.000	0.273	5.000	0.558	9.000	0.175	8.500	0.176	10.000	0.634
Paisaje													
Clasificación de suelo													
alfisoles, entisoles, inceptisoles, andosoles	Binaria	0.040	0.006	0.021	0.005	0.176	0.034	0.022	0.003	0.016	0.003	0.059	0.013
andosoles, alfisoles, entisoles	Binaria	0.140	0.110	0.131	0.011	0.232	0.038	0.138	0.007	0.092	0.006	0.425	0.028
andosoles, alfisoles, ultisoles	Binaria	0.040	0.006	0.039	0.007	0.048	0.019	0.057	0.005	0.048	0.005	0.115	0.018
entisoles, alfisoles, ultisoles, molisoles	Binaria	0.667	0.014	0.694	0.015	0.480	0.045	0.696	0.010	0.761	0.010	0.292	0.025
inceptisoles, entisoles, vertisoles	Binaria	0.007	0.008	0.080	0.009	0.040	0.018	0.040	0.004	0.041	0.004	0.034	0.010
Aspecto	Grados	176.000	3.350	175.219	3.597	180.750	9.373	180.006	2.254	179.069	2.403	186.225	6.474
Elevación	Metros	962.000	8.170	966.129	9.024	935.857	15.979	930.996	5.545	939.660	5.938	873.515	15.108
Pendiente	Porcentaje	21.000	0.410	21.780	0.444	16.560	1.140	22.209	0.267	22.694	0.283	18.996	0.758
Prácticas agrícolas													
Fertiliza	Binaria	0.122	0.010	0.122	0.010	0.128	0.030	0.121	0.007	0.124	0.007	0.102	0.017
Incorporación de estiércol al suelo	Binaria	0.100	0.009	0.098	0.010	0.152	0.032	0.075	0.005	0.066	0.006	0.127	0.019
Incorporación de rastrojos al suelo	Binaria	0.935	0.007	0.937	0.008	0.920	0.024	0.926	0.005	0.935	0.005	0.866	0.019
Compost de residuos de frijol	Binaria	0.053	0.007	0.048	0.007	0.088	0.025	0.033	0.004	0.027	0.004	0.065	0.014
Tenencia de tierra													
Posesión de la tierra	Binaria	0.800	0.012	0.809	0.013	0.800	0.036	0.771	0.009	0.797	0.009	0.606	0.027
Índices													
Índice de pobreza	Número	38.790	0.597	37.071	0.606	51.064	1.900	40.994	0.372	39.266	0.383	51.786	1.057
Índice de inseguridad alimentaria	Número	10.000	0.196	10.478	0.208	6.632	0.520	8.743	0.118	9.297	0.123	5.289	0.307
Número de hectáreas		1017		892		125		2332		2010		322	
Número de productores		845		740		105		1805		1526		279	

3.2 Rendimiento

Los datos de áreas y producción de frijol fueron dados por los agricultores en la encuesta, pero ellos manejan distintas unidades de medida tales como cuerdas, tareas, manzanas y quintales. Estas unidades se estandarizaron al sistema métrico internacional, se pasaron las áreas a hectáreas y la producción en quintales a kilogramos. Antes de realizar el cambio de unidades se consultó con los productores de la zona, lo cual afirmaron que una cuerda es igual a una tarea en metros cuadrados (437.5 mts^2), pero debido a que se contó con la distancia de cada lado de la tarea (10, 12 y 14 varas) se utilizó la siguiente fórmula para hacer la conversión de las unidades:

Conversión de áreas

$$\text{De tarea a área en hectárea} = \frac{(\text{Lado de la tarea} * 1.67\text{mts})^2 * \text{Número de tareas}}{10,000}$$

Donde:

Una brazada = 2 varas, siendo 1 vara = 83.5 centímetros, es decir una brazada = 1.67 metros

El área de una hectárea = $10,000 \text{ mts}^2$

$$\text{De manzanas a área en hectáreas} = \text{Número de manzanas} * 0.7$$

Una manzana = 0.7 de hectárea

Conversión de quintales a kilogramos

$$1 \text{ quintal} = 45.3592 \text{ kilogramos}$$

1 quintal = 45.3592 Kilogramos

Conversión de producción a rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción en kilogramos}}{\text{Área en hectáreas}}$$

El rendimiento promedio fue de 509.83 kilogramos para primera en 1,017 observaciones y 647.83 kilogramos para postrera en 2,332 observaciones (Tabla 2), siendo la unidad de muestra las parcelas. En esos promedios están incluidos observaciones con cero rendimientos, de los cuales fueron 71 observaciones en primera y 69 observaciones en postrera (Tabla 1). Debido a las condiciones bióticas y abióticas que enfrentaron los agricultores el área sembrada es diferente al área cosechada.

Finalmente, los rendimientos de primera y postrera se transformaron a rendimientos en logaritmo natural para normalizarlos y usarlos como variable dependiente en los modelos determinantes de rendimiento.

3.3 Tratamiento

La clasificación de las semillas criollas y mejoradas se realizó con información secundaria, que incluyó artículos científicos e informes técnicos de variedades liberadas por los principales centros de investigación en Guatemala, Honduras y El Salvador (Rosas *et al.* 2000b; Rosas *et al.* 2004; CIAT 2014; Rosas 2014; IICA y COSUDE 2016). De las semillas mejoradas se encontró mucha información; mientras que de las semillas criollas se obtuvo poca, por lo que se clasificaron como criollas a partir de su nombre común. Una vez realizada la clasificación se hizo validación con expertos en fitomejoramiento de los centros de investigación del ICTA, DICTA, Zamorano y CENTA.

Aunque se hizo la validación de los nombres de las semillas con los expertos, el nombre de la semilla podría tener un porcentaje de sesgo, puesto que los productores tienden a nombrar sus semillas dependiendo del lugar de donde las adquirieron. Por lo tanto, para tener una mayor precisión de la variedad que cada uno de ellos cultiva sería necesario hacer estudios más profundos de secuenciación de germoplasma o hacer el estudio conociendo la procedencia y calidad de la semilla.

Con la clasificación se determinó que los productores conocen diversidad de nombres de semillas, entre éstos se clasificaron 112 nombres como criollas y 45 como mejoradas. Las semillas que tienen mayor frecuencia de siembra por 845 agricultores (740 siembran criolla y 105 mejorada) en el periodo de primera: son Vaina Blanca (19%), Vaina Morada (18%), Villano (6.49%), Criollo Negro (5.6%), Frijol Negro (3.64%), Amadeus 77 (3.15%), ICTA Ligero (3.05%), Vaina Negra (3.05%), Cordelín (2.65%) y Frijol seda (2.65%). De esta lista únicamente Amadeus 77 e ICTA Ligero son semillas mejoradas, el resto son semillas criollas.

De los 1805 productores que cultivan en postrera (1526 siembran criolla y 279 mejorada), las semillas con alta frecuencia de siembra son Vaina Morada (16.61%), Vaina Blanca (14.21%), Villano (9.74%), Frijol Negro (4.85%), Criollo Negro (3.52%), Frijol Seda (3.65%), Frijol Rojo (3%), Santa Rosita (3%), Centa (2.4%) y Criollo Blanco (2.27%). En cuanto a las preferencias por semilla mejorada por país son:

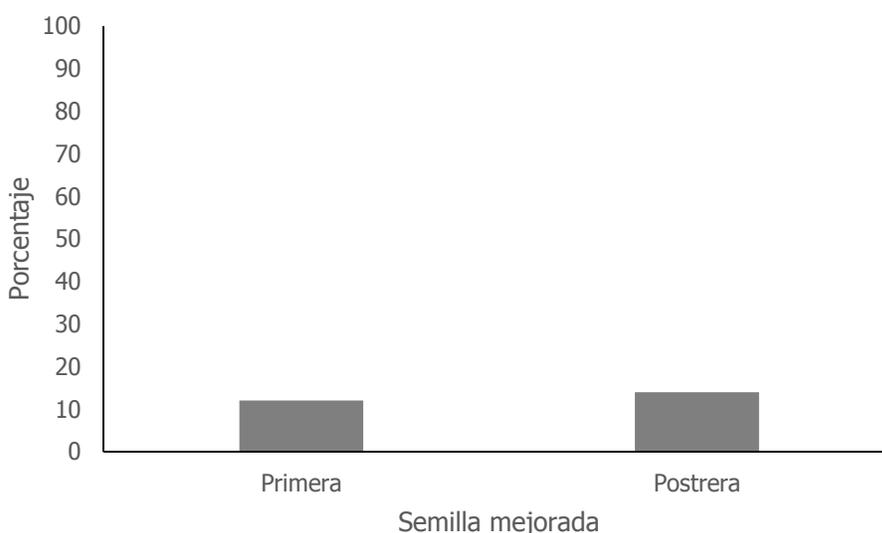
- Guatemala: ICTA Ligero, ICTA, Hondureño H46, ICTA Ostua, Catrachita, Jalpatagua, CENTA Costeño, ICTA Quetzal e ICTA Sayakche;
- Honduras: Amadeus 77, D'Oro, Cardenal, DEORHO, Carrizalito, Catrachita, Noventa, Tío Canela y CENTA;
- El Salvador: CENTA, DOOR, CENTA pipil, CENTA SAN Andrés, CENTA, CENTA Chaparrastique y Dorado.

Reyes *et al.* (2012) indican que en Centroamérica, para el año 2010, el área sembrada de frijol rojo pequeño era del 67%, siendo las variedades mejoradas más sembradas (a) DEORHO (23 %) y Amadeus 77 (16 %) en Honduras, (b) CENTA San Andrés (40 %) y CENTA Pipil (14 %) en El Salvador. Los resultados muestran que los nombres de las semillas mejoradas reportadas por el estudio de Reyes coinciden con el presente estudio, es decir, dichas

variedades posiblemente han sido utilizadas por los agricultores desde hace algunos años (Anexo 8, detalle de semilla mejorada y gráficos de frecuencia de siembra).

Dentro de las variedades tolerantes a la sequía encontradas en este estudio y validadas con los expertos se encuentran Amadeus 77, CENTA Chaparrastique, CENTA Costeño 2, Door-364, ICTA Jade, ICTA Ligerero y Tío Canela. La figura 1 muestra que un 12 por ciento de semillas mejoradas y un 88 por ciento de semillas criollas fueron evaluadas en primera; para postrera se evaluó 14 por ciento de semillas mejoradas y 86 por ciento de semillas criollas.

Figura 1. Gráfico de porcentaje de siembra de semilla mejorada para primera y postrera



3.4 Pasos para calcular Índice de Precipitación Estandarizado

La información climática se extrajo de la base de datos CHIRPS, la cual es una base de datos que ha sido levantada a partir de técnicas de interpolación por medio de satélites, que cubren 5 km a nivel global y regional, y provee estimaciones de combinaciones de precipitación con tecnología de climatologías de alta resolución espacial y estaciones terrestres de 0.05°. La disponibilidad de los datos está desde 1981 hasta el presente, siendo datos confiables y con bajo sesgo. Incluye intervalos de tiempo diarios, pentadal, mensual y decadal; encontrándose entre 50 latitud norte a 50 latitud sur. (Funk *et al.* 2015)

En este estudio se trabajó con el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), el cual indica el comportamiento de los patrones de precipitación normal, seca o lluviosa para un sitio específico. El IPE puede ser calculado para diferentes escalas de tiempo, pero se requiere datos de al menos treinta años, luego los datos son transformados utilizando una distribución normal con media cero y desviación estándar de los valores del periodo utilizado (Edwards 1997; Hayes *et al.* 1999). Los pasos que se siguieron para calcularlo fueron:

Primero, se obtuvo la base de datos a partir de la acumulación de precipitación de cinco días de los meses primera (mayo-agosto) y postrera (septiembre-diciembre) desde 1981 hasta 2014, dando un total de 204 observaciones por cada uno de los meses para cada productor, evaluando el total de los encuestados de todas las comunidades.

Seguidamente, con 198 del total de observaciones por mes para cada productor se generó la precipitación promedio histórica del periodo de cinco días desde 1981 a 2013. De igual forma, con el resto de datos, correspondientes al 2014, se promedió la precipitación para cada uno de los meses de primera y postrera por cada productor.

Luego, se calculó las anomalías basadas en la diferencia del promedio de la precipitación del 2014 y el promedio histórico para cada uno de los productores por mes. Después, se calculó el IPE dividiendo la anomalía entre la desviación estándar de los datos históricos (ver ecuación 1 y ecuación 2).

Por último, con el IPE se construyeron gráficos de frecuencias (Figura 2) y mapas (Figura 3 y 4) para cada uno de los meses de primera y postrera por municipio. Para la construcción de los mapas se extrajo la capa de Guatemala, Honduras y El Salvador de la capa de América Latina. (Hijmans *et al.* 2014)

Ecuación 1

$$\text{Anomalía} = (\bar{X} \text{ de pp de cada mes evaluado del 2014}) - (\bar{X} \text{ histórico de la pp de cada mes evaluado})$$

Donde pp= precipitación

Ecuación 2:

$$IPE = \frac{\text{anomalía de cada mes evaluado}}{\text{desviación estándar histórica de cada mes evaluado}}$$

IPE = Índice de Precipitación Estandarizado

En los gráficos se observa que mayo, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre presentaron un IPE en escala positiva o en su mayoría valores positivos. Estos valores indican que la precipitación fue superior a la media, mientras que julio y agosto presentaron valores negativos, es decir inferiores a la media. En general, las condiciones climáticas con IPE, para el año 2014 estuvieron en el rango de clasificación normal de -0.99 a 0.99 (Tabla 3) y barras color gris claro (Figura 2) para mayo, junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Moderadamente seco en julio y humedad moderada en octubre, barras color oscuro (Figura 2).

Al ubicar el IPE de los productores por municipio por mes en un mapa, se observa que en primera sólo el mes de mayo en Jocotán presentó condiciones de humedad moderada. Mientras que, los demás municipios mostraron condiciones normales. Asimismo, para los siguientes

meses se observan condiciones normales, excepto para julio en todos los municipios de la zona que se presentaron condiciones moderadamente secas; en postrera el mes de octubre en Jocotán, Camotán, San Juan la Ermita, Olapa, Esquipulas, Concepción, Sinuapa, Labor, Lucerna y Sensenti estuvieron con humedad moderada, pero en los demás meses para todos los municipios, las condiciones fueron normales.

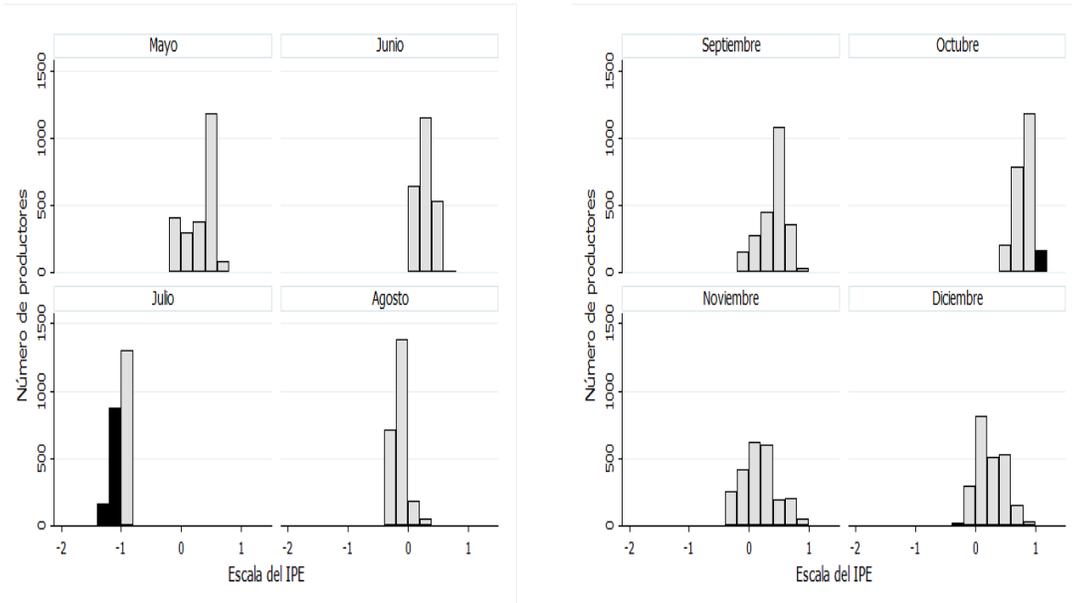
Para la incorporación del IPE en los modelos determinantes de rendimientos, estimaciones de contrafactual y efectos (Tabla 3), se convirtieron en variables binarias y la categoría normal, se subdividió en normal leve húmedo de 0.5 a 1 y normal leve seco de -1 a -0.5 (Tabla 4), esto con el fin de evidenciar cuánto puede influir ese pequeño rango de desviación en los rendimientos de los que siembran frijol en los periodos de primera y postrera. De acuerdo con la tabla 4, la mayoría de observaciones se encuentra en la clasificación de la escala normal de -0.5 a 0.5, excepto julio y octubre. Para julio es evidente que la mayor proporción de observaciones se encuentra en la categorización normal leve seco, mientras que octubre presentó la mayoría en normal leve húmedo. En los modelos se utilizaron las variables con datos fuera del rango normal.

Tabla 3. Clasificación de la escala de los valores de IPE

Valores IPE	Categoría
>2	Humedad extrema
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1 a 1.49	Humedad moderada
- 0.99 a 0.99	Cerca de la normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
<-2	Extremadamente seco

Fuente: (Hayes *et al.* 1999)

Figura 2. Gráficos de frecuencias de índice de precipitación estandarizado para el 2014 por mes para primera y postrera.



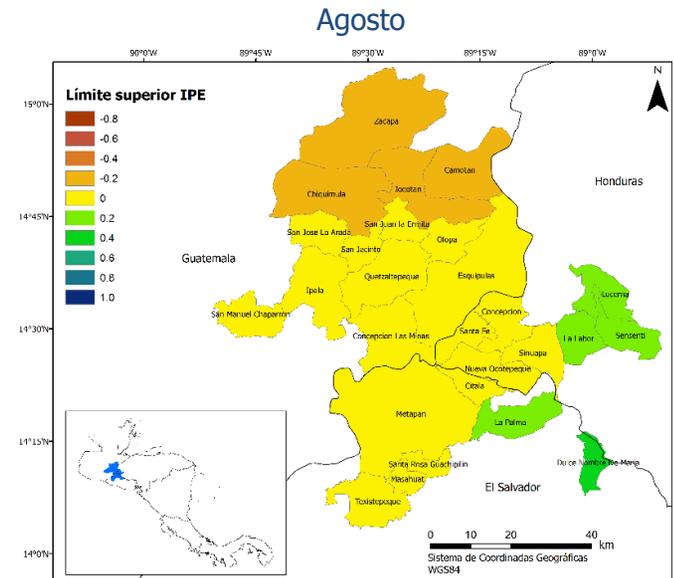
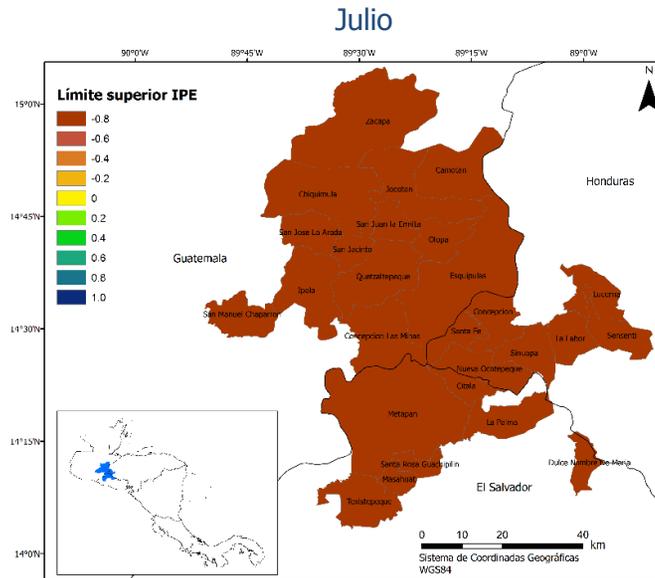
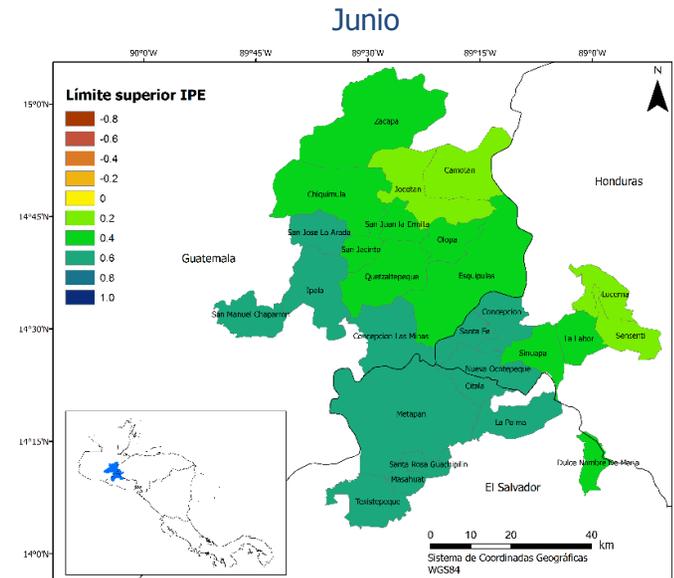
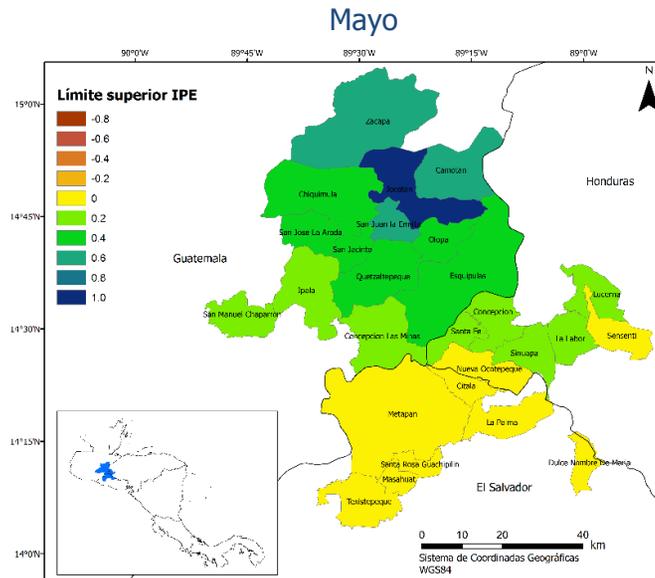


Figura 3. Mapas con el Índice de Precipitación Estandarizado para el 2014 por mes y comunidad para primera (mayo-agosto)

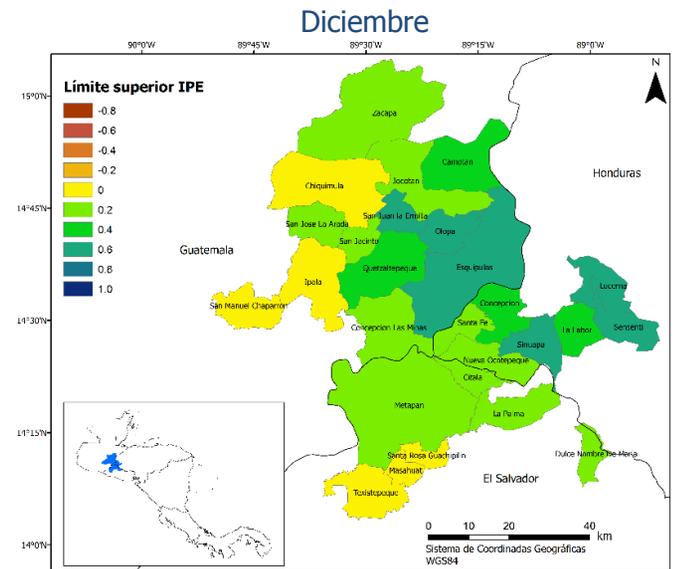
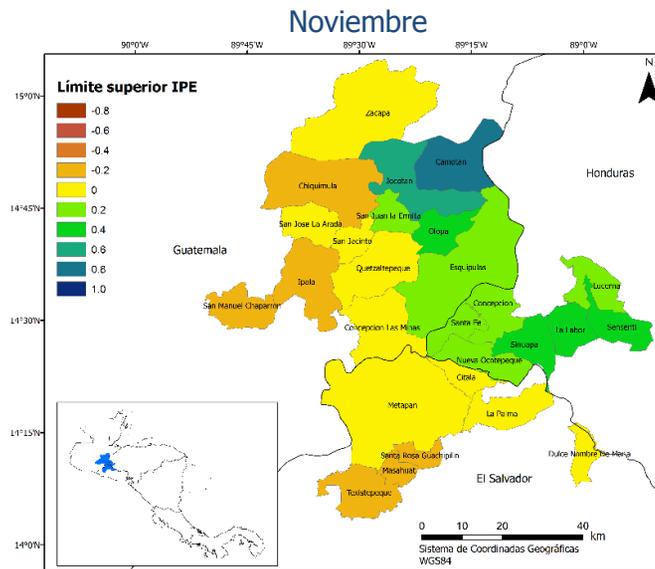
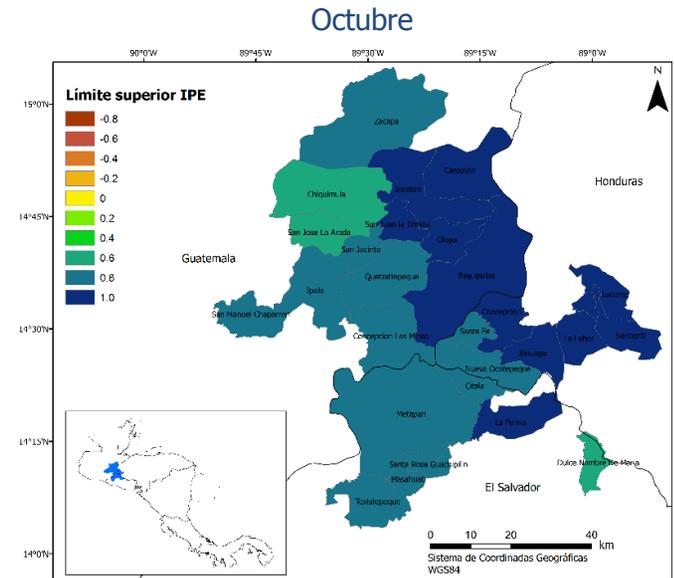
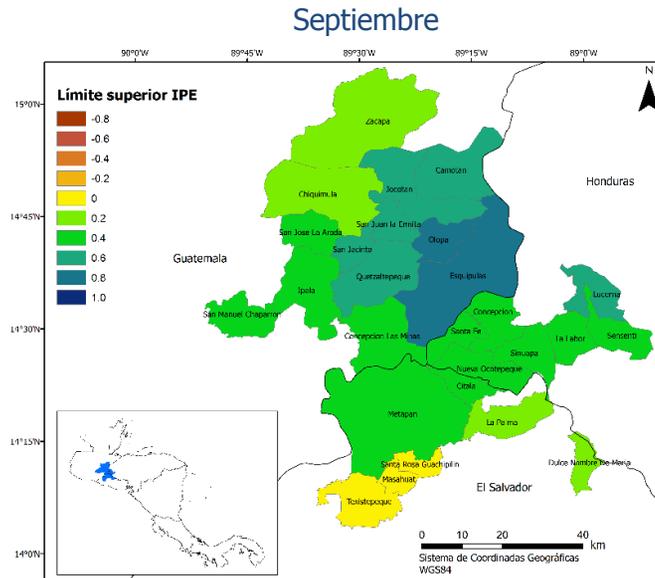


Figura 4. Mapas con el Índice de Precipitación Estandarizado para el 2014 por mes y comunidad para postrera (septiembre-diciembre)

Tabla 4. Porcentaje de observaciones en la escala de los valores de IPE por mes

Clasificación del Índice para el 2014	Meses de primera y postrera							
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Humedad extrema	0	0	0	0	0	0	0	0
Muy húmedo	0	0	0	0	0	0	0	0
Humedad moderada	0	0	0	0	0	7%	0	0
Normal leve húmedo	42%	13%	0	0	52%	91%	17%	13%
Normal	58%	87%	0	100%	48%	2%	83%	87%
Normal leve seco	0	0	61%	0	0	0	0	0
Moderadamente seco	0	0	39%	0	0	0	0	0
Severamente seco	0	0	0	0	0	0	0	0
Extremadamente seco	0	0	0	0	0	0	0	0

3.5 Otras variables

Índices de Escala del Componente de Acceso de la Inseguridad (HFIAS)

El HFIAS es un índice estándar que estima la inseguridad alimentaria de los hogares a partir de cuatro indicadores, tales como: condiciones, dominios, puntaje de escala y prevalencia. Estos indicadores permiten conocer la percepción de las personas jefes de hogar en cuanto a la insuficiencia de cantidad de alimentos disponibles en algún periodo del año, frecuencia de escasez y calidad del alimento disponible. El cálculo del índice se realiza de manera categórica con un puntaje de 0 a 27, entre más alto el puntaje, mayor la inseguridad alimentaria del hogar (Coates *et al.* 2007; Maxwell *et al.* 2014; Hammond *et al.* 2016). Los datos para la determinación de este índice fueron obtenidos por medido de la encuesta.

Índice de Progreso de la Pobreza (PPI)

Este índice estima la probabilidad de que un hogar esté por debajo de la línea de la pobreza en sus gastos. Se calcula a partir de 10 preguntas basadas en la observación de las características de la construcción y bienes disponibles en el hogar; luego el puntaje que se asigna es entre 0 a 100, entre más alta la calificación, menor es la probabilidad de que el hogar esté en la línea de la pobreza (Desiere *et al.* 2015; Hammond *et al.* 2016).

Este índice también se completó en la encuesta. Los encuestadores asignaron el puntaje de acuerdo con la percepción sobre los bienes y material de construcción del hogar. El mínimo y máximo porcentaje obtenido fue 5 y 89.

Paisaje

El paisaje está compuesto por aspecto, altitud, pendiente y tipos de suelo. El aspecto indica la orientación de las laderas desde 0 a 315 grados, mientras que la altitud es la elevación en

metros sobre el nivel del mar y la pendiente es el porcentaje de inclinación del suelo. Los datos se extrajeron de la capa construida por Finnfor/CATIE, pero la capa no ha sido publicada.

En cuanto a los tipos de suelos, estos están clasificados en la combinación de seis grupos:

- Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles, Andosoles
- Andosoles, Alfisoles, Entisoles
- Andosoles, Alfisoles, Ultisoles
- Entisoles, Alfisoles, Ultisoles, Molisoles
- Entisoles, Andosoles, Alfisoles, Molisoles
- Inceptisoles, Entisoles, Vertisoles

De acuerdo con Finkl Jr (1983), la definición de cada uno es la siguiente:

Alfisoles: Suelos con marcados procesos de translocación de minerales arcillosos, sin gran pérdida de bases (sodio, potasio, calcio y magnesio) y drenaje deficiente.

Andosoles: Son suelos fértiles, fáciles de cultivar, tienen buena capacidad para desarrollo de raíces y almacenamiento de agua, pero cuando es demasiado húmedo es pegajoso. Más del 60 por ciento de estos suelos se forman de materiales procedentes de ceniza volcánica y tiene características de fracciones de limo, arena y grava, pero también puede tener altos contenidos de materia orgánica desde 5 hasta 20% y un horizonte A.

Entisoles: Suelos jóvenes de composición mineral y con materiales lentamente solubles tales como roca dura caliza y cenizas o aluviación. Ocurren en sitios con pendiente pronunciada donde la erosión excede la tasa de formación del suelo. Tienen un horizonte A (50cm), un horizonte H, un horizonte cámbico cálcico o gípsico

Inceptisoles: Suelos formados en una amplia variedad de climas, con excepción de ambientes áridos, presentan agua disponible para las plantas por más de medio año o por más de tres meses consecutivos durante la estación seca. Suelos depositados por corrientes fluviales de textura más fina que la arena arcillosa o limo.

Molisoles: Suelos muy productivos, comúnmente encontrados en praderas.

Ultisoles: Son similares a los alfisoles en la translocación de arcilla, pero son muy lixiviados y en consecuencia son ácidos y con bases pobres. Su fertilidad es muy poca por lo que necesita uso de fertilizantes para ser altamente productivos.

Vertisoles: Suelos muy fértiles, con alto contenido de arcillas expansibles, pero a cincuenta centímetros de profundidad se forman grietas de un centímetro que se abren y cierran periódicamente cuando se secan, siendo el uso de riego requerido. Además, tienen alto contenido de arcilla.

Al incorporar las variables de paisaje a los modelos se disminuyó el número de observaciones analizadas, debido a que en el estudio se encuestaron a otras comunidades de El Salvador que no están contempladas en la capa del Trifinio. En total, el número de observaciones evaluadas para determinar rendimientos fueron 913 para primera y 2167 para postrera.

4 METODOLOGÍA

4.1 Modelos econométricos

4.1.1 Determinantes de la adopción

Los productores pueden utilizar diferentes medidas para adaptarse y aumentar su resiliencia al CC. Cualquier estrategia que se implemente en una finca reduce la vulnerabilidad y contribuye a la mejora de los rendimientos. Por lo tanto, el resultado de los cambios se refleja en la satisfacción de las necesidades de seguridad alimentaria. Para este estudio, el criterio de adaptación bajo el contexto de cambio climático está definido como la adopción y cultivo de semilla mejorada de frijol por los agricultores. Se determina así porque se ajusta a la definición proporcionada en el tercer informe de cambio climático (IPCC 2001), el cual indica que para adaptarse al CC deben hacerse ajustes en los sistemas de producción como respuesta a los estímulos climáticos y sus efectos.

Los ajustes se relacionan a cambios en uso de la tierra, cambios en manejo agrónomico de los cultivos, épocas de siembra, cosechas, prácticas en labranza, variedades de cultivos, uso de insumos químicos, mejoramiento de sistemas de irrigación y drenaje (Parry 2007; Parvatha 2015). Por ello, se asume que las semillas mejoradas son la alternativa para adaptarse al CC, mientras que las semillas locales de frijol no son adaptadas al CC; sin embargo, esto no quiere decir que las semillas locales no puedan resistir a la variabilidad climática.

En el modelo econométrico, la adaptación al CC se calculó con un Modelo de Probabilidad Líneal (MPL) usando Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) e identificando las variables regresoras que afectan la decisión de adaptarse, de acuerdo a estudios previos (Alene y Manyong 2007; Di Falco y Chavas 2009; Di Falco *et al.* 2011; Okezie *et al.* 2011; Di Falco y Veronesi 2013; Abdulai y Huffman 2014; Di Falco 2014; Kassie *et al.* 2014; Wang *et al.* 2014; Abid *et al.* 2015; Huang *et al.* 2015; Kassie *et al.* 2015). Luego, se corrió un modelo Probit utilizando métodos de máxima verosimilitud para medir que tan probable es que un agricultor se adapte sembrando semilla mejorada. El detalle del modelo es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{a) } P(A_i^*=1) = & G(\beta_0 + \beta_1 \text{Clima (c)} + \beta_2 \text{características del productor (cp)} + \beta_3 \text{ paisaje (p)} \\ & + \beta_4 \text{tenencia de la tierra (tt)} + \beta_5 \text{area de parcela (ap)} + \beta_6 \text{índice de pobreza (PPI)} \\ & + \beta_7 \text{índice de inseguridad alimentaria (HFIAS)} + u) \end{aligned}$$

Donde:

- G puede ser una función líneal; para el caso de modelo de probabilidad líneal, función de probabilidad de la distribución normal;

- para el caso de probit: A_i^* , es la variable dependiente dicotómica cuando el productor sembró semilla mejorada toma el valor de uno, de lo contrario su valor es cero. Las variables explicativas están compuestas por variables climáticas (cuartiles1, cuartil2 y cuartil3), toman valores binarios del promedio histórico y la desviación estandar histórica de precipitación de cada mes para cada productor. En el vector de características del productor, se considera posesión de animales, educación, jefe de hogar, edad, tamaño de la familia y años de experiencia en el cultivo. Posteriormente, características del paisaje (tipo de suelo, aspecto, elevación y pendiente),
- u es el error que se asume que tiene una distribución normal.

4.1.2 Determinantes del rendimiento

El efecto en la productividad, se determinó a través de varios pasos. Primero, se calculó un modelo de regresión lineal, considerándose todas las observaciones de las parcelas con productores que siembran semilla mejorada (adaptación) y semilla criolla. La ecuación que se presenta a continuación muestra la regresión estimada del rendimiento por hectárea, donde el parámetro de interés es la variable adaptación.

$$b) Y_i = \beta_0 + \beta_1 \text{ adaptación (a)} + \beta_2 \text{ clima (c)} + \beta_3 \text{ características del productor (cp)} + \beta_4 \text{ paisaje (p)} + \beta_5 \text{ tenencia de la tierra (tt)} + \beta_6 \text{ area de parcela(ap)} + \beta_7 \text{ índice de pobreza (PPI)} + \beta_8 \text{ índice de inseguridad alimentaria (HFIAS)} + \beta_9 \text{ prácticas agrícolas (pa)} + u$$

Luego, se asume que la adaptación no solamente tiene efectos sobre el rendimiento, sino también en el resto de variables; por ejemplo, adaptación podría impactar en la estimación del parámetro del clima y el efecto de este en el rendimiento. Por lo tanto, para estimar en forma adecuada, los efectos de la adaptación, se hacen evaluaciones de las variables de interés para todas las observaciones adaptados y no adaptados por separado. Analizándose en total cuatro modelos, dos para el primer ciclo de producción (Mayo - Agosto) y dos para postrera (Septiembre - Diciembre).

$$c) Y_{1i} = \beta^{a_0} + \beta^{a_1} \text{ clima (c)}^a + \beta^{a_2} \text{ características del productor (cp)}^a + \beta^{a_3} \text{ paisaje (p)}^a + \beta^{a_4} \text{ tenencia de la tierra (tt)}^a + \beta^{a_5} \text{ area de parcela(ap)}^a + \beta^{a_6} \text{ índice de pobreza (PPI)}^a + \beta^{a_7} \text{ índice de inseguridad alimentaria (HFIAS)}^a + \beta^{a_8} \text{ prácticas agrícolas (pa)}^a + u^a, \text{ si se adaptó.}$$

$$d) Y_{0i} = \beta^{na_0} + \beta^{na_1} \text{ clima (c)}^{na} + \beta^{na_2} \text{ características del productor (cp)}^{na} + \beta^{na_3} \text{ paisaje (p)}^{na} + \beta^{na_4} \text{ tenencia de la tierra (tt)}^{na} + \beta^{na_5} \text{ area de parcela (ap)}^{na} + \beta^{na_6} \text{ índice de pobreza (PPI)}^{na} + \beta^{na_7} \text{ índice de inseguridad alimentaria (HFIAS)}^{na} + \beta^{na_8} \text{ prácticas agrícolas (pa)}^{na} + u^{na}, \text{ si no se adaptó.}$$

Donde:

- y_i es la variable dependiente que mide el rendimiento en kilogramos de semilla por hectárea,

- los super índices a y na corresponden a adaptado y no adaptado. En ambos modelos se buscó variables explicativas que tuvieran un efecto en la variable dependiente rendimiento. La variable clima corresponde a las variables binarias IPE.
- Además, se agregó el vector de variables relacionadas a prácticas agrícolas (fertiliza, incorporación de estiércol, utilización de los residuos del frijol y utilización de los residuos para compost) al modelo.
- Se asume que el error u se distribuye normal e independientemente.

4.1.3 Estimaciones del contrafactual y el efecto

En este modelo de regresión lineal. En primer lugar, se evaluó con toda las observaciones para verificar las diferencias en la productividad entre las parcelas con y sin semillas mejoradas. Luego, se agregan poco a poco las demás variables explicativas hasta controlar la estimación de los efectos de cultivar semillas mejoradas derivados por el parámetro de adaptación (modelo b). En último lugar, se utilizó dos ecuaciones simultáneas para medir el efecto recibido en los rendimientos por sembrar semillas mejoradas.

Este sistema también agrega un contrafactual invirtiendo las dos ecuaciones de rendimiento para hacer supuestos en la evaluación: primero, qué habría ocurrido si los que se adaptaron no se hubieran adaptado y segundo, si los que no se adaptaron lo hubieran hecho. Al incluir el contrafactual se comprende lo observado y no observado en el modelo.

Así mismo, el cálculo de las estimaciones de los parámetros no observados mejora el modelo en su consistencia y eficiencia (Gujarati 2010), porque se considera el sesgo de la heterogeneidad no observada para evitar errores de correlación entre las variables (Anselin 2013), de tal manera que la varianza para cada uno de las observaciones sea igual y constante en la regresión (Anselin 2001). A continuación los modelos:

I. Productores adaptados y no adaptados

1. $E[y_{1i} | A_i = 1] = \beta^a_0 + \beta^a_1c^a + \beta^a_2cp^a + \beta^a_3p^a + \beta^a_4tt^a + \beta^a_5ap^a + \beta^a_6PPI^a + \beta^a_7HFIAS^a + \beta^a_8pa^a$
2. $E[y_{0i} | A_i = 0] = \beta^{na}_0 + \beta^{na}_1c^{na} + \beta^{na}_2cp^{na} + \beta^{na}_3p^{na} + \beta^{na}_4tt^{na} + \beta^{na}_5ap^{na} + \beta^{na}_6PPI^{na} + \beta^{na}_7HFIAS^{na} + \beta^{na}_8pa^{na}$

II. Contrafactual

3. $E[y_{0i} | A_i = 1] = \beta^a_0 + \beta^a_1c^{na} + \beta^a_2cp^{na} + \beta^a_3p^{na} + \beta^a_4tt^{na} + \beta^a_5ap^{na} + \beta^a_6PPI^{na} + \beta^a_7HFIAS^{na} + \beta^a_8pa^{na}$
4. $E[y_{1i} | A_i = 0] = \beta^{na}_0 + \beta^{na}_1c^a + \beta^{na}_2cp^a + \beta^{na}_3p^a + \beta^{na}_4tt^a + \beta^{na}_5ap^a + \beta^{na}_6PPI^a + \beta^{na}_7HFIAS^a + \beta^{na}_8pa^a$

III. Diferencia en el efecto del tratamiento

5. $E[y_{1i} | CA_i = 1] - E[y_{1i} | CA_i = 0] = (\beta^a_0 + \beta^a_1 c^a + \beta^a_2 cp^a + \beta^a_3 p^a + \beta^a_4 tt^a + \beta^a_5 ap^a + \beta^a_6 PPI^a + \beta^a_7 HFIAS^a + \beta^a_8 pa^a - \beta^{na}_0 + \beta^{na}_1 c^a + \beta^{na}_2 cp^a + \beta^{na}_3 p^a + \beta^{na}_4 tt^a + \beta^{na}_5 ap^a + \beta^{na}_6 PPI^a + \beta^{na}_7 HFIAS^a + \beta^{na}_8 pa^a)$
6. $E[y_{1i} | CA_i = 0] - E[y_{0i} | CA_i = 0] = (\beta^a_0 + \beta^a_1 c^a + \beta^a_2 cp^a + \beta^a_3 p^a + \beta^a_4 tt^a + \beta^a_5 ap^a + \beta^a_6 PPI^a + \beta^a_7 HFIAS^a + \beta^a_8 pa^a - \beta^{na}_0 + \beta^{na}_1 c^a + \beta^{na}_2 cp^a + \beta^{na}_3 p^a + \beta^{na}_4 tt^a + \beta^{na}_5 ap^a + \beta^{na}_6 PPI^a + \beta^{na}_7 HFIAS^a + \beta^{na}_8 pa^a)$

IV. Diferencia en efecto de la heterogeneidad

7. $E[y_{1i} | CA_i = 1] - E[y_{0i} | CA_i = 1] = (\beta^a_0 + \beta^a_1 c^a + \beta^a_2 cp^a + \beta^a_3 p^a + \beta^a_4 tt^a + \beta^a_5 ap^a + \beta^a_6 PPI^a + \beta^a_7 HFIAS^a + \beta^a_8 pa^a - \beta^{na}_0 + \beta^{na}_1 c^a + \beta^{na}_2 cp^a + \beta^{na}_3 p^a + \beta^{na}_4 tt^a + \beta^{na}_5 ap^a + \beta^{na}_6 PPI^a + \beta^{na}_7 HFIAS^a + \beta^{na}_8 pa^a)$
8. $E[y_{1i} | CA_i = 0] - E[y_{0i} | CA_i = 0] = (\beta^{na}_0 + \beta^{na}_1 c^a + \beta^{na}_2 cp^a + \beta^{na}_3 p^a + \beta^{na}_4 tt^a + \beta^{na}_5 ap^a + \beta^{na}_6 PPI^a + \beta^{na}_7 HFIAS^a + \beta^{na}_8 pa^a - \beta^a_0 + \beta^a_1 c^a + \beta^a_2 cp^a + \beta^a_3 p^a + \beta^a_4 tt^a + \beta^a_5 ap^a + \beta^a_6 PPI^a + \beta^a_7 HFIAS^a + \beta^a_8 pa^a)$

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de las estimaciones para adaptación, rendimientos y estimaciones de rendimientos con ecuaciones simultáneas en los que se evalúa factores climáticos, geofísicos y socioeconómicos.

5.1 Determinantes de la adaptación

Tabla 5. Estimación de parámetros y efectos marginales en el modelo de adaptación para primera (Mayo – Agosto 2014) y postrera (Septiembre – Diciembre 2014) en el cultivo de frijol

Modelo	Primera		Postrera	
	(a)		(a)	
	Adaptación 1/0		Adaptación 1/0	
Variable dependiente	Coef.	Efec. Marginal	Coef.	Efec. Marginal
Cuartil1 del \bar{X} histórico pp de junio	0.08	0.011		
Cuartil2 del \bar{X} histórico pp de junio	-0.73	-0.081		
Cuartil3 del \bar{X} histórico pp de junio	-1.54***	-0.111		
Cuartil1 del \bar{X} histórico pp de julio	-1.88***	-0.241		
Cuartil2 del \bar{X} histórico pp de julio	-1.42*	-0.130		
Cuartil3 del \bar{X} histórico pp de julio	-1.17**	-0.092		
Cuartil1 del \bar{X} histórico pp de agosto	-1.29*	-0.172		
Cuartil2 del \bar{X} histórico pp de agosto	-0.59	-0.067		
Cuartil3 del \bar{X} histórico pp de agosto	-0.18	-0.022		
Cuartil1 de la desv. Est. Histórica de pp de junio	0.33	0.051		
Cuartil2 de la desv. Est. Histórica de pp de junio	-0.23	-0.030		
Cuartil3 de la desv. Est. Histórica de pp de junio	-0.14	-0.018		
Cuartil1 de la desv. Est. Histórica de pp de julio	0.81	0.128		
Cuartil2 de la desv. Est. Histórica de pp de julio	1.01*	0.181		
Cuartil3 de la desv. Est. Histórica de pp de julio	0.82*	0.169		
Cuartil1 de la desv. Est. Histórica de pp de agosto	0.18	0.026		
Cuartil2 de la desv. Est. Histórica de pp de agosto	0.08	0.011		
Cuartil3 de la desv. Est. Histórica de pp de agosto	-0.02	-0.003		
Cuartil1 del \bar{X} histórico pp de octubre			-1.00***	-0.085
Cuartil2 del \bar{X} histórico pp de octubre			-0.70**	-0.068
Cuartil3 del \bar{X} histórico pp de octubre			-0.24	-0.028
Cuartil1 del \bar{X} histórico pp de noviembre			-1.84***	-0.143
Cuartil2 del \bar{X} histórico pp de noviembre			-1.07***	-0.101
Cuartil3 del \bar{X} histórico pp de noviembre			-0.95***	-0.081
Cuartil1 del \bar{X} histórico pp de diciembre			0.54	0.082
Cuartil2 del \bar{X} histórico pp de diciembre			0.83**	0.138
Cuartil3 del \bar{X} histórico pp de diciembre			0.59*	0.092
Cuartil1 de la desv. Est. Histórica de pp de octubre			1.33***	0.275
Cuartil2 de la desv. Est. Histórica de pp de octubre			0.47*	0.070
Cuartil3 de la desv. Est. Histórica de pp de octubre			0.03	0.004
Cuartil1 de la desv. Est. Histórica de pp de noviembre			-0.32	-0.035
Cuartil2 de la desv. Est. Histórica de pp de noviembre			0.05	0.006
Cuartil3 de la desv. Est. Histórica de pp de noviembre			-0.24	-0.027
Cuartil1 de la desv. Est. Histórica de pp de diciembre			0.22	0.030
Cuartil2 de la desv. Est. Histórica de pp de diciembre			-0.04	-0.005
Cuartil3 de la desv. Est. Histórica de pp de diciembre			-0.030	-0.004

Pasa...

Continuación, tabla 5

Modelo	Primera		Postrera	
	(a)		(a)	
	Adaptación 1/0		Adaptación 1/0	
Variable dependiente	Coef.	Efec. Marginal	Coef.	Efec. Marginal
Propietario de animales	0.05	0.007	0.07	0.009
Sabe leer y escribir	0.04	0.006	-0.02	-0.002
Completó primaria	-0.15	-0.019	-0.07	-0.008
Completó secundaria	-0.06	-0.008	0.21	0.030
Educación superior técnica o universitaria	0.83	0.191	0.21	0.030
Mujer sola	0.07	0.010	0.04	0.005
Hombre solo	-0.3	-0.033	0.27	0.040
Edad del jefe de hogar	0.03	0.003	-0.01	-0.001
Edad_jh^2	0.00	0.000	0.00	0.000
Tamaño de la familia	-0.04	-0.005	0.00	0.000
Suelo Andosoles - alfisoles - entisoles	-0.21	-0.026	0.380	0.057
Andosoles - alfisoles - ultisoles	-1.39**	-0.077	-0.99***	-0.064
Entisoles - alfisoles - ultisoles - molisoles	0.43	0.053	-0.250	-0.033
Inceptisoles - entisoles - vertisoles	-0.49	-0.049	0.550	0.098
Aspecto	0.00	0.000	-0.00*	0.000
Elevación	-0.00***	0.000	0.000	0.000
Pendiente	0.00	0.000	0.010	0.001
Tenencia de la tierra	0.14	0.018	-0.050	-0.006
Área	0.02	0.003	0.03	0.004
Índice de pobreza	0.00	0.000	0.01***	0.001
Índice de inseguridad alimen.	-0.01	-0.001	-0.010	-0.001
Constante	1.12		-0.530	
N. observaciones	982		2238	

* p<0.05 ** p<0.01 ***p<0.001 de nivel de significancia

Nota: Las variables dicotómicas cuartil 4, cuartiles del mes de mayo, hogar consolidado, no sabe leer ni escribir y tipos de suelo alfisoles, entisoles, inceptisoles, andosoles fueron omitidos del modelo de regresión por ser la base de comparación. El promedio histórico de precipitación para cada mes de primera, se generó de la acumulación de precipitación de cinco días por mes desde el año 1981 al 2013 y la desviación estándar histórica corresponde también a ese mismo periodo.

En la tabla 5, se reporta las variables que determinan la decisión de adaptación al CC por los agricultores en el primer y segundo ciclo de producción. Esta estimación de la probabilidad de adaptación se realizó con un modelo Probit, siendo la variable dependiente adaptación, una variable binaria con valor de "1" si el agricultor se adaptó por la siembra de semilla mejorada, y "0" si no se adaptó porque sembró semilla criolla.

Los resultados muestran que los estimadores son más eficientes en explicar la adaptación para el ciclo de postrera comparado con los estimadores de primera. Esta consistencia en mayor significancia estadística en los estimadores se debe a que la mayoría de los agricultores siembran frijol en ese ciclo productivo, es decir, a medida aumenta el número de productores que cultivan frijol aumenta la calidad de la estimación del parámetro debido al tamaño de la muestra (Di Rienzo *et al.* 2008).

A continuación, se detallan los determinantes con su significancia estadística y relación en la adaptación:

Es de interés estudiar el comportamiento histórico de precipitación, porque el cultivo es susceptible tanto al exceso como a la escasez, pero el promedio histórico de precipitación para ambos ciclos muestra una relación negativa estadísticamente significativa en la adaptación. De

tal manera que, se puede confirmar que a menor cantidad de precipitación los agricultores se adaptan menos, comparado con mayor cantidad de precipitación en ambos ciclos, pues los cuartiles históricos del 1 al 3 reciben menos precipitación comparado con el cuartil4.

Aunque ellos se adapten cuando hay más lluvias, en los en los últimos días de cada uno de los ciclos se refleja también la decisión de adopción, porque se presentan condiciones secas. De tal manera que el cultivo necesita tener características de tolerancia para estimular la fase de reproducción correspondiente a floración y llenado de vainas. En este sentido, es necesario que la madurez y cosecha concuerde con un periodo seco para facilitar el secado del grano, obtener calidad y humedad óptima para el almacenamiento del grano o semilla de frijol. (Araya y Hernández 2008)

Así mismo, se encontró que la educación superior técnica o universitaria, aunque no es estadísticamente significativa se considera esencial en la decisión de adaptarse en ambos ciclos. Un alto nivel educativo ayuda a que los agricultores tengan interés por buscar más información sobre nuevas semillas, manejo y mantenimiento del cultivo. Así como, también ayuda a comprender mejor la morfología, fisiología y genética. La no significancia en los años de educación en los agricultores es consistente con otros estudios. (Di Falco *et al.* 2011; Okezie *et al.* 2011; Abdulai y Huffman 2014; Wang *et al.* 2014; Huang *et al.* 2015)

Al mismo tiempo, aunque no es estadísticamente significativo resulta esencial que una mujer sola se adapte en primera comparado a un hogar consolidado. Mientras tanto en postrera, un hombre solo y una mujer sola tienen probabilidad de adaptarse comparado a un hogar consolidado, pero un hombre que vive solo tiene mayor probabilidad con un 2.7%. Por un lado, esto podría deberse a que culturalmente el hombre es el que dedica más tiempo a las labores agrícolas y la mayoría siembra en postrera. Por otro lado, es mucho más favorable producir en postrera por el manejo y mantenimiento del cultivo debido a que se reducen las condiciones para la reproducción de patógenos que afectan las raíces y el follaje por el exceso de agua (Rosas 2003), pues las condiciones de humedad del suelo son adecuadas para el cultivo lo cual controla la aparición frecuente de malezas hospederas de los patógenos.

De igual manera, la edad del jefe de hogar es importante, pero no es significativa en la probabilidad de adaptarse. En el estudio realizado por (Abdulai y Huffman 2014; Huang *et al.* 2015) reporta que la edad no es estadísticamente significativa para hacer ajustes de adaptación, pues a mayor edad del jefe del hogar existe un margen negativo en la probabilidad de adaptarse.

Ser propietario de terreno también no es estadísticamente significativo, pero es crucial en la probabilidad de adaptarse en el ciclo de primera, aunque para postrera no se observa ninguna asociación para la decisión de adaptarse. El área cultivada no es estadísticamente significativa, pero es positiva, esto podría ser porque en promedio las áreas cultivadas son pequeñas, lo cual facilita poder brindar un buen manejo y mantenimiento. Estudios similares han encontrado que a mayor área per cápita menos probabilidad de adaptarse. (Wang *et al.* 2014; Huang *et al.* 2015)

El índice de pobreza para postrera resultó con un efecto positivo estadísticamente significativo, es decir, a pesar de que las familias tengan una probabilidad de estar con un puntaje bajo la línea de pobreza, es posible que ellos se adapten, pero cuando existe inseguridad alimentaria en el hogar podría afectar en pequeña proporción las posibilidades de adaptarse, aunque se manejen áreas pequeñas.

Finalmente, la combinación de suelos andosoles – alfisoles – ultisoles e insectisoles – entisoles – verisoles comparado con el grupo alfisoles – entisoles – inceptisoles – andosoles tienen un efecto negativo estadísticamente significativo, mientras que el resto de combinaciones no tiene significancia. La clasificación de los suelos reduce las posibilidades de adoptar semillas mejoradas porque sus características indican que son suelos pesados, susceptibles a erosión, con poca materia orgánica y de baja producción. Si los suelos tienen buen drenaje y poca susceptibilidad a erosión pueden ser altamente productivos. (Finkl Jr 1983; Lozano y Martínez 1991)

5.2 Estimaciones del efecto de la adaptación sobre la productividad

5.2.1 Efectos en los niveles de rendimiento

Tabla 6. Estimación de parámetros en el modelo de rendimientos para primera (Mayo - Agosto 2014) y postrera (Septiembre - Diciembre 2014) en el cultivo de frijol

Modelo	Adaptación	Climáticas	Geofísicas	
	Log rendimiento por Ha.			
Variable dependiente	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
Primera:				
Adaptación	0.44***	0.22*	0.17	0.09
Controlado por factores Climáticos	No	Si	Si	Si
Controlando por factores Geográficos	No	No	Si	Si
Controlando por factores Socioeconómicos	No	No	No	Si
Adaptación con errores estándares agrupados por productor	0.44***	0.22*	0.17	0.09
N. observaciones	946	946	919	913
Postrera:				
Adaptación	0.12*	0.12*	0.15**	0.07
Controlado por factores Climáticos	No	Si	Si	Si
Controlando por factores Geográficos	No	No	Si	Si
Controlando por factores socioeconómicos	No	No	No	Si
Adaptación con errores estándares agrupados por productor	0.12*	0.12*	0.15*	0.07
N. observaciones	2261	2261	2185	2167

* p<0.05 ** p<0.01 ***p<0.001 de nivel de significancia
Nota: El detalle de los modelos está en el anexo 8.5

En el primer modelo evaluado, se desconoce si la adaptación está dada por la semilla o por la diferencia en las características de los productores. Por ello, se hace necesario capturar el efecto de la medida en el rendimiento en un modelo de regresión lineal (Tabla 6).

En los resultados, se observa que a medida se agregan distintas variables al modelo hasta controlarlo por toda la evidencia resulta en una disminución del efecto; observándose el mismo patrón en ambos periodos. Si bien, el efecto de la variable adaptación sigue siendo positivo con un incremento promedio de 8% en el rendimiento al sembrar semillas mejoradas, dicho aumento no es estadísticamente significativo. Por lo tanto, esto denota que aunque la brecha, no es tan alta, los efectos son distintos con beneficios para los que deciden adaptarse tanto al ser evaluados con errores estándares con la unidad maestra parcela o agrupados por productor.

A continuación, se detalla el efecto de cada uno de los factores.

En relación con las variables climáticas, el IPE para los periodos de primera y postrera, excepto mayo y diciembre son esenciales en el aumento de rendimiento, porque demuestra un efecto estadísticamente significativo para el mes de junio y positivo para el resto de los meses comparado con la categoría de lluvia normal. Por un lado, al presentarse condiciones de tipo normal leve húmedo al momento de realizar la siembra a inicios o finales de mayo puede afectar en la germinación y emergencia de las semillas con significancia estadística negativa en un 25% dado que la misma podría recibir poca humedad, lo cual no permite la uniformidad del cultivo.

Sin embargo, a medida que el cultivo avanza en las etapas de desarrollo, se puede observar que las condiciones hídricas normal leve húmedo favorecen con significancia estadística en un 56% en el incremento del rendimiento para el ciclo de primera. Por otro lado, las condiciones normal leve húmedo presentadas finalizando el periodo de postrera reducen la productividad con significancia estadística en un 18%, pues se requieren situaciones moderadamente seca o secas al momento de la cosecha y poscosecha para favorecer el secado (Araya y Hernández 2008). Como las observadas en julio cuando se presenta la canícula, lo cual facilita obtener una buena calidad y humedad apropiada del grano o semilla.

Otro de los factores esenciales que tiene efectos positivos no significativos, es tener animales en el hogar. Los animales representan una fuente inmediata de ingresos. Al venderse esos ingresos pueden emplearse en la compra de insumos o pago de mano de obra, siendo necesario tener una fuente adicional de ingresos para apalancar necesidades ante pocos recursos disponibles por los agricultores de subsistencia, pues al cultivo se le debe proporcionar lo necesario de acuerdo con las etapas de desarrollo para su nutrición y control preventivo o curativo.

También la educación secundaria en ambos periodos tiene un efecto positivo no significativo en el incremento de la productividad comparado con el no saber leer ni escribir. De hecho, aunque las personas más educadas con nivel técnico o universitario estén más dispuestas a la adaptación, cultivar frijoles podría no ser su principal actividad. Los agricultores que no se adaptan culturalmente han recibido los conocimientos del cultivo de semilla de sus familiares o vecinos por ser un cultivo tradicional, lo cual no requiere de educación formal superior. Es decir, la educación formal es crucial para la agricultura moderna y no para la agricultura tradicional. (Alene y Manyong 2007)

El cultivo de frijol se adapta a cualquier tipo de suelo con buen drenaje y de textura franco, franco limoso y franco arcilloso (Rosas 2003), pero las combinaciones de suelos analizadas de acuerdo con la clasificación presentada en este modelo, indican un efecto negativo estadísticamente significativo para primera y postrera, pues son suelos pesados, con baja productividad, susceptibles a erosión, drenaje restringido, contienen poca materia orgánica, apropiado para producción forestal y ganadería comparado con suelos de buen drenaje y poca susceptibilidad a la erosión (Finkl Jr 1983; Lozano y Martínez 1991). En consecuencia, los

rendimientos obtenidos no son los esperados porque los suelos tienen limitaciones hídricas para proveer al cultivo, debido a su baja capacidad de infiltración y retención de agua, particularmente en largos periodos de sequía, los cultivos son más críticos y unidos, a esto se le suma la fertilidad de los mismos.

Además, tener tierra comparado con no ser propietario incrementa el rendimiento estadísticamente significativo en un 32 % en primera, pero en postrera ese incremento no es tan evidente. Sin embargo, tener la propiedad de terreno beneficia a los agricultores, porque ellos deciden cuando es el momento adecuado para la preparación y siembra de la semilla, particularmente porque la preparación del terreno inicia días antes de recibir las primeras lluvias. Una vez estas empiecen, el agricultor inmediatamente procede a la siembra cuando el suelo está suficientemente humedecido para proporcionarle los requerimientos hídricos a la semilla y asegurar la uniformidad en la germinación y emergencia. Los propietarios de terreno también tienen ventajas sobre los que no tienen la propiedad porque podrían obtener ayuda del gobierno o solicitar de créditos (Eitzinger *et al.* 2013).

Pese a que se tenga la propiedad del terreno, cultivar áreas grandes no favorece, porque es estadísticamente significativa y reporta efecto negativo, es decir, a mayor cantidad de área sembrada se reduce la productividad debido a que es complejo para una sola persona de la familia manejar áreas grandes de cultivos, ya que, por ser agricultores de subsistencia, el 95% del trabajo lo hace el hombre. Estudios similares indican que a mayor área per cápita menores rendimientos (Abdulai y Huffman 2014). Además, esto coincide con otro estudio en el corredor seco, el cual demuestra que un agricultor de granos básicos invierte en las actividades agrícolas el 93% de su tiempo. (Arias *et al.* 2012)

También, ser mujer sola, comparado con un hogar consolidado, representa un efecto negativo estadísticamente significativo en postrera para la obtención de buenos rendimientos, es decir, tener un hogar consolidado mejora en los rendimientos porque como se mencionó anteriormente, es el hombre quién dedica más tiempo a las labores agrícolas mientras que la mujer dedica la mayoría de su tiempo a otras actividades en el hogar.

5.2.2 Efectos en los rendimientos controlados por otras variables independientes

Tabla 7. Estimación de parámetros en los modelos de rendimientos de semilla mejorada y semilla criolla para primera (Mayo – Agosto 2014) y postrera (Septiembre – Diciembre 2014) en el cultivo de frijol

Modelo	Primera		Postrera	
	(c)	(d)	(c)	(d)
Variable dependiente	Adaptación Semilla mejorada	No adaptación Semilla criolla	Adaptación Semilla mejorada	No adaptación Semilla criolla
	Log rendimiento por Ha.	Log rendimiento por Ha.	Log rendimiento por Ha.	Log rendimiento por Ha.
	Coef.	Coef.	Coef.	Coef.
Normal leve húmedo IPE mayo	0.27	-0.26*		
Normal leve húmedo IPE junio	0.24	0.49*		
Moderadamente seco IPE julio	0.28	-0.01		
Normal leve húmedo IPE septiembre			0.07	0.05
Humedad moderada IPE octubre			-0.24	0.14
Normal leve húmedo IPE octubre			0.00	0.14
Normal leve húmedo IPE noviembre			0.11	-0.01
Normal leve húmedo IPE diciembre			-0.02	-0.18**
Propietario de animales	-0.05	0.18*	-0.05	0.05
Sabe leer y escribir	0.09	-0.11	0.08	-0.02
Completó primaria	0.06	-0.05	0.22	0.07
Completó secundaria	0.36	0.02	0.34	-0.01
Educación superior técnica o universitaria	0.76	-0.37	-0.33	-0.34
Mujer sola	0.45	-0.12	-0.39*	-0.09
Hombre solo	0.96	0.19	-0.02	-0.04
Edad del jefe de hogar	0.11**	0.00	-0.00	-0.00
edad_jh^2	-0.00*	0.00	0.00	0.00
Tamaño de la familia	-0.05	-0.00	-0.01	0.01
Años cultivando la variedad de frijol	0.06	-0.01	0.03	-0.00
Años_ cultivando la variedad de frijol ^2	-0.00	0.00	-0.00	-0.00
Suelo Andosoles - alfisoles - entisoles	-0.38	-0.40**	-0.19	-0.23*
Andosoles - alfisoles - ultisoles	-1.53**	-0.79***	-0.32	-0.19
Entisoles - alfisoles - ultisoles - molisoles	-1.13**	-0.24	-0.29	-0.11
Inceptisoles - entisoles - vertisoles	-0.78	-0.49**	-0.22	-0.05
Aspecto	0.00	0.00	-0.00	-0.00*
Aspecto^2	-0.00	-0.00	0.00	0.00
Elevación	0.00	-0.00	-0.00	-0.00**
Elevación^2	-0.00	0.00	0.00	0.00**
Pendiente	0.00	0.00	-0.02	0.00
Pendiente^2	-0.00	-0.00	0.00	0.00
Fertiliza	0.12	-0.13	0.23	0.04
Incorporación de estiércol al suelo	0.12	0.09	0.23	-0.04
Incorporación de rastrojos al suelo	-0.78	0.13	-0.06	-0.1
Compost de residuos de frijol	0.03	-0.14	0.13	0.07
Tenencia de la tierra	0.36	0.33***	-0.25***	-0.05**
Área	0.00	-0.21***	-0.04	0.05
Índice de pobreza	-0.04	-0.00	0.00	-0.00
Índice de pobreza^2	0.00	0.00	-0.00	0.00
Índice de inseguridad alimen.	-0.07	-0.01	-0.04	-0.01
Índice de inseguridad alimen.^2	0.00	-0.00	0.00	-0.00
Constante	4.5	5.75***	6.24***	6.90***
N. observaciones	111	802	282	1885

* p<0.05 ** p<0.01 ***p<0.001 de nivel de significancia

La Tabla 7 muestra los efectos en la productividad de la semilla mejorada al utilizar sistema de ecuaciones simultáneas. En este sistema, se permite que los parámetros de las demás variables que explican adaptación cambien. Para capturar ese efecto se dividen los rendimientos de las semillas mejoradas y los rendimientos de las semillas criollas. Con esta separación, se observa que los efectos varían en magnitud, siendo los que se adaptan los más beneficiados. No obstante, para este estudio es de interés conocer si las variedades de semillas mejoradas producen mayores rendimientos en condiciones de sequía comparado con las semillas criollas.

A continuación, se detalla cada uno de los estimadores con su significancia estadística y los efectos:

En cuanto a las variables climáticas, éstas tienen un efecto positivo en la productividad de los adaptados comparado con condiciones de lluvia normales, siendo más notorio el incremento en primera; sin embargo, en la productividad de primera de los no adaptados, sólo la variable climática normal leve húmedo del IPE de junio es estadísticamente significativa al 5%, el resto tiende a disminuir la producción por hectárea cuando se presentan condiciones húmedas o secas. Mientras que para postrera en el mes de diciembre tener condiciones normales leve húmedo tiene repercusiones negativas estadísticamente significativas en rendimiento de semilla criolla, porque el cultivo requiere de condiciones hídricas adecuadas en la etapa cosecha.

Es evidente que en primera existe un efecto positivo no significativo en la adaptación ante los efectos del cambio climático a largo plazo, ya que en este periodo se recibe mayor cantidad de precipitación. Lo contrario sucede con no adaptación, ya que en época del primer ciclo se generan las condiciones propicias para la aparición de patógenos causantes de enfermedades porque el cultivo es muy sensible al exceso de lluvias (Rosas 2003; Gourджи *et al.* 2015). Por ende, los agricultores pueden percibir mejor los beneficios ante eventos climáticos fuera del rango normal al realizar cambios de semillas criollas a mejoradas en primera.

Ser propietario de animales tiene un efecto positivo estadísticamente significativo al 5% en la no adaptación, pues en los sistemas tradicionales de cultivos, los animales representan activos esenciales para los productores. (Pulido y Bocco 2003)

La educación es factor importante con efectos positivos para la semilla mejorada, pero no para la semilla criolla. El efecto en el rendimiento se muestra con mayor proporción en los estimadores de la semilla mejorada de primera. Asimismo, los resultados manifiestan que la edad del jefe de hogar es determinante en el efecto del rendimiento de las semillas mejoradas al 1 y 5% para primera, mientras que en los rendimientos de la semilla criolla no se observa ninguna relación. De igual forma, los años de cultivar la variedad de semilla representan un efecto positivo no significativo, pero en semilla criolla es lo contrario.

Las características de los suelos afectan negativamente el rendimiento porque son suelos pesados, deficientes en drenaje, presentan resequeidad y susceptibilidad a la erosión. Algunos

no aptos para cultivos. Unido a la alta degradación en sus condiciones físicas, biológicas y químicas por la poca cobertura vegetal y la tasa de deforestación en la zona (Schlesinger *et al.* 2016). Asimismo, por cultivar en pendientes elevadas sin hacer prácticas de conservación y el no uso de prácticas agrícolas apropiadas. En otras palabras, los tipos de suelos no favorecen con significancia estadística los rendimientos del cultivo para los dos tipos de semillas en primera y en semilla criolla, solo para postrera.

Las prácticas agrícolas de fertilizar, incorporar estiércol y elaborar compostaje de rastrojos para agregarlos al suelo también son importantes, pero no estadísticamente significativos en el rendimiento, ya que estos últimos mejoran la calidad del suelo, Pues, el aporte de materia orgánica ayuda a proteger a los suelos y asegurar una buena retención de humedad en el suelo suplir las necesidades en el cultivo, particularmente, al presentarse periodos de sequía. Las prácticas de protección de suelos pueden generar diferencias en los rendimientos cuando se cultiva semillas mejoradas (Schmidt *et al.* 2012). Aunque la implementación de buenas prácticas es importante, los resultados no son inmediatos (Sain *et al.* 2016). Por lo tanto, estas prácticas deben ser constantes para asegurar la salud de los suelos y los efectos en los estimadores del rendimiento.

La tenencia de la tierra en postrera muestra significancia estadística positiva en no adaptación en primera, pero en postrera los efectos en el rendimiento cambian con significancia estadística negativo.

Entre otros factores que representan efectos negativos no significativos en primera, está la educación superior comparada con el no saber leer, ni escribir para semilla criolla. También en postrera para ambos tipos de semilla para mujer sola y hombre solo comparado con tener un hogar consolidado. Además, está la pendiente que al presentar mayor porcentaje de inclinación resulta en menores rendimientos en postrera, porque el cultivo está expuesto a menores condiciones hídricas para su desarrollo. Otro factor con efectos negativos es el índice de inseguridad alimentaria en ambos periodos, ya que si los productores tienen inseguridad alimentaria se reduciría la posibilidad de hacer el aporte de nutrientes y el manejo apropiado al cultivo.

5.2.3 Efecto de tratamiento y contrafactual

Tabla 8. Resumen del promedio logarítmico del rendimiento (kg ha⁻¹) obtenido y estimado para el primer ciclo (Mayo – Agosto 2014) y para segundo ciclo (Septiembre - Diciembre 2014) de producción de frijol

	Decisión de Primera			Decisión de Postrera		
	1	2	Efecto por heterogeneidad	3	4	Efecto por heterogeneidad
	Agricultores que sembraron semilla mejorada	Agricultores que sembraron semilla criolla		Agricultores que sembraron semilla mejorada	Agricultores que sembraron semilla criolla	
1 Semilla mejorada	6.31	5.96	0.35***	6.37	6.22	0.15***
2 Semilla criolla	6.20	5.87	0.33***	6.31	6.25	0.06
Efecto tratamiento	0.11	0.09***	0.02	0.06	-0.03	0.09

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001 de significancia

Nota: La significancia se comprobó con pruebas de hipótesis para medias independientes del rendimiento de semilla de frijol criollo y mejorado correspondiente al ciclo primera (Mayo - Agosto) y postrera (Septiembre - Diciembre). Analizadas con pruebas t para observaciones no pareadas para medir los efectos por heterogeneidad y efecto tratamiento. En primera se evaluaron 827 observaciones para criolla y 119 observaciones para mejorada de rendimiento obtenido; 115 observaciones estimados para criolla y 854 observaciones estimados para mejorada. En postrera 313 observaciones de rendimientos obtenidos en mejorada, 1948 observaciones de rendimiento obtenido en criolla; 89 de rendimiento estimado para criolla y 1929 observaciones para estimados para mejorada.

Tabla 9. Resumen de la desviación estándar del logarítmico del rendimiento (kg ha⁻¹) obtenido y estimado para el primer ciclo (Mayo – Agosto 2014) y para segundo ciclo (Septiembre - Diciembre 2014) de producción de frijol

	Decisión de Primera			Decisión de Postrera		
	1	2	Efecto por heterogeneidad	3	4	Efecto por heterogeneidad
	Agricultores que sembraron semilla mejorada	Agricultores que sembraron semilla criolla		Agricultores que sembraron semilla mejorada	Agricultores que sembraron semilla criolla	
1 Semilla mejorada	0.99	0.73	Diferente estadísticamente	0.88	0.43	Diferente estadísticamente
2 Semilla criolla	0.49	0.95	Diferente estadísticamente	0.23	0.73	Diferente estadísticamente
Efecto tratamiento	Diferente estadísticamente	Diferente estadísticamente		Diferente estadísticamente	Diferente estadísticamente	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001 de significancia

Nota: La significancia se comprobó con pruebas de hipótesis para igualdad de varianzas de los rendimientos de semilla de frijol criollo y mejorado correspondiente al ciclo primera (Mayo - Agosto) y postrera (Septiembre - Diciembre). Analizadas para medir los efectos por heterogeneidad y efecto tratamiento. En primera se evaluaron 827 observaciones para criolla y 119 observaciones para mejorada de rendimiento obtenido; 115 observaciones estimados para criolla y 854 observaciones estimados para mejorada. En postrera 313 observaciones de rendimientos obtenidos en mejorada, 1948 observaciones de rendimiento obtenido en criolla; 89 de rendimiento estimado para criolla y 1929 observaciones para estimados para mejorada.

5.2.3.1 Efecto tratamiento

En los resultados de la tabla 8, es de interés conocer si los productores aumentaron rendimientos por la adopción de semilla mejorada. En primera, se encontró que los agricultores que sembraron semilla mejorada obtuvieron 11% más de rendimiento por hectárea que si hubieran sembrado semilla criolla. Mientras que los agricultores que sembraron semilla criolla hubieran incrementado la producción por hectárea en 9% si hubieran sembrado semilla mejorada. Ambos casos es un contrafactual, es decir, son casos hipotéticos que no sucedieron y eso los hace un contrafactual.

En postrera, los agricultores que se adaptaron obtuvieron un 6% adicional en el rendimiento por hectárea que si hubieran sembrado semilla criolla. Sin embargo, los que sembraron semilla criolla, hubieran recibido una disminución de 3% si hubieran sembrado semilla mejorada. Es decir, este grupo no hubiera obtenido ningún beneficio al realizar un cambio porque tienen en promedio un índice de pobreza de 34 puntos. De manera que, este grupo de productores tiene una probabilidad de 61.3% de vivir bajo la línea nacional de pobreza. Mientras que quienes recibirían mayores beneficios están ubicados en 46 puntos promedio del índice de pobreza con una probabilidad del 25% bajo la línea de pobreza nacional (Desiere *et al.* 2015). Aunque los que obtendrían beneficios siguen estando bajo la línea de la pobreza la probabilidad se reduce en gran medida. Es decir, a mayor probabilidad de estar bajo la línea de pobreza, menor son las posibilidades de adaptarse y obtener buenos rendimientos.

El resultado revela que las diferencias no son tan significativas al evaluar los rendimientos por productor debido a que las parcelas que ellos cultivan en promedio son menores a media hectárea. La diferencia es más marcada para postrera, donde se evidencia hipotéticamente aumento y a la vez, una disminución. Con las semillas mejoradas se espera que haya un incremento significativo en la producción porque se siembra mayor densidad de plantas por área, son tolerantes a plagas y enfermedades y tolerantes a sequía y exceso de lluvia (Pastor-Corrales y Schwartz 1994; Rosas 2003; CIAT 2005; IICA y COSUDE 2016; Sain *et al.* 2016). Además, en postrera las condiciones climáticas fueron normales, no hubo efecto por sequías quizá por eso no se logra obtener el efecto en el rendimiento de la adaptación con el supuesto, mientras que en primera se presentó sequía en julio. Por lo tanto, al comparar los dos ciclos productivos posiblemente los adaptados de primera hubieran recibido un incremento significativo por presentar mayor magnitud, solo que el tamaño de la muestra es más pequeña. Lo contrario es en postrera donde se puede confirmar que el tamaño de la muestra de los no adaptados es mayor y que no hizo ninguna diferencia en el incremento. También pueden existir otras razones que expliquen porque la medida no refleja los rendimientos esperados:

En primer lugar, la calidad y salud de los suelos de la zona afectan el rendimiento, lo cual es demostrado por los modelos determinantes de rendimientos. En segundo lugar, el puntaje del índice de pobreza e inseguridad alimentaria que viven las familias limita a que provean el manejo agronómico que demanda las semillas mejoradas. Tercer lugar, las semillas mejoradas representan un alto costo de adquisición para el productor para cada ciclo de producción por

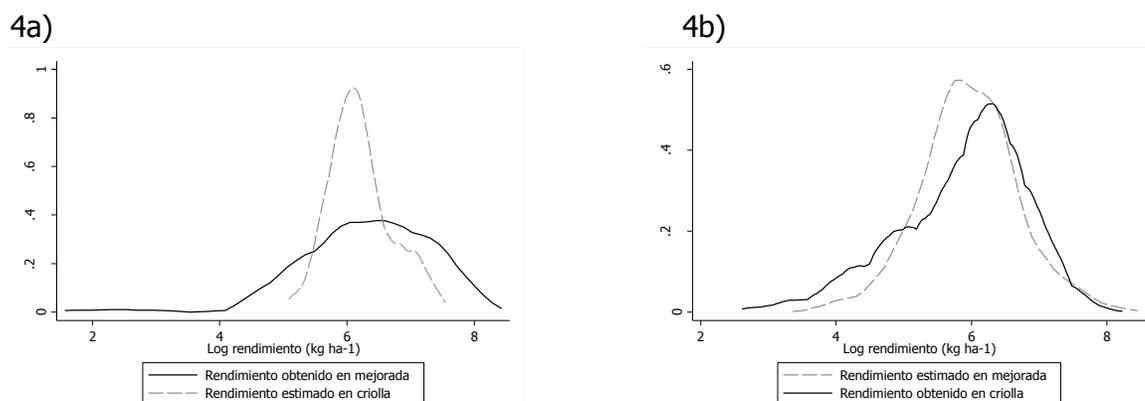
lo que para el productor es mucho más económico y accesible utilizar sus semillas por varios periodos. Pero el uso repetitivo deteriora la calidad y pureza de la semilla mejorada y como consecuencia presenta baja tasa de germinación y emergencia. Para mantener la calidad de la semilla debe cambiarse cada dos o tres años (Rosas 2003); sin embargo los productores tienen en promedio entre cinco y diez años cultivando la variedad de semilla mejorada en primera y postrera. Finalmente, aparte de sembrar pequeñas áreas porque son agricultores de subsistencia, la densidad de plantas por área no podría ser la que se recomienda, ya que la mayoría de los productores siembran el cultivo de frijol en asocio con el maíz (Quiñonez 2012).

Por lo tanto, para demostrar que las semillas mejoradas tienen un rendimiento superior a las criollas, es necesario que los agricultores reciban asesoría técnica en el manejo del cultivo con nuevas variedades que proporcionan ventajas en rendimiento, nutrición y tolerancia a la sequía. Así como, también se requiere de estrategias que mejoren las prácticas agrícolas aumentando la cantidad de materia orgánica. Aunque estas prácticas no son innovadoras es importante que se dé seguimiento a los productores para mejorar todas las limitaciones en producción que ellos enfrentan por las características de sus suelos y ubicación, enfermedades y plagas, sequía, densidad de plantas por área, y limitaciones económicas, etc. (Pastor-Corrales y Schwartz 1994)

La igualdad de varianzas en Tabla 9, demuestra que las varianzas de los rendimientos son diferentes significativamente, pero posiblemente los productores de semilla criolla hacen una buena selección y limpieza de sus semillas, por tal razón los rendimientos son similares a los de la semilla mejorada, aunque la semilla lleve varios años de cultivarse utilizando limitados insumos. Es decir, a más años de cultivar la semilla, el productor conoce las respuestas en rendimientos por hectárea ante las variaciones del clima. Por consiguiente, él puede tomar la decisión considerando la viabilidad del cambio.

El efecto tratamiento se puede observar en detalle en las curvas de distribución presentadas en las figuras 4a, 4b, 5a y 5b. Las gráficas están construidas con la función de densidad Kernel del logaritmo del rendimiento por hectárea.

Figura 5. Curvas de comparación del promedio de rendimiento logarítmico (kg ha⁻¹) obtenido y estimado para primer ciclo (Mayo - Agosto 2014) de producción de frijol



En la curva 4a), de primera se observa el patrón de comportamiento de las medias logarítmicas del rendimiento observado en semilla mejorada comparado con el estimado de semilla criolla. El rendimiento estimado se calculó usando los parámetros del modelo de regresión de los rendimientos de la semilla criolla en combinación con las características de los productores que sembraron semilla mejorada.

El resultado muestra que el promedio del rendimiento obtenido en la semilla mejorada es 11% superior al rendimiento promedio estimado de semilla criolla; sin embargo, la distribución del rendimiento de la semilla mejorada es mucho más plana con mayor dispersión, lo que indica que existe mayor variabilidad en los rendimientos entre los productores comparado con la distribución de los rendimientos estimados para la semilla criolla.

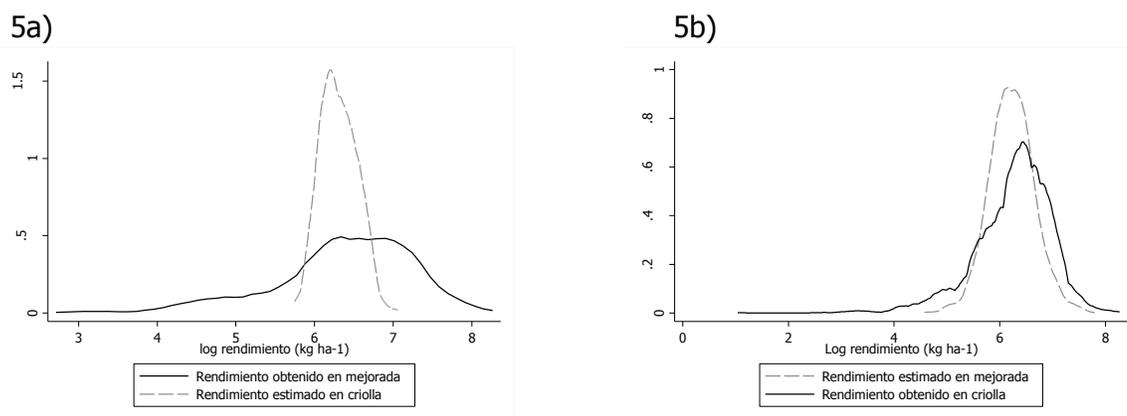
El rendimiento estimado demuestra que, si los productores que sembraron semilla criolla hubieran sembrado semilla mejorada, sus rendimientos entre productores podrían haber tenido una distribución más concentrada, lo cual explica que podría haber existido menor variabilidad en la productividad porque los rendimientos son uniformes entre productores. Aunque las pruebas de igualdad de varianzas manifiestan que existen diferencias estadísticas en sembrar semilla mejorada o criolla comparado con sus contrafactuales (Tabla 9).

En la curva 4b), de primera se ve el patrón de comportamiento de las medias logarítmicas del rendimiento observado en semilla criolla comparado con los rendimientos estimados de semilla mejorada. El rendimiento estimado fue calculado usando los parámetros del modelo de regresión de los rendimientos de la semilla mejorada en combinación con características de los productores que sembraron semilla criolla.

El promedio del rendimiento observado y estimado tienen un patrón de distribución similar, es decir, si los agricultores que sembraron semilla criolla hubieran sembrado semilla mejorada,

los rendimientos entre productores serían semejantes en ambas distribuciones. Por lo tanto, los productores no se hubieran visto favorecidos por el cambio de tipo de semilla.

Figura 6. Curvas de comparación del promedio logarítmico de rendimiento (kg ha⁻¹) obtenido y estimado para el segundo ciclo (Septiembre - Diciembre 2014) de producción de frijol



En la figura 5a), para el ciclo postrera, la distribución del rendimiento observado de semilla mejorada tiene un comportamiento similar al del periodo de primera. La distribución de la estimación del rendimiento promedio de semilla criolla fue calculada usando los coeficientes del modelo de regresión de rendimiento de semilla criolla combinado con las características de los productores que sembraron semilla mejorada.

Se observa que la semilla mejorada tiene una distribución plana con gran amplitud, mientras que el rendimiento estimado de la semilla criolla tiene una mayor concentración, es decir los rendimientos de los agricultores que sembraron semilla criolla si hubieran sembrado semilla mejorada hubieran tenido baja variabilidad en el rendimiento por hectárea. Esto es confirmado con las pruebas de igualdad de varianzas al presentar diferencia estadística (Tabla 9).

La curva 5b), para postrera muestra el promedio del rendimiento observado en semilla criolla y estimado en semilla mejorada, calculado usando los coeficientes de semilla mejorada en combinación con las características de los productores que sembraron semilla criolla. En este caso, la curva de rendimiento estimado, aunque presenta una mejor distribución y menor desigualdad entre rendimientos de productores, el efecto habría sido negativo para los agricultores que sembraron semilla criolla si hubieran sembrado semilla mejorada, pues la media de la semilla criolla es superior a la media estimada.

5.2.3.2 Efecto de heterogeneidad

En la tabla 8, también se presentan las diferencias de heterogeneidad de la medida de adaptación para primera y postrera. En ambos ciclos, es evidente que los agricultores que implementaron medidas de adaptación hubieran tenido un incremento en la producción, recibiendo más beneficios los adaptados en primera comparado con los de postrera. Aunque, en el contexto del año 2014, fue un desafío producir debido a las condiciones climáticas presentadas.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio se desarrolló a partir de una encuesta realizada a 2331 productores de las comunidades del Trifinio. Con la encuesta se identificó los nombres de las semillas de frijol que siembran los agricultores. A partir de los nombres de las semillas, se clasificó como semillas mejoradas o semillas criollas. La identificación ayudó a determinar medidas de adaptación para reducir pérdidas del rendimiento ante las variaciones del clima por la adopción de semillas mejoradas.

El análisis de este estudio tuvo como objetivo evaluar los impactos de las estrategias de adaptación ante la variabilidad climática en el cultivo de frijol de los pequeños productores en ciento cuarenta y tres comunidades del Trifinio (Guatemala, Honduras y El Salvador).

La verificación de las variables, que afectan la decisión de adaptarse en los ciclos de producción de primera y postrera, se determinó con modelos de probabilidad. Además, la estimación del efecto sobre el rendimiento se calculó con regresiones múltiples. Finalmente, para encontrar la respuesta del efecto de las variables climáticas sobre la productividad por la adaptación, se realizó la medición del impacto a través de sistemas de ecuación simultáneas.

Los resultados muestran que cuando los agricultores toman medidas de adaptación sembrando semillas mejoradas en vez de semillas criollas, hay un aumento promedio de nueve por ciento para primera y siete por ciento para postrera. Además, los efectos son distintos para los que se adaptan y no se adaptan.

Los que se adaptan tienden a ser retribuidos con mayores beneficios en rendimientos que los que no se adaptan. También que, el grupo de productores que no se adaptan en postrera parece que no son favorecidos en el rendimiento por adaptarse. De igual forma, para los que se adaptan, el adaptarse hace que se reduzca la varianza en la productividad entre productores. Sin embargo, para los que no se adaptan, el adaptarse podría aumentar la varianza en el rendimiento entre productores.

Los resultados encontrados son claves para los tomadores de decisiones y los agricultores, pues tienen implicaciones en las medidas que se pueden implementar para reducir la vulnerabilidad y mitigar la inseguridad alimentaria.

Los desafíos que presenta el cambio climático para los agricultores deben considerarse para dar respuesta en generar capacidades.

En primer lugar, es importante impulsar programas que incentiven a los productores a adoptar semillas mejoradas, pero los programas deben estar acompañados de asistencia técnica tanto en el manejo del cultivo como mejora de la salud de los suelos para percibir el efecto en la productividad por la adopción. En el ciclo de primera los productores reciben mayores beneficios al adaptarse teniendo condiciones de precipitación que superaron el umbral. En postrera, pese a que se adaptan es notable que no perciban los mismos beneficios con patrones de precipitación normales. Por ende, tendría que realizarse un estudio más detallado para comprender porque la medida no funciona para ese periodo.

En segundo lugar, el cultivo de semillas mejoradas demanda altos requerimientos nutricionales; sin embargo, los productores de subsistencia tienen dificultades en disponibilidad de recursos e inseguridad alimentaria para poder proporcionar lo que el cultivo demanda. Por lo tanto, el aumento de materia orgánica en los suelos y mejoras en las prácticas de protección de suelos y agua es requerido para aumentar la productividad y el retorno del cultivo. (Lutz *et al.* 1994)

Los tipos de suelos con los que cuentan los productores no favorecen la producción tanto en mejoradas como en las semillas criollas. Hopkins *et al.* (1999), reporta que al implementar prácticas de conservación puede haber un aumento del 2% en la producción, mientras que si no se realizan prácticas la producción puede disminuir en un 20%, es decir, la productividad mejora porque el manejo de los suelos provee insumos nutritivos para el desarrollo de un buen sistema radicular y disminución de erosión en pendientes. (Ashby *et al.* 1999)

En tercer lugar, los agricultores deberían tener acceso a semillas mejoradas de bajo costo y resistentes a sequía, si bien, las semillas mejoradas proporcionan beneficios a los agricultores. El costo de 45 kilogramos está arriba de cien dólares. Costo que es difícil cubrir por agricultores de subsistencia. Además, las semillas liberadas tolerantes a la sequía son escasas, pues de 45 que se clasificaron solamente 7 tienen tolerancia a la sequía.

Por tanto, sería beneficioso que los programas en investigación de frijol inviertan más en innovación y desarrollo de nuevas variedades tolerantes a la sequía. Igualmente, que involucren a los agricultores en ser partícipes de obtención de nuevas variedades mejoradas para reducir costos con sus limitaciones de recursos económicos y de suelos. Pues se ha determinado que las semillas mejoradas generan beneficios, con las tolerantes se podrían obtener excedentes en de la producción. Así el impacto positivo en el rendimiento no solo estaría salvaguardando la seguridad alimentaria de las familias, sino que los excedentes podrían resolver otras necesidades al generar ingresos por ventas.

Para futuras evaluaciones, se recomienda realizar un estudio más amplio, incluyendo a agricultores que reciban paquetes agrícolas subsidiados por el gobierno, desde el momento

que reciben la semilla hasta la cosecha. Esto, con el fin de tener mayor precisión del tipo de semilla mejorada que se está cultivando. También es importante incluir la fecha de siembra y fecha de cosecha en los modelos para conocer si existe una correlación entre las variables climáticas y las fechas de establecimiento y recolección.

De igual forma, se debería analizar diferencias en los efectos de las características de los hogares que se adaptan y no se adaptan, ya que en este estudio solo se analizó los efectos por la decisión de adaptarse al cultivar semilla mejorada, pero la producción del cultivo depende también de múltiples aspectos relacionados con el suelo, el clima, la semilla e inclusive, las condiciones del hogar.

Se recomienda, realizar un análisis únicamente para semillas tolerantes a la sequía comparado con las semillas criollas y mejoradas, pero no tolerantes. Así como incorporar en los modelos si el cultivo se siembra en asocio con otros cultivos como el maíz, la yuca, etc. Pues al sembrar en asocio podría también explicar la disminución del rendimiento por la competencia de nutrientes, agua y luz de acuerdo con la variedad que se asocie cuando se cultiven al mismo tiempo, pero si el frijol es de relevo no afectaría mucho.

Por último, se debe considerar preguntarles a los agricultores qué tanto están percibiendo el cambio climático, cómo les ha afectado, qué cambios han realizado en el cultivo, y cómo se beneficiarían si tuvieran acceso a créditos, información climática, y asesoría técnica, pues se predicen escenarios con gran incertidumbre para los agricultores, pero los cambios ya están ocurriendo y es necesario conocer qué tanto ellos están percibiendo y las acciones que están tomando para reducir los efectos en el rendimiento debido a eventos climáticos.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abdulaj, A; Huffman, W. 2014. The adoption and impact of soil and water conservation technology: An endogenous switching regression application. *Land Economics* 90 (1): 26-43.
- Abid, M; Scheffran, J; Schneider, UA ; Ashfaq, M. 2015. Farmers' perceptions of and adaptation strategies to climate change and their determinants: the case of Punjab province, Pakistan. (Article). *Earth System Dynamics* 6 (1): 225-243. Disponible en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=108334224&site=ehost-live>
- Aguilar, E; Peterson, TC; Obando, PR; Frutos, R; Retana, JA; Solera, M; Soley, J; García, IG; Araujo, RM; Santos, AR; Valle, VE; Brunet, M; Aguilar, L; Álvarez, L; Bautista, M; Castañón, C; Herrera, L; Ruano, E; Sinay, JJ; Sánchez, E; Oviedo, GIH; Obed, F; Salgado, JE; Vázquez, JL; Baca, M; Gutiérrez, M; Centella, C; Espinosa, J; Martínez, D; Olmedo, B; Espinoza, CEO; Núñez, R; Haylock, M; Benavides, H ; Mayorga, R. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research* 110 (D23).
- Aguilar, M. 2011. Impactos del cambio climático en la agricultura de América Central y en las familias productoras de granos básicos.
- Alene, A; Manyong, V. 2007. The effects of education on agricultural productivity under traditional and improved technology in northern Nigeria: an endogenous switching regression analysis. *Empirical Economics* 32 (1): 141-159.
- Altieri, M; Nicholls, C. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA revista de agroecología* 14: 5-8.
- Ambachew, D; Mekbib, F; Asfaw, A; Beebe, SE ; Blair, MW. 2015. Trait associations in common bean genotypes grown under drought stress and field infestation by BSM bean fly. *The Crop Journal* 3 (4): 305-316. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514115000707>
- Araya, R; Hernández, JC. 2008. Protocolo para la producción local de semilla de frijol. Heredia, Costa Rica, Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno. 42 p.
- Arias, A; Zee, J; Meyrat, A; Poveda, C ; Picado, L. 2012. Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano.
- Ashby, JA; Sanz, JI; Knapp, EB ; Imbach, A. 1999. CIAT's research on hillside environments in Central America. *Mountain Research and Development*: 241-250.
- Bee, B. 2014. "Si no comemos tortilla, no vivimos: women, climate change, and food security in central". Mexico. *Agriculture and Human Values* 31 (4): 607-620.
- Beebe, S; Ramirez, J; Jarvis, A; Rao, IM; Mosquera, G; Bueno, JM ; Blair, MW. 2011. Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change. *Crop adaptation to climate change, Australia*: 356-369.
- Beebe, S; Rao, I; Mukankusi, C; Buruchara, R ; Hershey, C. 2012. Improving resource use efficiency and reducing risk of common bean production in Africa, Latin America and the Caribbean.
- Berrios, E; Lopez, C; Kohashi, J; Acosta, J; Miranda, S ; Mayek, N. 2011. Advances in Mexico on Bean Breeding for Tolerance to High Temperature and Drought. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34 (4): 247-255.
- Blunden, J; Arndt, DS. 2015. State of the Climate in 2014. *Bulletin of the American Meteorological Society* 96 (7): ES1-ES32. Disponible en <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2015BAMSStateoftheClimate.1>

- CEPAL, (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CH); UKAID, (Department for International Development, UK ; CCAD, (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, ES). 2010. La economía del cambio climático en Centroamérica. (Síntesis).
- CIAT, (Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali). 2005. The impact of the bean research network in Central America: past, present, and future. Consultado 26 oct. de 2016. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72164/67269.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- _____. 2014. Bean Varieties Released: in Latin America, the Caribbean and Other Countries Consultado 25 de mar. 2016. Disponible en https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/52003/Beans_released_varieties_LAC.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Coates, J; Swindale, A; Bilinsky, P. 2007. Household Food Insecurity Access Scale (HFIAS) for measurement of food access: indicator guide. Washington, DC.
- Desiere, S; Vellema, W; D'Haese, D. 2015. A validity assessment of the Progress out of Poverty Index (PPI)TM. Evaluation and Program Planning 49: 10-18. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149718914001177>
- Di Falco, S; Chavas, J-P. 2009. On crop biodiversity, risk exposure, and food security in the highlands of Ethiopia. American Journal of Agricultural Economics 91 (3): 599-611.
- Di Falco, S; Veronesi, M; Yesuf, M. 2011. Does Adaptation to Climate Change Provide Food Security? A Micro-Perspective from Ethiopia. American Journal of Agricultural Economics 93 (3): 829-846.
- Di Falco, S; Veronesi, M. 2013. How Can African Agriculture Adapt to Climate Change? A Counterfactual Analysis from Ethiopia. (Article). Land Economics 89 (4): 743-766. Disponible en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=91585563&site=ehost-live>
- Di Falco, S. 2014. Adaptation to climate change in Sub-Saharan agriculture: assessing the evidence and rethinking the drivers. European Review of Agricultural Economics 41 (3): 405-430.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; González, LA; Tablada, EM; Díaz, MdP; Robledo, CW; Balzarini, MG; Gómez Barrantes, M; Moreu Jalón, P ; Santos, B. 2008. Estadística para las ciencias agropecuarias. UNED, San José (Costa Rica).
- Edwards, DC. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. DTIC Document.
- Eitzinger, A; Schmidt, A; Sain, G; Sonder, K; Hicks, P; Nowak, A; Fisher, M; Beebe, S; Läderach, P ; Navarrete-Frías, C. 2013. Tortillas en el Comal: Los sistemas de maíz y frijol de América Central y el cambio climático.
- FAO, (Food and Agriculture Organization of The United Nations, Italy). 2015. Disaster Risk Programme to strengthen resilience in the Dry Corridor in Central America Consultado 18 oct. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/emergencies/resources/documents/resources-detail/en/c/330164/>.
- FAO, (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2013. Centroamérica en Cifras. Datos de Seguridad Alimentaria Nutricional. Consultado 19 agosto 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-at771s.pdf>
- _____. 2014. Hambre de saber, saber de hambre. 203 p. Consultado 19 agosto 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4323s.pdf>
- FEWSNET, (Famine Early Warning Systems Network, USA). 2014. Losses of Primera crops and rising prices threaten food security Consultado 18 oct. 2016. Disponible en

<http://www.fews.net/central-america-and-caribbean/remote-monitoring-report/september-2014>.

- _____. 2015. Pérdidas en cosecha de Primera y alta probabilidad de daños en la Postrera Consultado 17 ag. 2016. Disponible en <http://www.fews.net/es/central-america-and-caribbean/remote-monitoring-report/august-2015>.
- Finkl Jr, C. 1983. Soil classification. *Soil Science* 136 (5): 328.
- Frahm, M; Rosas, JC; Mayek, N; López, E; Acosta, JA ; Kelly, JD. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agronomía Mesoamericana* 14 (2): 143-150.
- Frahm, MA; Rosas, JC; Mayek-Pérez, N; López-Salinas, E; Acosta-Gallegos, JA ; Kelly, JD. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica* 136 (2): 223-232.
- Funk, C; Peterson, P; Landsfeld, M; Pedreros, D; Verdin, J; Shukla, S; Husak, G; Rowland, J; Harrison, L; Hoell, A ; Michaelsen, J. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. (Data Descriptor). *Scientific Data* 2: 150066. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gourdji, S; Läderach, P; Valle, AM; Martinez, CZ ; Lobell, DB. 2015. Historical climate trends, deforestation, and maize and bean yields in Nicaragua. *Agricultural and Forest Meteorology* 200: 270-281.
- Graham, P; Rosas, J; de Jensen, CE; Peralta, E; Tlusty, B; Acosta-Gallegos, J ; Pereira, PA. 2003. Addressing edaphic constraints to bean production: the bean/cowpea CRSP project in perspective. *Field Crops Research* 82 (2): 179-192.
- Hammond, J; Fraval, S; van Etten, J; Suchini, JG; Mercado, L; Pagella, T; Frelat, R; Lannerstad, M; Douchamps, S; Teufel, N; Valbuena, D ; van Wijk, MT. 2016. The Rural Household Multi-Indicator Survey (RHoMIS) for rapid characterisation of households to inform climate smart agriculture interventions: Description and applications in East Africa and Central America. *Agricultural Systems* Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16301172>
- Hayes, MJ; Svoboda, MD; Wilhite, DA ; Vanyarkho, OV. 1999. Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80 (3): 429-438. Disponible en <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0477%281999%29080%3C0429%3AMTDUTS%3E2.0.CO%3B2>
- Henry, A; Chaves, NF; Kleinman, PJA; Lynch, JP. 2010. Will nutrient-efficient genotypes mine the soil? Effects of genetic differences in root architecture in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on soil phosphorus depletion in a low-input agro-ecosystem in Central America. *Field Crops Research* 115 (1): 67-78. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429009002718>
- Hijmans, R; Kapoor, J; Wieczorek, J; Garcia, N; Maunahan, A; Rala, A; Alex, M. 2014. GADM database of Global Administrative Areas. Version 2.0. Disponible en <http://gadm.org/>
- Ho, MD; Rosas, JC; Brown, KM ; Lynch, JP. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional plant biology* 32 (8): 737-748.
- Hocdé, H. 2006. Fitomejoramiento participativo de cultivos alimenticios en Centro América: panorama, resultados y retos. Un punto de vista externo. *Agronomía Mesoamericana* 17 (3): 291-308.
- Hopkins, J; Southgate, D ; Gonzalez-Vega, C. 1999. Rural poverty and land degradation in El Salvador. In, *Citeseer*
- Huang, J; Wang, Y ; Wang, J. 2015. Farmers' Adaptation to Extreme Weather Events through Farm Management and Its Impacts on the Mean and Risk of Rice Yield in China. *American Journal of Agricultural Economics* 97 (2): 602-617.

- IICA, (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 2014. Cadenas de valor de maíz blanco y frijol en Centroamérica. 127 p. Consultado 17 agosto 2016. Disponible en <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2015/B3427e.pdf>
- IICA, (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, NI) ; COSUDE, (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, SW). 2016. Inventario Tecnológico de Semilla. Observatorio Regional de Innovaciones Tecnológicas para la Cadena de Maíz y Frijol en Centroamérica Consultado 26 de mar. de 2016. Disponible en http://observatorioredsicta.info/es/inventario-tecnologico/semillas?field_pais4_value%5B%5D=guatemala&field_cadena4_value=frijol&field_tipo5_value%5B%5D=variedad
- Imbach, P; Molina, L; Locatelli, B ; Corrales, L. 2010. Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge). 2001. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability, intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press Consultado 19 sep. 2015.
- IPCC, (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Consultado 26 sep. 2015. Disponible en https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf
- Isik, M; Devadoss, S. 2006. An analysis of the impact of climate change on crop yields and yield variability. (Article). Applied Economics 38 (7): 835-844. Disponible en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=20650823&site=ehost-live>
- Kassie, M; Teklewold, H; Marenya, P; Jaleta, M; Erenstein, O. 2014. Production Risks and Food Security under Alternative Technology Choices in Malawi: Application of a Multinomial Endogenous Switching Regression. Journal of Agricultural Economics
- Kassie, M; Teklewold, H; Jaleta, M; Marenya, P; Erenstein, O. 2015. Understanding the adoption of a portfolio of sustainable intensification practices in eastern and southern Africa. Land Use Policy 42: 400-411.
- Lara, R; Arceda, A. 2014. Desabastecimiento de frijol rojo nacional en el mercado interno de Nicaragua. REICE: Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas 2 (4): 96-109.
- Lin, B. 2011. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. BioScience 61 (3): 183-193.
- Lozano, J; Martínez, J. 1991. Atlas para el desarrollo del proyecto T-6; Riego para la Región del Trifinio. Agencia Española de Cooperación Internacional, Guatemala 46
- Lutz, E; Pagiola, S; Reiche, C. 1994. The cost and benefits of soil conservation: The farmers' viewpoint. The World Bank Research Observer 9 (2): 273-295.
- Lynch, J. 2005. Root architecture and nutrient acquisition. Nutrient Acquisition by Plants: 147-183.
- Maxwell, D; Vaitla, B; Coates, J. 2014. How do indicators of household food insecurity measure up? An empirical comparison from Ethiopia. Food Policy 47: 107-116. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919214000682>
- Mendelsohn, R. 2000. Efficient adaptation to climate change. Climatic Change 45 (3-4): 583-600.
- Okezie, CA; Udodirim, U; Okezie, CR ; Sulaiman, J. 2011. Climate variability and change: Perceptions and adaptations in subsistence agriculture. (Article). Indian Journal of Agricultural Research 45 (4): 275-282. Disponible en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=69684320&site=ehost-live>

- Oropeza, O. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad a la desertificación. Martínez, J., A. Fernández Bremauntz y P. Osnaya (comps.), Cambio climático: una visión desde México, SEMARNAT-INE: 303-314.
- Parry, ML. 2007. Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press.
- Parvatha, P. 2015. Climate resilient agriculture for food security.
- Pastor-Corrales, M; Schwartz, HF. 1994. Problemas de producción del frijol en los trópicos. CIAT, Cali, Colombia
- Porch, TG; Beaver, JS; Debouck, DG; Jackson, SA; Kelly, JD; Dempewolf, H. 2013. Use of wild relatives and closely related species to adapt common bean to climate change. *Agronomy* 3 (2): 433-461.
- Pulido, JS; Bocco, G. 2003. The traditional farming system of a Mexican indigenous community: the case of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico. *Geoderma* 111 (3-4): 249-265. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706102002677>
- Quiñonez, G. 2012. La degradación del suelo por erosión hídrica en cultivos de granos básicos y café en la microcuenca Torjá, cuenca del río Grande de Zacapa, Guatemala. Msc. en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 99 p.
- Reyes, BA. 2012. The Economic Impact of Improved Bean Varieties and Determinants of Market Participation: Evidence from Latin America and Angola. Michigan State University.
- Rosas, J; Castro, A; Beaver, J; Pérez, C; Garcés, A ; Lépiz-Idelfonso, R. 2000a. Mejoramiento genético para tolerancia a altas temperaturas y resistencia a mosaico dorado en frijol común. *Agronomía Mesoamericana* 11 (1): 1-10. Consultado 16 de sept. 2016.
- Rosas, JC; Castro, A; Flores, E. 2000b. Mejoramiento genético del frijol rojo y negro mesoamericano para Centroamérica y El Caribe. *Agronomía Mesoamericana* 11 (2): 37-46.
- Rosas, JC. 2003. El cultivo del frijol común en América tropical. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana/Zamorano.
- Rosas, JC; Beaver, JS; Beebe, S ; Viana-Ruano, A. 2004. Nomenclatura de variedades de frijol común liberadas en Centro América y el Caribe. *Agronomía Mesoamericana* 15 (2): 221-224.
- Rosas, JC. 2014. Contribuciones del Programa de Investigaciones en Frijol en Centro América y El Caribe. *REVISTA CEIBA* 52 (1): 65-73.
- Sain, G; Loboguerrero, AM; Corner-Dolloff, C; Lizarazo, M; Nowak, A; Martínez-Barón, D ; Andrieu, N. 2016. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. *Agricultural Systems*.
- Schlesinger, P; Muñoz Brenes, CL; Jones, KW; Vierling, LA. 2016. The Trifinio Region: a case study of transboundary forest change in Central America. *Journal of Land Use Science*: 1-19.
- Schmidt, A; Eitzinger, A; Sonder, K ; Sain, G. 2012. Tortillas on the Roaster: Central America's Maize-Bean Systems and the Changing Climate. Catholic Relief Services, CIAT, and CIMMYT, Cali, Colombia.
- SINTET, (Sistema de información Territorial Trinacional). 2016. Región Trifinio: El Salvador-Guatemala-Honduras Consultado 19 mayo. 2016. Disponible en http://sintet.net/index.php?option=com_sobi2&catid=169&Itemid=222.
- SRTM, (Shuttle Radar Topography Mission, US). 2000. Global land cover facility. Consultado 20 junio 2016. Disponible en <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>

- Villers, R; Trejo, I. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. Cambio climático: una fisión desde México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología (Semarnat-INE). México, DF, México: 239-254.
- Wang, Y; Huang, J; Wang, J. 2014. Household and community assets and farmers' adaptation to extreme weather event: the case of drought in China. *Journal of Integrative Agriculture* 13 (4): 687-697.
- Wooldridge, J. 2012. *Introductory econometrics: A modern approach*. Nelson Education.

8 ANEXOS

8.1 Listado de semilla de frijol mejorado y criollo

Agosteño	Chapín Arbolito	Ejote	Liberalito
<i>Amadeus 77</i>	Chapín Negro	Enrredador	Lila
Apresisate	Chapín Rojo	<i>Guazapa 1</i>	Lira
Arbolito	Chilito	<i>H45</i>	Magaña
Arbolito (Chapín)	Chino	<i>Hondureño H 46</i>	Mantequilla
Arbolito Rojo	Chiquin	<i>ICTA</i>	Matocho
Arriero	Chiquito	<i>ICTA Altense</i>	Media Guía
Arroz	Cincuentaño	<i>ICTA Hunapú</i>	Milpa Criollo
Bayo	Colocho	<i>ICTA Jade</i>	Mono
Blanco	Copaneco	<i>ICTA Jutiapa</i>	Negro
Bolonillo Rojo	Cordelín	<i>ICTA Ligero</i>	<i>Noventa</i>
Borbón	Cortado	<i>ICTA Ostua</i>	Otubrero
Cachito	Costeño	<i>ICTA rojo</i>	Pando
<i>Cardenal</i>	Criollo Blanco	<i>ICTA Santa Gertrudis</i>	Papa
<i>Carrizalito</i>	Criollo Negro	<i>ICTA Sayakche</i>	Paraiseño
<i>Catrachita</i>	Criollo Rojo	<i>ICTA Super Chiva</i>	Parra (como arbolito)
<i>CENTA</i>	Cuarenteño	<i>ICTA Texel</i>	Parrama
<i>CENTA 1</i>	Cubano	<i>Isich</i>	Parrita
<i>CENTA Chaparrastique</i>	<i>D´Oro</i>	<i>Jalpatagua</i>	Pata de Zope
<i>CENTA Costeño2</i>	De Agua	Jamaica	Pecho Amarillo
<i>CENTA Ferromás</i>	De Leche	Jamapa	Perome
<i>CENTA Nahuat</i>	<i>DEORHO</i>	Jomapa	Petaca
<i>CENTA Pipil</i>	<i>DICTA</i>	Juruna	<i>Piloy</i>
<i>CENTA Rojo 2000</i>	<i>DICTA 113</i>	<i>La Presa JF</i>	Pocajul
<i>Centa San Andrés</i>	<i>DICTA 122</i>	Lempira	Ponelolla
Chajal	<i>DOOR</i>	Levanta Pobres	Porrillo rojo
Chajan	<i>DOR-364</i>	Liberal	Precisado
Chapajul	<i>Dorado</i>	Liberal Vaina Morada	Precisate (ROJO SARADITO)
Chapaneco			

Continuación del listado de semilla de frijol mejorado y criollo

Preciso	Segoviano
Presizate	Sesentidos
Pucajul	Soya
Queso	Surin
<i>Quetzal</i>	Talete
Rabia el Gato	Talete Negro
Retinto	Talte
Rienda	Telete
Rojo	Tercio
Rojo Chile	Tineco
Rojo Claro	Tineco Rojo
Rojo de Seda	Tinto
Rosario	<i>Tío Canela 75</i>
Sacapobre	Uva
<i>San Andrés</i>	Vaina Rosada
San Juan	Vaina Blanca
<i>San Nicolás FP1</i>	Vaina Morada
San Pablo	Vaina Negra
Sangre de Toro	Villanito
Santa Rosita	Villano
Sardo	XX
Sargo	Zacapaneco
Seda	Zamorano
	Zapalote

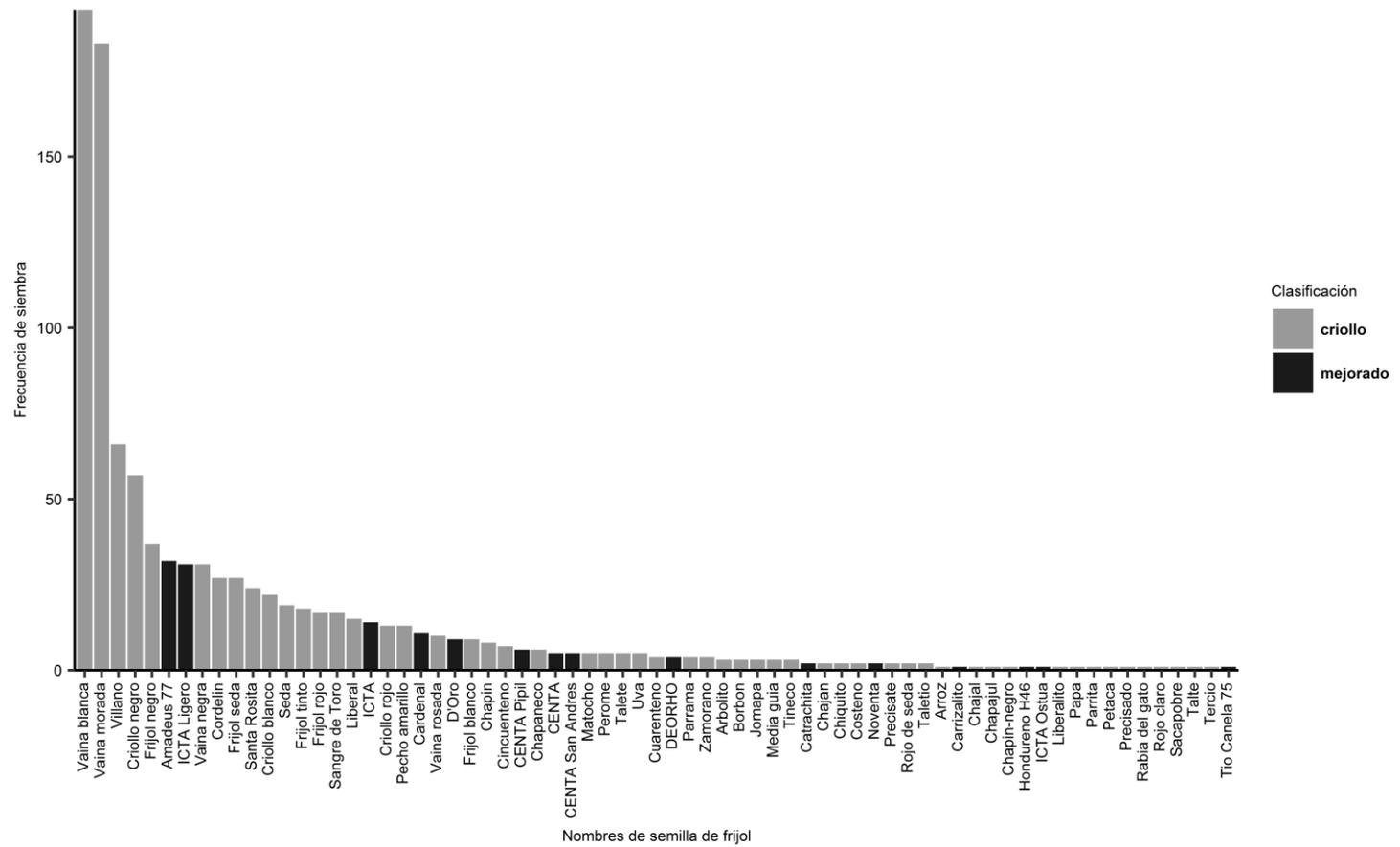
Nota: Los nombres de semilla de frijol mejorado se muestran en cursiva

8.2 Detalle de semilla mejorada cultivada en primera y postrera

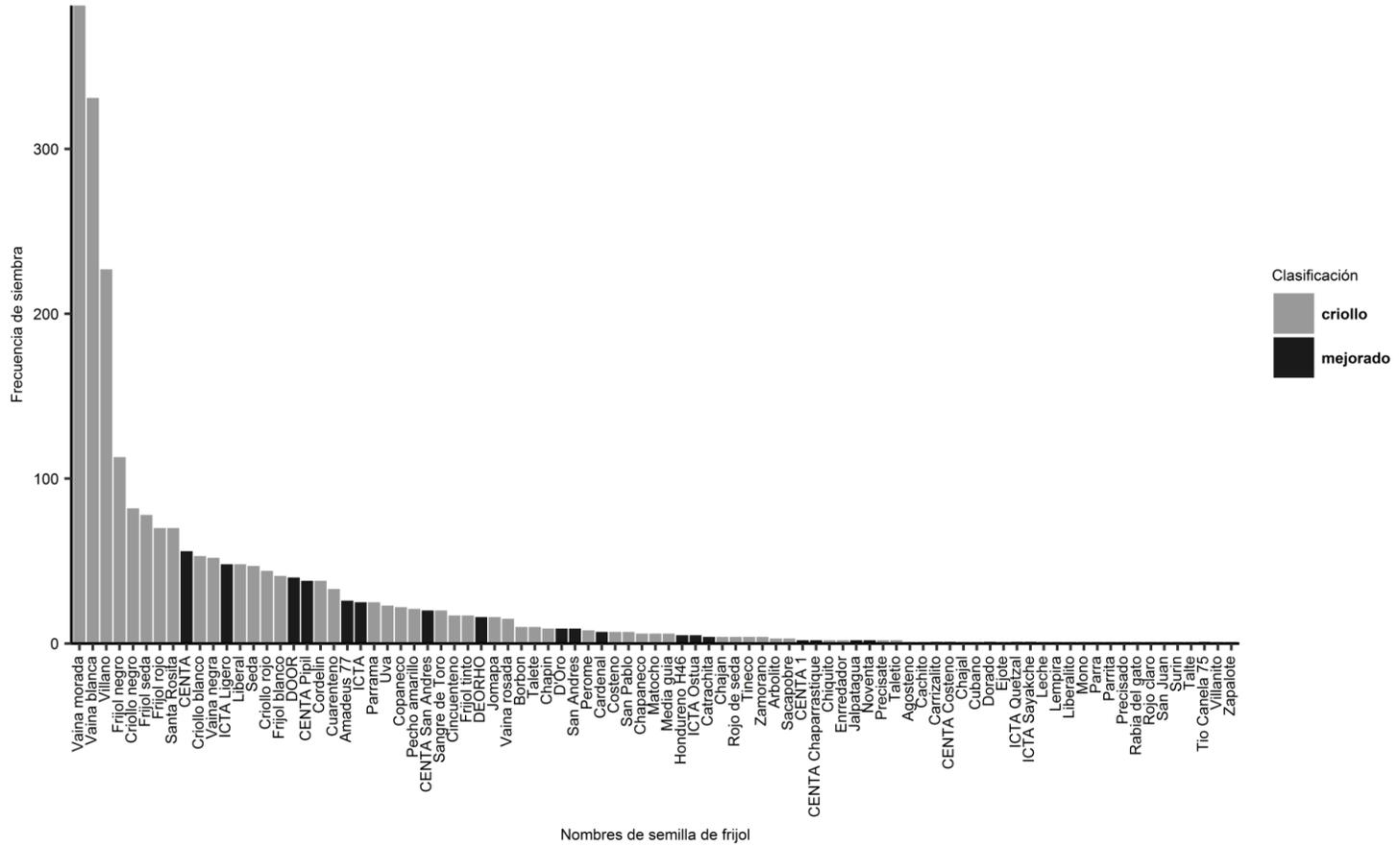
País que cultiva	Variedad	Color de grano	Días de Floración	Días de madurez	Días de Cosecha	Producción qq/mz	Producción qq/ha		Kg/ha		Adaptación msnm	Año de Liberado	Desarrollado
H, ES	Amadeus 77	Rojo	36-38	66-68		16-24	22	34	1036	1555	0-700	2004	DICTA/ZAMORANO
HN	Cardenal	Rojo claro	36-38	68-70								2005	DICTA/ZAMORANO
HN	Carrizalito	Rojo retinto	35-37	68-70		17-26	24	37	1101	1684	400-1800	2004	DICTA/ZAMORANO
HN, ES	Catrachita	Rojo corriente		65-70		22		31		1425	400 a 2000	1987	SAG
ES	CENTA												
ES	CENTA 1												
ES	CENTA Chaparrastique	Rojo	36-38	68-70		35		50		2267		2008-2009	CENTA/ZAMORANO
ES	CENTA Costeño2	Rojo claro	35-36	70-72		35		50		2267	30-1500	2014	CENTA/ZAMORANO
ES	CENTA Pipil	Rojo semioscuro	34	70		35		50		2267	50-1200		CENTA/ZAMORANO
ES	CENTA San Andrés	Rojo brillante	32-34	66-68		35		50		2267	100-1500	2002	CENTA/ZAMORANO
HN	D´Oro												
HN	DEORHO	Rojo claro	36-38	68-70		40		57		2591	400-1800	2005	DICTA/ZAMORANO
ES	DOOR												
HN	Dorado	Rojo retinto		73-77		26		37		1684	400-2000	1990	SAG
HN	Hondureño H 46	Rojo oscuro		70-78		15		21		971			
GT	ICTA												
GT	ICTA Ligero	Negro	29-30	64	71	20-30	28	57	1295	2591	1200	1998	
GT	ICTA Ostua										<1400	1979	
GT	ICTA Quetzal										<1400	1979	
GT	ICTA Sayakche	Negro opaco	35-42		88	40		57		2591			ICTA
GT	Jalpatagua	Negro											
HN	Noventa												
HN	Tío Canela 75	Rojo corriente		68-70		27		38		1749	400-2000	1996	ZAMORANO

Fuente: (CIAT 2014; IICA y COSUDE 2016)

8.3 Frecuencia de siembra de semillas criolla y mejorada en primera



8.4 Frecuencia de siembra de semilla criolla y mejorada en postrera



8.5 Estimación de parámetros en el modelo de rendimientos para primera (Mayo - Agosto) y postrera (Septiembre – Diciembre 2014) en el cultivo de frijol

Modelo	Primera				Postrera			
	Adaptación	Climáticas	Geofísicas	(b)	Adaptación	Climáticas	Geofísicas	(b)
	Log rendimiento por Ha.							
Variable dependiente	Coef.							
Adaptación	0.44***	0.22*	0.17	0.09	0.12*	0.12*	0.15**	0.07
Normal leve húmedo IPE mayo		-0.30***	-0.37***	-0.25*				
Normal leve húmedo IPE junio		0.57***	0.67***	0.56***				
Moderadamente seco IPE julio		-0.13	-0.04	0.05				
Normal leve húmedo IPE septiembre						0.05	0.09*	0.02
Humedad moderada IPE octubre						0.26	0.25	0.09
Normal leve húmedo IPE octubre						0.19	0.23	0.12
Normal leve húmedo IPE noviembre						-0.09*	-0.09	-0.00
Normal leve húmedo IPE diciembre						-0.27***	-0.25***	-0.18*
Propietario de animales				0.14				0.04
Sabe leer y escribir				-0.1				-0.01
Completó primaria				-0.04				0.08
Completó secundaria				0.15				0.08
Educación superior técnica o universitaria				-0.36				-0.38
Mujer sola				-0.05				-0.13*
Hombre solo				0.23				-0.03
edad del jefe de hogar				0.01				-0.00
edad_jh^2				-0.00				0.00
Tamaño de la familia				-0.00				0.00
Años cultivando la variedad de frijol				0.00				0.00
años_ cultivando la variedad de frijol ^2				0.00				-0.00
Suelo Andosoles - alfisoles - entisoles			-0.48***	-0.34**			-0.33***	-0.23*
Andosoles - alfisoles - ultisoles			-0.83***	-0.88***			-0.33*	-0.31*
Entisoles - alfisoles - ultisoles - molisoles			-0.35**	-0.26*			-0.35***	-0.16
Inceptisoles - entisoles - vertisoles			-0.42**	-0.52***			-0.2	-0.15
Aspecto			0.00	0.00			-0.00*	-0.00*
Aspecto2			-0.00	-0.00			0.00	0.00
Elevación			-0.00	-0.00			-0.00*	-0.00*
Elevación2			-0.00	-0.00			0.00	0.00
Pendiente			-0.00	0.00			-0.00	0.00
Pendiente2			-0.00	-0.00			-0.00	-0.00

Pasa...

Continuación de anexo 8.5

Modelo	Primera				Postrera			
	Adaptación	Climáticas	Geofísicas	(b)	Adaptación	Climáticas	Geofísicas	(b)
	Log rendimiento por Ha.							
Variable dependiente	Coef.							
Fertiliza			-0.07	-0.08			0.07	0.06
Incorporación de estiércol al suelo			0.09	0.08			0.07	0.00
Incorporación de rastrojos al suelo			0.1	0.08			-0.12	-0.06
Compost de residuos de frijol			-0.13	-0.14			0.12	0.08
Tenencia de la tierra			0.41***	0.32***			0.08	0.03
Área			-0.16***	-0.20***			-0.03	-0.07*
Índice de pobreza				-0.00				-0.00
Índice de pobreza^2				0.00				0.00
Índice de inseguridad alimen.				-0.01				-0.02
Índice de inseguridad alimen.^2				-0.00				-0.00
Constante	5.87***	6.05***	5.62***	5.61***	6.25***	6.08***	6.91***	6.93***
Con errores estándares agrupados por productor								
N. observaciones	946	946	919	913	2261	2261	2185	2167