

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



EFFECTOS POTENCIALES DE LOS CERTIFICADOS AMBIENTALES SOBRE LA  
COBERTURA FORESTAL DE LOS CAFETALES EN MÉXICO

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN ECONOMÍA AMBIENTAL

PRESENTA

JAVIER ALEJANDRO LÓPEZ AGUILAR

DIRECTOR DE LA TESINA: DR. HERNÁN DANIEL BEJARANO

AGUASCALIENTES, AGS.

MAYO, 2016

*A Jimena, Isabel y Nacho, por su amor*

## **Agradecimientos**

*Agradezco de manera muy sincera a todos mis profesores del Centro de Investigación y Docencia Económicas, A. C., principalmente a los de la sede de Aguascalientes, por su dedicación para el aprendizaje y desarrollo de los alumnos de la primera generación de la Maestría en Economía Ambiental.*

*Especialmente al Dr. Hernán Bejarano, que siempre mostró interés y paciencia para discutir una y otra vez el modelo y el texto de este trabajo, y de quien he aprendido con cada iteración.*

*Les agradezco a Claudio y Aldo su amistad y apoyo por dos largos años. Y también a mis demás amigos de maestría con los que pude compartir mi estancia en Santa Fe.*

*Quiero agradecer al personal de la Cooperativa de productores Ts'umbal Xitalha de Chi-lón, Chiapas, por guiarme amablemente en los aspectos más básicos de la producción de café y contagiarme de su alegría por el tema.*

*Agradezco el apoyo financiero que recibí por parte del CIDE y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para realizar mis estudios de maestría.*

*Sobre todo a mi extensa familia: parientes, pero también los amigos de la vida y compañeros de casa; copilotos en las avanzadas, vecinos de puerta y de escritorio, y aseguradores en la roca. Ellos son los que siempre me motivan. Agradezco su cariño y la tasas de café que me han ofrecido.*

## **Resumen**

*Las plantaciones tradicionales de café en México están caracterizadas por emplear una cobertura de árboles nativos de los bosques y selvas, por lo que son asociadas con la conservación de algunos servicios ambientales de estos ecosistemas. En un contexto de deforestación acelerada, estas características confieren a los cafetales tradicionales un papel relevante como refugio para un gran número de especies. Sin embargo, la búsqueda de mayores beneficios económicos ha incentivado a algunos productores a adoptar métodos de cultivo que generan contaminación y empobrecen la cobertura de árboles de sus parcelas. En este trabajo se especifica un modelo bioeconómico de maximización de beneficios y se simulan las condiciones de los pequeños productores mexicanos. A partir de esto, se identifica el potencial de los certificados de café orgánico y café de sombra como instrumentos para internalizar las externalidades positivas de los cafetales tradicionales, especialmente la conservación de su cobertura forestal.*

# Índice general

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Contexto y revisión de literatura</b>	<b>5</b>
2.1	El cultivo de café en México y los servicios ambientales forestales . . . . .	5
2.2	El papel de los certificados ambientales . . . . .	12
2.3	Beneficios y costos de la certificación . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Metodología</b>	<b>22</b>
3.1	Especificación del modelo . . . . .	24
3.2	Solución del modelo y simulación . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>32</b>
4.1	Análisis estático . . . . .	32
4.2	Problema intertemporal de inversión . . . . .	36
4.3	Escenarios contrafactuales . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Discusión y conclusiones</b>	<b>44</b>
	<b>Referencias</b>	<b>49</b>
	<b>Apéndices</b>	<b>54</b>

# Índice de figuras

4.1	<b>Producción óptima con cada tecnología . . . . .</b>	33
4.2	<b>Beneficios óptimos para las distintas tecnologías . . . . .</b>	34
4.3	<b>Función de distribución beta para las dotaciones iniciales de sombra . . .</b>	36

# Índice de cuadros

2.1	Los cinco sistemas de producción de café en México . . . . .	7
4.1	Resultados en el máximo nivel de beneficios para cada tecnología . . . . .	35
4.2	Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal . . .	37
4.3	Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal . . . . .	38
A1.1	Parámetros del modelo . . . . .	55
A3.1	Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal, para el caso de una distribución uniforme . . . . .	60
A3.2	Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal, para el caso de una distribución uniforme . . . . .	61
A3.3	Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal. Escenario con productores a muy pequeña escala . . . . .	61
A3.4	Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal. Escenario con productores a muy pequeña escala . . . . .	62
A3.5	Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal en presencia de un subsidio anual al café de sombra . . . . .	62
A3.6	Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal en presencia de un subsidio anual al café de sombra . . . . .	63

# Capítulo 1

## Introducción

Los pronósticos sobre las tendencias de la deforestación en el mundo para el año 2050, señalan que la rápida expansión de la frontera agropecuaria provocará la pérdida de alrededor de 10 mil millones de hectáreas de ecosistemas naturales; esto es, 5 veces el territorio de México (Tilman y cols., 2001).

Típicamente, la deforestación afecta más a los ecosistemas tropicales, de donde provienen importantes servicios ambientales, como la retención de suelos, secuestro de carbono, recarga de acuíferos y hábitat de una gran diversidad biológica (Manson, Contreras Hernández, y López-Barrera, 2008; Takahashi y Todo, 2013).

Un buen número de investigaciones ha identificado que los métodos tradicionales de cultivo de café en México permiten conservar, en cierta medida, los servicios ambientales mencionados, en especial el refugio de gran cantidad de especies de distintas familias. Las 14 mayores regiones productoras de café en México coinciden con zonas designadas por CONABIO como áreas de conservación prioritarias, en las cuales predominan 4 ecosistemas forestales. A diferencia de los sistemas puramente agrícolas, las plantaciones tradicionales de café mantienen cierta cobertura forestal dentro de las parcelas para crear condiciones pro-

picias para el cultivo, por lo cual son conocidas como cafetales de sombra. (Moguel y Toledo, 1996, 1999; Perfecto, Mas, Dietsch, y Vandermeer, 2003).

En las regiones altamente deforestadas, estos cafetales llegan a constituir una proporción significativa de la cobertura forestal remanente de las cuencas hidrológicas; y pueden también actuar como sitios de conservación complementarios a las áreas naturales protegidas. Se estima, por ejemplo, que el 80 % de los bosques y selvas en Chiapas se ha perdido, y que parte de la cobertura forestal todavía existente está representada por cafetales tradicionales. (Blackman, Albers, Ávalos Sartorio, y Crooks, 2007; Jurjonas, Crossman, Solomon, y López Báez, 2016; Philpott, Bichier, Rice, y Greenberg, 2007).

No obstante, los métodos tradicionales de cultivo de café (mediante el uso de sombra), han ido perdiendo importancia frente a las alternativas productivas, dejando así las parcelas bajo amenaza de convertirse en tierras no forestales. La búsqueda de mayores beneficios económicos por parte de los pequeños productores ha conducido al abandono de los cafetales tradicionales, en favor de actividades como el trabajo asalariado, la agricultura de subsistencia y la explotación maderera con fines comerciales. (Anta Fonseca, 2006; Batz, Albers, Ávalos Sartorio, y Blackman, 2005; Blackman, Ávalos Sartorio, y Chow, 2007; Philpott y cols., 2007).

Una alternativa natural para los productores tradicionales es el cambio de tecnología, hacia métodos de cultivo que emplean una menor cantidad de árboles de sombra y elevan los rendimientos por medio del uso de insumos agroquímicos. El resultado es un incremento en la contaminación ambiental y el deterioro de los hábitats. (Heidkamp, Hanink, y Cromley, 2008; Ibáñez, 2011; Perfecto y cols., 2003).

Ante esta situación, a partir de la década de 1980 se popularizaron en México las inicia-

tivas de certificación ambiental, entre las que se encuentran el certificado orgánico y el *Bird Friendly*. Éstos buscan compensar económicamente a los productores que, con base en los criterios de agencias independientes, emplean métodos de cultivo y procesamiento amigables con el ambiente. En esencia, los certificados ambientales buscan crear un mercado para los servicios ambientales que acompañan a la producción sustentable, cuyo valor no se ve reflejado en los precios de los mercados convencionales y constituyen una externalidad positiva. (Anta Fonseca, 2006; Blackman y Naranjo, 2012; Philpott y cols., 2007).

Desde la perspectiva de los productores, estos certificados implican tanto beneficios como costos. Por un lado está la posibilidad de obtener un sobreprecio por el café y, por el otro, se encuentran una serie de pagos a las agencias certificadoras y la pérdida adicional de rendimientos por apearse a los criterios de certificación. En este sentido, el éxito de las iniciativas de certificación ambiental depende de su conveniencia económica en relación con las alternativas productivas. Sin embargo, el efecto sobre el ambiente de estos instrumentos ha sido poco estudiado desde un enfoque centrado en las decisiones de los productores, y poco se sabe sobre las condiciones que favorecen su impacto.

El objetivo del presente trabajo es identificar los posibles efectos de las iniciativas de certificación ambiental sobre la cobertura de árboles en los cafetales. Debido a la ausencia de datos a nivel parcela, se construye un modelo bioeconómico que simula las condiciones que enfrenta un productor representativo al momento de elegir una tecnología; entre las que se contemplan una producción intensiva, el abandono del cafetal, o la posibilidad de producir bajo árboles de sombra y obtener un certificado ambiental. En el modelo cada tecnología está asociada a una cantidad óptima de árboles de sombra como insumo productivo.

Este es un problema de programación dinámica discreta, en el cual se busca maximizar los beneficios del productor representativo en un horizonte temporal finito y en un contexto

determinístico. El resultado es una serie de acciones óptimas para el productor, que determinan la tecnología más conveniente y la cobertura forestal en su cafetal en el último periodo. Finalmente, asignando de manera aleatoria una dotación inicial de árboles de sombra a 10,000 productores, es posible observar cómo cambia la cobertura forestal del conjunto de cafetales con y sin los certificados. La solución del modelo y la simulación del comportamiento del productor representativo se realizan por medio de herramientas computacionales en Matlab.

Los resultados obtenidos sugieren que los certificados ambientales tienen el potencial de limitar el nivel de deforestación de las fincas de café, aunque no son buenos instrumentos para regenerar los ecosistemas agroforestales. No obstante, para alcanzar todo su potencial, estos instrumentos dependen de la implementación de políticas complementarias –como los subsidios a la certificación o la asociación de los productores en cooperativas–, especialmente cuando las unidades de producción son de muy pequeña escala.

El resto del trabajo está estructurado de la siguiente manera. En el próximo capítulo se presenta el contexto de la producción de café en México y se hace una revisión de la literatura previa en torno a los certificados ambientales, especialmente en sus implicaciones sobre los beneficios de los productores. En el capítulo 3 se presenta el modelo especificado y el método de solución, así como una descripción de la simulación. En el cuarto aparecen los resultados obtenidos, especificando las condiciones de partida de cada una de las tecnologías, las decisiones óptimas para los productores y el efecto de las mismas sobre la cobertura forestal. Finalmente, se discuten estos resultados y se presentan algunas conclusiones.

# Capítulo 2

## Contexto y revisión de literatura

### 2.1. El cultivo de café en México y los servicios ambientales forestales

Desde su introducción en 1795, la cafecultura ha sido una actividad de gran relevancia en los ingresos de la población indígena y campesina que habita en las áreas montañosas del centro y sureste de México (Anta Fonseca, 2006). En 1999 unos 280,000 campesinos cultivaron 760,000 ha. de café, y un total de tres millones de personas participaron en el cultivo y cosecha del mismo (CCA, 1999)<sup>1</sup>. Así también, el café representa el principal producto agrícola en las exportaciones mexicanas y, en algunos años, las divisas que genera se encuentran sólo detrás de las del petróleo y el turismo (Moguel y Toledo, 1996). A diferencia de lo que ocurre en los principales países productores, como Brasil, Colombia y Vietnam, el 90 % de las fincas cafetaleras en México tiene una extensión menor a 5 hectáreas, y 70 % son menores a 2 hectáreas; su producción representa 40 % del total (Moguel y Toledo, 1996).

Tanto los métodos de producción como la ubicación de las plantaciones, hacen de la cafecultura una actividad relevante también desde el punto de vista ecológico. En general, estos

---

<sup>1</sup>Datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Sagarpa indican que en el año 2014 la superficie sembrada fue de 737,000 ha.

productores emplean sistemas agroforestales cuya estructura arbórea se asemeja, en mayor o menor medida, a la de bosques y selvas, lo cual les permite mantener condiciones apropiadas de temperatura, humedad y luz solar para las plantas de café (Manson y cols., 2008). Por otro lado, el clima propicio para lograr un café de calidad se encuentra en las zonas montañosas de elevación media –entre 600 y 1200 msnm– donde están presentes cuatro ecosistemas forestales: selvas altas y medianas, bosques de pino y encino, selvas bajas caducifolias y bosques mesófilos de montaña (Moguel y Toledo, 1996).

Por lo tanto, las fincas cafetaleras pueden constituir paisajes que preserven algunos servicios ambientales forestales, entre los cuales se encuentran la retención de suelos, hábitat para múltiples especies, secuestro de carbono y recarga de acuíferos (Blackman, Ávalos Sartorio, y Chow, 2007; Manson y cols., 2008).

Sin embargo, existen múltiples formas de producir café, por lo que es conveniente caracterizarlas y delimitar aquéllas que son objeto de este estudio, tanto por su escala como por su importancia ambiental. Los métodos de producción están determinados por factores históricos y ecológicos, así como por las condiciones económicas de los productores. En un esfuerzo por definir los rasgos característicos de los distintos sistemas productivos, Moguel y Toledo (1996) sugieren una clasificación que distingue entre cinco tipos. Éstos se encuentran en un gradiente que va desde los sistemas tradicionales, con bajos insumos y vegetalmente diversos, hasta los más modernos, intensivos y poco diversos. En el Cuadro 2.1 se resumen las particularidades de cada uno.

De acuerdo con dichos autores, una primera división de estos sistemas se hace a partir del uso de árboles para regular la humedad, temperatura y luz solar, distinguiendo así entre café de sombra y café de sol.

**Cuadro 2.1: Los cinco sistemas de producción de café en México**

Uso de sombra	Tipo de producción	Tipo de cafetal	Características del sistema agroforestal	Características del sistema productivo
Con sombra	Tradicionales	Rústico	Mínima afectación del ecosistema forestal. Mantenimiento de la cobertura original de árboles.	Sin uso de agroquímicos. Rendimientos notablemente bajos.
		Policultivo tradicional o jardín de café	Sistema agroforestal complejo. Sofisticada selección de especies nativas e introducidas. Gran diversidad productiva.	Empleo ocasional de agroquímicos. Rendimientos comparables a sistemas más modernos.
	Modernos	Policultivo comercial	Predominan especies de árboles introducidas con propósitos comerciales. Baja diversidad vegetal y productiva.	Uso de agroquímicos con cierta frecuencia. Una sola variedad de café.
		Monocultivo de sombra	Plantación monoespecífica. Uso exclusivo de una sombra especializada.	Uso obligado de agroquímicos. Producción totalmente orientada al mercado de café.
Sin sombra		Monocultivo de sol	Sin ninguna cobertura de árboles. Sistema totalmente agrícola que no presenta ningún rasgo agroforestal.	Uso intensivo de agroquímicos, e incluso, de maquinaria. Máximos rendimientos de café por unidad de superficie.

Como se observa también en el cuadro, Moguel y Toledo (1996) hacen una segunda clasificación, distinguiendo entre policultivos y monocultivos. Los policultivos, representados por los tres primeros sistemas, contrastan con los últimos dos por su uso de cierta variedad vegetativa. En el caso más diverso (jardín de café), se emplean hasta 25 especies de árboles y arbustos, que comprenden frutales, medicinales y maderables –muchas veces para autoconsumo–, además de distintas variedades de café. En cambio, al pasar al policultivo comercial comienza a emplearse una sola variedad de café, así como una menor diversidad de árboles, los cuales son introducidos para proporcionar sombra (*Inga spp.*) y con fines comer-

ciales (como hule, plátano, cítricos y cedro). En el extremo, con el monocultivo de sombra se emplean solamente una variedad de café y una especie de árboles de sombra.

Finalmente, dichos autores plantean que los sistemas pueden ser diferenciados en términos de la similitud del sistema productivo con el bosque original. Los cafetales tradicionales surgieron de sustituir únicamente las capas bajas de vegetación forestal con especies exóticas –el café y otras plantas–, manteniendo árboles nativos y diversos estratos en el dosel. El policultivo comercial, en cambio, resulta de manipular por completo la diversidad vegetal, por lo que –aunque considerado como un sistema agroforestal– éste se basa en la creación de un «bosque artificial».

Los monocultivos implican medianas o grandes extensiones de tierra y sus fines son únicamente comerciales. Aunque los máximos rendimientos se logran bajo ésta modalidad, sus mayores niveles de producción son posibles gracias al empleo de abundantes insumos, lo cual conlleva altos costos ambientales. Sólo en tiempos muy recientes aparecieron los sistemas productivos modernos, con sombra especializada o sin cubierta forestal, introducidos a México hacia finales de la década de 1970 por el Instituto Mexicano del Café (Inmecafé). El caso del monocultivo de sol es el de un sistema totalmente agrícola que pierde el carácter agroforestal de los sistemas anteriores.

Nuestro interés está puesto en los primeros tres tipos, por dos razones. En primer lugar, son éstos a los que la literatura se refiere como café de sombra o sistemas agroforestales de café, y los que son asociados con la provisión de servicios ambientales. Así también, sólo los cultivos tradicionales son susceptibles de ser certificados como producción sustentable. En segundo lugar, estos son los sistemas que generalmente emplean los productores a pequeña o muy pequeña escala, debido a sus restricciones económicas para adquirir grandes cantidades de insumos (Batz y cols., 2005).

La contribución de los cafetales tradicionales a la preservación de los servicios ambientales es más relevante si se considera que los ecosistemas forestales son los más amenazados por la actividad humana (Manson y cols., 2008). Las 14 mayores regiones productoras de café en nuestro país coinciden con zonas designadas, por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, como áreas de conservación prioritarias (Moguel y Toledo, 1999). Así también, la región norte de América Latina, donde el café es un cultivo de gran importancia, concentra siete de los diez países con las mayores tasas de deforestación en el mundo (Perfecto, Vandermeer, Mas, y Soto Pinto, 2005), entre ellos México.

Estos sistemas productivos pueden llegar a representar una buena parte de la cobertura forestal de las cuencas hidrológicas; y pueden también actuar como sitios de conservación complementarios a las áreas naturales protegidas (Moguel y Toledo, 1999). Incluso, es señalado que las plantaciones de café de sombra pueden servir como corredores entre los manchones remanentes de bosque original, y pueden mitigar los efectos negativos sobre los límites de las zonas forestales (CCA, 1999). Un caso extremo es el de El Salvador, donde el 90 % de los bosques originales se ha perdido, y 80 % de la cobertura “forestal” restante corresponde a cafetales de sombra (Perfecto y cols., 2005).

Por mucho, la cualidad ecológica más estudiada de estos cafetales ha sido la preservación de la biodiversidad (véanse, por ejemplo, los trabajos de Gordon, Manson, Sundberg, y Cruz-Angón, 2007; Manson y cols., 2008; Perfecto y cols., 2003, 2005; Philpott y cols., 2007). Entre las familias que habitan estas fincas se han identificado una gran variedad de plantas con flores (especialmente árboles), orquídeas, mamíferos terrestres de mediano y gran tamaño, y algunos grupos de insectos, como hormigas y mariposas.

El café de sombra en México es, entonces, un buen ejemplo de un ecosistema forestal manejado, cuyos beneficios potenciales para la conservación deben recibir atención, espe-

cialmente cuando los bosques y selvas originales han sido severamente alterados. Moguel y Toledo (1996, 1999) se refieren a los cafetales de sombra como «refugios para la biodiversidad»; y Philpott y cols. (2007) los han calificado como agroecosistemas críticos para el éxito de la conservación en América Latina. Por supuesto, la contribución de éstos a la preservación de los ecosistemas está condicionada a la presencia de una cobertura forestal abundante y diversa; en la medida que se simplifica la estructura de un cafetal y se vuelve más tecnificado, los servicios ambientales del mismo disminuyen (Blackman, Albers, y cols., 2007).

No obstante, los métodos tradicionales de cultivo de café han ido perdiendo importancia frente a las alternativas productivas, dejando así las parcelas bajo amenaza de convertirse en tierras no forestales. La búsqueda de mayores beneficios económicos por parte de los pequeños productores ha conducido al abandono de esta actividad en favor del trabajo asalariado, la agricultura de subsistencia, la tala comercial y la producción convencional de café, sobre todo ante las fluctuaciones recurrentes de los mercados y los cambios institucionales (Anta Fonseca, 2006; Batz y cols., 2005; Blackman, Ávalos Sartorio, y Chow, 2007; Philpott y cols., 2007).

Entre 1970 y 1982, cuando los precios internacionales del café se mantuvieron relativamente altos, el Inmecafé alentó a los pequeños productores a pasar de fincas con sombra diversificada hacia monocultivos, con el fin de incrementar los rendimientos y capturar una mayor cuota en el mercado mundial (Philpott y cols., 2007). De manera similar, la caída de los precios internacionales del grano a inicios de la década de 1990 resultó en la conversión de una buena proporción de los cafetales tradicionales hacia otros usos (Castro, Calvas, Hildebrandt, y Knoke, 2013). El efecto de los precios se vio acrecentado con el desmantelamiento de organismos que apoyaban la producción y comercialización de café.

En su análisis, Jurjonas y cols. (2016) sugieren que las altas tasas de deforestación en la región cafetalera de la reserva de la biósfera de El Triunfo, Chiapas, se relacionan con los

dos episodios anteriores. La desaparición de la cobertura forestal en la zona fue muy significativa entre los años de 1975 y 2000 [alrededor de 10 % de la superficie total], y el 81 % de esa pérdida se observó a partir del colapso del Acuerdo Internacional del Café en 1989 y del Inmecafé en 1992. Asimismo, Philpott y cols. (2007) reportan una tendencia similar en el cambio de uso de suelo hacia cultivos con menores beneficios ambientales en Colombia, Nicaragua y Costa Rica a partir de las crisis de precios del café.

Por su parte, Blackman, Albers, y cols. (2007) encuentran que los bajos precios del café en la década de 1990 incrementaron la deforestación en las regiones Sierra Sur y Costa, de Oaxaca, donde se produce la quinta parte del café mexicano. Sin embargo, sus resultados muestran que la probabilidad de abandonar los cafetales fue mucho menor entre los productores que eran miembros de una cooperativa, pues recibieron precios relativamente mayores por la venta del café de sombra.

Ante esta situación, desde la década de 1980 se han desarrollado alternativas productivas y de manejo de los cafetales que buscan mejorar las condiciones de los productores tradicionales para enfrentar las crisis, incursionando en mercados no convencionales donde reciben mayores precios (Anta Fonseca, 2006). Este es el caso de los mercados especializados de café orgánico, de comercio justo y café de sombra que, al premiar de manera selectiva a los productores con cafetales ecológicamente más ricos, han sido identificados como una forma de proteger la cobertura forestal que se encuentra bajo presión de otras actividades (véanse, por ejemplo, los trabajos de Heidkamp y cols., 2008; Perfecto y cols., 2005; Philpott y cols., 2007; Takahashi y Todo, 2013).

## 2.2. El papel de los certificados ambientales

La certificación del café (y de cualquier otro cultivo) es un proceso en el que los productores solicitan, de manera voluntaria, la inspección de sus parcelas por parte de una agencia independiente. Ésta verifica que se cumpla con ciertos criterios (por ejemplo, de manejo de la plantación, procesamiento o condiciones laborales), y autoriza a aquéllos que cumplen con los requerimientos a que empleen un sello en los empaques.

De acuerdo con sus proponentes, dichos sellos permiten a los consumidores diferenciar los productos a partir de sus atributos –en este caso ambientales– y segmentan el mercado del bien en cuestión. En el nuevo mercado, los consumidores pagan un precio mayor por los bienes amigables con el ambiente, incentivando así a sus productores a apegarse a las normas de certificación (Blackman y Naranjo, 2012).<sup>2</sup>

Detrás de este proceso, está la idea de que las prácticas promovidas por los certificados generan externalidades positivas, que deben ser internalizadas a fin de mantener su existencia. Es decir, a través de los precios, los mercados influyen en las decisiones de los agricultores sobre qué producir en sus tierras y cómo asignar los recursos, a fin de maximizar sus beneficios económicos. Pero, en contraste, los mercados de servicios ambientales son inexistentes o no están bien desarrollados, por lo que el valor de estos servicios –generados en conjunto con la producción del bien agrícola– no se refleja en los precios, y su provisión rara vez guía las decisiones sobre el uso de la tierra (Castro y cols., 2013).

Los beneficios (privados) de los productores son, entonces, menores a los beneficios (sociales) que genera su actividad, convirtiendo a la protección del ambiente en un servicio por el que, aparentemente, nadie paga. No obstante, en el caso del café son los propios product-

---

<sup>2</sup>La idea de que un bien puede ser visto como un conjunto de atributos, y que el precio del mismo depende de cada uno de ellos, proviene de la teoría de la demanda de Lancaster (1966)

res los que enfrentan el costo de mantener en mejor estado los ecosistemas, pues renuncian a los mayores rendimientos que lograrían por medio de un sistema productivo más intensivo (Blackman y Naranjo, 2012; Ibáñez, 2010).

De esta forma, sin hacerlo explícito, la certificación es en realidad una propuesta de pago por los servicios ambientales que proveen los cafetales con sombra diversificada (Anta Fonseca, 2006). Pero, a diferencia de una de las soluciones típicas para corregir las externalidades, por medio de un subsidio (pigouviano) que iguale los beneficios sociales con los privados, en el esquema de certificados la compensación proviene de los consumidores, aprovechando su disposición a pagar por bienes sustentables.

En suma, el sobreprecio que obtienen los cafés sustentables es una forma de canalizar recursos de la sociedad hacia el cuidado de los recursos naturales, internalizando así el costo de generar los servicios ambientales que ha sido pasado por alto en los mercados agrícolas convencionales.

El café es susceptible de obtener distintos tipos de certificaciones ambientales<sup>3</sup>. En México, la primera de ellas fue la de café orgánico y actualmente es la más difundida (además del certificado de Comercio Justo, cuyos objetivos son primordialmente sociales y no es tratado aquí). De acuerdo con Willer y Lernou (2016) el primer certificado orgánico en México se otorgó hace 30 años, y en 2014 el país fue el mayor productor de café orgánico en términos de la superficie cultivada (31 % del total mundial). Ese año, 169 mil cafecultores con 343 mil hectáreas contaban con el certificado, lo que representa 35 % de la cosecha nacional y más de 50 % de los productores.

En términos muy generales, la certificación orgánica busca incentivar a los productores a

---

<sup>3</sup>Los principales sellos en el mundo son 4C Association, Comercio Justo, Orgánico, Rainforest Alliance y UTZ (Willer y Lernou, 2016).

que eviten el uso de agroquímicos, especialmente los sintéticos, así como promover prácticas que contribuyan a mantener y mejorar la fertilidad de los suelos (Magdoff, 2007). La motivación del movimiento orgánico viene de observar los altos costos ambientales de la agricultura convencional, caracterizada cada vez más por una alta dependencia de insumos provistos de fuentes distantes, el uso de grandes cantidades de energía no renovable y una base genética reducida (Rigby y Cáceres, 2001).

Por lo tanto, entre los principios que deben adoptar los agricultores para obtener un certificado orgánico, se encuentran: el uso de fertilizantes elaborados a partir de materia orgánica; métodos manuales y naturales para controlar plagas, enfermedades y hierbas; prácticas que prevengan la erosión; uso mínimo de combustibles fósiles; y, reducir lo más posible la contaminación ambiental en el procesamiento (IFOAM, 2006)<sup>4</sup>. Adicionalmente, para el caso específico del café, el certificado orgánico no permite altas densidades (un gran número de plantas de café por superficie) y requiere que el cultivo se haga bajo una cobertura de sombra diversificada, aunque no se definen criterios específicos para ésta (Certimex, 2014).

Por otro lado, el interés por preservar los bosques originales y su vida silvestre, así como regenerar los ecosistemas forestales degradados, condujo, a finales de la década de 1990, al desarrollo de otro tipo de certificados conocidos como café de sombra. Los criterios fueron definidos con base en investigación científica en torno a las características biofísicas necesarias para conservar los hábitats (CCA, 1999). Las organizaciones certificadoras más reconocidas en esta categoría son el Centro de Aves Migratorias del Instituto Smithsonian (SMBC, por sus siglas en inglés) con el sello de «café amigable con las aves» o Bird Friendly, y Rainforest Alliance con el sello de «café sustentable». En México, actualmente 17 mil ha. están certificadas por alguna de estas organizaciones<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup>Los criterios para obtener un certificado orgánico en todo el mundo están basados en los principios de la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM, por sus siglas en inglés). Éstos comprenden una serie de postulados mucho más amplios que los que aquí se señalan.

<sup>5</sup>Con información de los sitios web: <http://www.rainforest-alliance.org/work/impact/map/>

Los indicadores que emplean ambas organizaciones para evaluar la sombra de los cafetales son muy similares, con la salvedad de que el SMBC requiere que los predios estén previamente certificados como orgánicos, mientras que Rainforest Alliance permite el uso controlado de agroquímicos. Algunos de los criterios para definir al café de sombra son: un mínimo de 40 % de la parcela cubierta con sombra; mantener una estructura arbórea que en promedio tenga 12 metros de altura, pero que cuente con árboles de distintas alturas y algunos superen los 15 metros; y, una diversidad superior a 15 especies, con al menos un 30 % de árboles nativos entre los cuales debe estar el árbol de sombra principal (CCA, 1999; SMBC, 2004).

Así, con base en los principios orgánicos y de café de sombra, sólo los cafetales tradicionales son objeto de certificación, pues son los únicos caracterizados por una baja densidad de plantas de café y una sombra abundante y diversa. Por ejemplo, aunque cuatro sistemas de producción de café emplean algún tipo de sombra (véase el Cuadro 2.1), el SMBC (2004) estipula explícitamente que sólo los cafetales rústicos y los jardines de café pueden ser certificados con el sello Bird Friendly.

En la sección anterior se mencionó que la provisión de servicios ambientales en la producción de café dependía de la existencia de una cobertura forestal adecuada, lo cual es regulado por los certificados de café de sombra. De manera adicional, las prácticas orgánicas buscan mejorar otras condiciones, evitando la contaminación de los acuíferos, el empobrecimiento de los suelos y los daños a la salud humana que acarrea el uso de agroquímicos (Rigby y Cáceres, 2001). Por lo tanto, una certificación múltiple puede contribuir a que los productores mantengan en sus cafetales las características de los sistemas tradicionales y, con esto, mejorar las posibilidades de que generen un impacto ambiental positivo (Philpott y cols., 2007).

---

agriculture, y <https://nationalzoo.si.edu/scbi/migratorybirds/coffee/map-of-farms.cfm>. Consultados el 10 de mayo de 2016.

### 2.3. Beneficios y costos de la certificación

Siguiendo la lógica de los certificados ambientales, cabría esperar que fueran un instrumento efectivo para la conservación. Sin embargo, su impacto sobre el medio ambiente podría diferir del que predice la teoría detrás de ellos. El éxito de estos esquemas depende, en primera instancia, de las decisiones de los productores sobre la conveniencia económica de adoptarlos o permanecer sin ellos (Perfecto y cols., 2005). Es decir, de que la compensación que reciben por apearse a los criterios de certificación permita cubrir los costos que esto conlleva.

Con miras al análisis que se hace más adelante, en torno a la elección de un sistema productivo por parte de los cafeticultores, en esta sección se discuten algunos aspectos que dificultan la adopción de los certificados y, por lo tanto, sus posibilidades de generar efectos ambientales positivos. El énfasis está puesto en la relación que existe, entre las características productivas y de la cobertura de sombra que exigen los esquemas de certificación, y los beneficios económicos que resultan de éstas.

Idealmente, el impacto de la certificación sobre cualquier variable debería hacerse a partir de la comparación entre los resultados que obtendría un mismo grupo de productores, con y sin los certificados. En la práctica, no es posible observar ambas situaciones, por lo que se recurre a la comparación entre el grupo de interés y un grupo de control (aquellos que no se certificaron). Sin embargo, si las características de ambos grupos difieren, puede ocurrir que un tipo de productores sea más propenso a certificarse que otro, lo que impide separar el efecto de los certificados del que generan las propias características de esos productores –ya sean personales, de su parcela, tecnológicas, etc.–. Este problema de estimación se conoce como sesgo de autoselección y conduce a interpretaciones erróneas de los resultados<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup>Una estrategia alternativa consiste en comparar al grupo de productores certificados antes y después de haberlos obtenido. En este caso, las condiciones del momento previo y el posterior podrían no ser las mismas, provocando nuevamente un sesgo de autoselección. Duflo, Glennerster, y Michael (2008) ofrecen una buena explicación sobre estos sesgos y describen las técnicas de estimación que permiten reducirlos

En la revisión de literatura previa para la elaboración de este trabajo, se encontraron pocos estudios acerca de los efectos de la certificación que corrigen el sesgo de autoselección, entre los que se encuentran los de Blackman y Naranjo (2012); Ibáñez (2010, 2011); Takahashi y Todo (2013). Como un paso previo a la estimación del impacto de los certificados, todos ellos identifican factores que influyen en la decisión de adoptarlos, aunque sólo los trabajos de Ibáñez incluyen aspectos económicos; entre los que se encuentran el sobreprecio y los rendimientos.

Desde la perspectiva de los productores, los certificados ambientales vienen acompañados de beneficios, pero también de costos. Entre los principales beneficios está el mayor precio que reciben en el mercado diferenciado, el cual se determina en los mercados internacionales y depende de la calidad del grano; por lo que existen situaciones en las que algunos productores no reciben ningún sobreprecio (Blackman y Naranjo, 2012). En el año 2003, el sobreprecio mundial de la libra de café orgánico, para una calidad comercial, osciló entre 5 y 25 centavos de dólar (Kilian, Jones, Pratt, y Villalobos, 2006). En el caso de los cafés de sombra, aunque la información es más escasa, Heidkamp y cols. (2008) señalan que los cafés Bird Friendly normalmente reciben un sobreprecio de entre 11 y 15 centavos de dólar por kilogramo; y, en una simulación elaborada por Rainforest Alliance se indica que los productores con su sello en América Latina obtienen hasta 15 centavos de dólar adicionales por kilogramo (Tuinstra y Deugd, 2015).

Del lado de los costos, los más evidentes son los costos de transacción por la evaluación inicial del cafetal y el monitoreo periódico –generalmente anual– que realizan las agencias certificadoras. Aunque en el caso de México se han implementado subsidios a la certificación, son los productores los que típicamente cubren dichos pagos (Willer y Lernou, 2016). Otros esfuerzos para reducir esta carga sobre los productores, han sido la implementación de certificaciones en grupo (comúnmente cooperativas) y el establecimiento de contrapartes na-

cionales de los organismos internacionales de certificación (Certimex, 2014; Philpott y cols., 2007). Para los pequeños productores, los pagos anuales suelen representar alrededor de 5 % del valor de sus ventas y, en muchos casos, los pagos iniciales constituyen una barrera importante para que adopten un certificado (Blackman y Naranjo, 2012; Philpott y cols., 2007).

Adicionalmente, el uso de métodos orgánicos y el cultivo bajo sombra generan otros costos, principalmente en términos de la pérdida de rendimientos. Algunos trabajos postulan que no existe una diferencia significativa entre los volúmenes de producción por hectárea de los cafetales orgánicos y los de los convencionales (por ejemplo, Jurjonas y cols., 2016; Philpott y cols., 2007). No obstante, estas observaciones se refieren a las cantidades producidas y no al rendimiento de los insumos empleados.

Como se mencionaba, el único estudio que compara las diferencias en rendimientos derivadas de la adopción de los certificados, teniendo en cuenta los problemas de autoselección, es el de Ibáñez (2010, 2011). Ella encuentra que no sólo los rendimientos de la producción orgánica (certificada) son menores, sino que ésta requiere mayores cantidades de trabajo. Las diferencias en rendimientos son más marcadas cuando la producción convencional depende más del uso de agroquímicos. Por su parte, la mayor demanda de trabajo se debe, principalmente, a la elaboración del fertilizante orgánico y la necesidad de controlar plagas y hierbas de forma manual.

Sus resultados son coherentes con los de los estudios encaminados a estimar las funciones de producción del café. Salazar (2006) emplea una función Cobb-Douglas y encuentra que la elasticidad producto del trabajo para un conjunto de países es de 0.34; mientras que, cuando se toman en cuenta sólo los países que tienen una mayor proporción de productores orgánicos, el estimador es de 0.50. Igualmente, Akiyama y Coleman (1993), con base en el costo de los insumos como proporción de los costos de producción totales, identifican que

las fincas con mayor uso de fertilizantes químicos son las que tienen una menor elasticidad producto para el trabajo.

Respecto del uso de sombra, existe consenso en que los cafetales con coberturas más densas son los de menores rendimientos. Cabe aclarar que esto sucede por encima de cierto nivel de sombra. Perfecto y cols. (2005) mencionan que, entre los cafetales con cobertura forestal, los mayores rendimientos ocurren cuando la sombra cubre entre 35 % y 65 % de la parcela. De manera similar, Soto-Pinto, Perfecto, Castillo-Hernandez, y Caballero-Nieto (2000) encuentran una relación con forma de U invertida, en la que la sombra afecta positivamente a los rendimientos en el rango que va de 23 % a 38 % de superficie cubierta, se mantiene entre 38 % y 48 % y tiene un efecto negativo a partir de 50 %. Los máximos rendimientos se alcanzan con una sombra de entre 30 % y 45 %.

En contraste, la producción por métodos orgánicos implica menores costos al ser menos dependiente de insumos externos, especialmente los agroquímicos (Ibáñez, 2010). Mientras que la presencia de árboles de sombra, al reducir la erosión y mantener la calidad de los suelos, hace que los rendimientos de estos cafetales sean mucho menos susceptibles a grandes variaciones, reduciendo las probabilidades de que se generen grandes pérdidas (Ramirez y Sosa, 2000).

De cualquier forma, resulta difícil determinar si los sistemas agroforestales pueden competir con sistemas más intensivos, aun en presencia de instrumentos que busquen compensarlos (Castro y cols., 2013). Si bien Ibáñez (2011) identifica que el sobreprecio que obtienen los productores certificados compensa la pérdida de rendimientos y los mayores costos laborales de la producción orgánica, en sus cálculos no se incluyen los pagos anuales a las agencias certificadoras, ni el pago inicial.

En este contexto, es probable que los productores que obtengan un certificado sean aquellos que *ex ante* satisfacían los criterios requeridos, puesto que no tienen que incurrir en costos adicionales para cambiar sus prácticas y las características de los cafetales (Blackman y Naranjo, 2012; Takahashi y Todo, 2013). Es decir, los pequeños cafecultores que, de inicio, no pueden cubrir los costos de fertilizantes químicos serán los más atraídos a certificarse como orgánicos, y aquellos cuyas parcelas han sido menos deforestadas serán más propensos a obtener un certificado de sombra. En este caso, la certificación podría no tener mayores efectos sobre el comportamiento de los productores y, en consecuencia, tampoco sobre el ambiente.<sup>7</sup>

Aun cuando existe evidencia de este fenómeno en países como Colombia y Costa Rica –donde en algunas regiones la cafecultura es altamente tecnificada y muchos productores emplean insumos químicos–, se ha identificado que los certificados pueden impactar positivamente sobre las variables ambientales y de comportamiento. Los pocos estudios acerca del efecto de la certificación en la producción de café que atienden los sesgos de autoselección, mencionan los siguientes resultados.

Blackman y Naranjo (2012) evalúan el efecto de la certificación orgánica sobre una serie de prácticas entre los productores de café de Turrialba, Costa Rica, y encuentran que el impacto ocurre, principalmente, en la reducción de las prácticas negativas. Los productores certificados emplean entre 14 % y 71 % menos insumos químicos que los convencionales –dependiendo del tipo de insumo– y alrededor de 60 % más fertilizante orgánico. No obstante,

---

<sup>7</sup>Podrían señalarse también los cuestionamientos sobre si las prácticas promovidas por los certificados son en realidad sustentables, tanto en términos ambientales, como sociales y económicos. No obstante, esa discusión sale del alcance de este trabajo.

Un buen análisis del debate puede encontrarse en Rigby y Cáceres (2001). Dichos autores señalan que la certificación es, en esencia, un sistema de regulación, por lo que debe recurrir a criterios tangibles y renunciar, en alguna medida, al cuidado de los amplios principios definidos por los movimientos de agricultura sustentable. Desde su perspectiva, la pregunta relevante no es si las prácticas inducidas por la certificación cumplen con todos los criterios de sustentabilidad, sino si éstas permiten a los productores adoptar sistemas más sustentables que los que tenían.

Por su parte, Heidkamp y cols. (2008) apuntan que, aunque existen argumentos de que el café cultivado bajo sombra no es tan amigable con el ambiente como sus promotores sugieren, no cabe duda de que las alternativas, como los cultivos de sol, no generan beneficios ambientales.

el efecto sobre el uso de árboles de sombra o las medidas para evitar la erosión es muy reducido. Las conclusiones de Ibáñez (2011), para el caso de Colombia, son muy similares en lo que se refiere al uso de árboles de sombra y la reducción en el uso de agroquímicos, aunque en una magnitud menor (entre 10 % y 19 %). Adicionalmente identifica que la certificación puede ser asociada con una disminución en la contaminación de los cuerpos de agua al cambiar las prácticas para lavar los granos.

Finalmente, Takahashi y Todo (2013) evalúan el impacto de la certificación de café de sombra sobre la deforestación en Etiopía. Sus resultados arrojan que la probabilidad de que una parcela con café certificado sea deforestada es 1.7 % menor que la de uno no certificado. Pero, además, que no existe una diferencia significativa entre las probabilidades de deforestación de una parcela de café sin certificación y una en la que no se cultiva café.

# Capítulo 3

## Metodología

En la literatura consultada sobre los sistemas agroforestales de café se identifican factores biológicos, económicos y de regulación que afectan sus rendimientos productivos e impacto ambiental. Muchos de estos estudios hacen un análisis cualitativo, y otros se concentran únicamente en uno de los aspectos mencionados. Esto vuelve complicado determinar cuáles son los sistemas productivos más convenientes en términos económicos y ambientales. Con el fin de analizar si los esquemas de certificación pueden ser un instrumento efectivo para la conservación de la cobertura forestal de los cafetales, en este trabajo se simula el comportamiento de los pequeños productores de café por medio de un modelo de decisión intertemporal.

La modelación de problemas similares mediante este enfoque es común en la literatura. Por ejemplo, Batz y cols. (2005) simulan la decisión de los productores de café en Oaxaca en torno a destinar su tiempo de trabajo a la producción de café o abandonar el cafetal, en un contexto de incertidumbre sobre el precio. Vosti, Witcover, y Carpentier (2002) y Vosti, Braz, Carpentier, d'Oliveira, y Witcover (2003) analizan el cambio de uso de suelo derivado de la elección entre distintas alternativas productivas en la Amazonía brasileña, incluyendo los sistemas agroforestales, para identificar el efecto agregado sobre la deforestación. Pascual y Barbier (2007) identifican los impactos potenciales de la liberalización de los precios del

maíz sobre la deforestación en Yucatán, simulando el comportamiento de los agricultores nómadas.

Todos los estudios mencionados se basan en un modelo estándar de maximización de beneficios, sujeto tanto a restricciones económicas, como biológicas y físicas, por lo que son conocidos como modelos bioeconómicos. Dichos modelos facilitan el examen de problemas en los que es necesario incorporar procesos biofísicos y determinar cómo es que éstos afectan las decisiones económicas (Vosti y cols., 2002).

Una ventaja de la simulación es que permite identificar las posibles tendencias de las variables de interés cuando no existen datos desagregados. Así también, una vez simulada la situación de interés, son de gran utilidad para analizar cambios en el resultado a partir de escenarios hipotéticos, o contrafactuales, como podría ser la implementación de una política o una variación exógena en los parámetros.

Con el modelo que se desarrolla aquí, se pretende emular las condiciones que se establecen en las normas de los certificados orgánico y Bird Friendly, así como las condiciones de un pequeño cafeticultor mexicano. El propósito es identificar si la adopción de los certificados resulta óptima desde un punto de vista económico y, con esto, determinar el efecto potencial de los certificados sobre la cobertura forestal de los cafetales.

Los parámetros del modelo han sido tomados de la literatura previa y de estadísticas de diversos organismos. En el Apéndice 1 se presentan los valores de cada uno, la fuente y una breve explicación. Debido a la dispersión de los datos, la parametrización resultante es cuestionable, sin embargo los resultados son discutidos y contrastados con los que se reportan en estudios previos. En todo caso, el funcionamiento del modelo es útil para ejemplificar y analizar el *trade off* entre la maximización de beneficios económicos y la disminución del

impacto ambiental.

### 3.1. Especificación del modelo

El modelo ha sido construido de forma que la cantidad de cobertura forestal presente en el cafetal depende del sistema de producción (o tecnología) que elige un pequeño productor representativo. Por un lado, existen tecnologías que le permiten obtener mayores rendimientos, en detrimento de la cantidad de árboles de sombra; por el otro, manteniendo o incrementando la cobertura de árboles, y evitando el uso de agroquímicos, puede obtener uno o varios certificados que generan un precio más elevado para el café.

El objetivo del productor representativo es maximizar el valor presente de sus beneficios económicos a lo largo de un horizonte temporal de  $T$  años. El productor posee una parcela de extensión dada y, en cada momento de tiempo (o año agrícola,  $t$ ), su estado está representado por la cantidad de sombra existente en el cafetal,  $s_t$ , y la tecnología que emplea,  $k_t$ .

El productor enfrenta una decisión discreta, en la que elige entre tres tecnologías: comercial ( $cc$ ), tradicional ( $ct$ ) y certificada; donde esta última puede consistir en la adopción de un certificado orgánico ( $co$ ), o en una certificación múltiple ( $cs$ ) que comprende el orgánico y el Bird Friendly<sup>1</sup>. Se incluye, además, la posibilidad de abandonar el cafetal, en cuyo caso el productor obtiene un salario empleándose en otra actividad. Además, el productor puede modificar la cantidad de sombra que emplea, ya sea talando o reforestando, a fin de adaptarla a las condiciones de la nueva tecnología. Es decir, las variables de decisión son el cambio en la cobertura de sombra,  $\Delta_t$ , y el cambio de tecnología,  $k_{t+1}$ , las cuales producen un nuevo estado en el siguiente periodo.

---

<sup>1</sup>En términos de la clasificación del Cuadro 2.1, la producción comercial corresponde a la de un «policultivo comercial», y la producción tradicional comprendería tanto los cafetales «rústicos» como los «jardines de café». Se han excluido los cafetales «modernos», pues se considera que están fuera de las posibilidades de financiamiento de los productores más pequeños.

El problema del productor puede ser representado de la siguiente manera.

$$\max_{k_{t+1} \in \{cc, ct, co, cs\}, \Delta_t} \sum_{t=0}^T \rho^t \{ \pi_t^*(k_t, s_t) - d\Delta_t - I_t(k_t, k_{t+1}) \} \quad (3.1)$$

sujeto a:

$$\pi_t^*(k_t, s_t) = p_k q_t^*(k_t, s_t) + w(L - l^*(k_t, s_t)) - c_k \quad (3.2)$$

$$q_t^*(k_t, s_t) = \exp\{\alpha + \beta_s s_t - \beta_{ss} s_t\} x^\gamma l^*(k_t, s_t)^\delta \quad (3.3)$$

$$s_{t+1} = s_t + \Delta_t \quad (3.4)$$

$$k_{t+1} \in \begin{cases} \{cc, ct\} & \text{si } k_t = cc \\ \{cc, ct, co\} & \text{si } k_t = ct \\ \{cc, ct, co, cs\} & \text{si } (k_t = co \wedge s_t \geq 40\%) \vee k_t = cs \end{cases} \quad (3.5)$$

$$I_t(k_t, k_{t+1}) = \begin{cases} 0 & \text{si } k_t = k_{t+1} \\ I_{cc} & \text{si } k_t \neq k_{t+1} = cc \\ I_{co} & \text{si } k_t \neq k_{t+1} = co \\ I_{cs} & \text{si } k_t \neq k_{t+1} = cs \\ I_{ct} & \text{si } k_t = cc \wedge k_{t+1} = ct \end{cases} \quad (3.6)$$

$$k_0 = ct \quad (3.7)$$

$$s_0 \geq 0 \quad \text{dado} \quad (3.8)$$

$$l_t \geq 0 \quad \forall t \quad (3.9)$$

donde  $\rho = \frac{1}{1+r}$  es el factor de descuento,  $r$  la tasa de descuento, y  $*$  denota valores óptimos.

En el estado inicial (condiciones (3.7) y (3.8)), el productor emplea una tecnología tradicional, y su nivel de sombra –expresado como porcentaje de la superficie cubierta– ha sido asignado de manera exógena.

La ecuación (3.1) representa la función objetivo para todo el horizonte temporal. En su elección, el productor evalúa los beneficios máximos que genera cada tecnología,  $\pi_t^*(k_t, s_t)$ , a lo largo de los años  $y$ , dado su estado inicial, los compara con los costos derivados de adoptarla,  $I_t(k_t, k_{t+1})$ , y los de ajustar la cobertura de sombra,  $d\Delta_t$ . Entonces, la dinámica del modelo viene dada por el hecho de que, si el productor desea obtener mayores beneficios futuros mediante la adopción de otra tecnología, debe sacrificar parte de sus beneficios presentes. Para la cobertura de sombra, el estado resultante de esta decisión se determina mediante la ecuación de transición (3.4).

En la función de beneficios de cada periodo (3.2), la producción que se obtiene con las distintas tecnologías está asociada a un precio diferenciado  $p_k$  y a un costo fijo específico  $c_k$ , ambos constantes. La producción tradicional y comercial reciben el precio que se determina en el mercado convencional, y cada certificado asegura el pago de un sobreprecio. Los costos fijos comprenden el uso de algunas herramientas y los costos de transporte; además de otros rubros que dependen del tipo de producción. Éstos incluyen el pago anual de las visitas de

inspección para las tecnologías certificadas ( $co$  y  $cs$ ), y el costo de los agroquímicos, en distinta magnitud, para para las otras dos ( $cc$  y  $ct$ ).

Aparece, además, el costo del trabajo. Se considera que el productor tiene una dotación de trabajo total  $L$  y participa en los mercados laborales. Si las actividades del cafetal superan su dotación, contrata trabajo adicional al salario nominal  $w$ ; en caso contrario, el productor se emplea en otras actividades por el mismo salario.

Asimismo, los rendimientos óptimos  $q_t^*(k_t, s_t)$  vienen dados por la función de producción Cobb-Douglas (3.3). La tierra  $x$  y el trabajo  $l$  presentan rendimientos marginales decrecientes o, lo que es lo mismo, la función de producción es estrictamente cóncava en ambos factores. De esta forma, dados un nivel de sombra y una tecnología, existe una única cantidad de trabajo que maximiza los beneficios, es decir  $l_t = l^*(k_t, s_t)$  en todo momento. En cambio, el tamaño del cafetal es un parámetro, teniendo en cuenta que se pretende analizar cómo las decisiones del productor afectan la cobertura de árboles *dentro* de la parcela.

Los parámetros de la función de producción definen las características de cada tecnología (por simplicidad se ha omitido de la notación), y todos son constantes en el tiempo. A grandes rasgos, las prácticas orgánicas y el uso de árboles de sombra por encima de cierto nivel reducen los rendimientos, mientras que el empleo de fertilizantes químicos permite incrementarlos.

La cantidad de sombra en el cafetal afecta la productividad de los dos factores productivos mediante una función estrictamente cóncava  $f(s_t) = \exp\{\beta_s s_t - \beta_{ss} s_t^2\}$ . Los parámetros  $\beta_s$  y  $\beta_{ss}$  son los mismos para todos los sistemas de producción, pero la tecnología comercial alcanza sus máximos rendimientos con un nivel de sombra menor a las otras, debido al uso de variedades de café tolerantes al sol. Es decir,  $f_{cc}(s_t)$  se encuentra desplazada a la izquierda.

El término constante de la productividad total,  $\alpha$ , captura el efecto del uso de fertilizantes químicos, con lo cual  $\alpha_{cc} > \alpha_{ct} > \alpha_{co} = \alpha_{cs}$ . Como los productores certificados hacen un control de plagas por métodos manuales y elaboran el fertilizante orgánico, estos sistemas de producción son más intensivos en trabajo:  $\delta_{cc} = \delta_{ct} < \delta_{co} = \delta_{cs}$ . Por último, la elasticidad producto de la tierra de la tecnología comercial  $\gamma_{cc}$  es mayor que la del resto, debido a la mayor densidad de plantas de café en estas parcelas. (Como se observa, los dos sistemas de producción certificados emplean una misma tecnología; sus únicas diferencias son el precio que reciben y los costos fijos).

Además de las restricciones productivas, se incorporan aquellas especificadas en las normas de certificación (3.5). Con base en éstas, si el productor emplea una tecnología comercial no puede obtener un certificado, debe establecer primero una plantación tradicional. Ésta última es susceptible de certificarse como orgánica y –en un segundo momento– puede obtener el certificado Bird Friendly, si es que presenta una cobertura de sombra por encima de 40 % y mantiene el certificado orgánico.

Todas las elecciones de tecnología son reversibles. Cuando el productor ha obtenido algún certificado, puede abandonarlo en cualquier momento y migrar hacia otro sistema productivo. Incluso una plantación comercial puede irse transformando, hasta obtener uno o los dos certificados. No obstante, la adopción de una tecnología implica costos de inversión significativos (especificados en (3.6)) que inhiben los cambios reiterados. En el caso de la certificación de un predio, el costo está representado por el pago inicial que se hace a la agencia certificadora. Y, como las parcelas certificadas son, *de facto*, tradicionales, abandonar el certificado no implica ninguna inversión. En cambio, la transformación entre los cafetales tradicionales y comerciales –en cualquier dirección–, genera costos derivados de modificar la densidad y la variedad de las plantas de café.

## 3.2. Solución del modelo y simulación

La decisión del productor es un problema determinístico de programación dinámica discreta, el cual puede ser expresado como un proceso controlado de Markov. En éste, el estado de un periodo está determinado completamente por la decisión tomada en el periodo inmediatamente anterior. Es decir, al inicio del año  $t$ , el productor cuenta con una tecnología  $k_t$  y un nivel de sombra  $s_t$ , que generan beneficios  $\pi_t(k_t, s_t)$ . Entonces, el productor toma una decisión sobre la variación en la cantidad de sombra  $\Delta_t$  y sobre la tecnología a emplear en el próximo periodo  $k_{t+1}$ , lo cual resulta en un nuevo estado y genera los beneficios correspondientes.

La siguiente ecuación de Bellman captura la situación en términos formales.

$$V_t(k_t, s_t) = \max_{k_{t+1}, \Delta_t} \{ \pi_t^*(k_t, s_t) - d\Delta_t - I_t(k_t, k_{t+1}) + \rho(V_{t+1}(k_{t+1}, s_t + \Delta_t)) \}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3.10)$$

Nótese que, debido a la ausencia de variables estocásticas, en su toma de decisiones el productor conoce con certeza, y en todo momento, el nivel de rendimientos que obtendrá, el precio que recibe por el producto y, por lo tanto, el monto de los beneficios alcanzables.

Para la solución se ha empleado un algoritmo recursivo. Situándose en el último periodo  $T$ , el productor evalúa los beneficios que genera cada uno de los estados. En  $T - 1$  sus posibilidades son las mismas, pero además observa a dónde conduce cada una de sus posibles decisiones, dependiendo del estado en el que se encuentre en ese momento. En conjunto, un estado en  $T - 1$ , una decisión y el estado al que conduce ésta en  $T$ , resultan en una función de valor  $v_{T-1}$ , la cual expresa la suma de beneficios para dos periodos, habiendo restado el costo de la decisión. Existen tantos valores para  $v_{T-1}$  como posibles combinaciones de estados de partida y decisiones.

Esto ocurre nuevamente en  $T - 2$ , sólo que ahora las posibles funciones de valor  $v_{T-2}$  comprenderán los beneficios de tres periodos, puesto que para la determinación de esas funciones es necesario tener en cuenta  $v_{T-1}$ . El proceso se repite hasta llegar al periodo inicial, donde el productor conoce su estado y, por lo tanto, puede determinar la senda de decisiones que genera la mayor  $v_t$ , o bien su «política óptima».

De esta forma, la función de valor  $V_t(k_t, s_t)$  denota el máximo beneficio que puede obtener el productor que está situado en el periodo  $t$  a lo largo de los siguientes  $T$  años, dado su estado inicial  $(k_t, s_t)$ . El valor de la función está dado por la decisión que maximiza la suma de los beneficios inmediatos  $\pi_t^*(k_t, s_t)$ , el valor (descontado) de los beneficios futuros  $V_{t+1}(k_{t+1}, s_t + \Delta_t)$  y el costo de esa decisión  $d\Delta_t + I_t(k_t, k_{t+1})$ .

La resolución del problema arroja, precisamente, la función de valor y la política óptimas para cada estado inicial. Con esto, es posible asignar de manera exógena distintos estados iniciales y observar, en cada caso, el efecto de las decisiones del productor sobre la cobertura de árboles en su cafetal.

Por lo tanto, para el análisis del impacto de los esquemas de certificación, se simula una situación en la que existen 10,000 productores, idénticos en todos los aspectos excepto que cada uno recibe de manera aleatoria una dotación inicial de sombra diferente. Esta asignación se hace de con base en el porcentaje de productores con cada tipo de cafetal, reportado en la literatura, donde a cada uno de esos tipos corresponde una cantidad de sombra dentro de un intervalo distinto. Como resultado se obtienen la tecnología que emplea cada productor y la cantidad de sombra que presenta su cafetal en el último periodo. Finalmente, comparando esta situación con la que resultaría en un mundo sin certificados, es posible conocer el efecto de los mismos sobre la cobertura de árboles en todas las parcelas.

Para la solución del modelo y la simulación se genera un código computacional en Matlab y se recurre a las herramientas de programación dinámica desarrolladas por Miranda y Fackler. La descripción del código y las distintas rutinas empleadas aparecen en el Apéndice 2.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1. Análisis estático

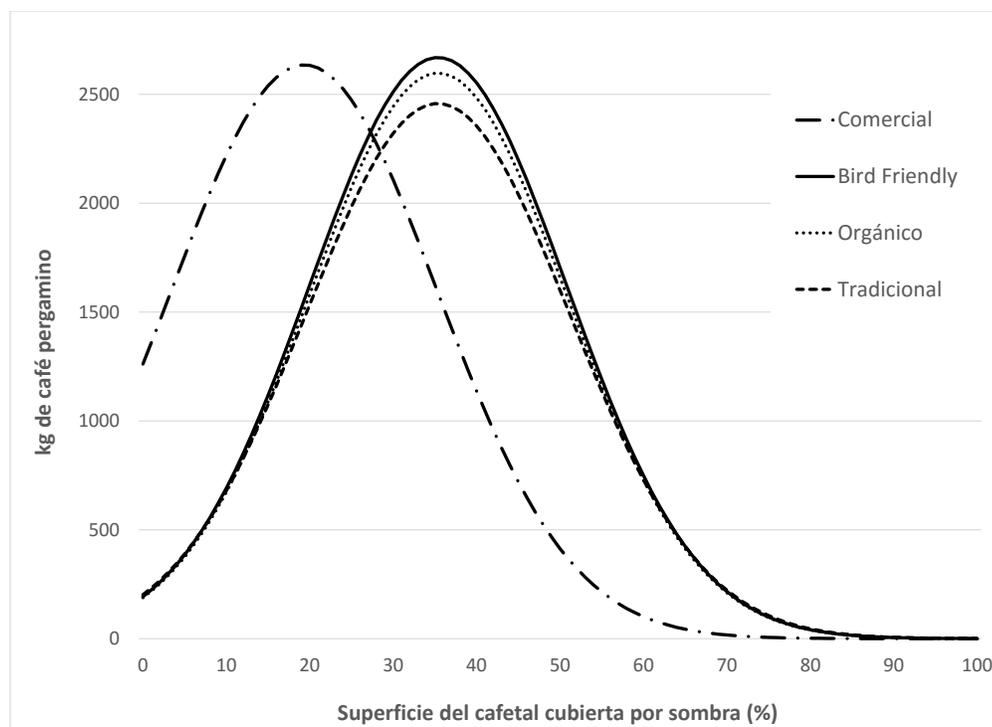
El estado de los cafetales en la realidad es el resultado de los sistemas productivos empleados y, por lo tanto, de las decisiones que han tomado los productores en el pasado ante las condiciones institucionales y del mercado. Sin embargo, no conocemos con precisión las especificaciones tecnológicas de dichos sistemas, ni la manera que se han reflejado en la cobertura forestal, por lo que un modelo debe partir de una serie de simplificaciones que constituyen un escenario de referencia artificialmente construido.

En este contexto, es útil señalar cuáles son las condiciones de partida en el modelo especificado y, con éstas, los resultados óptimos para los distintos tipos de producción y niveles de sombra. En esta situación estática, el productor representativo no hace ninguna modificación al cafetal ni cambia de tecnología. A lo largo de la descripción, se contrastan los valores arrojados por el modelo con los que se señalan en la literatura, mostrando que la calibración que se ha hecho es consistente dentro de ciertos límites.

La Figura 4.1 muestra la producción óptima para cada nivel de sombra. En ella, puede ob-

servarse que los rendimientos máximos de la tecnología comercial son los los más elevados, debido al uso de agroquímicos y a la mayor densidad de plantas de café por hectárea. Esto es evidente al comparar la tecnología comercial con la tradicional, para las cuales el precio del producto es el mismo. No obstante, la mayor producción del café orgánico y Bird Friendly se debe a que los ingresos marginales (precios del café) de la tecnologías certificadas son mayores y, por lo tanto, demandan una mayor cantidad de trabajo.

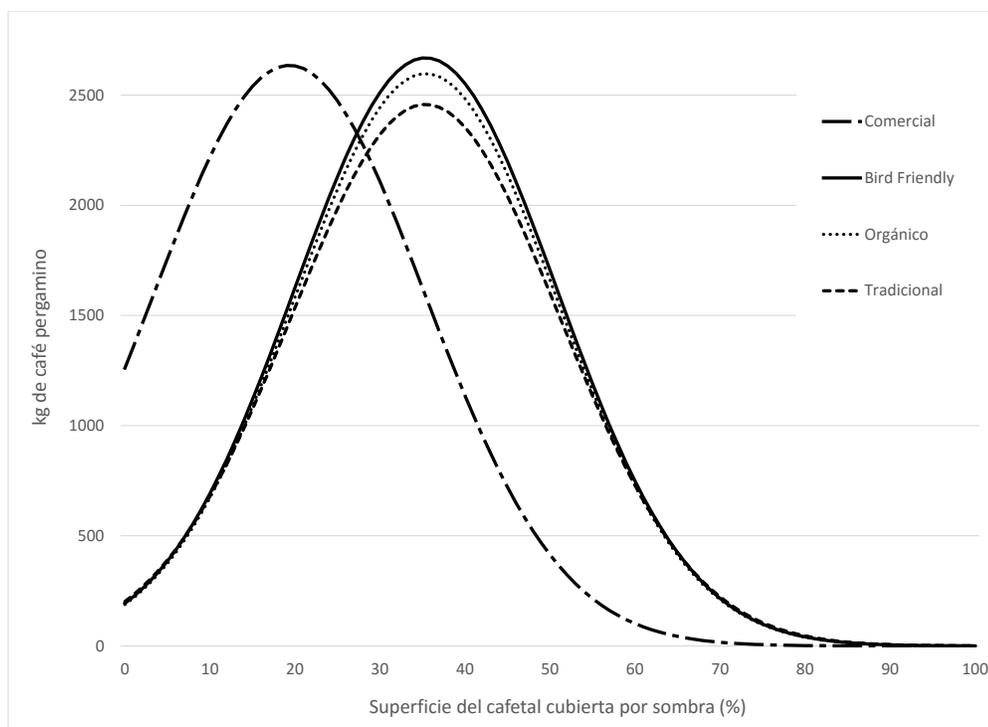
**Figura 4.1: Producción óptima con cada tecnología**



Tales características están en línea con lo apuntado en la Sección 2.3. Estudios como el de Jurjonas y cols. (2016) o el de Philpott y cols. (2007) observan que las *cantidades* producidas en las parcelas certificadas y no certificadas son muy similares. Sin embargo, Blackman y Naranjo (2012) e Ibáñez (2010) encuentran que los *rendimientos* de los productores certificados son menores.

Así también, la máxima producción para las tecnologías tradicional, orgánica y Bird Friendly se alcanza con un porcentaje de sombra de 36, dentro de los rangos señalados por Soto-Pinto y cols. (2000) y Perfecto y cols. (2005). Y, la tecnología comercial tiene rendimientos elevados entre 15 % y 25 %, en correspondencia con los niveles de sombra observados en este tipo de cafetales por Perfecto y cols. (2003). Los rendimientos en función del nivel de sombra tienen un máximo único.

**Figura 4.2: Beneficios óptimos para las distintas tecnologías**



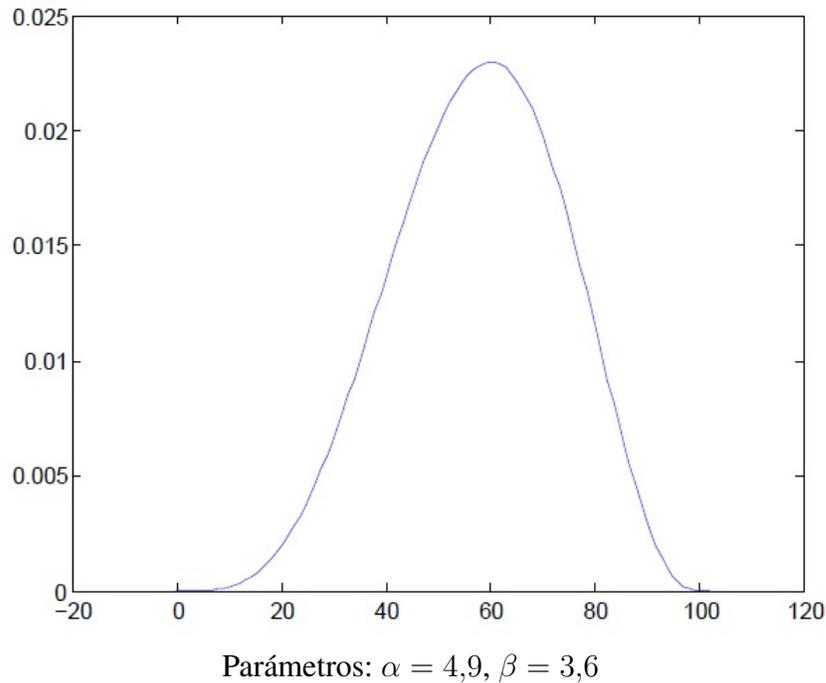
Por su parte, la Figura 4.2 presenta los beneficios netos de las distintas tecnologías con cada nivel de sombra. Puede notarse que con una sombra por encima de 75 % ninguna tecnología es económicamente viable. El segmento plano de las funciones de beneficios que se observa hacia el extremo derecho del gráfico representa los ingresos por salario; esto es, cuando los productores han abandonado el cafetal. Esto afecta directamente a los cafetales rústicos, asociados con coberturas de sombra por encima de 70 % de la superficie.

En el Cuadro 4.1 se muestran los valores para cada una de las variables anteriores en el nivel de sombra que genera los mayores beneficios. Tanto la producción óptima por hectárea, como el trabajo que ésta demanda, concuerdan con los resultados presentados por Batz y cols. (2005) para los productores tradicionales de Oaxaca (un máximo de 501 kg/ha y 69 días/ha, respectivamente). Algunos otros estudios reportan los siguientes promedios para la producción por hectárea: 343 kg para los productores mexicanos con entre 2 y 5 hectáreas (Moguel y Toledo, 1996); 400 a 900 kg para productores tradicionales en Atitlán, Guatemala (Heidkamp y cols., 2008); 535 kg para Cauca, Colombia (Ibáñez, 2010).

**Cuadro 4.1: Resultados en el máximo nivel de beneficios para cada tecnología**

<b>Tecnología</b>	<b>Producción máxima (kg/ha)</b>	<b>Beneficios máximos (pesos/ha)</b>	<b>Cantidad de trabajo (días/ha)</b>	<b>Nivel de sombra ( % de la superficie)</b>
<b>Tradicional</b>	527	12,934	71	36
<b>Comercial</b>	566	13,320	75	20
<b>Orgánica</b>	570	13,071	85	36
<b>Bird Friendly</b>	584	13,621	91	36

Finalmente, la Figura 4.3 muestra la distribución de probabilidad beta con la cual fueron asignadas las dotaciones iniciales de sombra a los 10,000 productores. La forma de ésta se ha definido buscando aproximar la situación mencionada por Moguel y Toledo (1999), en la que 13 % de los cafetales a escala nacional eran rústicos, 26 % jardines de café y 10 % policul-tivos comerciales. Así, tomando estos tres sistemas como nuestro universo, y a partir de las observaciones de Perfecto y cols. (2003) para los rangos de sombra correspondientes a cada sistema, la distribución generada resulta en las siguientes dotaciones: 16 % de los 10,000 productores obtiene una sombra inicial por debajo de 40 % de la superficie de su cafetal; 59 % de ellos tiene un nivel de sombra de entre 41 % y 69 %; y, al restante 25 % de los productores se les asignó una sombra superior a 70 %. La asignación de las dotaciones se hace por el método de Monte Carlo con 1,000 generaciones, a fin de que los promedios de sombra inicial converjan hacia el valor esperado de la distribución, es decir 57.65 %.

**Figura 4.3: Función de distribución beta para las dotaciones iniciales de sombra**

## 4.2. Problema intertemporal de inversión

En el contexto de los pequeños productores, un obstáculo importante para la adopción de cualquier tecnología está representado por los costos de inversión que implica el cambio, ya que pueden llegar a representar una parte importante de sus beneficios. Por tal motivo, los resultados dependen del horizonte temporal que se considere.

En la Sección 3.2 se describió el proceso recursivo por medio del cual se encuentran las decisiones intertemporales óptimas. En éste, el peso de los costos de inversión  $I_t(k_t, k_{t+1})$ , como proporción de los beneficios, depende del número de periodos para el cual se esté evaluando la situación. En otras palabras, a medida que  $T$  es mayor, la suma de beneficios representada por la función de valor va incrementándose y, con ésta, aumentan también la posibilidades de recuperar la inversión. En ese sentido, cuando el plazo para el cual los pro-

ductores evalúan los beneficios de certificarse es más breve, la adopción es considerablemente menor.

En los siguientes cuadros se resumen los resultados obtenidos a partir de cuatro simulaciones, cada una con un horizonte temporal distinto, donde el estado estacionario se alcanza con un horizonte de planeación de 27 años. En el Cuadro 4.2 aparece el porcentaje de productores con cada tipo de tecnología en el último periodo. Debajo de éste, entre corchetes, se muestra el intervalo de sombra inicial que dio pie a la adopción. Por ejemplo, en el horizonte temporal de 15 años, la tecnología orgánica fue adoptada por los productores cuya dotación inicial de sombra estuvo entre 34 % y 100 %.

**Cuadro 4.2: Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal**

	<b>T=10</b>	<b>T=15</b>	<b>T=20</b>	<b>Estado estacionario</b>
<b>Tradicional</b>	96.59 [28, 100]			
<b>Comercial</b>	3.41 [2, 27]	7.59 [2, 33]	9.51 [2, 35]	9.51 [2, 35]
<b>Orgánica</b>		92.41 [34,100]	1.07 [36, 100]	
<b>Bird Friendly</b>			89.42 [37, 100]	90.49 [36, 100]

Los espacios en blanco representan no adopción

A partir de lo anterior, es claro que la decisión óptima es abandonar la tecnología tradicional. En un horizonte de 10 años, prácticamente la totalidad de los productores permanece en el estado inicial, con un cultivo tradicional; la certificación orgánica aparece únicamente a partir de un horizonte de 15 años, y la Bird Friendly a partir del de 20. En el estado estaciona-

rio, todos los productores han migrado hacia las tecnologías que generan mayores beneficios: la comercial y la de certificación múltiple.

Otro aspecto a destacar es qué productores se certifican. Los cafetales cuya dotación de sombra fue inferior a 34 % no se certificaron en ningún caso. Además los productores con menores niveles de sombra son los que primero adoptan una nueva tecnología. Los costos fijos de la producción certificada –representados por el pago anual a las agencias–, aunados a los costos iniciales, hacen que estas tecnologías no sean rentables en el corto plazo. En cambio, con un horizonte temporal de tan sólo 6 años, los productores que reciben una dotación de sombra menor a 22 % son atraídos por los altos rendimientos de la tecnología comercial.

El efecto de ese patrón de adopción sobre la presencia de árboles en los cafetales puede observarse en el Cuadro 4.3. Éste muestra la cantidad de sombra promedio en las parcelas, bajo distintas circunstancias. Como se observa en la primer fila, las dotaciones iniciales –y sus promedios– son las mismas, independientemente del horizonte temporal.

**Cuadro 4.3: Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal**

	T=10	T=15	T=20	Estado estacionario
<b>Sombra inicial</b>	57.65	57.65	57.65	57.65
<b>Sombra final con certificados</b>	35.45	34.79	38.06	38.10
<b>Sombra final sin certificados</b>	35.45	34.64	20.00	20.00
<b>Efecto de los certificados</b>	0.00	0.40	90.30	90.50

En la segunda fila aparece el resultado una vez que los productores han hecho sus decisiones. Es importante notar que, dados los niveles de sombra requeridos por las normas de certificación, y el efecto de la sombra sobre los rendimientos, cualquier forma de producir

implica una disminución de la cobertura forestal. En el mejor de los casos (el estado estacionario), el promedio de sombra en los cafetales es de 38 % de la superficie. Incluso con la certificación Bird Friendly –cuyas exigencias al respecto son más rigurosas–, ningún productor mantiene una cobertura de sombra por encima del requerimiento mínimo de 40 %, dado que los rendimientos máximos para esa tecnología se alcanzan con 36 % (ver Cuadro 4.1).

Lo anterior no implica que los certificados no eviten la reducción de la cobertura forestal. En la tercera fila aparece el nivel de sombra promedio que se obtendría en ausencia de los certificados, y los valores de la cuarta expresan el incremento porcentual de sombra generado por estos instrumentos. Como se observa, el efecto de los certificados ambientales únicamente ocurre cuando los horizontes de planeación son mayores a 15 años y su impacto aumenta en periodos más extensos, cuando el cambio de tecnología es, relativamente, menos costoso. En el estado estacionario, la cobertura de sombra promedio en los cafetales es 90 % mayor de la que resultaría en un estado del mundo sin certificados.

La simulación se ha realizado también asignando las dotaciones de sombra con base en una distribución uniforme. De ésta, resalta el hecho de que el porcentaje de productores que adoptan una tecnología comercial es bastante más elevada (35.5 % en los dos horizontes más extensos). En consecuencia, la contribución de los certificados es menor: en el estado estacionario, éstos incrementan el nivel de sombra en un 64.5 % (*versus* 90.5 % para el caso de la distribución beta). Estos resultados aparecen en los Cuadros A3.1 y A3.2 del Apéndice 3.

### **4.3. Escenarios contrafactuales**

Aprovechando las posibilidades de análisis que ofrece el enfoque de simulación empleado, en este apartado se construyen algunos escenarios alternativos, modificando el valor de al-

guno de los parámetros del modelo y realizando cada vez el mismo proceso de solución y simulación. Todos los resultados aparecen en las tablas del Apéndice 3.

Los escenarios contrafactuales permiten identificar algunas otras características del posible desempeño de los esquemas de certificación, así como derivar algunas recomendaciones de política. Para esto, se consideran dos grandes grupos de escenarios: el de los productores a muy pequeña escala y el análisis de políticas complementarias a la certificación.

#### **a) Productores a muy pequeña escala.**

El pago anual que realizan los productores a las agencias certificadoras no está en función de las cantidades producidas o la extensión de los predios, sino de los días de visita necesarios para realizar la inspección (CIMS, 2006). Ocurre, por lo tanto, un efecto de escala, en el que dicho pago representa una proporción mayor de los ingresos de los productores más pequeños. Como se señaló en la Sección 2.1, alrededor de tres cuartas partes de los productores en México poseen fincas que no superan las dos hectáreas (Moguel y Toledo, 1999).

Con la intención de analizar la situación de la mayoría de los productores, el ejercicio de simulación ha sido repetido reduciendo la extensión del cafetal del productor representativo, de 4 hectáreas a 1. Los resultados (Cuadros A3.3 y A3.4) reflejan el efecto de escala mencionado. Éste provoca que ningún productor a muy pequeña escala adopte los certificados, por lo que el efecto de éstos sobre la cobertura forestal es nulo. Asimismo, comparando la adopción de la tecnología comercial de este escenario con la que resulta de la simulación original, ésta atrae a un mayor número de productores, pero sólo en el estado estacionario. Ambos hechos se reflejan en que, en los horizontes más breves, los niveles de sombra para el periodo final son muy similares a los del primer ejercicio.

En este escenario –como la carga de los costos de adoptar cualquier tecnología y de los

costos anuales de la certificación es relativamente mayor para los productores a muy pequeña escala—, la cobertura forestal sólo se ve amenazada si éstos toman decisiones en horizontes temporales muy extensos. En caso contrario, su permanencia en la tecnología tradicional permitirá mantener una existencia de árboles muy similar a la que generan los certificados.

Por otro lado, una situación común entre los productores a muy pequeña escala es su asociación en cooperativas. Bajo este esquema es posible obtener una certificación grupal, en la que la inspección por parte de las agencias certificadoras se hace sólo a 10 % de los cafetales, elegidos al azar (Certimex, 2014). Por lo tanto, el costo que enfrentan los productores individuales por certificarse es significativamente menor.

Este caso se analiza con una nueva simulación, en la que el costo inicial y los costos anuales de la certificación son reducidos a 10 % de su valor original, manteniendo el tamaño de la parcela en una hectárea. El efecto de estas medidas es máximo, desde el horizonte temporal a 10 años, 97.5 % de los productores obtienen un certificado Bird Friendly, y en el estado estacionario todos lo han adoptado, con lo que el nivel de sombra en el último periodo es de 40 %. Dicha situación coincide con la descrita por Moguel y Toledo (1999), en la que los cafetales con tecnologías comerciales son, típicamente, los de mayor extensión.

Cabe mencionar que disminuyendo solamente alguno de los costos (o el inicial o el anual) se obtienen los mismos resultados que en los Cuadros A3.3 y A3.4, donde ningún productor se certifica.

#### **b) Medidas de política**

En años recientes, los gobiernos de Chiapas, Oaxaca, Jalisco y el Distrito Federal han implementado programas para la promoción y desarrollo de la agricultura orgánica, entre los que se incluyen subsidios directos a la certificación (Willer y Lernou, 2016). Regresando a

la situación donde el productor representativo cuenta con 4 hectáreas, y reduciendo a cero el costo inicial por certificarse, todos los productores obtienen el certificado Bird Friendly, incluso en el horizonte temporal de 10 años. Comparando esta situación con la de la simulación original, el efecto de la política es un incremento en la cantidad de sombra final de: 12.8 % para T=10; 14.9 % para T=15; y, 5 % para T=20 y el estado estacionario.

Por otro lado, como resultado de las negociaciones entre diversas organizaciones de cafeicultores y el gobierno federal, en el año 2004 se puso en marcha el Programa de Pago por Servicios Ambientales - CABSAs (captura de carbono, biodiversidad y sistemas agroforestales), en el cual el cultivo de café de sombra era susceptible de obtener un apoyo de hasta 500 pesos por hectárea (Anta Fonseca, 2006).

Como puede verse en el Cuadro A3.5, al igual que el subsidio inicial, esta medida es bastante efectiva para incentivar a los productores a certificarse, aunque en este caso hacia el certificado orgánico y sólo en el estado estacionario hacia el Bird Friendly. No obstante, alcanzar el objetivo ambiental por medio del PSA-CABSAs implica un desembolso mayor de recursos públicos, puesto que después de cinco años el monto total de los pagos anuales habrá superado al del subsidio único al inicio. En la cuarta fila del Cuadro A3.6 se reporta el efecto de la política, adicional al de los certificados.

Así también, como el subsidio del PSA-CABSAs no estuvo condicionado a la obtención de un certificado, en la sexta fila del Cuadro A3.6 se reportan los resultados de esta política en ausencia de la certificación. De la comparación de éstos con los de la simulación original (quinta fila) se desprende que el PSA-CABSAs no tiene efecto alguno si no es como complemento de los certificados ambientales.

Por otro lado, bajo las leyes mexicanas, cualquier tipo de deforestación sobre tierras fores-

tales requiere de un permiso federal, sin embargo los agricultores pueden evadir fácilmente estos requerimientos debido a la dificultad de las autoridades para monitorearlos (Blackman, Albers, y cols., 2007). Simulamos, finalmente, un escenario hipotético en el que el gobierno logra, efectivamente, regular y evitar por completo la deforestación en los cafetales. Por supuesto, la cobertura forestal final es idéntica a la inicial, sin embargo, los beneficios ambientales de esta política se obtienen a costa de reducir la función de valor para el total de los productores a un 52 % de lo que ocurre en la simulación original. Todos los productores con dotaciones iniciales superiores a 80 % abandonan la producción, y los restantes producen con niveles de sombra que no permiten obtener los niveles máximos de producción.

# Capítulo 5

## Discusión y conclusiones

El modelo presentado en este trabajo ha sido construido de forma que cada tecnología está asociada a un nivel de sombra que maximiza los beneficios económicos, por lo que el efecto de la producción de café sobre la cobertura forestal depende por completo de los patrones de adopción de las distintas tecnologías. Los productores con una tecnología comercial obtienen los máximos beneficios con una sombra que representa 20 % de la superficie del cafetal, mientras que las otras tres tecnologías producen en el máximo nivel cuando la sombra es de 36 %.

Esta característica de las funciones de producción especificadas, en combinación con las normas establecidas por los esquemas de certificación, hacen que el objetivo ambiental que puede alcanzarse con los certificados tenga un límite. Así, incluso en los mejores casos, cuando todos los productores obtienen los certificados orgánico y el Bird Friendly, el nivel de cobertura forestal en sus predios es de 40 %, por debajo del promedio inicial de casi 58 %.

En presencia de tecnologías que generan mayores rendimientos (comercial) o permiten obtener un sobrepeso (certificadas), desde el punto de vista económico resulta óptimo abandonar la producción tradicional. Por lo tanto, considerando también la perspectiva ambiental,

cualquier medida de política que resuelva la disyuntiva en favor de las tecnologías más sustentables resulta relevante; ya sea una política pública o por parte de las asociaciones de productores.

En cuanto a la tecnología óptima para cada tipo de parcela, se observa una pauta clara. En ausencia de cualquier tipo de subsidio, aquellas que de inicio recibieron una dotación inicial de sombra menor a 34 % nunca adoptaron un certificado ambiental y se transformaron en fincas comerciales. En ningún caso permanecieron en producción las fincas rústicas, con niveles de cobertura superiores a 70 %.

De lo anterior se deriva una relación entre el estado inicial de la cobertura forestal y las posibilidades de acercarse al máximo potencial de los esquemas de certificación. Como lo sugiere el uso de una distribución uniforme para asignar las dotaciones iniciales de sombra, cuando la cobertura de árboles está más deteriorada, el efecto de los certificados se reduce. En términos de política, este hecho se traduce en la necesidad de considerar el momento de la implementación de cualquier medida, ya que sus posibilidades de éxito serán menores conforme pase el tiempo y un mayor número de productores adopte una tecnología comercial.

Asimismo, es necesario tener en cuenta que los productores con cafetales más pequeños encuentran en los costos de transición y los costos fijos un obstáculo real para la adopción de los certificados. Si se considera, además, que ellos representan la mayor parte de los cafecultores en México, y que uno de sus rasgos característicos es el empleo de sistemas con coberturas de sombra más abundantes, las iniciativas de certificación en grupo o el subsidio a los pagos de certificación son fundamentales para la conservación de la cobertura forestal.

Los resultados obtenidos sugieren también que las políticas que actúan de manera complementaria con los esquemas de certificación conducen a una situación en la que el impacto

de éstos últimos alcanza su máxima expresión. Entre dichas medidas, el subsidio al pago inicial de los certificados es la más conveniente en términos de costo-efectividad. Por su parte, las medidas de comando y control consiguen mantener intacta la cobertura forestal de los cafetales, pero parecen no haber sido efectivas en el pasado e implican pérdidas en el bienestar social.

Cabe mencionar que los niveles de adopción de los certificados obtenidos con el modelo son mucho mayores que los que se observan en realidad. La diferencia podría estar explicada por tres fenómenos. En primer lugar, el proceso de optimización supone que los productores son capaces de evaluar perfectamente los beneficios derivados de cada una de las alternativas productivas, cuando en la realidad operan factores de incertidumbre, como el clima, las características biofísicas de las parcelas o las fluctuaciones económicas.

En segundo lugar, el mayor contraste consiste en el alto grado de adopción del certificado Bird Friendly. En el modelo únicamente se incorporaron como restricciones de esta certificación los requerimientos de mantener un certificado orgánico y una cobertura de sombra superior a 40 %. En realidad, para obtener el sello Bird Friendly es necesario que la cobertura de árboles tenga características muy específicas, las cuales difícilmente se observan en los cafetales mexicanos.

En tercer lugar, es necesario señalar el papel que juegan los horizontes temporales de planeación, ya que el grado de adopción es distinto en cada uno. El uso de distintos horizontes es equivalente a suponer cambios en las preferencias temporales de los productores, de forma que éstos sólo se convencen de invertir en una nueva tecnología cuando el futuro tiene un peso relevante en sus decisiones. En cambio, la búsqueda de beneficios inmediatos se refleja en su permanencia en la tecnología inicial o la adopción de la comercial, que requiere de menos periodos para amortizar la inversión. En los hechos, los productores tienen ciertas pre-

ferencias temporales que no observamos, de las cuáles depende si la simulaciones con cierto horizonte describe la realidad mejor que otra.

Con lo dicho hasta ahora, puede concluirse que el potencial de los esquemas de certificación para conservar la cobertura forestal de los cafetales mexicanos, es mayor cuando ésta no se encuentra altamente degradada y cuando los productores toman decisiones dando cierto peso al futuro. Aunque su efecto tiene un límite determinado por las características tecnológicas del cultivo de café y los requerimientos de las normas de certificación, los resultados ambientales que pueden generar los certificados son significativos. No obstante, para alcanzar todo su potencial, estos instrumentos dependen de la implementación oportuna de políticas complementarias, ya sea por parte de los organismos públicos o por las asociaciones de cafeicultores.

Llegados a este punto, sólo resta señalar algunas de las limitaciones del modelo. El análisis que se ha hecho ocurre en un contexto determinístico. Dado que las condiciones del productor y del mercado permanecen constantes en el tiempo, no se observan cambios recurrentes en las tecnologías; una vez adoptada cualquiera de ellas no resulta racional cambiar la elección (salvo por la tecnología orgánica que funciona como estado de transición hacia la certificación Bird Friendly). Así, por ejemplo, no es posible analizar la situación señalada por Batz y cols. (2005), en la que las fluctuaciones de precios –comunes en el mercado de café– conducen al abandono de las fincas por parte de un buen número de productores.

Por otro lado, una extensión natural del modelo sería incorporar una restricción que refleje la ausencia de mercados de crédito a la que se enfrentan los pequeños productores. Ésta no ha sido incluida debido a las dificultades computacionales que implica. En las simulaciones realizadas, los productores adoptan inmediatamente la tecnología con la que permanecen a lo largo de todo el horizonte temporal, ya que pueden incurrir en beneficios negativos pa-

ra cubrir los costos de inversión y recuperarlos con el paso del tiempo. De esta forma, una especificación más cercana a la realidad supondría restringir el cambio de tecnología a la formación previa de un ahorro que permita cubrir los costos de transición.

Finalmente, del modelo se desprende que la conservación ambiental es deseable, desde la perspectiva del productor, cuando le genera beneficios económicos. Sin embargo, sería interesante abordar el problema por medio de una función de utilidad que vaya más allá de la maximización de beneficios y tenga en cuenta las posibles preferencias de los productores por la sustentabilidad ambiental.

# Referencias

- Akiyama, T., y Coleman, J. R. (1993, febrero). *A production function-based policy simulation model of perennial commodity market* (Policy Research Working Paper Series n.º 1097). Washington, DC: International Economics Department, The World Bank.
- Anta Fonseca, S. (2006). “El café de sombra: un ejemplo de pago por servicios ambientales para proteger la biodiversidad.” *Gaceta ecológica*, 80, 19–31.
- Batz, M. B., Albers, H. J., Ávalos Sartorio, B., y Blackman, A. (2005, diciembre). *Shade-grown coffee. Simulation and policy analysis for coastal Oaxaca, Mexico* (Discussion Paper n.º 05-61). Washington, DC: Resources for the Future.
- Blackman, A., Albers, H. J., Ávalos Sartorio, B., y Crooks, L. (2007). “Land cover in a managed forest ecosystem: Mexican shade coffee.” *American Journal of Agricultural Economics*, 90(1), 216–231.
- Blackman, A., y Naranjo, M. A. (2012). “Does eco-certification have environmental benefits? Organic coffee in Costa Rica.” *Ecological Economics*, 83, 58–66.
- Blackman, A., Ávalos Sartorio, B., y Chow, J. (2007, mayo). *Land cover change in mixed agroforestry. Shade coffee in El Salvador* (Discussion Paper n.º 07-30). Washington, DC: Resources for the Future.
- Castro, L. M., Calvas, B., Hildebrandt, P., y Knoke, T. (2013). “Avoiding the loss of shade coffee plantations: how to derive conservation payments for risk-averse land-users.” *Agroforestry Systems*, 87(2), 331–347.
- Centro de Inteligencia sobre Mercados Sostenibles (CIMS). (2006, Abril). *Opciones*

- de mercado para el café sostenible* (Presentación de resultados de la consultoría realizada por CIMS a COOCAFE). Alajuela, Costa Rica: CIMS. (Disponible en: <http://www.coo cafe.com/cafe forestal/docs/cafe-sostenible-mercado-certificaciones.pdf>)
- Certificadora Mexicana de Productos y Procesos Ecológicos (Certimex). (2014). *Normas para la producción, el procesamiento y la comercialización de productos orgánicos* (Novena edición). México: Certimex. (Disponible en: <http://www.certimexsc.com/docs/Normas\%20CERTIMEX\%20actualizadas\%202009.pdf>)
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). (1999, febrero). *Definición del café de sombra con criterios biofísicos* (Resultados del taller organizado por el Centro Smithsonian de Aves Migratorias del 8 al 10 de febrero). Xalapa: Comisión para la Cooperación Ambiental. (Disponible en: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/1856-defining-shade-coffee-bio-physical-criteria>)
- Diario Oficial de la Federación de México. (2014, 31 julio). *Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para reforestación o restauración y su mantenimiento para compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación*. Comisión Nacional Forestal.
- Duflo, E., Glennerster, R., y Michael, K. (2008). "Using randomization in development economics research: A toolkit." En T. P. Schultz y S. John (Eds.), *Handbook of development economics* (Vol. 4, pp. 3895–3962). Amsterdam: Elsevier.
- Gordon, C., Manson, R., Sundberg, J., y Cruz-Angón, A. (2007). "Biodiversity, profitability, and vegetation structure in a Mexican coffee agroecosystem." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118(1), 256–266.
- Heidkamp, P., Hanink, D. M., y Cromley, R. G. (2008). "A land use model of the effects of eco-labeling in coffee markets." *The Annals of Regional Science*, 42(3), 725–746.
- Ibáñez, M. (2010). "Adoption of certified organic technologies: the case of coffee farming in Colombia." En *Proceedings of the german development economics conference*. Han-

nover.

- Ibáñez, M. (2011). *Environmental and socioeconomic impact of growing certified organic coffee in Colombia* (Working Paper Series n.º 25). Latin American and Caribbean Environmental Economics Program.
- International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM). (2006). *The IFOAM basic standards for organic production and processing* (Versión 2005). Bonn: IFOAM. (Disponible en: [http://www.ifoam.bio/sites/default/files/page/files/norms\\_eng\\_v4\\_20090113.pdf](http://www.ifoam.bio/sites/default/files/page/files/norms_eng_v4_20090113.pdf))
- Jurjonas, M., Crossman, K., Solomon, J., y López Báez, W. (2016). “Potential links between certified organic coffee and deforestation in a protected area in Chiapas, Mexico.” *World Development*, 78, 13–21.
- Kilian, B., Jones, C., Pratt, L., y Villalobos, A. (2006). “Is sustainable agriculture a viable strategy to improve farm income in Central America? A case study on coffee.” *Journal of Business Research*, 59(3), 322–330.
- Lancaster, K. J. (1966). “A new approach to consumer theory.” *Journal of Political Economy*, 74(2), 132–157.
- Magdoff, F. (2007). “Ecological agriculture: Principles, practices, and constraints.” *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(2), 109–117.
- Manson, R. H., Contreras Hernández, A., y López-Barrera, F. (2008). “Estudios de la biodiversidad en cafetales.” En R. H. Manson, V. Hernández-Ortíz, S. Gallina, y K. Mehlreter (Eds.), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. biodiversidad, manejo y conservación* (pp. 1–12). México: Instituto de Ecología, A.C. e Instituto Nacional de Ecología.
- Miranda, M. J., y Fackler, P. L. (2002). *Applied computational economics and finance*. MIT Press.
- Moguel, P., y Toledo, V. M. (1996). “El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad.” *Ciencias*, 43, 40–51.
- Moguel, P., y Toledo, V. M. (1999). “Biodiversity conservation in traditional coffee systems

- of Mexico.” *Conservation Biology*, 13(1), 11–21.
- Pascual, U., y Barbier, E. B. (2007). “On price liberalization, poverty, and shifting cultivation: an example from Mexico.” *Land Economics*, 83(2), 192–216.
- Perfecto, I., Mas, A., Dietsch, T., y Vandermeer, J. (2003). “Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico.” *Biodiversity and Conservation*, 12(6), 1239–1252.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., Mas, A., y Soto Pinto, L. (2005). “Biodiversity, yield, and shade coffee certification.” *Ecological Economics*, 54(4), 435–446.
- Philpott, S. M., Bichier, P., Rice, R., y Greenberg, R. (2007). “Field-testing ecological and economic benefits of coffee certification programs.” *Conservation Biology*, 21(4), 975–985.
- Ramirez, O. A., y Sosa, R. (2000). “Assessing the financial risks of diversified coffee production systems: an alternative nonnormal CDF estimation approach.” *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 25(1), 267–285.
- Rigby, D., y Cáceres, D. (2001). “Organic farming and the sustainability of agricultural systems.” *Agricultural Systems*, 68(1), 21–40.
- Salazar, M. (2006). *An economic analysis of smallholder coffee production in Guatemala, Honduras, Nicaragua and Vietnam* (Tesis de Master no publicada). Purdue University, West Lafayette Indiana.
- Smithsonian Migratory Bird Center, National Zoo (SMBF). (2004). *Norms for production, processing and marketing “Bird Friendly” coffee* (BFN). Washington, DC: SMBF. (Disponible en: [https://nationalzoo.si.edu/scbi/migratorybirds/coffee/Norms-English\\_1.pdf](https://nationalzoo.si.edu/scbi/migratorybirds/coffee/Norms-English_1.pdf))
- Soto-Pinto, L., Perfecto, I., Castillo-Hernandez, J., y Caballero-Nieto, J. (2000). “Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico.” *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80(1), 61–69.
- Speciality Coffee Association of America (SCAA). (2009). *Sustainable coffee certifica-*

- tions. *A comparison matrix [en línea]*. Descargado de <https://www.scaa.org/PDF/SustainableCoffeeCertificationsComparisonMatrix.pdf>
- Takahashi, R., y Todo, Y. (2013). “The impact of a shade coffee certification program on forest conservation: A case study from a wild coffee forest in Ethiopia.” *Journal of Environmental Management*, 130, 48–54.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D’Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., . . . Swackhamer, D. (2001). “Forecasting agriculturally driven global environmental change.” *Science*, 292, 281–284.
- Tuinstra, A., y Deugd, M. (2015). *Rainforest Alliance certification in coffee production: An analysis of costs and revenues in Latin America 2010-11* (Inf. Téc.). Rainforest Alliance. (Disponible en: <http://www.rainforest-alliance.org/sites/default/files/publication/pdf/RAC-in-Coffee-production-An-Analysis-of-Costs-and-Revenues-in-Latin\%20America\%202010-11.pdf>)
- Vosti, S. A., Braz, E. M., Carpentier, C. L., d’Oliveira, M. V. N., y Witcover, J. (2003). “Rights to forest products, deforestation and smallholder income: Evidence from the western Brazilian Amazon.” *World Development*, 31(11), 1889–1901.
- Vosti, S. A., Witcover, J., y Carpentier, C. L. (2002). *Agricultural intensification by smallholders in the western Brazilian Amazon. From deforestation to sustainable land use* (Research Report n.º 130). Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Willer, H., y Lernou, J. (Eds.). (2016). *The world of organic agriculture. statistics and emerging trends 2016*. Frick and Bonn: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) e IFOAM - Organics International.
- Wollni, M. (2007). *Productive efficiency of specialty and conventional coffee farmers in Costa Rica: accounting for the use of different technologies and self-selection* (Artículo seleccionado para su presentación en la reunión anual de la American Agricultural Economics Association, del 29 de julio al 1 de agosto). Portland, OR.

# Apéndices

# Apéndice 1

**Cuadro A1.1: Parámetros del modelo**

	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
<i>r</i>	Tasa de descuento	0.05		Batz y cols. (2005)
<b>Dotaciones</b>				
<i>L</i>	Trabajo familiar disponible (días al año)	190		Batz y cols. (2005)
<i>x</i>	Extensión de la parcela (hectáreas)	4	En el rango de los pequeños productores	Moguel y Toledo (1996)
<b>Valores monetarios</b>				
<i>w</i>	Salario nominal (pesos por día)	73.2	Salario por trabajo en la finca	Batz y cols. (2005)
<i>d</i>	Costo por deforestar 100m <sup>2</sup> (pesos)	600	Suponiendo el doble de trabajo que para talar vegetación secundaria	Pascual y Barbier (2007)
<i>d</i>	Costo por reforestar 100m <sup>2</sup> (pesos)	260	Para una zona ecológica templada	DOF (2014, 31 julio)
<i>I(cc, ct)</i>	Inversión por cambio de tecnología (pesos/ha)	1500	Entre tradicional y comercial (cualquier dirección)*	Castro y cols. (2013)
<i>I(ct, co), I(ct, cs)</i>	Inversión por adopción de cada certificado (cualquier no. ha)	11400	Suponiendo 4 días de visita	CIMS (2006)

Continúa en la próxima página

	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
$p_{ct}, p_{cc}$	Precio del café convencional (pesos/kg)	28.4	Promedio para los años 2003-2008 del precio pagado a los productores*	ICO
$p_{co}$	Precio del café orgánico (pesos/kg)	30.6	Suponiendo una prima de 10 centavos de dólar por libra sobre el precio convencional*	Kilian y cols. (2006)
$p_{cs}$	Precio del café Bird Friendly (pesos/kg)	32.0	Prima de 12.5 centavos de dólar por kilogramo sobre el precio orgánico*	Heidkamp y cols. (2008); Tuinstra y Deugd (2015)
$c_{ct}$	Costo fijo tradicional (pesos/ha)	275	Costos de transporte, herramientas, herbicidas y pesticidas	Batz y cols. (2005)
$c_{cc}$	Costo fijo comercial (pesos/ha)	500	Costo por fertilizante (adicional al tradicional)*	Ibáñez (2010)
$c_{co}$	Costo fijo orgánico (cualquier no. ha)	2785	Costo anual certificación suponiendo un día de visita (adicional al tradicional /ha)*	CIMS (2006)
$c_{cs}$	Costo fijo Bird Friendly (cualquier no. ha)	275	Costo trianual certificación suponiendo un día de visita (adicional al orgánico)*	CIMS (2006), SCAA (2009)
<b>Función de producción</b>				
$\alpha$	Intercepto de la productividad total	1.9	tradicional	Calibración propia
		2.0	comercial	
		1.7	certificadas	
$\beta_s$	Término lineal de la productividad total por sombra	0.13	Para todas las tecnologías	Soto-Pinto y cols. (2000)
$\beta_{ss}$	Término cuadrático de la productividad total por sombra	0.0013	Para todas las tecnologías	Soto-Pinto y cols. (2000)
$\gamma$	Elasticidad producto de la tierra	0.45	tradicional y certificadas	Wollni (2007)
		0.46	comercial	
$\delta$	Elasticidad producto del trabajo	0.35	tradicional	En el rango de Salazar (2006)
		0.34	comercial	
		0.38	certificadas	

Notas: Todos los valores monetarios han sido actualizados a precios de 2008 con la inflación acumulada en el año calendario (Índice Nacional de Precios al Consumidor del Banco de México).

\* Convertido a pesos mexicanos con el tipo de cambio MXN/USD promedio para el año calendario (Cotizaciones promedio del tipo de cambio para solventar obligaciones denominadas en moneda extranjera, publicado por el Banco de México con información diaria del Diario Oficial de la Federación)

## Apéndice 2

La solución del modelo y las simulaciones descritas a lo largo de este trabajo fueron realizadas mediante un código para Matlab<sup>1</sup>, un programa computacional matemático. En ambos casos se recurre al paquete de herramientas *CompEcon*<sup>2</sup>, desarrollado por los profesores Miranda y Fackler y cuyo funcionamiento y métodos son descritos en Miranda y Fackler (2002).

El código generado consta de cuatro partes: el valor de los parámetros, una matriz de recompensas, una matriz de transición y un módulo de simulación. Las primeras tres permiten obtener los resultados del modelo, es decir, la función de valor y la política óptima para cada estado inicial. La última toma estos resultados y devuelve el estado de cada productor en cada periodo (esto es, la tecnología que emplea y el porcentaje de la superficie del cafetal cubierta por sombra).

Los valores de los parámetros aparecen en el Apéndice 1. La matriz de recompensas contiene el beneficio corriente (ecuación (3.2)) que obtiene el productor representativo, con cada estado y cada posible decisión. Sus dimensiones son  $K S \times (K A + 1)$ , donde  $K$  es el número de posibles tecnologías,  $S$  el espacio de sombra (en unidades de 1 %) y  $A$  el espacio de decisiones sobre la variación de la cobertura (-100, 100).

Así, cada entrada de la matriz es el resultado de maximizar los beneficios de un productor

---

<sup>1</sup>Versión R2012a

<sup>2</sup>El paquete de herramientas puede ser descargado de <http://www4.ncsu.edu/~pfackler/compecon/index.htm>

que se encuentra en un estado  $(k_t, s_t)$ , haciendo variar la cantidad de trabajo que destina a la producción de café; y descontando, posteriormente, el costo de una decisión  $(k_{t+1}, \Delta_t)$ , como se especifica en la ecuación 3.1. En todos los casos, la decisión puede consistir en permanecer en el mismo estado, con un costo cero. El término  $+1$  corresponde a la tecnología 0 que representa el abandono del cafetal, en cuyo caso el productor recibe únicamente un salario por emplearse en otras actividades.

La matriz de recompensas está restringida de acuerdo con la expresión (3.5), de la cual resulta que un estado correspondiente a la producción comercial no puede obtener un certificado, y que la certificación Bird Friendly sólo puede ser adoptada cuando el productor ha obtenido previamente un certificado orgánico y cuenta con al menos 40 % del cafetal cubierto por sombra. Así también, se restringen las combinaciones que no son factibles, es decir, la cobertura de sombra no puede ser nunca menor a 0 %, ni mayor a 100 %. Cada una de estas restricciones se representa con un valor de  $-\infty$  en la entrada correspondiente, lo que garantiza que en la resolución del problema intertemporal no sean elegidas éstas alternativas.

La matriz de transición simplemente indica el estado del que parte el productor en el próximo periodo. Ésta tiene la misma forma de la matriz de recompensas y cada entrada (las combinaciones de un estado y una decisión en  $t$ ), indica la fila de la matriz de recompensas en la que se ubicará el productor en  $t + 1$ , con base en  $k_{t+1}$  y la ecuación (3.4).

Ambas matrices son empleadas como insumos para la resolución del problema de programación dinámica, por medio de la ecuación de Bellman (3.10), donde el término  $\pi_t^*(k_t, s_t) - d\Delta_t - I_t(k_t, k_{t+1})$  proviene directamente de la matriz de recompensas y  $k_{t+1}, s_t + \Delta_t$  de la matriz de transición. Para esto, se emplea el comando *ddpsolve* del paquete *CompEcon* y se encuentra la solución de manera recursiva por el método de Newton. El resultado es una matriz  $(KS \times T)$ , en la que cada fila contiene la política óptima para un estado inicial y permite

conocer el estado del productor en cada periodo, dadas la extensión del horizonte temporal y la tasa de descuento.

Finalmente se realiza la simulación. Teniendo el conjunto de políticas óptimas, es posible asignar de manera aleatoria 10,000 veces un estado inicial y conocer el estado en el último periodo para cada uno; esto es, simular a 10,000 productores que enfrentan los mismos parámetros pero un estado inicial distinto. Los resultados presentados a lo largo del trabajo para cada simulación se refieren al agregado de los 10,000 productores. Para los escenarios contrafactuales, el proceso es idéntico a lo aquí descrito y simplemente se asigna un valor distinto a alguno de los parámetros, como se menciona en la sección correspondiente.

## Apéndice 3

**Cuadro A3.1: Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal, para el caso de una distribución uniforme**

	T=10	T=15	T=20	Estado estacionario
<b>Tradicional</b>	72.50 [28, 100]			
<b>Comercial</b>	27.50 [0, 27]	33.49 [0, 33]	33.50 [0, 35]	33.50 [0, 35]
<b>Orgánica</b>		66.51 [34,100]	1.00 [36, 36]	
<b>Bird Friendly</b>			63.50 [37, 100]	64.50 [36, 100]

Los espacios en blanco representan no adopción

**Cuadro A3.2: Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal, para el caso de una distribución uniforme**

	T=10	T=15	T=20	Estado estacionario
<b>Sombra inicial</b>	50.00	50.00	50.00	50.00
<b>Sombra final con certificados</b>	31.60	30.64	32.86	32.90
<b>Sombra final sin certificados</b>	31.60	30.48	20.00	20.00
<b>Efecto de los certificados</b>	0.00	0.50	64.30	64.50

**Cuadro A3.3: Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal. Escenario con productores a muy pequeña escala**

	T=10	T=15	T=20	Estado estacionario
<b>Tradicional</b>	95.45 [30, 100]	93.27 [33, 100]	91.49 [35, 100]	
<b>Comercial</b>	4.55 [2, 29]	6.73 [2, 32]	8.51 [2, 34]	100 [2, 100]
<b>Orgánica</b>				
<b>Bird Friendly</b>				

Los espacios en blanco representan no adopción

**Cuadro A3.4: Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal.  
Escenario con productores a muy pequeña escala**

	T=10	T=15	T=20	Estado estacionario
Sombra inicial	57.65	57.65	57.65	57.65
Sombra final con certificados	36.15	35.87	35.61	20.00
Sombra final sin certificados	36.15	35.87	35.61	20.00
Efecto de los certificados	0.00	0.00	64.30	64.30

**Cuadro A3.5: Porcentaje de productores con cada tecnología en el periodo terminal en presencia de un subsidio anual al café de sombra**

	T=10	T=15	T=20	Estado estacionario
<b>Tradicional</b>				
<b>Comercial</b>				
<b>Orgánica</b>	100 [2, 100]	100 [2, 100]	11.71 [2, 37]	
<b>Bird Friendly</b>			88.29 [38, 100]	100 [2, 100]

Los espacios en blanco representan no adopción

**Cuadro A3.6: Porcentaje promedio de sombra en el periodo terminal en presencia de un subsidio anual al café de sombra**

	<b>T=10</b>	<b>T=15</b>	<b>T=20</b>	<b>Estado estacionario</b>
<b>Sombra inicial</b>	57.65	57.65	57.65	57.65
<b>Sombra final con certificados</b>	35.45	34.79	38.06	38.10
<b>Sombra final con certificados y subsidio</b>	36.00	35.00	39.53	40.00
<b>Efecto del subsidio complementario</b>	1.55	3.47	3.86	4.98
<b>Sombra final sin certificados y sin subsidio</b>	35.45	34.64	20.00	20.00
<b>Sombra final sin certificados y con subsidio</b>	35.45	34.64	20.00	20.00