

Simulación dinámica de la cadena de producción de fique en Colombia para potenciar el desarrollo económico del país.

María Alejandra Vélez Clavijo, Valentina Moreno Ramírez, Alejandra Palacio Jaramillo.

Modelación y Simulación 3, Departamento de Ciencias Matemáticas, Escuela de Ciencias Exactas

Universidad EAFIT

mavelezc1@eafit.edu.co, vmorenor@eafit.edu.co, apalacioj@eafit.edu.co.

Resumen- Gracias a las condiciones geográficas, recursos naturales y disponibilidad de áreas cultivables, Colombia es un país agrícola. Por esto, el gremio agrícola es uno de los que más aportes y beneficios ha generado a la economía colombiana y, por ende, al desarrollo del país. Dentro del mercado agrario, se comercializan productos como el fique, una fibra natural con múltiples ventajas, especialmente en el área ambiental, pues es un producto amigable con el medio ambiente. Sin embargo, a pesar de las ganancias económicas y ambientales que trae el cultivo de fique, su mercado se ha ido debilitando progresivamente. Por esto, el propósito de este proyecto es modelar la dinámica de producción de fique en Colombia y analizar su comportamiento, susceptibilidad y relación con los factores que bloquean su participación en el mercado y así, determinar y evaluar la eficiencia de políticas que contribuyan a la productividad del fique en el país.

Palabras Clave- Fique, Cultivo, Producción, Dinámica, Exportación, Economía colombiana, Medio ambiente, Sistema, Modelación, Simulación.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, Colombia se enfrenta a diversas problemáticas en cuanto al ambiente y economía, por lo cual se encuentra en busca de soluciones efectivas frente a estas, mediante alternativas clave que aporten tanto a las dinámicas sociales del país como del mundo actual.

Por un lado, Colombia se enfrenta a una crisis ambiental debido a la contaminación. Es conocido que en el país se mantiene activo un sector altamente contaminante: las industrias, tal como lo son las industrias de empaques, las cuales operan con materiales no amigables con el medio ambiente, como lo son, por ejemplo, las bolsas de plástico. También está el sector textil, el cual es considerado como la industria más perjudicial para el medio ambiente, debido a que consume gran cantidad de recursos como agua, energía y químicos tóxicos [1].

Por otra parte, la economía colombiana enfrenta uno de los impactos más intensos como consecuencia de la crisis generada por el Covid-19 y, por ende, se buscan opciones reales que le permitan al país mejorar en dicha cuestión. Es sabido que, la economía del país se ha concentrado en el sector agrícola, puesto que las condiciones geográficas del territorio han permitido que este sector sea pionero en el área económica. Por tanto, con el propósito de fortalecer la contribución del sector agrícola en el desarrollo colombiano, se hace necesario reforzar áreas en las que dicho sector puede aportar un poco más de lo que lo ha

hecho anteriormente y así, mantener una solución eficiente en el tiempo frente a la problemática en materia económica del país.

Como una posibilidad para combatir las problemáticas enunciadas anteriormente, se encuentra la producción de fique (también conocido como cabuya), el cual es una fibra nativa de Suramérica, especialmente en Colombia, Venezuela y Ecuador. En Colombia se labra en la zona andina, principalmente en Antioquia, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Nariño y Santander y llegando a ser considerada, según lo dicho en el acuerdo sectorial de competitividad del fique 2010-2025, la segunda fibra más importante después del algodón [2].

Dicha fibra es un gran camino para la recuperación y fortalecimiento del país en el área económica y ambiental y, por consiguiente, es una alternativa para aportar al desarrollo del país, pues Colombia es el mayor productor mundial de esta fibra [3]. Es importante resaltar que la compraventa del fique trae beneficios medioambientales, pues este puede ser utilizado como materia prima para la producción de productos biodegradables [3] y, además, en el área mercantil y económica, la producción de fique trae consigo nuevas posibilidades que perciben un aprovechamiento integral en la diversificación de productos y en la apertura de nuevos nichos de mercado [3].

Lastimosamente, a pesar de las ganancias que genera la producción de esta fibra tanto para el país como para los fiqueros y sus familias, desde finales del siglo XX su mercado se ha visto afectado con la llegada de fibra sintética, pues esta reemplazó a la fibra natural. Adicionalmente, el proceso de producción del fique no es sencillo comparado con la cadena de producción de otros productos agrícolas, por tanto, el interés en su cultivo por parte del campesino se ha perdido considerablemente. De acuerdo con esto y otras situaciones que dificultan la producción de fique en Colombia, se encuentra que la cadena de producción de esta fibra, desde su cosecha hasta su comercialización, puede ser vista como un sistema dinámico, pues relaciona racionalmente un conjunto de procesos entre sí, evoluciona respecto al tiempo e implica procesos de realimentación, ya sean de refuerzo o de balance, los cuales se pretenden analizar para determinar la estructura y comportamiento del sistema y así, a partir del modo de referencia del problema, modelación, simulación y demás conceptos esenciales, establecer políticas que

solucionen el problema planteado de manera efectiva y segura.

II. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

El fique, al ser una fibra natural, tiene un gran potencial tanto económico como ambiental en el país, es decir, la producción de fique es una alternativa que promueve la mejora de la economía colombiana teniendo en cuenta el desarrollo de alternativas sostenibles. Pues, de esta planta se puede aprovechar el 100%, ya sea en utilización de la fibra o el resto de la planta. Las transformaciones del fique permiten que se creen productos eco sostenibles, esto es, productos que además de ser amigables con el medio ambiente, fomenten el consumo responsable – como lo es el consumo de bolsas de fique en reemplazo de las bolsas plásticas-; también se promueve la reducción de la pobreza, pues la actividad fiquera genera empleo desde el proceso de cultivo, hasta el proceso artesanal y de comercialización. De este modo, la actividad fiquera brinda empleo a campesinos y a aquellas personas que no cuentan con altos niveles educativos, pues generalmente el fique es producido en Colombia por pequeños agricultores con eminente economía campesina en setenta mil familias, distribuidas en los departamentos de Nariño, Cauca, Santander, Antioquia, Caldas, Risaralda, Boyacá y Cundinamarca, principalmente [2].

Como se mencionó anteriormente, el fique es una planta a la cual se le puede sacar provecho al 100%, pues como lo asegura Carlos Alberto Álvarez, Ingeniero Agrónomo de la universidad del Valle, el mercado del fique ha sido limitado por la ignorancia del tema de la mayoría de las empresas sobre su gran cantidad de usos hasta el punto de que lo producido por la planta sólo se utiliza un 4% que es fibra; el otro 96% se desecha porque se desconocen sus innumerables usos [4]. El desperdicio de ese 96% de la planta de fique es una variable para tener en cuenta en el comportamiento del sistema, especialmente en el proceso de producción, pues ese 96% restante sirve como otra contribución de actividad económica para estas personas que se dedican a la actividad fiquera, pues con lo que no es fibra se pueden hacer, por ejemplo, jabones, abono para las plantas, fertilizantes, shampoo, productos limpia vidrios, entre otros productos. [5].

El fique ha tenido una buena participación en la economía colombiana, principalmente en el campo de materia prima para los empaques de cabuya, para el manejo de productos de consumo interno, el despacho de exportaciones y distribución de los alimentos que llegan a los puertos Nacionales [6]. Cabe destacar que esta participación se ve evidenciada en las tasas de exportación, producción industrial y producción artesanal, pues según las fuentes consultadas, el 10% de la producción corresponde a la exportación, el 40% a la producción artesanal y el 50% a la producción industrial, lo cual hace notorio el papel que juega esta fibra a nivel nacional.

En el marco histórico (ver Fig. 1), se observa que durante los años 1960 hasta finales de 1970 la producción de fique estaba en su mejor momento, sin embargo, entre los años 1970 y 1980 se produjo una gran crisis en la producción debido al uso del plástico, el cual había ingresado al mundo

de la industria reemplazando las fibras naturales por productos de polietileno y polipropileno, puesto que estos eran de menor precio [1]. Luego de aquel tiempo de mayor participación del plástico, se ha observado un aumento gradual de la producción de fique. De igual modo, es importante resaltar que un reto en la producción del fique es su competencia con materiales como el plástico, sin embargo, la participación de este en el mercado no es tan deseada debido a que la contaminación por plástico es una de las más significativas en la actualidad, pues un elemento hecho de dicho material tarda alrededor de 700 a 1000 años en degradarse, al contrario del fique, el cual es biodegradable y no contamina el agua.

Se sabe que convencer a las personas de que no utilicen plástico es un trabajo difícil y de pocos resultados, así que la idea es reemplazar el plástico por algo mejor, reduciendo de esta manera el impacto ambiental que causan las grandes cantidades de desechos plásticos, implementando, por ejemplo, el uso de bolsas reutilizables hechas a partir de las fibras de fique, es decir, se pretende optar por utilizar de nuevo productos a base de fibras naturales, permitiendo así que el fique se visualice nuevamente en el mercado.

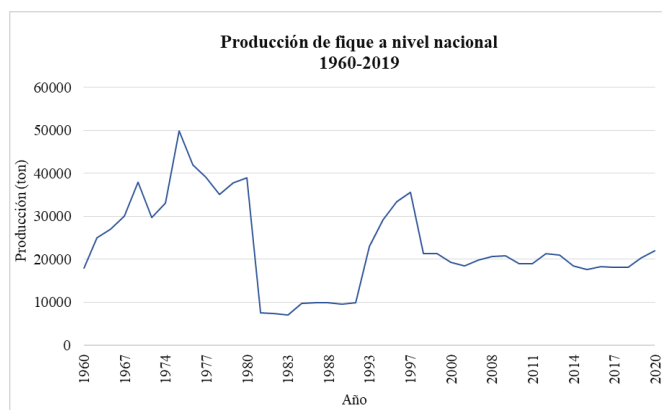


Fig. 1. Producción de fique a nivel nacional 1960-2019
[3][7][8][9][10][11][12]

Al ser una fibra nativa de Colombia, el fique representa una gran oportunidad de exportación, debido a que a nivel mundial se presenta un déficit de la fibra de yute y sisal (fibras competentes), así como se observa en la Fig.2; lo que genera oportunidades de crecimiento y competitividad en el sector del fique, de cara a la generación de productos amigables con el medio ambiente [7]. Colombia tiene el desafío de suplir la necesidad de fibra que tienen los países y es por eso por lo que es importante observar el comportamiento de este sector, analizando las variables que afectan a la adecuada producción de fique, desde el proceso de cultivo (como lo son por ejemplo la tasa de muertes de plantas en un cultivo) hasta su comercialización (como lo es la tasa de exportación). Es por lo anterior que se hace hincapié en la relevancia de hacerle seguimiento a la cadena productiva del fique, puesto que permitirá identificar posibles retardos y problemas en los procesos.

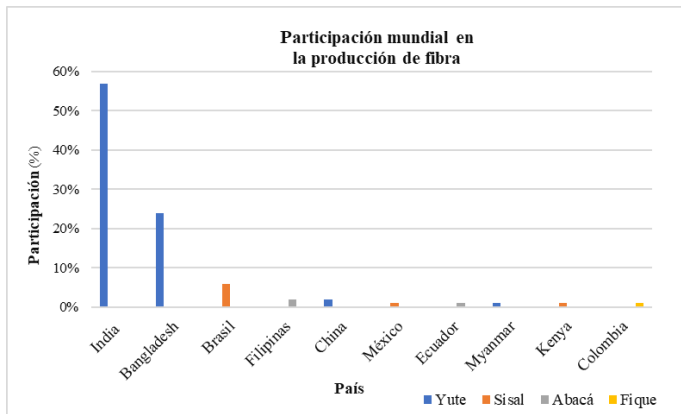


Fig. 2. Participación mundial en la producción de fibra.[7]

Ahora bien, para cumplir con el propósito del proyecto, para la realización del modelo se decidió tomar como horizonte de tiempo desde 1994 hasta 2094, pues en este intervalo de tiempo es posible analizar el comportamiento de la cadena de producción en el pasado, presente y futuro. Adicionalmente, al trabajar con este horizonte de tiempo, se tendrá en cuenta tanto la época en la cual la producción de fique comenzó a recuperarse de la crisis de años anteriores, es decir, desde donde la producción de fique se hizo más notable con sus altos y bajos hasta el 2019, año hasta el que se tienen datos registrados. También, al escoger este lapso, se tuvo en cuenta los retardos del sistema y otros factores implicados, por ejemplo, el tiempo de crecimiento de la planta que es de 3 a 5 años, para que cuando se realicen las respectivas simulaciones con las políticas de solución planteadas, se pueda observar ya sea la eficiencia de estas o, por el contrario, sus consecuencias con el paso de los años. En síntesis, este horizonte de tiempo resulta clave para analizar las causas y actualidad del problema y, las posibles consecuencias de las soluciones.

En este orden de ideas, para la formulación de la hipótesis dinámica se realizó un diagrama causal (Fig.3) que cuenta con 10 ciclos de realimentación (Tabla I), el cual muestra la relación de los procesos implicados en la producción de fique, en otras palabras, evidencia las relaciones desde la siembra hasta la comercialización de la fibra. Es importante resaltar que para la realización del diagrama se tuvo en cuenta principalmente la Guía ambiental del subsector fiquero [13] y, en complemento, se consultaron otras fuentes que permitieron enlazar procesos, adicionar causas del problema y demás elementos clave que permitirán aproximaciones dinámicas más ajustadas a la realidad.

Para complementar la hipótesis dinámica propuesta, también se realizó un diagrama de flujos y niveles (Fig. 4), en el cual se evidencian desde otra perspectiva las relaciones hechas en el diagrama causal. Es decir, en este diagrama se muestran las variables del estado del sistema y su relación con los flujos del sistema, los cuales regulan las entradas y salidas de estas. Asimismo, se expone claramente la cadena de producción de fique y los factores que determinan que una planta de esta fibra, por ejemplo, se encuentre en un estado determinado. Cabe resaltar que en la Tabla II, se encuentran las unidades correspondientes a los niveles, flujos y demás variables del diagrama.

De acuerdo con la figura 3 y la Tabla I, se puede afirmar que el problema está compuesto por algunos ciclos de realimentación más complejos que otros y unos pocos retardos. Analizando los ciclos que generalizan el comportamiento de la producción de fique (ya sea R2, R3 o R4), es claro que, a mayor tierra disponible, mayor será la cantidad de nuevos cultivos y, por consiguiente, la cantidad de cultivos será mayor, obteniendo así una mayor cosecha luego de aproximadamente 5 años que tarda el crecimiento de la planta. Adicionalmente, lo anterior generará mayor beneficio

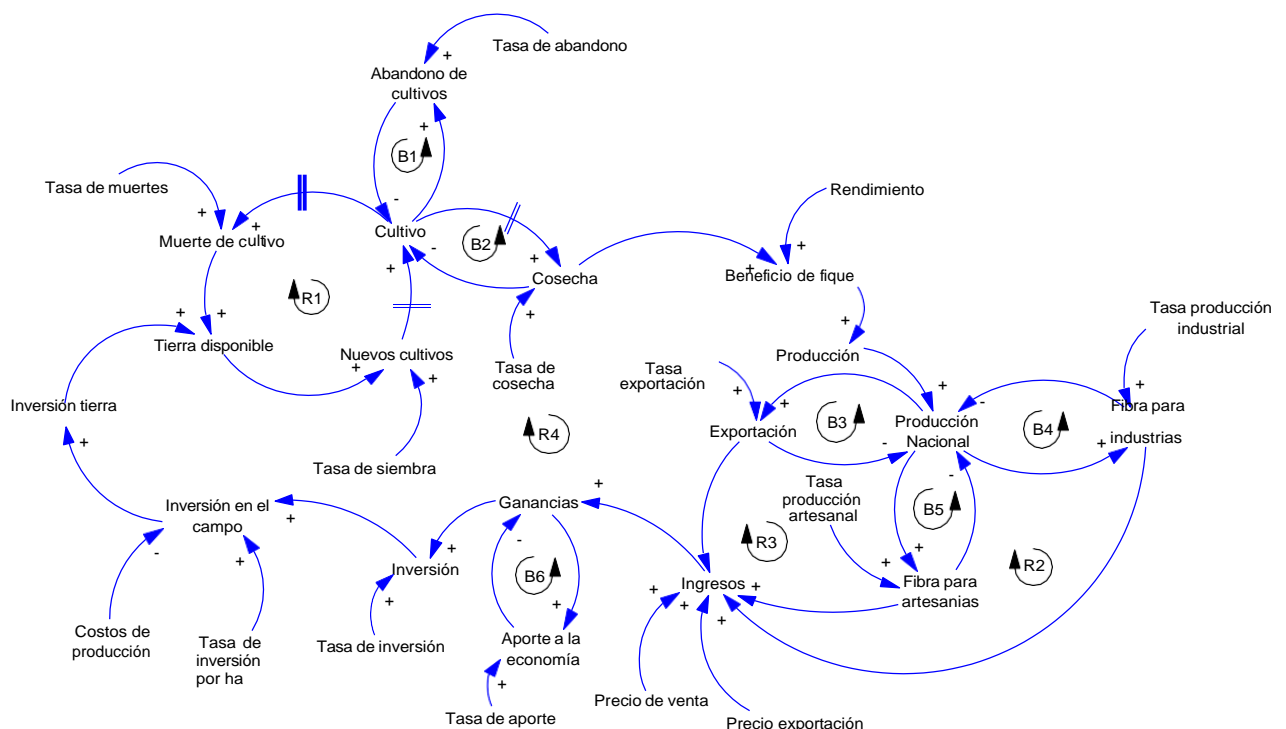


Fig. 3. Diagrama causal de la cadena de producción de fique en Colombia para potenciar el desarrollo económico y ambiental del país. Adaptado de [13].

de fique, es decir, lo que se puede extraer de las plantas cosechadas, consiguiendo así una mayor producción anual y, por tanto, una mayor producción nacional que traerá mayores ventas, en otras palabras, mayor exportación, fibra para artesanías y fibra para industrias. Siguiendo este proceso, a mayores ventas se conseguirán mayores ingresos, que se traducirán en mayores ganancias que permitirán tener una mayor inversión tanto como en el campo como en la tierra, lo cual posibilitará finalmente tener mayor tierra disponible para comenzar otra vez con esta cadena productiva.

TABLA I
 CICLOS DEL DIAGRAMA CAUSAL CON SUS RESPECTIVAS VARIABLES

R1	Nuevos cultivos – Cultivo – Muerte de cultivo – Tierra disponible
R2	Nuevos cultivos – Cultivo – Cosecha – Beneficio de fique – Producción – Producción Nacional – Fibra para industrias – Ingresos – Ganancias – Inversión – Inversión en el campo – Inversión tierra – Tierra disponible
R3	Nuevos cultivos – Cultivo – Cosecha – Beneficio de fique – Producción – Producción Nacional – Fibra para artesanías – Ingresos – Ganancias – Inversión – Inversión en el campo – Inversión tierra – Tierra disponible
R4	Nuevos cultivos – Cultivo – Cosecha – Beneficio de fique – Producción – Producción Nacional – Exportación – Ingresos – Ganancias – Inversión – Inversión en el campo – Inversión tierra – Tierra disponible
B1	Cultivo – Abonado de cultivos
B2	Cultivo - Cosecha
B3	Exportación – Producción Nacional
B4	Producción Nacional – Fibra para industrias
B5	Producción Nacional – Fibra para artesanías
B6	Ganancias – Aporte a la economía

Tomando en cuenta este planteamiento, se obtienen ciclos de realimentación de refuerzo y, análogamente, se realiza el análisis para los ciclos restante. Posteriormente, se definen las políticas convenientes para la solución de las problemáticas

planteadas y así, cumplir con el propósito y objetivos del proyecto.

TABLA II
 ECUACIONES Y UNIDADES DEL SISTEMA

Tipo	Nombre	Unidad	Ecuación
Nivel	T	Tierra Disponible	ha
Flujo	N	Nuevos cultivos	ha/año
Flujo	M	Muerte de cultivo	ha/año
Parámetro	TS	Tasa de siembra	1/año
Parámetro	TM	Tasa de muertes	1/año
Nivel	C	Cultivo	ha
Flujo	CS	Cosecha	ha/año
Flujo	A	Abandono de cultivos	ha/año
Parámetro	TA	Tasa de abandono	1/año
Variable	IC	Inversión en el campo	ha/año
Parámetro	TC	Tasa de cosecha	1/año
Parámetro	R	Rendimiento	ton/ha
Variable	B	Beneficio de fique	ton/año
Flujo	P	Producción	ton/año
Parámetro	CP	Costos producción	\$/ha
Nivel	PN	Producción nacional	ton
Flujo	FI	Fibra para industrias	ton/año
Parámetro	TPI	Tasa producción industrial	1/año
Flujo	FA	Fibra para artesanías	ton/año
Parámetro	TPA	Tasa producción artesanal	1/año
Flujo	E	Exportación	ton/año
Parámetro	TE	Tasa exportación	1/año
Flujo	IN	Ingresos	\$/año
Parámetro	PV	Precio de venta	\$/ton
Parámetro	PE	Precio exportación	\$/ton
Nivel	G	Ganancias	\$
Flujo	I	Inversión	\$/año
Parámetro	TI	Tasa de inversión	1/año
Flujo	AE	Aporte a la economía	\$/año
Parámetro	TH	Tasa inversión por hectárea	ha/año
Flujo	IT	Inversión tierra	ha/año
Parámetro	TAP	Tasa de aporte	1/año

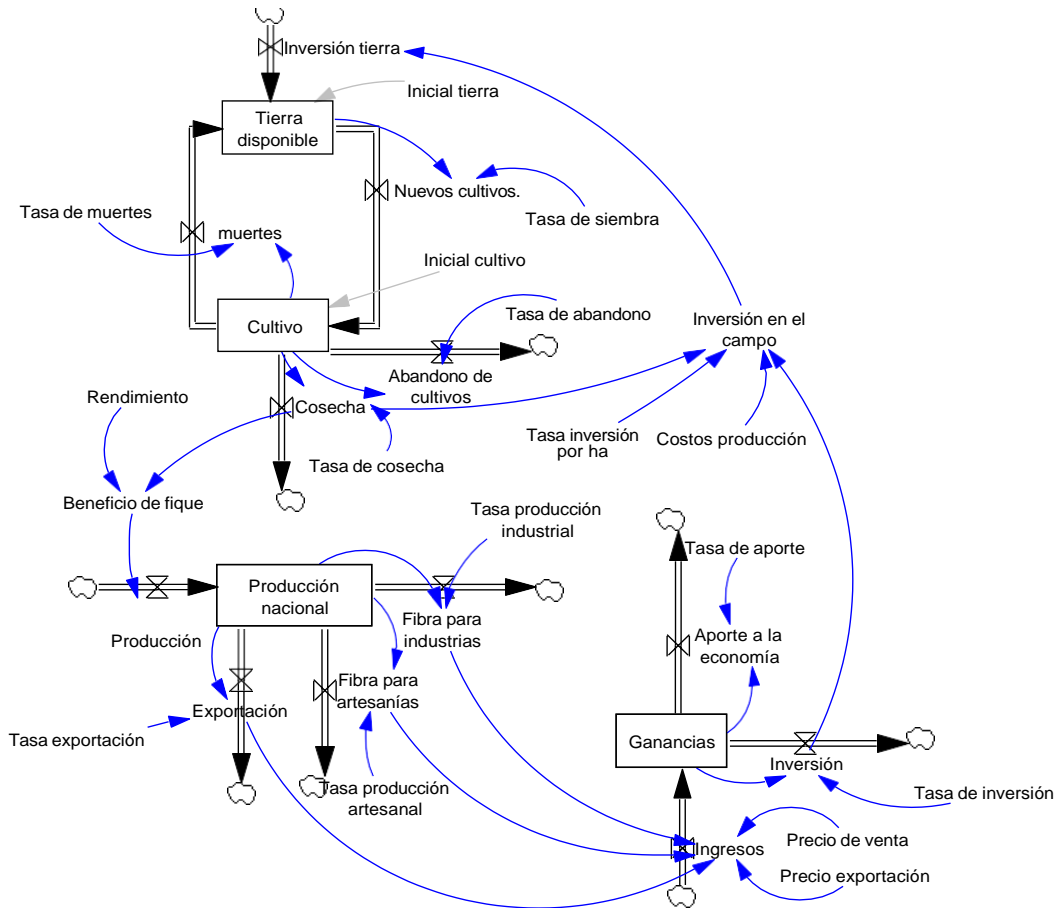


Fig. 4. Diagrama de flujos y niveles de la cadena de producción de fique.

Un aspecto importante para resaltar es que el modelo propuesto pretende ajustarse a la producción de la cabuya, es decir, del 4% de la producción de fique. De acuerdo con esto, se obtuvo un caso base (Fig.5, Fig.6 y Fig.7) que se ajusta a los datos históricos, aunque hay que tener en cuenta que el modelo no recrea exactamente los datos históricos porque estos están sujetos a variables exógenas dadas a través del tiempo.

Adicionalmente, en las figuras 5, 6 y 7 se muestra el problema planteado, pues es evidente cómo en la década de los 90's (en pleno auge de la recuperación de la producción del fique) aumenta la producción de esta fibra y luego de esto, se observa cómo, tanto la cosecha como el aporte a la economía y la producción nacional, comienzan a disminuir poco a poco con el paso de los años, sin tener un aumento significativo. Sin embargo, hay que tener presente que en esta simulación no se adicionan hectáreas de tierra y no se cumple un ciclo completo de la cadena productiva, el cual es de 30 años.

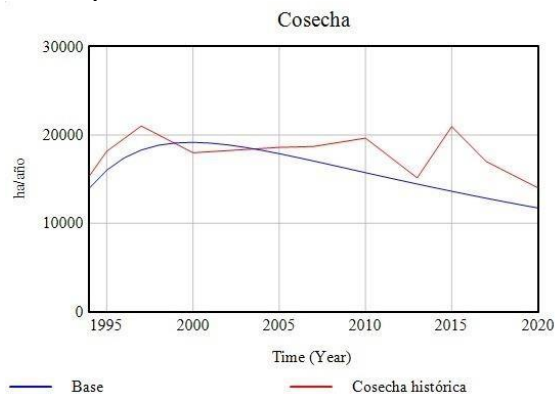


Fig. 5. Ajuste de los datos simulados a la cosecha histórica.

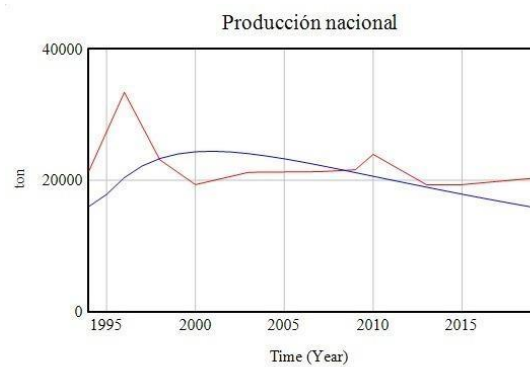


Fig. 6. Ajuste de los datos simulados a la producción histórica.

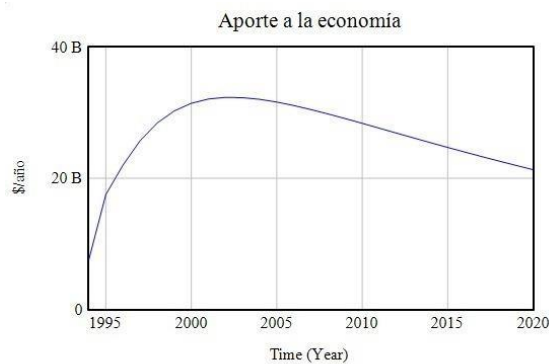


Fig. 7. Aporte a la economía simulada.

III. VALIDACIÓN

Para analizar tanto la consistencia estructural como comportamental del modelo planteado, se realizaron diferentes pruebas que permiten comprobar si el modelo es válido con base en su estructura y comportamiento.

Pruebas de estructura:

- **Consistencia dimensional:** se puede comprobar en la Tabla II que las ecuaciones de los niveles, flujos, variables y parámetros concuerdan con las unidades asignadas y resultantes de las ecuaciones formuladas. Además, estas ecuaciones y sus unidades se ajustan a la realidad del problema planteado.
- **Condiciones extremas:** Se realizaron dos simulaciones con situaciones extremas, es decir, con algunos valores iniciales o parámetros muy grandes o pequeños. La primera simulación se hizo con 10000000 hectáreas de tierra disponible (Fig. 8. Y Fig. 9.) y la segunda con un rendimiento del 0,07 ton/ha (Fig.10. y Fig.11.), respectivamente:

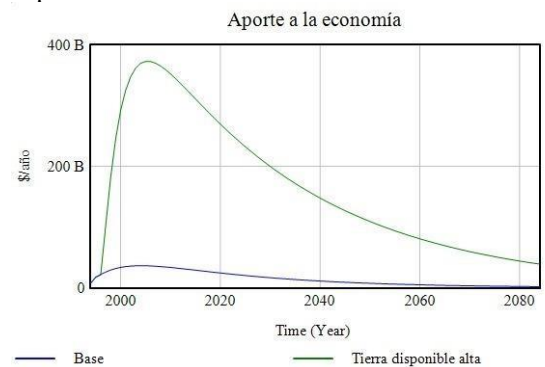


Fig. 8. Aporte a la economía con 10000000 hectáreas de tierra

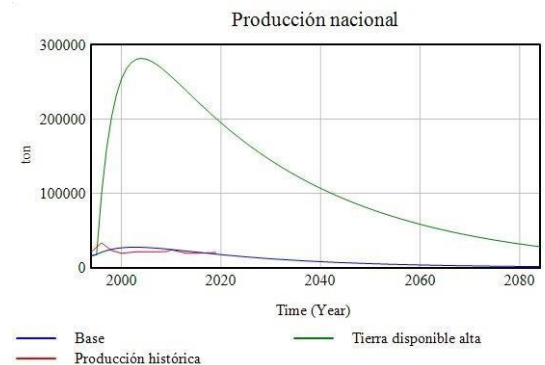


Fig. 9. Producción nacional con 10000000 hectáreas de tierra.

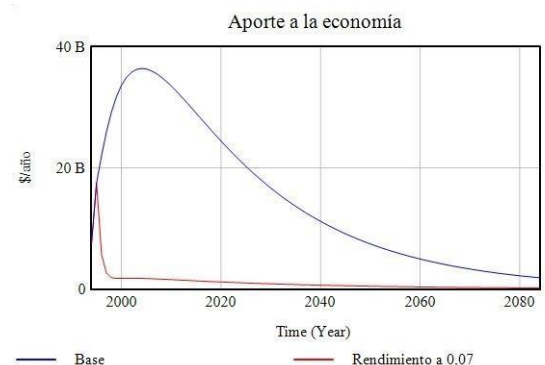


Fig. 10. Aporte a la economía con rendimiento del 0,07 ton/ha.

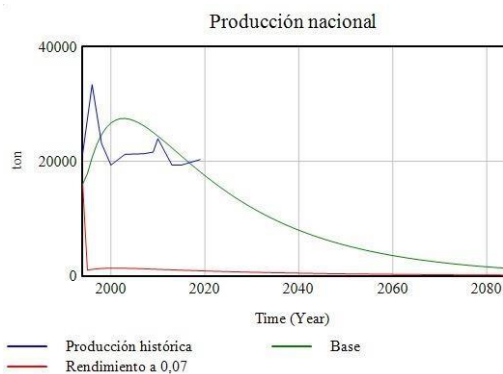


Fig. 10. Aporte a la economía con rendimiento del 0,07 ton/ha.

Con base en las gráficas anteriores, se puede afirmar que el modelo pasa las pruebas de condiciones extremas porque se esperaba que, al tener una cantidad muy grande de tierra disponible, la producción nacional fuese mayor al tener más cabuya para procesar y, por ende, se obtendría un mayor aporte a la economía respecto al caso base, como se evidencia en ambas gráficas. Adicionalmente, al tener un rendimiento inferior a 1, es decir, donde solo se puede aprovechar menos de 1 tonelada de fibra por cada hectárea cosechada (en este caso 750000 ha), es de esperarse que la producción nacional y el aporte a la economía caigan rápidamente hasta ser nulos, pues se está desaprovechando más del 96% de las plantas.

- **Tamaño de paso:** Se realizaron dos simulaciones con diferentes tamaños de paso. En las figuras 11 y 12 se observa cómo el modelo sigue teniendo una estructura consistente con un tamaño de paso pequeño (0,1), mientras que con un tamaño de paso más grande comienzan a notarse inconsistencias debido a que, al simular cada 2 años, se obtienen valores que oscilan alrededor de los valores reales, los cuales son simulados cada año. Con lo anterior se puede confirmar que entre más grande sea el tamaño de paso, mayor será la inconsistencia del modelo.

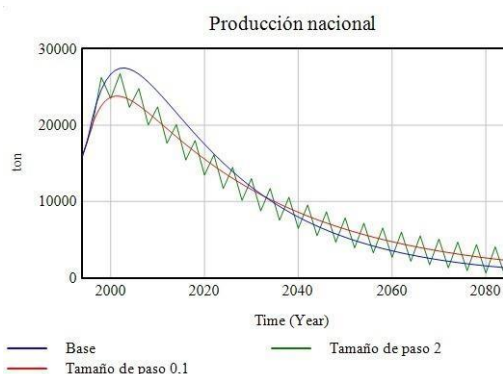


Fig. 11. Simulación de la producción nacional con diferentes tamaños de paso.

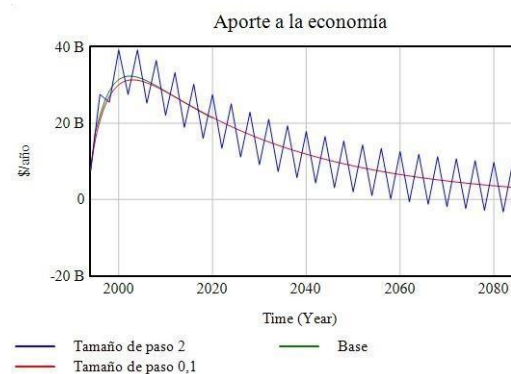


Fig. 11. Simulación del aporte a la economía con diferentes tamaños de paso.

- **Método de integración:** Se realizaron simulaciones cambiando el método de integración, ya sea por el método Euler o por RK4 (Fig.12 y Fig.13.). De esta prueba se puede concluir que el modelo es consistente, independientemente del método de integración que se emplee.

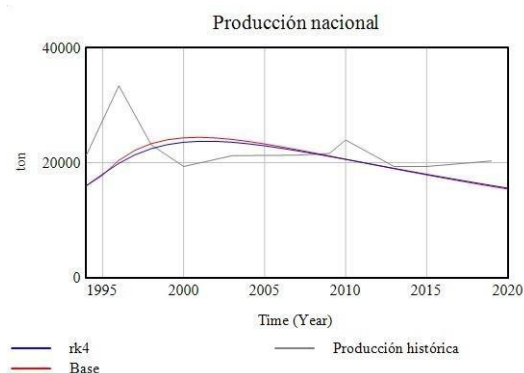


Fig. 12. Simulación de la producción nacional con el método de integración Euler(caso base) y RK4.

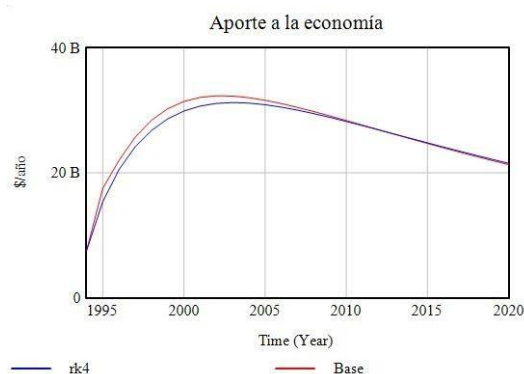


Fig. 13. Simulación del aporte a la economía con el método de integración Euler(caso base) y RK4.

Pruebas de comportamiento:

- **Análisis de sensibilidad:** Para realizar este análisis se cambiaron los valores de algunos parámetros del sistema, con el fin de mirar qué tan sensible es el modelo a los cambios y si la simulación resultante es coherente con dichos cambios. Se realizaron dos simulaciones: en la primera se aumentó la tasa de abandonos a un 50% (Fig. 14. Y 15.) y en la segunda, se disminuyó la tasa de cosecha a 0,01 (Fig. 16 y 17). Con estas simulaciones se probó que la tasa de

abandonos guarda una relación inversamente proporcional con la producción nacional y el aporte a la economía, pues al aumentar la tasa de abandonos, la cual representa el porcentaje de los cultivos que son abandonados por año, disminuyen la producción nacional y el aporte a la economía; lo anterior era de esperarse porque entre más cultivos se abandonen y se descuiden, es decir, se dejen morir, menos producción y por consiguiente aporte a la economía se tendrá.

Por otro lado, también se probó que, con una tasa de cosecha del 0,01, se obtendrá una caída en la producción y, por tanto, en el aporte a la economía, lo cual tiene sentido debido a que, si se cosecha entre períodos de tiempo muy largos y teniendo en cuenta los retardos del sistema, no se alcanza a suplir la demanda y, por ende, se tienen pérdidas tanto materiales como económicas.

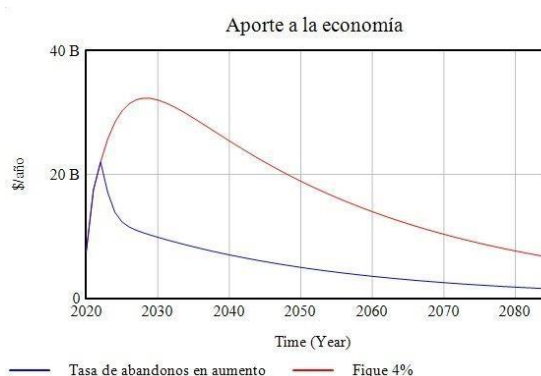


Fig. 14. Análisis de sensibilidad del aporte a la economía con una tasa de abandonos del 50%.

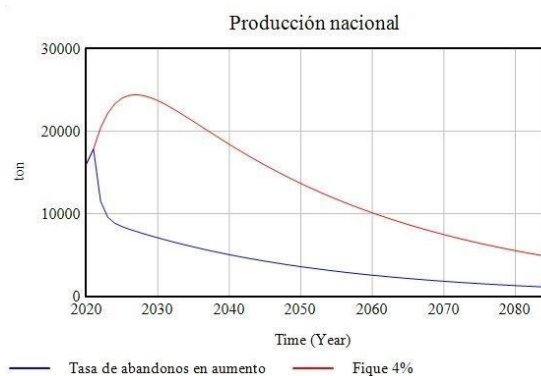


Fig. 15. Análisis de sensibilidad de la producción nacional con una tasa de abandonos del 50%.

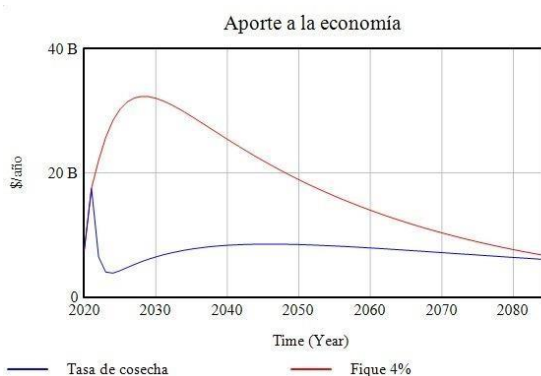


Fig. 16. Análisis de sensibilidad del aporte a la economía con una tasa de cosecha del 0,01.

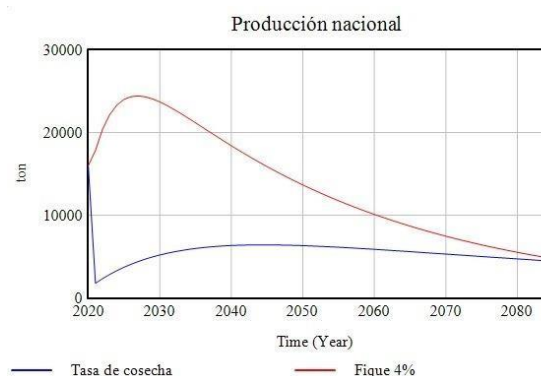


Fig. 17. Análisis de sensibilidad de la producción nacional con una tasa de cosecha del 0,01.

IV. POLÍTICAS Y SU IMPLEMENTACIÓN

Para cumplir con el propósito del modelo y del proyecto en general, el cual es modelar la dinámica de producción de fique en Colombia y analizar su comportamiento, susceptibilidad y relación con los factores que bloquean su participación en el mercado, para determinar y evaluar la eficiencia de políticas que contribuyan a la productividad del fique en el país, se establecen 2 políticas diferentes en pro del cumplimiento del objetivo, para posteriormente analizar cuál es la más conveniente de acuerdo a la realidad comercial del producto y el país. Es preciso mencionar que estas políticas se simularan a partir del 2020 para una mejor visualización del impacto de estas en el tiempo.

- **Política 1: Aumento del rendimiento del fique.**

La política 1 consiste en el aumento del rendimiento del fique, es decir, pasar de 1,275 ton/ha a 5 ton/ha. En otras palabras, con esta política se pretende que el aprovechamiento de la fibra sea de 5 toneladas por hectárea cosechada para conseguir aumentar significativamente la producción nacional en años futuros y, en consecuencia, el aporte a la economía resultante. Ahora bien, el aporte a la economía que se realiza en la producción de fique es el 38% de las ganancias, porcentaje que se invierte en los costos de maquinaria, mantenimiento de cultivos, mano de obra, entre otros y es por ello por lo que, al aumentar la rentabilidad y el mercado del fique ampliando su rendimiento, se está contribuyendo a la economía nacional con la generación de empleo y el apoyo a otras industrias colombianas, lo cual trae consigo un incremento en la colaboración económica al país.

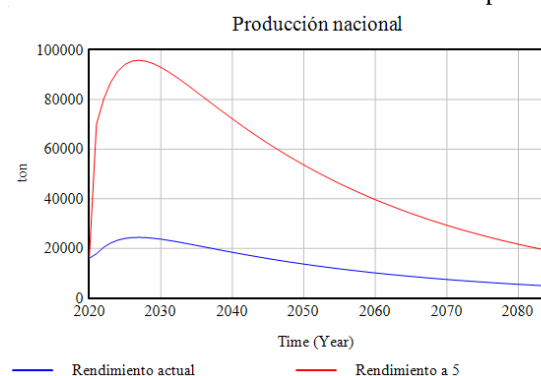


Fig. 18. Comportamiento de la producción nacional aplicando la política 1 (línea roja) y del caso base (línea azul).

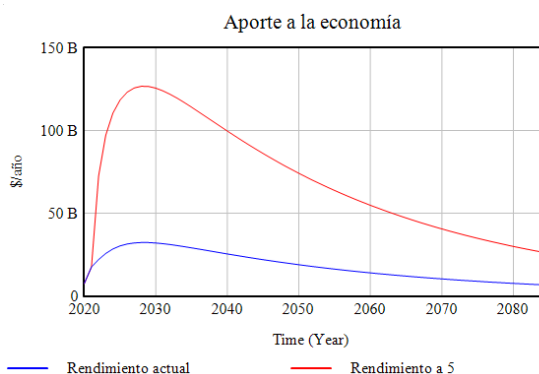


Fig. 19. Comportamiento del aporte a la economía aplicando la política 1 (línea roja) y del caso base (línea azul).

De acuerdo con las gráficas anteriores, es visible cómo al aumentar el rendimiento a 5 ton/ha se consigue un aporte a la economía 100 billones de pesos mayor que en el caso base, por ello esta política resulta siendo viable.

Una manera de implementar esta política es desarrollando nuevas tecnologías que apoyen los procesos implicados desde la siembra hasta la cosecha de forma más eficiente, puesto que procesos como el desfibrado se realizan de forma manual y, al hacerlo de este modo, se desperdicia gran cantidad de fibra al no extraerla minuciosamente y delicadamente. Por tanto, al obtener la cantidad de fibra máxima de cada planta, se puede lograr aumentar este rendimiento de modo relevante para la industria y el país.

- **Política 2: aprovechamiento del 100% de la planta de fique.**

La política 2 consiste en el aprovechamiento del 100% de la planta de fique ya que, como se mencionó en párrafos anteriores, de esta se extrae solamente el 4% (cabuya) y se desperdicia el 96% restante (jugos y bagazo). Para implementar esta política en el modelo, se crea un flujo de entrada a la producción nacional llamado beneficio bagazo y un flujo de salida de este llamado venta de ecoproductos (productos realizados a partir de los residuos del fique). Adicionalmente, se crea dos variables: tasa ecoproductos y rendimiento bagazo. En la Tabla III, se pueden apreciar sus ecuaciones y unidades respectivas.

TABLA III
NUEVAS ECUACIONES CON SUS RESPECTIVAS UNIDADES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA 2

Tipo	Nombre	Unidad	Ecuación
Parámetro	RB Rendimiento bagazo	ton/ha	5.4
Flujo	BB Beneficio bagazo	ton/año	$CS \cdot RB$
Nivel	PN Producción nacional	ton	$d/dt = P + BB - FI - FA - E - VEC$ $d(0) = 16000$
Parámetro	TEC Tasa ecoproductos	1/año	0.5
Flujo	IN Ingresos	\$/año	$[(FA + FI \cdot VEC) \cdot PV] + (E \cdot PE)$
Flujo	VEC Ventas ecoproductos	ton/año	$PN \cdot TEC$

Es importante aclarar que el rendimiento del bagazo representa el aprovechamiento del bagazo en toneladas por cada hectárea cosechada, el beneficio del bagazo representa las toneladas por año que se pueden extraer de la cosecha, la venta de ecoproductos hace referencia a las toneladas de la producción

nacional que se venden en ecoproductos por año y la tasa de ecoproductos es el porcentaje de venta de estos por año.

Luego de aplicar esta política con base en las ecuaciones y unidades propuestas, se obtiene que el comportamiento de la producción del 100% de la planta de fique es cómo se muestra en las figuras 20 y 21.

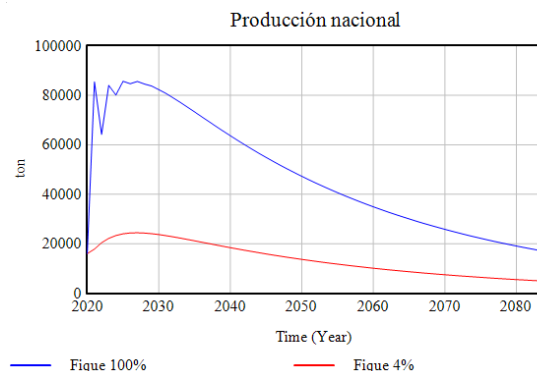


Fig. 20. Comportamiento de la producción nacional aplicando la política 2 (línea azul) y del caso base (línea roja).

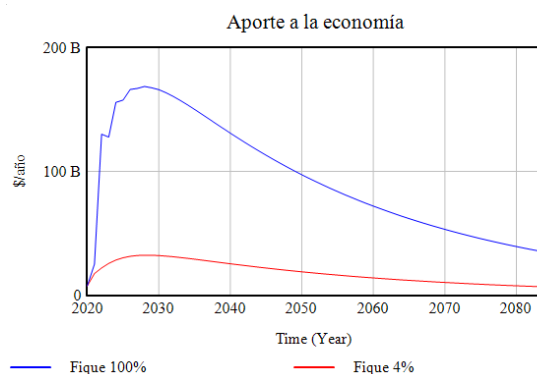


Fig. 21. Comportamiento del aporte a la economía aplicando la política 2 (línea azul) y del caso base (línea roja).

Teniendo en cuenta las gráficas anteriores, se puede afirmar que la implementación de esta política resulta incluso más viable que la política 1 para fines del modelo, pues el aporte a la economía colombiana es mayor con la implementación de esta política que con la anterior (por ejemplo, observe el año 2040, donde con la política 1 se obtiene un aporte de 100 billones de pesos, mientras que con la política 2 para este mismo año, se consigue un aporte de 130 billones de pesos aproximadamente).

También, es preciso recordar que la manera de implementar esta política es con la fabricación de ecoproductos tales como jabones, shampoo, fertilizantes, limpia vidrios, etc. Además, otra ventaja de la fabricación y compra venta de estos productos es que resultan ser amigables con el ambiente, por tanto, se contribuye y se impacta positivamente en el medio ambiente.

Otra manera de aplicar esta medida es la creación de políticas gubernamentales que favorezcan el uso total de la planta de fique, por ejemplo, la visibilización a nivel nacional e internacional de las ventajas de los productos obtenidos de esta planta. Asimismo, se puede crear una política que contribuya al crecimiento de los terrenos disponibles para los cultivos de fique, ya que actualmente el gobierno tiene estipulada una cantidad fija de estos (razón por la cual en las simulaciones la tierra disponible no aumenta, si no que disminuye). Así, entre

más terreno se tenga para cultivar, mayores serán los beneficios que en general trae este cultivo y la aplicación de las políticas propuestas.

Finalmente, con base en el problema y soluciones presentadas hasta el momento, se puede concluir que el cultivo del fique es una alternativa que apunta hacia el desarrollo económico del país, tanto a nivel nacional como internacional. Por ello, se debería explotar al máximo el potencial de esta planta y más en un país como Colombia que se destaca como un país agro y que cuenta con las condiciones climáticas y geográficas para hacerlo.

REFERENCIAS

- [1] Moreno Luceli, D. and Bustamante Echeverri, T., 2018. El fique y su potencial en el diseño de vestuario. Pregrado. Universidad Pontificia Bolivariana.
- [2] Cadena Productiva Nacional del Fique. 2012. *ACUERDO SECTORIAL DE COMPETITIVIDAD DEL FIQUE 2010 - 2025*. n/a.
- [3] S. Acosta Moreno et al., 2013. Estudio de Caracterización del Sector Agropecuario en Colombia [online]. Available at: <https://hdl.handle.net/11404/2164>
- [4] Álvarez, C., 2021. *Ciencia al Día*. [online] Aupec.univalle.edu.co Available at: <https://aupec.univalle.edu.co/informes/mayo97/boletin37/fique.html>
- [5] El Fique, Recuperando una Tradicion. 2020. [video] Directed by J. Angel Restrepo. Colombia.
- [6] L. Zamosc, Fique y los empaques en Colombia. Mariano Ospina Pérez, 1981.[online]. Available at: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/28459>
- [7] Minagricultura, 2018. Cadena del fique y agroindustria. Bogotá. [online]. Available at: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Fique/Documentos/2018-11-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [8] Minagricultura, 2020. Cadena Agroindustrial del Fique. Bogotá. [online]. Available at: <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S3665-Reuni%C3%B3n%20SENA%20junio%202020.pdf#search=producci%C3%B3n%20de%20fique%202020>
- [9] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2003. Anuario estadístico del sector agropecuario y pesquero 2002. Bogotá. [online]. Available at: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6176>
- [10] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 1990. Anuario: estadísticos del sector agropecuario 1990. Bogotá. [online]. Available at: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6098>
- [11] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 1980. Cifras del sector agropecuario 1980: 1a. parte agrícolas. Bogotá. [online] Available at: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/6153>
- [12] Federación Nacional de Arroceros, 1979. La importancia de la planeación integral en el sector agropecuario: Enseñanzas de la gran crisis en el mercado del fique y de los empaques. Bogotá: León Zamosc.
- [13] *Guía ambiental del subsector fiquero*. Bogotá: Cadena Productiva Nacional del Fique, 2006.
- [14] M. R. González Velásquez. "Fique en Colombia". :: Fondo Editorial ITM :: <https://fondoeditorial.itm.edu.co/libros-electronicos/Fique-en-colombia/mobile/index.html#p=2>