

Posada Contreras, Claudia

Criterios de análisis económico y estadístico para la toma de decisiones administrativas en la producción de caña de azúcar y sus derivados / Claudia Posada Contreras; Carlos Arturo Moreno Gil; Héctor Alberto Chica Ramírez. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed.) -- Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2023.

28 p. (Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-8449-27-2

- 1. Caña de azúcar. 2. Agroindustria. 3. Análisis económico. 4. Análisis estadístico. 5. Análisis financiero. 6. Variedades. 7. Productividad.
- I. Moreno Gil, Carlos Arturo. II. Chica Ramírez, Héctor Alberto. III. Título. IV. Agroindustria de la caña en Colombia

633.61 CDD 23 ed.

P855

Cenicaña - Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Cenicaña © 2023

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Calle 38 norte No. 3CN-75. Cali, Valle del Cauca, Colombia
Estación experimental: San Antonio de los Caballeros, vía Cali-Florida km 26
www.cenicana.org

Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial: Victoria Carrillo C. Corrección de textos: Ernesto Fernández R.

Diseño e ilustración: Alcira Arias V.

Cita bibliográfica

Posada Contreras, C., Moreno Gil, C. A. & Chica Ramírez, H. A. (2023). Criterios de análisis económico y estadístico para la toma de decisiones administrativas en la producción de caña de azúcar y sus derivados. En: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Ed). Agroindustria de la caña de azúcar en Colombia. Cenicaña. https://www.cenicana.org/coleccion-agroindustria-de-la-cana-de-azucar/

Criterios de análisis económico y estadístico

para la toma de decisiones administrativas en la producción de caña de azúcar y sus derivados

Claudia Posada Contreras

Carlos Arturo Moreno Gil

Héctor Alberto Chica Ramírez











Estratos de productividad de la agroindustria de la caña de azúcar en el valle del río Cauca

Para los análisis que involucran las toneladas de caña por hectárea y el rendimiento comercial en azúcar se buscó establecer niveles de productividad de la industria azucarera por grupos o estratos, concepto que recoge su comportamiento histórico y permite clasificar las suertes cosechadas en tres niveles: productividad baja, productividad media y productividad alta con respecto a su potencial, conocimiento vital para la evaluación de las medidas a tomar, su seguimiento y apoyo. Concretamente se evidenció con ello que deben aumentarse los controles y aunar esfuerzos para disminuir las áreas que fueron clasificadas en niveles de productividad medios a bajos, e intentar llevarlas a un nivel de productividad alto para mejorar su rentabilidad.

Caracterización de los estratos de productividad

Con los datos comerciales suministrados por trece ingenios azucareros del valle del río Cauca entre enero de 2010 y marzo de 2020 se caracterizó la productividad en grupos a partir del tonelaje de caña por hectárea (TCH) y el rendimiento (RTO.). Para ambos indicadores y por ingenio se procedió a calcular los terciles¹ y se definieron nueve estratos de productividad (Cuadro 1), que resultan de la combinación de los grupos de alto,

medio y bajo TCH con los grupos equivalentes para RTO., por esta razón resultan 9 grupos (altos, medios y bajos TCH con altos, medios y bajos rendimientos).

Área

De acuerdo con el área cosechada en el período de observación (2010-2020 marzo), los estratos contrastantes (alto-alto y bajo-bajo) corresponden al 8% y 10% del área, respectivamente. El 33% del área presenta alto TCH y el 32%, alto rendimiento. El antagonismo entre TCH y rendimiento se manifiesta en el 28% del área, con un 15% para zonas de alto TCH y bajo rendimiento y otro 13% donde sucede lo contrario (Figura 1).



Figura 1. Distribución porcentual del área cosechada por grupo de productividad.

Cuadro 1. Descripción y nomenclatura de estratos o grupos de productividad (2010-2020 marzo).

TCH	RTO.	Estrato*	TCH	RTO.	Estrato*	TCH	RTO.	Estrato*
Alto	Alto	AA	Medio	Alto	MA	Bajo	Alto	ВА
Alto	Medio	AM	Medio	Medio	MM	Bajo	Medio	BM
Alto	Bajo	AB	Medio	Bajo	MB	Bajo	Bajo	BB

^{*} Nomenclatura de lectura en el orden TCH-RTO.

^{1.} Cada uno de los dos puntos que dividen una distribución ordenada de datos en tres partes, cada una de las cuales contiene el 33.33% de la información.

Tonelaje y rendimiento

Vistos de una manera amplia, los TCH promedio para los estratos alto, medio y bajo de este indicador fueron, respectivamente, 144, 116 y 87. Asimismo, los rendimientos promedio fueron 12.5, 11.3 y 10 unidades porcentuales (Figura 2).

La relación antagónica entre TCH y rendimiento se observa claramente en los tres estratos de rendimiento bajo, medio y alto, que mantienen alto el TCH. En este caso la diferencia entre el estrato de rendimiento bajo y el estrato de rendimiento alto fue en TCH (Figura 3). En los grupos de bajo TCH sucede lo contrario, es decir, el estrato de menor rendimiento también es el de menor TCH. Productividades tan bajas se asocian por lo general con situaciones anómalas como edades muy tempranas de cosecha y suertes con eventos como incendios, que afectan marcadamente procesos esenciales como la fotosíntesis e impiden a las plantas producir sacarosa y utilizarla para crecer.

Los indicadores de cronoproductividad, como las toneladas de caña y azúcar por hectárea y mes (TCHM y TAHM), de la Figura 4, permiten establecer el hecho de que el azúcar producido (como volumen de producción) está afectado negativamente por los valores de TCH.

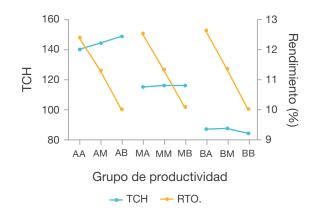


Figura 3. TCH y rendimiento por grupo de productividad.

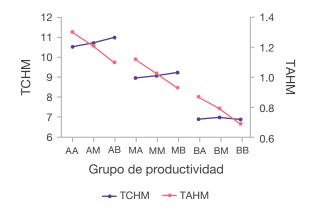
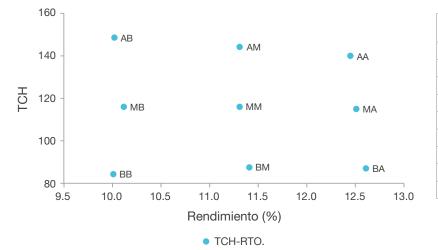


Figura 4. TCHM y TAHM por grupo de productividad.



тсн	RTO. (%)
140	12.4
149	10.0
144	11.3
87	12.6
84	10.0
88	11.4
115	12.5
116	10.1
116	11.3
	140 149 144 87 84 88 115

Figura 2. Valores de TCH y rendimiento de los nueve grupos de productividad.



Factores y productividad

Entre los muchos factores que influyen en la productividad de la caña de azúcar se analizaron grosso modo para este caso la variedad, la edad de cosecha, el número de corte y la época de cosecha (Figuras 5 y 6).

La Figura 5 muestra que en los estratos de altos tonelajes la variedad CC 01-1940 tiene la mayor participación en el área cosechada (entre 21% y 27%), mientras que en los estratos de medios y bajos tonelajes su participación está entre 10% y 14%. Por su parte, CC 85-92 mostró la mayor participación de área cosechada en los estratos de medios a bajos tonelajes.

En la Figura 6A se observa que en los estratos de altos tonelajes se encuentran las mayores participaciones de edades altas de cosecha, en contraste con los estratos de bajos tonelajes. La Figura 6B muestra el área cosechada de cada estrato, diferenciando porcentualmente qué fracción corresponde a plantillas, cuál co-

rresponde a primera y segunda socas y cuál a la tercera soca en adelante. Hay una total coincidencia en el hecho de que los estratos de alto TCH tienen a su vez la mayor área en plantillas y la menor área en cultivos con más de tres cortes. Los medios y bajos TCH se asocian con una mayor área en terceras o más socas a costa de áreas en segundos cortes. Es decir, no todo el efecto es de las plantillas.

En cuanto al rendimiento, es bien sabido que los mayores valores se dan en septiembre, debido a las condiciones propicias de la segunda temporada seca y de las bajas temperaturas nocturnas comunes en julio y agosto. La Figura 6C muestra cómo los tres estratos de alto rendimiento (sin importar si el TCH fue bajo, medio o alto) coinciden con una mayor área cosechada en el tercer trimestre del año (37%, 39% y 45%, respectivamente). Así mismo, los estratos de bajo rendimiento coinciden con una mayor área cosechada en el segundo trimestre, asociado a la primera temporada de lluvias y a menores temperaturas nocturnas.

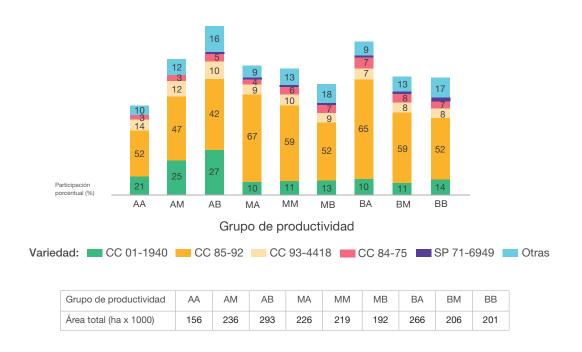


Figura 5. Participación porcentual de las variedades en el área total cosechada por grupo de productividad, hectáreas acumuladas en el período 2010-2020 marzo.

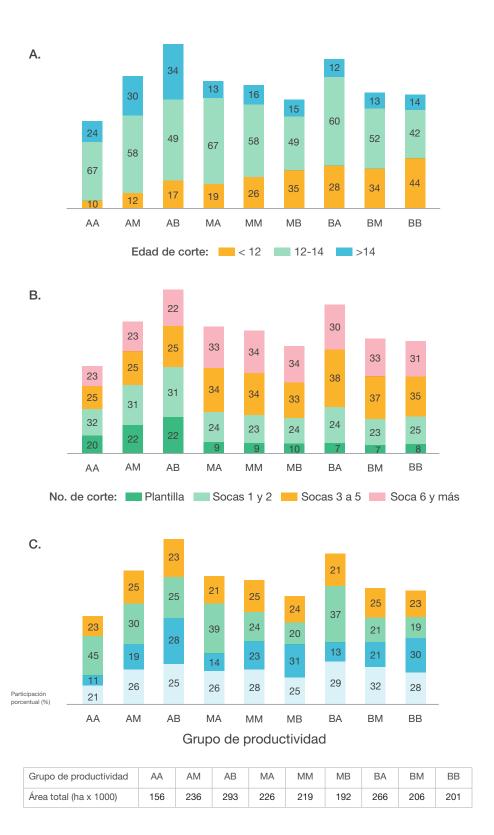


Figura 6. Participación porcentual de los factores edad de corte (A), número de corte (B) y trimestre (C) en el área total cosechada por grupo de productividad, hectáreas acumuladas en el período 2010-2020 marzo.



Resultados económicos de la estratificación

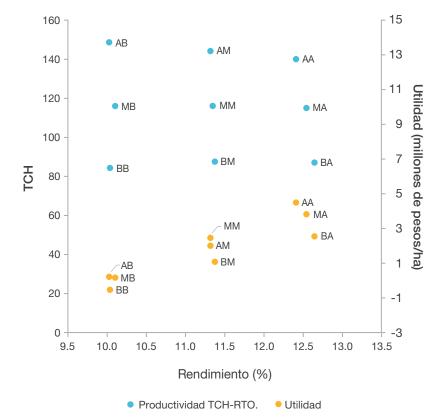
El objetivo de este análisis, que busca evaluar la gestión del sector no solo desde el punto de vista agronómico sino del económico, es aumentar la utilidad por hectárea, lo que implica optimizar el uso de los factores de productividad para lograr unos costos de producción por hectárea que generen los mayores ingresos y con ello aumentar los retornos para el inversionista. En consecuencia, para el modelo de rentabilidad es indispensable tener en cuenta los costos causados por cada suerte en el ciclo vegetativo del cultivo, para obtener resultados de rentabilidad reales. A continuación, se exponen los supuestos del modelo de simulación elaborado en Excel®, a partir de los resultados de productividad de la suerte y de los indicadores de gestión de la fábrica, dado que en nuestros registros no disponemos de esa información.

Se consideró cada uno de los nueve grupos de la estratificación, y a partir de estos elementos (valores económicos, productividad y gestión) se estimaron los valores promedio de la utilidad antes de gastos financieros e impuestos. Para este cálculo se presumió que el sector se comporta como un solo ingenio que produce y vende azúcar, etanol, energía y bagazo, y cuyos ingresos por tal concepto están representados así: azúcar, 67%; etanol, 31%; energía, 2% y bagazo, 1%. Se supuso, igualmente, que los costos de campo representan un 53%; los de la cosecha, 23%; los de la fábrica, 21% y los administrativos, de comercialización y ventas, el 3% del costo total de producción. Con este enfoque cuantitativo, al producto azúcar se le carga el costo total de la materia prima (caña) y de la cosecha y la mayoría del de la fábrica, hasta el punto en que se desvía la producción de azúcar hacia la de etanol y la cogeneración. Por esta razón, para establecer los costos de energía y alcohol se consideran solo los costos marginales o adicionales que demanda su producción. En el futuro, para mayor precisión de este ejercicio de costos se tendrán que distribuir también los del campo, los de la cosecha y los de la fábrica en todos los productos y subproductos del proceso, lo que podría hacerse con indicadores de los efectivos consumos en cada uno de ellos. Para efectos de este análisis, estos costos marginales representan el 30% y 9% del valor de venta del producto final (energía y etanol, respectivamente).

La composición de tenencia de las suertes cosechadas para el período analizado (2010 a 2020 marzo) es la siguiente: 17%, tierras propias; 6%, arrendadas; 16%, en participación; y 61%, de proveeduría. Esta composición se mantiene en cada grupo de estratificación. Las tierras propias fueron asimiladas a las arrendadas, pues se les cargó un canon de arrendamiento por el mismo valor, como el costo de oportunidad que le representa al ingenio disponer de ellas para la producción.

En la Figura 7 se pueden observar las utilidades estimadas con el modelo económico (millones de pesos por hectárea) durante el período en análisis. El estrato con los mejores resultados es el AA (altos tonelajes y altos rendimientos); en segundo lugar, está el estrato MA (medianos tonelajes y altos rendimientos) y por último el grupo BA (bajos tonelajes y altos rendimientos). Los grupos menos deseables por los menores resultados en utilidad son los BB, MB y AB (bajos tonelajes y bajos rendimientos, medianos tonelajes y bajos rendimientos y altos tonelajes y bajos rendimientos). Vale la pena recordar que estos grupos, en contraste con los primeros, se asocian con altos cortes, con épocas de cosecha diferentes a las óptimas para el rendimiento y con una composición varietal diferente a la de los grupos mejores (ver figuras 5 y 6).

> El objetivo de este análisis, que busca evaluar la gestión del sector no solo desde el punto de vista agronómico sino del económico, es aumentar la utilidad por hectárea.



l a)

Figura 7. Resultados productivos y económicos de los grupos estratificados.

Precio azúcar \$/kilo: 1400; costo de fábrica \$/tonelada de caña molida: 32,000; costo de campo \$/ha: 4.5 millones; costo de cosecha \$/tonelada de caña: 37,000; canon arrendamiento por mes: 117 kilos de azúcar/ha neta; pago participación: 23 kilos de azúcar/tonelada de caña: pago proveeduría: 58 kilos de azúcar/tonelada de caña.

Esta estratificación pretende ser una herramienta de apoyo para mejorar las utilidades del sector. Cabe mencionar que estos valores no solo cambian por la distribución de los indicadores de productividad, sino que también son modulados por la composición de la tenencia de la tierra, porque esto representa un costo adicional para la suerte.

Los márgenes operacionales, es decir, la proporción entre la utilidad y los ingresos, oscilan entre 10% y 30% en los grupos de productividad. Esto permite visualizar una oportunidad para alcanzar los potenciales de productividad dentro de cada estrato y migrar hacia estratos superiores, aprovechando la tecnología que Cenicaña ofrece.

Para aquellas suertes que resultaron con un nivel de productividad bajo y medio con respecto a su potencial, se sugiere estudiar la historia de las labores consignadas en sus registros, con el fin de identificar aquellas que no se realizaron en el momento oportuno o, definitivamente, no se realizaron, y aquellas cuya calidad de ejecución no fue la mejor. Lo anterior redundará tanto en la optimización como en la oportunidad y la calidad de las labores en campo y cosecha.



Productividad y utilidad de algunas variedades por ambientes

Este tipo de análisis permite a la agroindustria evaluar alternativas varietales en diferentes escenarios (en este caso para tres ambientes) de acuerdo con los objetivos de productividad y utilidad. Con base en registros de datos comerciales correspondientes al período 2013 a 2020, se realizó un análisis comparativo entre las variedades y la variedad más cultivada en cada uno de los ambientes: CC 85-92.

Condiciones del análisis

- Metodología: modelos lineales generales para las variables toneladas de azúcar por hectárea (TAH) y utilidad (\$/ha).
- Comparación múltiple de promedios de Dunnett con un testigo.
- Covariable: edad y número de corte.
- Límites de decisión del 80% de confianza.
 Representados en la gráfica por la zona sombreada con sus límites superior e inferior, que se hace mayor o menor según el número de eventos de cosecha que cada variedad tiene en el ambiente. La variedad testigo (CC 85-92) se representa con la línea horizontal.
- Índice de utilidad: tomando como base los resultados de utilidad de la CC 85-92.
- TAH de la variedad CC 85-92: en piedemonte, 11.92; en seco-semiseco, 13.12 y en húmedo, 11.92.
- Precio del azúcar \$/kilo: 1400.
- Costo de fábrica \$/tonelada de caña: 32,000.
- Costo de campo \$/ha: 4.5 millones.
- Costo de cosecha \$/tonelada de caña: 37,000.
- Canon de arrendamiento por mes: 117 kilos de azúcar/ha neta.
- Pago participación: 23 kilos de azúcar/tonelada de caña.
- Pago proveeduría: 58 kilos de azúcar/tonelada de caña.

Resultados

El análisis reveló que en piedemonte las variedades CC 01-678, CC 01-1940, CC 98-72 y CC 93-4418 superan significativamente en TAH a CC 85-92. La variedad CC 01-1940 muestra una pequeña amplitud en sus límites de decisión porque tiene muchos más eventos de cosecha (1590 eventos) que CC 01-678 (27 eventos) o CC 93-7711 (2 eventos). En seco-semiseco las variedades que superaron significativamente al testigo en TAH fueron CC 01-1940, CC 01-678, CC 01-746, CC 05-430, CC 98-72 y CC 93-4418; y en húmedo fueron superiores CC 01-1940, CC 01-678, CC 01-678, CC 01-746, CC 05-430 y CC 93-4418 (Figura 8).

Con respecto a los índices de utilidad (Cuadro 2), se observó que en piedemonte las variedades CC 01-678, CC 01-746, CC 98-72, CC 01-1940 y CC 93-4418 superaron significativamente a CC 85-92, con valores que fluctuaron entre 121 y 353, lo que representa entre 21% y 253% por encima del testigo.

En el ambiente seco-semiseco las variedades que superaron significativamente al testigo fueron CC 00-3771, CC 01-1940, CC 01-678, CC 01-746, CC 05-430, CC 11-600, CC 93-4418, CC 93-7711 y CC 98-72, con valores entre 125 y 291, es decir, utilidades adicionales entre 25% y 191% con respecto a CC 85-92.

En el ambiente húmedo las variedades CC 01-746, CC 01-678, CC 01-1940, CC 05-430, CC 98-72 y CC 93-4418 registraron utilidades altamente significativas frente a CC 85-92, con valores entre 146 y 455, lo que representa desde 46% hasta 355% más que el testigo.

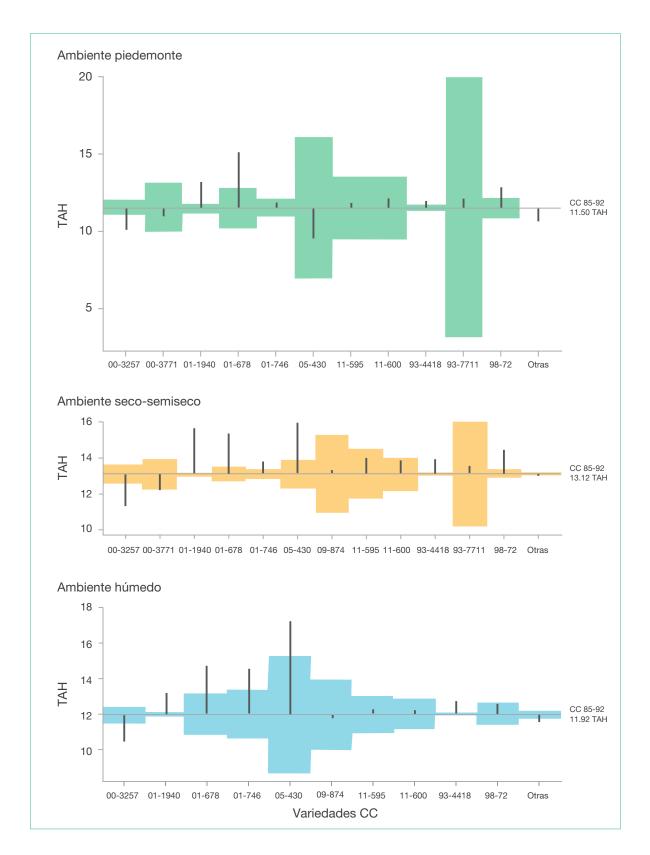


Figura 8. Estimación del tonelaje de azúcar por hectárea (TAH) de diferentes variedades por ambiente (2013 - 2020).



Cuadro 2. Índice de utilidad por variedad y ambiente, y distribución porcentual del área cosechada por tipo de tenencia (2013-2020).

			Área cosechada por tenencia (%)					
Ambiente	Variedad	Índice_utilidad CC 85-92 =100	Propia	Arrendada	Participación	Proveeduría		
	CC 01-678 *	353	73	16	0	11		
	CC 01-746 *	225	84	0	11	5		
	CC 98-72 *	220	41	25	26	7		
	CC 00-3771	159	67	0	22	11		
	CC 93-4418 *	136	18	13	32	36		
Piedemonte	CC 01-1940 *	121	16	18	24	42		
Pledemonte	CC 11-600	106	0	82	12	0		
	CC 85-92	100	17	8	17	58		
	OTRAS	80	22	16	29	33		
	CC 11-595	55	0	80	0	20		
	CC 00-3257	45	35	42	6	17		
	CC 05-430	23	79	0	0	21		
	CC 93-7711 *	291	100	0	0	0		
	CC 01-678 *	242	49	2	20	29		
	CC 98-72 *	214	58	1	15	26		
	CC 01-746 *	205	60	0	21	19		
	CC 05-430 *	176	64	0	16	20		
	CC 11-600 *	167	49	17	16	17		
Seco-	CC 00-3771 *	160	68	1	15	16		
semiseco	CC 11-595	156	33	1	65	1		
	CC 09-874	138	27	9	59	4		
	CC 93-4418 *	126	20	1	27	52		
	CC 01-1940 *	125	18	4	20	58		
	OTRAS	108	28	4	21	48		
	CC 85-92	100	15	2	17	65		
	CC 00-3257	91	43	21	26	10		
	CC 05-430 *	455	74	20	0	6		
	CC 01-678 *	350	65	1	8	26		
	CC 01-746 *	264	19	10	70	0		
	CC 09-874	184	25	54	8	14		
	CC 93-4418 *	153	29	6	22	42		
<u> </u>	CC 01-1940 *	151	22	16	19	43		
Húmedo	CC 98-72 *	146	37	1	24	37		
	CC 11-600	142	26	45	11	18		
	CC 11-595	109	38	4	29	28		
	CC 85-92	100	15	10	15	61		
	CC 00-3257	100	57	4	27	12		
	OTRAS	95	23	15	20	42		

^{*} Variedades que estadísticamente muestran diferencias significativas con respecto al testigo.

Expectativas de productividad

En dos ambientes

Usualmente, la productividad en el ambiente seco-semiseco ha sido superior a la obtenida en en el ambiente húmedo. Así las cosas, uno de los grandes retos que tenemos es contribuir a mejorar la productividad en el ambiente húmedo.

Con el propósito de contar con información que respalde ese objetivo, se realizó un análisis para conocer el efecto que en la productividad de una variedad tiene el ambiente para el cual fue desarrollada, y se halló que la probabilidad de obtener valores superiores de toneladas de azúcar por hectárea y mes (TAHM) es menor en las zonas húmedas que en las secas-semisecas. Sin embargo, esa probabilidad ha venido incrementándose con las variedades nuevas.

Para el análisis en cuestión se caracterizó la función de distribución acumulada de las TAHM en dos períodos y escenarios:

- Período 2006-2010: variedad CC 85-92, cinco cortes, en los ambientes húmedo y seco-semiseco. En este período CC 85-92 alcanzó su mayor área cosechada en ambos ambientes.
- Período 2011-2016: variedad CC 85-92, cinco cortes, en ambiente seco-semiseco; y variedad CC 01-1940, cinco cortes, en ambiente húmedo. En este período CC 01-1940 empezó a ser adoptada.

En el período 2006-2010 la probabilidad de obtener TAHM por encima de cualquier valor fue siempre mayor o igual en el ambiente secosemiseco comparado con el ambiente húmedo; en particular, la posibilidad de obtener TAHM mayores que 1 fue de 0.69 en ambiente seco-

semiseco y 0.46 en ambiente húmedo con CC 85-92. Esto muestra que para esta variedad el ambiente seco-semiseco es más eficiente en riesgo para producir TAHM que el ambiente húmedo (Figura 9A).

Asimismo, en el periodo 2011-2016 en el ambiente húmedo sembrado con CC 01-1940 la probabilidad de obtener TAHM por encima de cualquier valor fue siempre mayor o igual que la probabilidad de obtener TAHM en el ambiente seco-semiseco con CC 85-92. Concretamente, la posibilidad de obtener TAHM mayores que 1 en húmedo fue de 0.66 para CC 01-1940 y de 0.55 en seco-semiseco para CC 85-92 (Figura 9B).

Estos resultados evidenciaron que las zonas de ambiente húmedo sembradas con una variedad para esa condición pueden ser más eficientes en riesgo que las zonas secas-semisecas con la variedad tradicional.





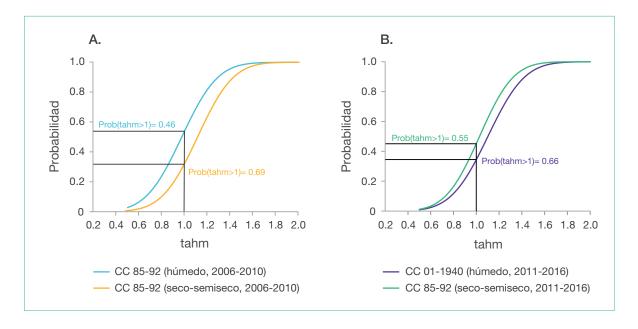


Figura 9. Función de distribución acumulada del tonelaje de azúcar por hectárea y mes (TAHM) en el período 2006-2010 con CC 85-92 en ambientes húmedo y seco-semiseco (A) y en el período 2011-2016 con CC 01-1940 en ambiente húmedo y con CC 85-92 en ambiente seco-semiseco (B).

Con un "abanico" de variedades de un ingenio

La siembra de diferentes variedades representa una ventaja para la agroindustria azucarera porque reduce los riesgos de aparición de enfermedades o plagas. Sin embargo, para que un ingenio amplíe sus opciones de siembra debe contar con un abanico varietal más eficiente en riesgo de producción que la variedad testigo.

En este sentido, se realizó un análisis varietal con base en los registros de información comercial para un ingenio de la zona centro del valle del río Cauca en el período 2010-2016. Al respecto, se utilizaron datos de los primeros tres cortes de un abanico varietal compuesto por las ocho variedades más cultivadas por el ingenio (CC 01-1228, CC 01-1940, CC 92-2804, CC 93-4181, CC 93-4418, CC 97-7170, CC 98-72 y CC 85-92) y se caracterizó la función de distribución acumulada de los indicadores de productividad TCHM y TAHM.

Hecho el ejercicio, la función de distribución acumulada mostró probabilidades entre 0.74 y 0.90 de obtener TCHM mayores que 9, con excepción de CC 92-2804. La probabilidad de CC 85-92 fue de 0.66 (Figura 10A).

Con respecto al TAHM (Figura 10B), CC 01-1228 y CC 92-2804 presentaron comportamientos similares a CC 85-92, mientras que las otras cinco variedades mostraron probabilidades entre 0.61 y 0.72 de obtener TAHM mayores que 1.1.

De acuerdo con lo anterior y considerando el indicador de interés (TCHM o TAHM), este ingenio dispone de un grupo de variedades más eficientes en riesgo que CC 85-92. Por ejemplo, para TCHM las variedades de mayor a menor probabilidad de obtener más de 9 TCHM que se aconseja seguir sembrando son CC 01-1940, CC 97-7170, CC 93-4418, CC 01-1228, CC 98-72 y CC 93-4181. En cuanto al TAHM, las variedades de mayor a menor probabilidad de obtener valores mayores que 1.1 son: CC 01-1940, CC 93-4181, CC 93-4418, CC 97-7170 y CC 98-72.

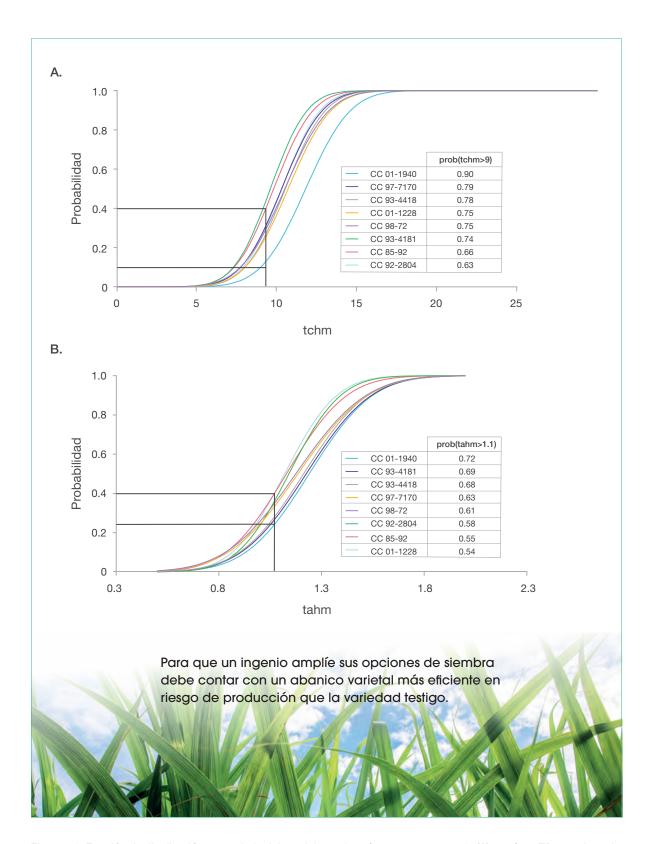


Figura 10. Función de distribución acumulada del tonelaje por hectárea y mes para caña (A) y azúcar (B) en un ingenio con su abanico varietal.



Análisis económico-financiero de proyectos de inversión

Modelo económico *ex ante* para la renovación de la plantación

Los cultivadores de caña de azúcar deben enfrentar al final de cada corte esta alternativa: o deciden continuar con el cultivo por un ciclo adicional u optan por renovarlo. Esta última decisión implica seleccionar una variedad de caña y conocer qué probabilidad les ofrece de obtener cierto tonelaje y rendimiento a través de los cortes; y esta probabilidad depende del mes de cosecha, del número de corte, de la edad de cosecha y del ciclo del cultivo. Por esto es necesario, antes de evaluar económicamente lo que esta decisión representa, realizar un análisis estadístico de estas variedades a través de los cortes.

No existe una regla general sobre el momento óptimo de renovación. Sin embargo, una pregunta relevante nos puede guiar a este respecto: ¿cuál es el número de cosechas que deberían obtenerse antes de iniciar un nuevo ciclo de renovación, con el fin de maximizar la utilidad?

Para responder a esta pregunta, este modelo económico incorpora los principios fundamentales de la teoría económica de reemplazo de activos, lo que ayudará al cultivador de caña de azúcar a evaluar acertadamente su decisión de renovar o no el cultivo, pues cuenta con una información fehaciente sobre la ganancia neta adicional, valorada a hoy, que le generaría un proyecto de renovación en comparación con otro de no renovación. Lo novedoso de este modelo es que aborda esta situación como un solo proyecto económico, que busca encontrar la ganancia neta adicional, valorada hoy, que entregaría el proyecto de renovación en comparación con el proyecto de no renovación. Y para ello el modelo considera como inversión no solamente el costo de adecuación, preparación y siembra (APS) de la renovación, sino que también califica como inversión y suma como tal la ganancia neta, valorada hoy, que se deja de recibir al no continuar con el cultivo actual (Figura 11).

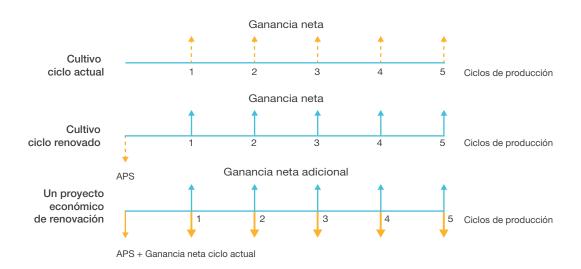


Figura 11. Esquema propuesto para la evaluación de un proyecto de renovación de un cultivo de caña de azúcar.

A partir de unos supuestos económicos y la información básica de la suerte como la zona agroecológica, el número del último corte, las expectativas en toneladas de caña por hectárea (TCH) y rendimiento comercial en azúcar (RTO.) tanto en los próximos cinco cortes del ciclo actual como en los del nuevo ciclo de renovación; el porcentaje de aumento o disminución de la productividad a través de los cortes; los costos

que involucran las labores de adecuación, preparación, siembra y levantamiento del nuevo cultivo, así como el tipo de contrato de compra -venta de caña, la tasa mínima de retorno (tasa de descuento), el precio esperado del azúcar y el tiempo de retraso en la renovación (Cuadro 3), se procede a realizar los cálculos tanto para la situación de renovación como para la de no renovación.

Cuadro 3. Supuestos del modelo para las alternativas renovación y no renovación.

Variables económicas	Con renovación	Sin renovación
Rendimiento comercial (%) para bonificación	11.6%	-
Pago en kilos de azúcar por tonelada caña (kilo/t)	58	-
Precio de azúcar (\$/kilo)	\$1397	\$1397
Adecuación, preparación y siembra (\$/ha)	\$5,313,000	-
Levantamiento plantilla (\$/ha)	\$3,245,000	-
Levantamiento soca (\$/ha)	\$4,107,000	\$4,107,000
Arrendamiento (kg/plaza bruta/mes)	100	-
Tasa descuento (interés %)	11.5%	11.5%
Número del próximo corte	1	3
Variedad de caña	CC 01-1940	CC 85-92
Meses de espera para renovar	2	-

	Corte	Edad	TCH	RTO.	Corte	Edad	TCH	RTO.
	1	13.7	161	11.0	3	13.3	118	11.3
	2	13.3	149	11.0	4	13.3	123	11.4
Productividad por número de corte	3	13.1	142	11.2	5	13.2	116	11.6
	4	12.7	133	11.3	6	13.1	119	11.3
	5	12.3	119	11.5	7	13.6	123	11.4
	6	12.9	146	11.1	8	13.0	116	11.5



El informe económico que entregará este modelo mostrará cuánta ganancia neta de más, valorada hoy, arrojaría el proyecto de renovación en comparación con el proyecto de no renovación, con base en tres indicadores financieros:

- Valor presente neto (VPN) del beneficio adicional acumulado por corte y valor marginal del beneficio por corte. El VPN es el valor neto de un flujo en pesos equivalentes de hoy, es decir, la diferencia entre los ingresos y los costos en pesos actuales. Si el VPN resulta positivo, indica que el proyecto es aconsejable y se debe realizar debido a que su rentabilidad es mayor que la tasa de interés de oportunidad del inversionista.
- Tasa interna de retorno (TIR) y modificada (TIRM), que representa la rentabilidad obtenida durante la vida útil del proyecto. Si la TIR es mayor que la tasa de interés de oportunidad del inversionista, implica que el proyecto rinde más e igualmente se debe recomendar. Cuanta más alta sea la TIR, más alta será la rentabilidad del negocio. La TIR hace igual a cero el valor actual de un flujo neto de ingresos futuros.

Período de recuperación o número de cortes que se requieren para recuperar la inversión en APS y el dinero que se dejaría de recibir al no continuar con el cultivo en las condiciones actuales y la entrega durante el ciclo de renovación de una rentabilidad igual a la mínima exigida por el inversionista (tasa mínima de retorno considerada). El período de recuperación es el tiempo requerido para que la suma de los flujos de efectivo neto positivos producidos por una inversión sea igual a la suma de los flujos de efectivo neto negativos requeridos por la misma inversión, lo cual generalmente se expresa en años. La decisión asociada a este indicador es que se deben preferir los proyectos con menor tiempo de recuperación.

A continuación, se ilustra el informe económico de este proyecto en un ejercicio (Cuadro 4) en el cual la variedad actual es CC 85-92 y la opción de renovación es CC 01-1940 para la zona agroecológica 6H1, con base en los supuestos del Cuadro 3. También es oportuno realizar este mismo análisis con otras variedades opcionales para la renovación, porque así cobra más sentido comparar estos indicadores financieros para todas las situaciones posibles de evaluación.



Con renovación, variedad CC 01-1940. Cifras en millones de pesos por hectárea.

Cuadro 4. Estimación de los ingresos, los costos y la utilidad para un proyecto de renovación y rentabilidad esperada: 11.5%.

Con renovación, variedad CC 01-1940. Cifras en millones de pesos por hectárea.

Corte	Inversión APS	Ingreso	Lucro cesante	Levantamiento	Costo de oportunidad de la tierra	Costo total	Utilidad: beneficio por corte
1	-5.3	13.0	1.9	3.2	3.3	-13.8	-0.7
2		12.1		4.1	3.2	-7.3	4.8
3		11.5		4.1	3.1	-7.3	4.3
4		10.8		4.1	3.1	-7.2	3.6
5		9.7		4.1	3.0	-7.1	2.6
6		11.8		4.1	3.1	-7.2	4.6
Total	-5.3	68.9	1.9	23.8	18.7	-49.7	19.2

Sin renovación, variedad CC 85-92. Cifras en millones de pesos por hectárea.

Corte	Ingreso	Levantamiento	Costo de oportunidad de la tierra	Costo total	Utilidad: beneficio por corte
3	9.6	4.1	3.2	-7.3	2.3
4	10.0	4.1	3.2	-7.3	2.7
5	9.4	4.1	3.2	-7.3	2.2
6	9.6	4.1	3.1	-7.2	2.4
7	9.9	4.1	3.3	-7.4	2.6
8	9.4	4.1	3.1	-7.2	2.2
Total	57.9	24.6	19.1	-43.7	14.2





Para este ejercicio en particular (Cuadro 5) se requieren de al menos 5.1 cortes para que el proyecto de renovación del cultivo sea capaz de recuperar las inversiones realizadas en APS, recuperar el dinero que se dejaría de recibir al no continuar con el cultivo en las condiciones actuales, y además arrojar período a período una rentabilidad igual a la mínima exigida por el inversionista (11.5%).

Si se decidiera renovar el cultivo y mantenerlo por tres cortes, se obtendría una ganancia adicional esperada, valorada en pesos de hoy, equivalente a \$617,921/ha. La tasa interna que retorna este proyecto es de 14%, superior a la mínima exigida por el inversionista (11.5%). Al reinvertir estos beneficios en otras renovaciones, la tasa interna de retorno modificada es del 13%.

Vale la pena mencionar que estos resultados cambian según los supuestos de cada suerte y los resultados corte a corte de las variedades que se estén analizando.

Cuadro 5. Estimación de los indicadores financieros de un proyecto de renovación de un cultivo de caña. Rentabilidad esperada: 11.5%.

Cor	n renovación, CC 0	1-1940
Corte	Utilidad acumulada	VPN acumulado
1	-0,7	-0,7
2	4,1	3,6
3	8,4	6,9
4	12,0	9,5
5	14,6	11,1
6	19,2	13,7

Cifras en millones de pesos por hectárea.

D .	,	
Proyecto	econo	mico
1 TOYCOLO	COOLIC	,,,,,,,

Corte	Delta marginal (renovar vs. no renovar)	Interpretación	Flujo acumulado
1	-\$3,0	No renueve	-\$3,0
2	-\$1,1	No renueve	-\$4.0
3	\$0,6	Renueve	-\$3,4
4	\$1,5	Renueve	-\$1,9
5	\$1,5	Renueve	-\$0,4
6	\$2,9	RENUEVE	\$2,5

Indicadores financieros

TIR (%)	Período de recuperación (años)	TIRM (%)
14	5.1	13

TIR: tasa interna de retorno

TIRM: tasa interna de retorno modificada.

Análisis económico y financiero de inversiones ex post en riego por goteo

La evaluación económica de un proyecto de inversión se divide en dos etapas. La primera consiste en identificar y estimar los costos fijos y las variables del manejo del cultivo y los costos de operación (abono a capital y pago de intereses si la inversión se hace con recursos prestados) y mantenimiento del sistema de riego convencional por gravedad; y los beneficios que puede significar la adopción del sistema de riego por goteo. En la segunda etapa se realiza el análisis económico, para lo cual se estiman los flujos de ingresos y egresos y con base en ellos se calculan los indicadores económicos: costo de producción unitario, valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y período de retorno de la inversión (PR).

Para este análisis se usó el método del excedente económico por imputación contable, que se basa en una comparación entre los costos del proyecto y sus beneficios (o pérdidas) a lo largo de su vida útil (flujo de efectivo). Para proyectos de inversión del sector, los beneficios comprenden el mejoramiento de la calidad, la disminución de los costos de producción y el incremento de la productividad y/o del rendimiento del cultivo.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos con un sistema de riego por goteo de alta eficiencia, con manguera enterrada, que se inició con la renovación de la plantación en una hacienda del sector y hoy cubre 68 hectáreas de cultivo de caña de azúcar.

La productividad promedio en esta hacienda en los últimos 14 años fue de 148 TCH para las suertes beneficiadas con este sistema versus las 133 TCH de las suertes que siguieron siendo regadas de forma convencional (sin goteo). Vale la pena mencionar que en anteriores estudios realizados en esta hacienda el 76% de las variaciones en las TCH se han atribuido a factores temporales (clima); 0.7%, al suelo y a la ubicación y 24%, al manejo del cultivo y a la administración. Precisamente este punto es lo que hace compleja la me-

dición de los beneficios del sistema de riego en términos productivos, puesto que este delta en tonelaje (15 TCH) no es el resultado del cambio al sistema de riego por goteo como tal, dado que se deben tener en cuenta otros factores endógenos y exógenos que podrían explicar esta diferencia, como las condiciones climáticas (exógeno), la disponibilidad del recurso hídrico, el sistema de riego y la adopción varietal (endógeno).

La utilidad con ambos sistemas de riego nos muestra que las suertes regadas por goteo lograron acumular en catorce años, a precios de 2018, 54 millones de pesos por hectárea (MM\$/ ha), mientras que las suertes con riego convencional acumularon en el mismo período 45 MM\$/ ha (Figura 12A). Este comportamiento favorable en la utilidad total por hectárea del sistema de riego por goteo muestra que en ocho años de los catorce analizados la utilidad estuvo por encima de la que arrojó el sistema de riego convencional. En los otros seis años (2008-2009 y 2012-2015) no fue así, pues las cifras indicaron que, para el primer período de estos seis años, a pesar de percibir altos ingresos con el riego por goteo, los costos superaron mucho más los del riego convencional, mientras que para el segundo período tanto los ingresos como los costos estuvieron a favor del riego convencional (mayores ingresos y menores costos). No obstante, en términos generales el valor presente neto (VPN) calculado para este flujo, suponiendo que las inversiones se estuvieran realizando hoy con los mismos resultados que se presentaron en esta hacienda durante el período analizado, con el riego convencional fue de 19 MM\$/ha y de 21 MM\$/ha con el riego por goteo (Figura 12B), lo cual nos indica un buen resultado a favor de la inversión realizada en esta hacienda.

Por otro lado, comparando las suertes con riego por goteo vs las suertes con riego convencional, se observa que en las primeras los ingresos se incrementaron en un 15%; los costos del cultivo, del control de arvenses y del abono, en un 6%, 3% y 1% respectivamente; mientras que los costos de jornales, materiales y contratistas disminuyeron en un 60%.



La tasa interna de retorno obtenida por el cultivo regado por goteo en el escenario de todos los recursos prestados a un plazo de cinco años fue de 20% (Figura 12C), valor por encima de la tasa de retorno del inversionista (12%), lo que denota la rentabilidad de este proyecto de inversión. Finalmente, el período de retorno del capital fue de cuatro años.

En un análisis de simulación Montecarlo que se hizo sobre el indicador financiero delta del valor presente neto, se pudo cuantificar el efecto sobre el VPN del riego por goteo vs el riego convencional. En la Figura 13A se observa la correlación con las variables del modelo, y en la Figura 13B, la relación que existe con el delta de las variables analizadas (tonelajes, precio y costo de agua para ambos sistemas).

Las variables que hacen parte de los ingresos y egresos que muestran una relación directa con el delta del VPN entre sistemas de riego goteo

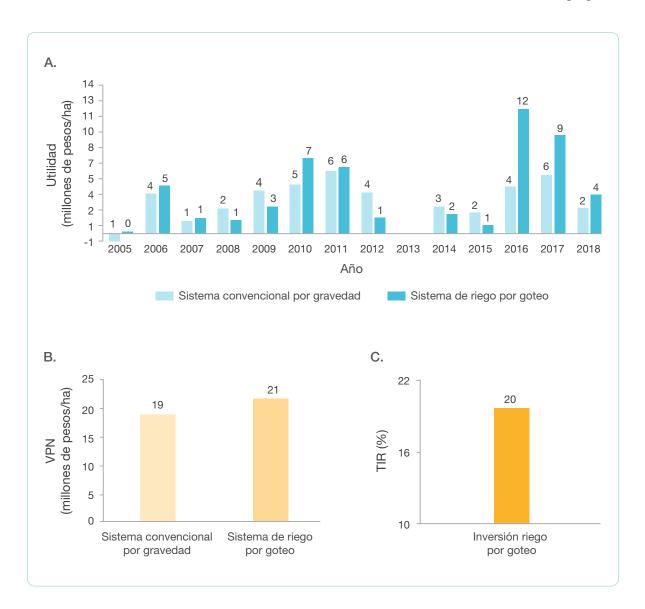


Figura 12. Resultados económicos y financieros de dos sistemas de riego: utilidad a precios de 2018 con cada sistema (A), valor presente neto VPN, (B) y tasa interna de retorno, TIR % (C).

vs convencional (cuando incrementa el valor de estas variables incrementa el delta o viceversa), en su orden son:

- TCH de las suertes con sistema de goteo y precio de sus cañas.
- Costo de las labores de las suertes con sistema convencional.

Mientras tanto, las variables que guardan una relación inversa con dicho delta son:

- TCH de las suertes con sistema convencional y precio de sus cañas.
- Costo de las labores de las suertes con sistema de goteo.

La idea con este tipo de análisis es que cada decisión financiera relacionada con el cultivo se sustente con los pasos de la evaluación económica expuestos en esta sección, así como con su respectivo análisis de sensibilidad fruto de la simulación de los elementos del flujo de caja.

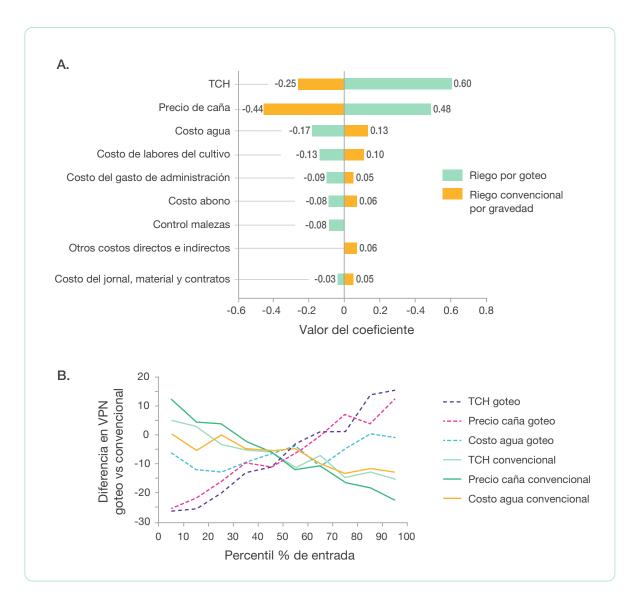


Figura 13. Coeficientes de correlación (A) y cambios porcentuales (B) de las variables de ingresos y egresos del flujo de caja sobre el delta del VNP goteo vs convencional.







Literatura consultada

- Chacón Contreras, I. (1994). Edad óptima de corta de un rodal existente. Ciencia & Investigación Forestal, 8(1), 177–188. https://doi.org/10.52904/0718-4646.1994.202
- Chacón Contreras, I. (1995). Edad óptima de cosecha. Una discusión en torno al valor presente neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Ciencia & Investigación Forestal, 9(1), 103–116. https://doi.org/10.52904/0718-4646.1995.217
- Daza O, Luna C. (1997) Modelo Económico para la renovación de la plantación de caña. IV Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. Cali. Colombia. 1997. pp. 518-534.
- Manotas D, Manyoma P, Rivera L. (2001). Productivity indicators and its influence in economic value of a company: a research in the Colombian sugar cane industry. Proceedings of Industrial Engineering Research Conference. Dallas, (Texas). 2001. pp. 50-63.
- Manotas-Duque, D. F., & Toro-Díaz, H. H. (2013). Análisis de decisiones de inversión utilizando el criterio valor presente neto en riesgo (VPN en riesgo). Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (49), 199–213. En: https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/15974.
- SAS. Statistical Analysis System (Version 9.4).
- Searle, S.R. (1971). Linear models. John Wiley & Sons, Inc, New York.

LOS AUTORES

Claudia Posada Contreras

Economista con maestría en Economía con énfasis en Finanzas, egresada en 1996 de la Universidad del Valle, sede Cali, y en 2013 de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Cuenta con 26 años de experiencia en el análisis económico del cultivo de la producción de caña y de azúcar. Ha desarrollado su carrera profesional en Cenicaña, un año como Joven Investigador de Colciencias y el resto como profesional del antes Servicio de Análisis Económico y Estadístico de Cenicaña y ahora Servicio de Analítica. En su trayectoria se ha dedicado a estudiar, modelar y predecir principios y resultados econométricos de manera constante, con el fin de reducir la incertidumbre en la toma de decisiones de ingenios y cultivadores de la agroindustria, participando en el pasado de los comités de costos de producción y de maquinaria agrícola y actualmente en diversos grupos de trabajo como apoyo en el análisis económico, además de brindar capacitación y contribuir como autora y coautora de diversos trabajos científicos.

Carlos Arturo Moreno Gil

Estadístico-Matemático egresado de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá en 1979. Durante el período 1981-1984 me desempeñé como biometrista en la Unidad de Biometría del Centro Internacional de Agricultura Tropical, en Palmira. De 1984 a 2021 vinculado al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, Cenicaña como biometrista del Servicio de Análisis Económico y Estadístico. Maestría en Estadística Aplicada de la Universidad del Estado de Iowa, 1990-1991. Autor y coautor de varios trabajos científicos que presentan la aplicación de métodos estadísticos en parte de la solución de diferentes áreas del conocimiento como Fitomejoramiento, Fitopatología, Entomología, Edafología, Agronomía, principalmente.

Héctor Alberto Chica Ramírez

Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Caldas, magíster en Matemáticas de la Universidad Tecnológica de Pereira y candidato a doctor en Ingeniería de la Universidad del Valle. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de análisis y diseño de experimentos, simulación estocástica y modelación determinística y estadística de cultivos en el sector cafetero y azucarero en empresas como Cenicafé y Cenicaña. Conferencista en congresos y seminarios nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como jefe del Servicio de Analítica de Cenicaña desempeñando funciones en la optimización matemática y formulación de proyectos encaminados a la modelación matemática de cadenas de abastecimiento.

