

SOSTENIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Ana Paola Becerra-Quiroz¹, Angélica Lucía Buitrago-Coca²,
Pedro Pinto-Baquero²

¹ *Magíster en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental. Profesora, Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: anabecerra@usantotomas.edu.co*

² *Ingeniera (o) Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia*

Recibido: 2 de mayo del 2016

Aprobado: 8 de agosto del 2016

Cómo citar este artículo: A. P. Becerra-Quiróz, A. L. Buitrago-Coca, P. Pinto-Baquero, "Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia", *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, n.º 20, pp. 133-149, oct. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i20.1548>

Resumen. Introducción: este artículo es producto de la investigación titulada "Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia", desarrollada en el 2015 en la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás. **Metodología:** se determinó la sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar producido en el Valle del Cauca, utilizando el indicador integrado de desarrollo sostenible S3 y el biograma desarrollado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Para dicho análisis, se realizó un diagnóstico de la situación actual del aprovechamiento del bagazo, se definieron las variables y los periodos implicados, se calculó el indicador y se analizó la sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo. **Resultados:** se obtuvo como resultado que la sostenibilidad actual del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar es de 0,51, lo cual representa una sostenibilidad media para los periodos evaluados. **Conclusiones:** se concluyó que los aspectos más relevantes para mejorar la sostenibilidad son el manejo de los vertimientos en la dimensión ambiental, mejoras en la productividad del bagazo en la dimensión económica y ampliación en la cobertura de programas en la dimensión social.

Palabras clave: bagazo de caña de azúcar, cogeneración, indicadores de desarrollo sostenible, producción de papel.



SUSTAINABILITY OF SUGAR CANE BAGASSE UTILIZATION IN VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Abstract. *Introduction:* This article is the result of the research titled “Sustainability of sugar cane bagasse utilization in Valle del Cauca, Colombia”, developed in 2015 at the Faculty of Environmental Engineering at the Universidad Santo Tomás. *Methodology:* the sustainability of sugarcane bagasse utilization produced in the Valle del Cauca was determined using the integrated sustainable development indicator S3 and the biogram developed by the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA). For this analysis, a diagnosis of the current bagasse utilization was performed; variables and periods involved were defined, the indicator was calculated and the sustainability of bagasse utilization was analyzed. *Results:* the result of the current sugar cane bagasse utilization sustainability is 0.51, which represents an average sustainability for the periods evaluated. *Conclusions:* It was concluded that the most important aspects to improve sustainability include environmental dimension discharge management, improvements on the productivity of bagasse in the economic dimension and greater coverage of programs in the social dimension.

Keywords: sugar cane bagasse, cogeneration, sustainable development indicators, paper production.

SUSTENTABILIDADE DO APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO VALLE DO CAUCA, COLÔMBIA

Resumo. *Introdução:* este artigo é produto da investigação titulada “Sustentabilidade do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar no Valle do Cauca, Colômbia”, desenvolvida no ano de 2015 na Faculdade de Engenharia Ambiental da Universidade Santo Tomás. *Metodologia:* determinou-se a sustentabilidade do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar produzido no Valle do Cauca, utilizando o indicador integrado de desenvolvimento sustentável S3 e o biograma desenvolvido pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA). Para essa análise, realizou-se um diagnóstico da situação atual do aproveitamento do bagaço, foram definidas as variáveis e os períodos envolvidos, foi calculado o indicador e foi analisada a sustentabilidade do aproveitamento do bagaço. *Resultados:* obteve-se como resultado que a sustentabilidade atual do aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar é de 0,51, representando uma sustentabilidade média para os períodos avaliados. *Conclusões:* concluiu-se que os aspectos mais relevantes para melhorar a sustentabilidade são o manejo dos vazamentos na dimensão ambiental, melhoramentos na produtividade do bagaço na dimensão econômica e ampliação na cobertura de programas na dimensão social.

Palavras chave: bagaço de cana-de-açúcar, cogeração, indicadores de desenvolvimento sustentável, produção de papel.

1. Introducción

Colombia es un país privilegiado para el sector azucarero por contar con las mejores características biofísicas para la producción de caña de azúcar. La región del Valle del Cauca ha aprovechado esta condición para generar uno de los *cluster* agroindustriales más importantes del país, donde se procesan aproximadamente 24 millones de toneladas de caña de azúcar al año [1].

El residuo más importante derivado del procesamiento de la caña de azúcar es el bagazo que representa el 30 % de la caña molida [2], del que, para el 2015 los ingenios del Valle del Cauca generaron 7261 526 toneladas [3]. Del total de bagazo producido, una proporción aproximada del 15 % (1 089 229 toneladas) es llevada a la generación de papel por Carvajal Pulpa y Papel y el 85 % restante (6 172 297 toneladas) se queda en los ingenios para cogeneración de energía [4]. En la figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

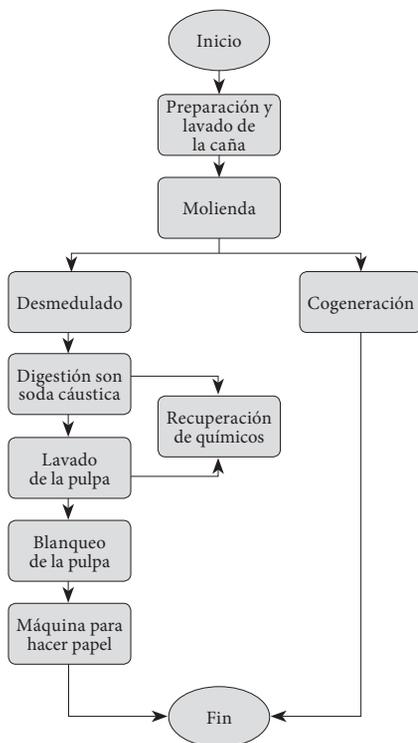


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia

Para el caso de la cogeneración de energía, la capacidad de los ingenios azucareros ha aumentado progresivamente en los últimos años, hasta el punto en que en la actualidad son capaces de autoabastecerse energéticamente y entregar a la red nacional parte de la energía producida [5]. Para el 2020, se espera que la producción de electricidad a partir del bagazo sea del 2 %, según el Plan Energético Nacional de Colombia [5]. Para el caso de la producción de papel, además de considerarse una actividad muy representativa del Valle del Cauca, es estratégica por su materia prima comparada con otras empresas productoras de papel a base de madera.

Sin embargo, a pesar de ser la cogeneración de energía el proceso de aprovechamiento del bagazo que representa mayores beneficios económicos para los ingenios, o de ser el bagazo el mejor sustituto de la madera en la producción de papel, se desconoce si al adicionar a la dimensión económica las dimensiones social y ambiental, estos dos procesos de aprovechamiento actuales del bagazo de caña de azúcar se pueden considerar “sostenibles”¹.

2. Marco teórico

La necesidad de incluir las dimensiones ambiental y social en el desarrollo de proyectos nace desde que se empezaron a evidenciar los efectos de las actividades antrópicas en el medio ambiente y en el bienestar de las personas. A nivel político, el principio de desarrollo sostenible propuesto por Margaret Brundtland fue adoptado internacionalmente en la Cumbre de la tierra en Río de Janeiro en 1991 y adoptado en Colombia con la Ley 99 de 1993. Es por esto que dicho modelo de desarrollo pretende encontrar un equilibrio entre el crecimiento económico, el ambiente y el hombre, y además lograr satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las futuras

¹ Para el presente estudio se parte del concepto de *desarrollo sostenible* propuesto en el Informe Brundtland y adoptado por las Naciones Unidas en la Cumbre de la Tierra, realizada en 1992 en Río de Janeiro. En esta cumbre se concibió el desarrollo sostenible como el que busca el equilibrio de las dimensiones social, económica y ambiental, y que logra satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin afectar las generaciones futuras.

generaciones para satisfacer las propias. Pese a las críticas de este nuevo modelo, se hace imperativo para cualquier proyecto de desarrollo verificar su eficacia en las dimensiones económica, ambiental y social, desde el concepto de *sostenibilidad*.

Uno de los instrumentos que permite acercarse a la evaluación de la sostenibilidad es el uso de indicadores integrados, que para el caso de la sostenibilidad permiten evaluar cada una de sus dimensiones de manera global y por separado, y desglosándolas en cada una de las variables que las constituyen. Por lo anterior, la presente investigación tiene como finalidad determinar el nivel de sostenibilidad del actual aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar, adaptando la metodología para el cálculo del indicador integrado de desarrollo sostenible propuesto por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en el cual se analizan de una manera más específica las dimensiones ambiental, económica y social de la sostenibilidad [6].

3. Estado del arte

Los estudios de sostenibilidad realizados en la industria azucarera se han enfocado en analizar los impactos ambientales que se generan en las diferentes fases del proceso; incluso se ha definido la sostenibilidad del sector como “La posibilidad de que los sistemas bioenergéticos mantengan su producción a largo plazo, sin disminución sensible de los recursos que le dan origen como la biodiversidad, la fertilidad del suelo y los recursos hídricos” [7]. Un estudio de este tipo, además de analizar los impactos positivos y negativos, elabora un balance energético de la producción [8]. Otros estudios realizan análisis del ciclo de vida [9] y otros, la sostenibilidad desde el uso del suelo, emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y aspectos socioeconómicos [10]. También desde el punto de vista de la planeación estratégica, se ha evaluado la sostenibilidad de la producción de caña de azúcar determinando criterios de evaluación, como la integralidad del sistema socioecológico, el mantenimiento y la eficiencia de los recursos, y la suficiencia de medios de vida y oportunidades [10]. En Colombia se viene estudiando la viabilidad de biorefinerías de caña de azúcar y se analiza por medio de la simulación de escenarios la productividad, los cálculos de

energía y la evaluación económica para cada proceso [11]. Dada la relevancia de este tipo de estudios para la industria azucarera, el análisis de la sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de la caña de azúcar es un insumo para que las entidades aprovechadoras de este subproducto, tanto en cogeneración como en la producción de papel, puedan establecer adecuadamente los usos más eficientes y proponer medidas de mejoramiento en cada proceso en particular.

De cada uno de los procesos involucrados en el aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar, se generan aspectos ambientales, económicos y sociales que afectan positiva y negativamente la sostenibilidad. A continuación se presenta el análisis de cada una de las dimensiones de la sostenibilidad en los procesos actuales de aprovechamiento del bagazo.

3.1 Dimensión ambiental

En la dimensión ambiental, los principales aspectos que generan impactos son los vertimientos, las emisiones, el consumo de agua, el ahorro de recursos naturales y los residuos generados. Se describe aquí cada uno de estos aspectos, tanto para los ingenios azucareros, como para la productora de papel.

Para el caso de los vertimientos, en el proceso de cogeneración de energía en los ingenios, las fuentes de los vertimientos son el agua de lavado de la caña, agua de lavado de equipos y tuberías, agua contenida en las cenizas de las calderas cuando se recogen en húmedo, por derrames en el almacenamiento de agua de enfriamiento, en la generación de vapor y uso de agua para purga en tubos [12]. El agua utilizada en el lavado de la caña constituye la mayor fuente de contaminación por las concentraciones elevadas de sólidos suspendidos. Cuando la caña se recolecta por medios mecánicos, el agua de este proceso puede contener niveles elevados de azúcares, por lo que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del vertimiento se ve afectada. Pese a lo anterior, los parámetros de DBO₅, demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente final de los ingenios no sobrepasan los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público que se dan en la Resolución 631 de 2015 [4, 13].

En el caso de la producción de papel, la DBO del agua efluente del lavado es de aproximadamente 1000 mg/l y el máximo permisible en Colombia por normatividad (Resolución 631 de 2015) es de 500 mg/l. Para el caso de la DQO, el efluente es de aproximadamente 3500 mg/l y el máximo permisible en Colombia es de 900 mg/l. Esto se debe a que del proceso de pulpeo se genera el licor negro que posee sólidos suspendidos, material orgánico disuelto, electrolitos e iones inorgánicos que contribuyen a la DQO [14]. La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Carvajal Pulpa y Papel tiene tratamiento primario por medio de un clarificador primario, tratamiento secundario por medio de una laguna aireada facultativa y una laguna de sedimentación [15]. El agua residual tratada es vertida al río Palo. Para el afluente de la etapa de desmenuado se realiza tratamiento anaeróbico, ya que los niveles de SST y DBO_5 de este proceso son altos [15]. En el proceso también utilizan bacterias protectoras (BPA) para minimizar olores; para esto también se han implementado barreras vivas con plantas. A los vertimientos que se generan de la recuperación de químicos se les realiza una neutralización antes de ser llevados a la planta de tratamiento.

El consumo de agua para el sector azucarero ha hecho que las cuencas hídricas no presenten la misma disponibilidad de agua, lo que limitaría el desarrollo de esta actividad. Según la Corporación Autónoma Regional del Cauca, seis de las doce subcuencas hídricas que usan el sector azucarero, pueden llegar a presentar valores menores a 1000 m³/hab/año, lo que limitaría el desarrollo de la actividad teniendo en cuenta que en promedio deben ser 2000 m³/hab/día. Para el caso del agua subterránea, según la Corporación Autónoma Regional del Valle, el 86,4% del agua extraída es utilizado para actividades agrícolas [16]. Con estos antecedentes, el sector ha dirigido sus esfuerzos al uso racional del agua en actividades agrícolas e industriales y a la conservación y manejo de cuencas hidrográficas con el programa “Agua por la vida y la sostenibilidad”. El programa aporta en el seguimiento a los usuarios que usan y realizan vertidos en los ríos del área de influencia. Este programa se ejecuta con el apoyo de las asociaciones de usuarios de los ríos.

En el interior de los ingenios, el consumo de agua se presenta en el proceso productivo para la alimentación de calderas, en el vapor consumido por los motores, en los escapes por válvulas, tuberías y diferentes equipos y en la limpieza

y desinfección de los tándems. Indirectamente, el consumo de agua se da en el sistema contra incendios, en el sistema de regeneración de la planta de tratamiento de aguas, en la planta eléctrica y en los talleres mecánicos de reparación y fábrica de piezas, y en los sistemas sanitarios y de higiene de los trabajadores [17].

Las reconversiones tecnológicas y los programas de uso eficiente del agua que se han llevado a cabo para controlar el consumo de agua en fábrica han aportado para que el consumo se haya reducido de 120 m³/TCM a 90 m³/TCM, con lo cual se han logrado ahorros en el consumo de agua superiores a los 600 millones de metros cúbicos al año [18].

El mayor consumo de agua en Carvajal Pulpa y Papel se da en el proceso de blanqueo de la pulpa, y en segunda instancia, en la máquina para hacer papel. Para el 2003 el consumo de agua era de 110 m³/Ton de papel producido, para el 2008 el consumo disminuyó a 90 m³/Ton y para el 2011 fue de 80 m³/Ton. Lo que indica que las prácticas implementadas en el programa de uso eficiente y ahorro de agua han tenido resultados relevantes en la disminución del consumo del agua [19].

Sobre el consumo de energía es preciso mencionar que a partir de los sistemas de cogeneración se está utilizando un combustible alternativo a los combustibles fósiles, lo que disminuye los niveles de contaminación y contribuye al ahorro energético. En una termoeléctrica convencional, de un 100% de energía contenida en un combustible solo el 33% se convierte en energía eléctrica, el resto se pierde, mientras que en los sistemas de cogeneración se aprovecha el 84% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor para otros procesos (25-30% eléctrico y 59%-54% térmico) [20]. En consecuencia, la cogeneración se incluye en los programas de uso eficiente de energía primaria conformado por el petróleo, el gas natural y el carbón mineral, lo que reduce el consumo de combustibles no renovables.

Teniendo en cuenta lo anterior, las dos alternativas de aprovechamiento analizadas tienen procesos de cogeneración de energía, lo que hace que los dos procesos tengan menor consumo de combustible, menores emisiones de CO₂, CO y NO₂ y que se generen menos pérdidas a la red eléctrica por la cercanía de las instalaciones al punto de consumo.

En Carvajal Pulpa y Papel, para el 2014, el consumo total de energía directa adquirida para la producción de papel fue de 443 403 312 GJ/año y

la energía total producida por la organización fue de 1 012 982 GJ/año, por lo que el consumo total de energía fue de 444 413 295 GJ/año [19].

En cuanto a las emisiones atmosféricas, el alto contenido de humedad del bagazo como combustible produce cambios importantes en la calidad del aire. El mayor contaminante de los ingenios es el material particulado y sus concentraciones pueden variar por el uso de caña mal lavada o preparada inadecuadamente, ya que se aumenta el contenido de cenizas del bagazo por el tipo de caldera utilizada y por la eficiencia del turbogenerador. Para minimizar los niveles de este contaminante, los ingenios azucareros de la región se han acogido a la suscripción de convenios de producción más limpia con base en el artículo 99 del Decreto 948 de 1995 y a la Resolución 909 de 2008, presentando el plan de reconversión a tecnología limpia, lo que les ha servido para ser excluidos del impuesto sobre las ventas IVA [20]. Según el informe del Estado acerca de la calidad del aire en Colombia que evalúa las estaciones de monitoreo de Yumbo y Palmira en el Valle del Cauca, se registró un aumento en las concentraciones de Material Particulado de 28,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 45,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del 2007 al 2010, respectivamente [22], aunque no sobrepasan lo estipulado en la Resolución 909 de 2008, que es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedios anuales.

En contradicción al material particulado, las emisiones de SO_2 y NO_x son más bajas que cuando se queman los combustibles fósiles como el carbón, ACPM, debido a los bajos niveles de azufre y nitrógeno presentes en el bagazo. El uso de combustibles auxiliares durante el arranque de las calderas o cuando el contenido de humedad del bagazo es muy alto para mantener la combustión, da como resultado el incremento de las emisiones de SO_2 y NO_x . También los trastornos en las condiciones en las que se realiza la combustión producen el aumento de las emisiones de CO , de compuestos orgánicos volátiles y de compuestos orgánicos totales.

Para el caso del CO_2 , la cogeneración a partir del bagazo de caña es un caso particular en cuanto a la contabilización de externalidades, pues a pesar de que la combustión de biomasa genera CO_2 , este es considerado como parte del ciclo natural del carbono en la tierra. Las plantas toman CO_2 del aire para crecer y luego lo devuelven al aire cuando son quemadas, de manera que no generan un aumento neto de CO_2 (asumiendo que no hay cambio de uso de suelo para la producción de biomasa) [23].

En la producción de papel los principales emisores de contaminantes del aire son las tres fuentes fijas que son la caldera de potencia, la caldera de recuperación y el horno de cal. Al comparar los datos arrojados por un muestreo de diciembre del 2001 con la resolución 909 del 2008, se encontró que las emisiones de material particulado superan la normatividad en la caldera de potencia y en el horno de cal. Los combustibles de la caldera de potencia son carbón y polvillo, los de la caldera de recuperación son licor negro y crudo y el del horno de cal es el crudo. Estos niveles se logran gracias al precipitador electrostático que tiene la caldera de potencia [24].

Para el caso de la generación de residuos, el principal residuo sólido que se genera en los ingenios es la ceniza y su producción se encuentra en función de la eficiencia de las calderas y de la calidad de la caña molida. Los otros residuos que se generan son los que resultan del mantenimiento de equipos y los empaques de insumos. En la producción de papel, para el 2014, Carvajal Pulpa y Papel generaba 204 211 toneladas de residuos, de los cuales 359 toneladas son residuos peligrosos y 203 852 son residuos no peligrosos [25]. Los residuos sólidos industriales que se generan se utilizan para la recuperación de suelos de explotación de arcilla.

3.2 Dimensión económica

La dimensión económica es la que genera más impactos positivos para el desarrollo de la región azucarera. La existencia del *cluster* azucarero y su importancia es relevante en términos económicos para el sector, con 1700 cañicultores, 13 ingenios, 5 con planta de etanol carburante, 7 proyectos de refinería, 12 cogeneradores de energía, 1 papelera y 1 empresa sucroquímica, hacen que se mejoren las cifras económicas. El sector de la caña de azúcar aporta 260 000 empleos directos e indirectos y su aporte al producto interno bruto (PIB) es del 1 % de la economía del país. La producción de papel es particularmente importante si se tiene en cuenta que el bagazo es una materia prima completamente renovable y su utilización implica un menor impacto ambiental que cuando se utiliza un insumo diferente [26].

La dimensión económica del aprovechamiento del bagazo en los ingenios se relaciona directamente con la capacidad de producción de energía. Los ingenios azucareros han podido

utilizar los incentivos tributarios para mejorar la eficiencia de sus procesos y, por ende, la generación de energía de 114 MW en el 2009 a 260 MW en el 2015 y se estima que para el 2017 será de 360 MW [27]. Es importante tener en cuenta que la regulación legal ha ido incentivando el desarrollo de energías renovables con la expedición de la Ley 788 del 2002, en la que se hace exención de la renta por la venta de energía proveniente de biomasa; luego con la Ley 1215 del 2008, se exige a los cogeneradores de pagar la contribución del 20 % sobre la energía que generen para su consumo y luego se expide la resolución de la comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) número 005 de 2010 que regula la actividad y da estímulos para su ejecución. Por otra parte, se promueve la Ley 1715 de 2014 de energías renovables, en la cual se impulsa el desarrollo y utilización de las fuentes no convencionales de energía en el sistema energético nacional, integrándolas al mercado eléctrico del país.

Para mejorar la productividad del bagazo de caña para la producción de energía, los ingenios han implementado mecanismos de mejoramiento de procesos de campo y de fábrica, siendo una de estas medidas la adquisición de calderas de mayor presión y generación de vapor. La generación de energía eléctrica aportada al SIN a partir de la cogeneración en Colombia aumentó en un 67 %, tan solo del 2013 al 2015, lo que deja en evidencia que la cogeneración ha suplido la demanda energética para la producción en cada uno de los ingenios y los excedentes se han aportado al SIN [28].

En relación con el papel, la industria papelera lanzó para el 2011 una línea de papel realizada a partir 100 % de bagazo de caña de azúcar, lo que permitió elaborar cerca de 250 000 toneladas de papel con distribución en Colombia, Latinoamérica, Norteamérica y Europa [29]. La producción de papel ha mejorado con la implementación de nuevos productos elaborados 100 % con caña de azúcar [30]. Carvajal Pulpa y Papel lanzó la línea Earth Pact, la cual incluye cartulinas resistentes a la grasa, esmaltadas, no esmaltadas y papeles para impresión y escritura realizados 100 % de bagazo de caña de azúcar libre de químicos blanqueadores [29]. La producción inicial de Earth Pact fue de 70 toneladas mensuales con la idea de aumentar la producción a 500 toneladas para suplir el mercado nacional e internacional en el 2011. Para el 2015, se generaron 250 000 toneladas de papel a

partir de bagazo de caña de azúcar, de las cuales 6000 toneladas son de Earth Pact [29, 30].

Finalmente, el aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar representa un ahorro significativo debido al cambio de materia prima por el uso de bagazo, ya que se han dejado de adquirir toneladas de recursos naturales como carbón y pulpa maderable. Por la implementación de bagazo en las calderas, los ingenios usan una proporción de 10 % de carbón y 90 % de bagazo, lo que significa que la implementación de bagazo le evita comprar un 90 % de carbón [31]; en el caso de la industria papelera el ahorro por cambio de materia prima para el caso de la línea de papel Earth Pact es un cambio del 100 % de pulpa de celulosa obtenida a partir de coníferas por el bagazo de caña otorgado por los ingenios [30].

3.3 Dimensión social

Según el análisis social de Fedesarrollo, el índice de calidad de vida (ICV) de los municipios del área de influencia del subsector azucarero es en promedio más alto que en el resto de municipios agrícolas [23], lo que está relacionado con mejor vivienda, mejor acceso a servicios públicos, más educación, mejor asistencia escolar y menor hacinamiento habitacional. Los resultados son también afortunados para el índice de necesidades básicas insatisfechas que tiene en cuenta variables como la tasa de alfabetismo, asistencia escolar y tasas de mortalidad y morbilidad.

Los ingenios azucareros, liderados por la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar en Colombia (Asocaña), han buscado con la responsabilidad social empresarial, llegar a la mayor cantidad de población vulnerable en su área de influencia, con programas encaminados a mejorar los estándares de calidad de vida de la población. Según Fedesarrollo, la inversión total en acciones de responsabilidad social empresarial como porcentaje de las utilidades de los ingenios, es de aproximadamente un 20 % [24]. En cuanto al perfil laboral de las personas que trabajan con el proceso de cogeneración, está relacionado directamente con la nómina del proceso en fábrica, lo que quiere decir que no incluye a las cooperativas de trabajo asociado, sino que son nómina directa y contratistas. Según Fedesarrollo, el sector en general se ha caracterizado por una relativa estabilidad de personal que labora directamente en la industria y la

tendencia en el número de trabajadores contratados por esta, que para el 2007 fue de 30 865 trabajadores directos [18].

Carvajal Pulpa y Papel es reconocida en el Valle del Cauca y en el país como una empresa responsable social y ambientalmente, ya que su responsabilidad se enfoca en la consolidación de valores como integridad, respeto, orientación al cliente, respeto de los derechos humanos, la legislación, innovación, compromiso social, compromiso con los resultados y mejoramiento continuo. Los programas sociales se complementan con recursos de cooperación nacional e internacional, hecho que posibilita la intervención integral, tener un mayor impacto en cobertura y acompañar a las comunidades vulnerables [26]. Los proyectos más importantes se enfocan en incentivos de asociación a partir de intereses comunes de los trabajadores para generar ingresos, educación y cultura, e infraestructura comunitaria y vivienda, donde aportan con el diseño y obras con las que transforman espacios para brindarle a la comunidad servicios educativos, recreativos, deportivos, culturales y comunitarios [26].

4. Metodología

Con el análisis del estado del arte del uso actual del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, se determinaron las variables más relevantes en cada una de las dimensiones de la sostenibilidad.

Seguidamente se ajustó la metodología del indicador integrado de desarrollo sostenible y del biograma en función de las variables asignadas a cada dimensión. Finalmente, se procedió al cálculo de la sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar, tanto para la cogeneración de energía en los trece ingenios de la zona, representados por Asocaña, como para la producción de papel por parte de Carvajal Pulpa y Papel. A continuación se hace la descripción de cada fase de la metodología.

4.1 Descripción de variables y desarrollo metodológico

Las variables escogidas para estimar la sostenibilidad del aprovechamiento actual del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca fueron seleccionadas en función del análisis que se realizó de las dimensiones. Los periodos evaluados fueron elegidos de acuerdo con los tiempos en los que se contó con información aprovechable para cada una de las variables.

La selección de las variables ambientales se realizó en función de los aspectos ambientales que se analizaron en la fase de diagnóstico y que se encontraron como relevantes en la generación de impactos, tales como vertimientos, consumo de energía y agua, emisiones, ahorro de recursos naturales y los residuos generados. En la tabla 1, se nombran las variables seleccionadas de la dimensión ambiental con su respectiva descripción general.

Tabla 1. Descripción de variables involucradas en la dimensión ambiental

Nombre	Variable	Descripción
A1	Vertimientos DBO	Cantidad de materia orgánica biodegradable contenida en el agua residual dispuesta a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo
A2	Vertimientos DQO	Cantidad de materia inorgánica contenida en el agua residual reportada dispuesta a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo
A3	Vertimientos SST	Cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento dispuestos en un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo
A4	Consumo de energía	Cantidad de energía en GJ utilizada para la producción promedio de toneladas de producto final
A5	Emisiones PST	Descarga de partículas sólidas totales al aire, provenientes de las fuentes fijas de cada uno de los procesos
A6	Emisiones NOX	Descarga de óxidos de nitrógeno al aire, provenientes de las fuentes fijas de cada uno de los procesos
A7	Consumo de agua	Agua que es utilizada en cada uno de los procesos
A8	Ahorro de recursos naturales	Cantidad de recursos naturales como pulpa maderable o carbón que se han dejado de adquirir por parte de los dos aprovechadores
A9	Residuos generados	Cantidad de materia que no es usada por los aprovechadores

Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Descripción de variables involucradas en la dimensión económica

Nombre	Variable	Descripción
E1	Productividad del bagazo	Porción total aprovechada del bagazo en relación con las toneladas totales producidas de producto.
E2	Generación del producto final	Cantidad del producto final generado anualmente, siendo energía para los ingenios azucareros y papel para Carvajal Pulpa y Papel.
E3	Venta de producto final	Se refiere a la cantidad de energía vendida por la cogeneración al sin y a los millones de pesos vendidos por Carvajal Pulpa y Papel.
E4	Ahorro por cambio de materia prima por el uso de bagazo	Se refiere a los millones de pesos que se están dejando de invertir en los ingenios para la compra de carbón y en Carvajal Pulpa y Papel en la compra de pulpa maderable.

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Descripción de variables involucradas en la dimensión social

Nombre	Variable	Descripción
S1	Inversión en proyectos sociales	Millones de pesos que invierten en los diferentes proyectos sociales los ingenios y Carvajal Pulpa y Papel.
S2	Mejora del perfil laboral	Cantidad de personas capacitadas por los programas y convenios educativos de los ingenios, y las horas de capacitación implementadas a los empleados en Carvajal Pulpa y Papel.
S3	Generación de empleo	Se refiere a la cantidad de empleos generados anualmente por los ingenios y por Carvajal Pulpa y Papel.
S4	Cantidad de beneficiados por programas	Se refiere a la cantidad de personas que participan en cada uno de los programas sociales de los ingenios y por Carvajal Pulpa y Papel.

Fuente: elaboración propia

En la tabla 2 se nombran las variables seleccionadas de la dimensión económica con su descripción general. La selección se hizo en función de la cantidad de bagazo aprovechada, la cantidad de energía y papel generados, y el ahorro que supone por el cambio de materia prima por el uso del bagazo.

Para el análisis de la dimensión social, se revisaron los avances en materia de responsabilidad social empresarial de los ingenios y de Carvajal Pulpa y Papel y su respectiva influencia en la calidad de vida de las personas, dando relevancia a aspectos como la educación, ambientes saludables, equidad de género, valores familiares, condiciones

laborales, y de manera general las necesidades básicas insatisfechas. En la tabla 3 se nombran las variables seleccionadas de la dimensión social con su descripción general.

4.2 Metodología para el cálculo del indicador integrado de desarrollo sostenible

En la figura 2 se describe el proceso metodológico para el cálculo de la sostenibilidad del actual aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca.

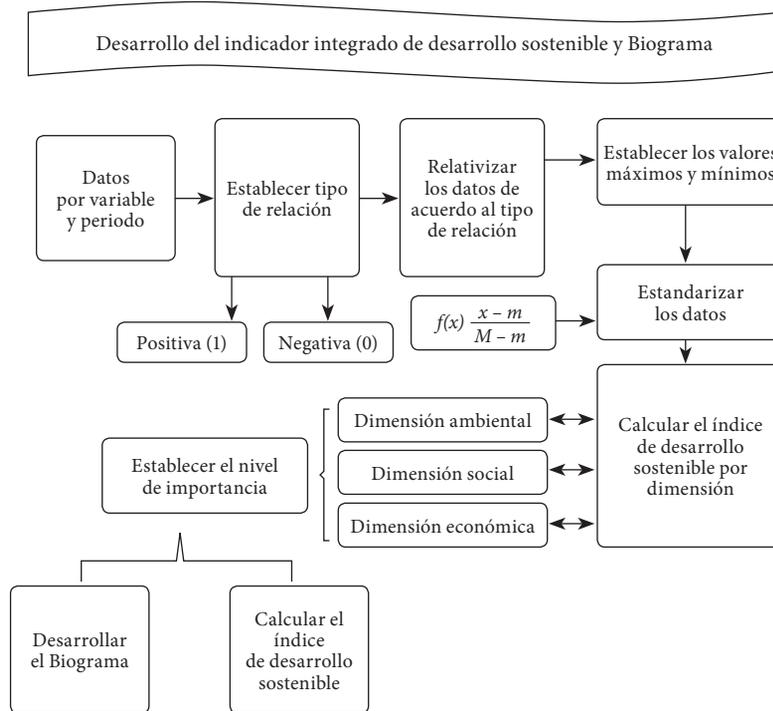


Figura 2. Descripción metodológica del cálculo de la sostenibilidad actual del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca
Fuente: elaboración propia

El indicador integrado de desarrollo sostenible, S3, junto con el biograma, representan el estado de desarrollo sostenible de una unidad analizada. Este indicador fue desarrollado por el IICA con el fin de proporcionar una herramienta que permitiera divisar el nivel de desarrollo a escala regional, debido a que los índices normalmente usados como el PIB y el producto nacional bruto (PNB) no establecen el nivel de desarrollo sostenible; otras herramientas como el cálculo de la huella ecológica, el índice de sostenibilidad ambiental, entre otros, no permiten realizar análisis de regiones, municipios, cuencas o comunidades.

Para el desarrollo de S3, junto con el biograma se realizó el estudio de tres dimensiones: ambiental, económica y social; sin embargo, puede realizarse el análisis con cuatro dimensiones anexando la dimensión político institucional, siendo elegidas según la unidad de análisis seleccionada. El biograma permite representar gráficamente el estado del sistema, en el cual cada eje constituye un indicador de cálculo con valores de 0 a 1, siendo 0 el nivel mínimo de desempeño y 1 el máximo, utilizando cinco colores (ver tabla 4), para caracterizar el

nivel de desarrollo sostenible de la unidad de análisis, verde para óptimo (0,8-1), azul para estable (0,6-0,8), amarillo para inestable (0,4-0,6), naranja para crítico (2,0-0,4) y por ultimo rojo para colapso (<0,2) [6].

Tabla 4. Representación gráfica del estado de sostenibilidad

Óptimo	0.8-1.0	
Estable	0.6-0.8	
Inestable	0.4-0.6	
Crítico	0.2-0.4	
Colapso	0-0.2	

Fuente: [6]

4.3 Selección de datos

La realización del S3 para Asocaña y Propal se realizó durante los periodos del 2009 al 2013 y del 2010 al 2012, respectivamente, porque en estos años se encontró la mejor disponibilidad de datos.

4.4 Entrada de datos

Para ingresar los datos al sistema, se especificó el tipo de relación de las variables, siendo estas dicotómicas con valor de 0 en el caso de que representara una peor situación con el aumento del indicador, es decir, variables con relación negativa. El valor de 1 se asignó a variables con relación positiva, en caso de que representara una mejor situación con el aumento del indicador. Lo anterior debido a que el impacto de cada variable en sus respectivas dimensiones puede ser positivo o negativo.

4.5 Estandarización de datos

Con el fin de adaptar los indicadores a una escala común, se utilizó una función de relativización expuesta en la ecuación 1 [6].

$$f(x) = \frac{x - M}{m - M} \quad (1)$$

En la ecuación 1 x es el valor correspondiente de la variable o indicador para una unidad de análisis determinada en un periodo determinado; m es el valor mínimo estandarizado de la variable en un

periodo determinado; M es el nivel máximo estandarizado en un periodo determinado. Al aplicar la ecuación se permite relativizar todas las variables y, por ende, generar un nuevo rango apto para realizar análisis comparativo.

Mediante la utilización de esa fórmula, se obtienen índices individuales para cada indicador, los cuales fluctúan entre 0 y 1, lo que permite relativizar todos los indicadores y, por lo tanto, generar un nuevo set apto para realizar análisis comparativo. La estandarización de datos fue realizada únicamente para algunas variables ambientales, debido a que en las dimensiones sociales y económicas todas las variables elegidas fueron de relación positiva, es decir que al aumentar el valor del indicador se refleja una situación mejor en la dimensión involucrada.

4.6 Cálculo del índice de desarrollo sostenible y biograma

Luego de la estandarización de los datos, se calculó el índice de desarrollo sostenible para cada una de las dimensiones de la sostenibilidad: ambiental, económica y social. Finalmente se representaron los resultados en el biograma.

Tabla 5. Resultados del cálculo de la sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar

Dimensión	Variabes	Ingenios	Propal	General	Dimensión	General
Ambiental	A1	0,49	0,56	0,53	0,54	0,51
	A2	0,53	0,56	0,55		
	A3	0,48	0,56	0,52		
	A4	0,52	0,41	0,47		
	A5	0,66	0,56	0,61		
	A6	0,54	0,63	0,58		
	A7	0,54	0,55	0,55		
	A8	0,68	0,66	0,67		
	A9	0,46	0,44	0,45		
Económica	E1	0,46	0,44	0,45	0,48	
	E2	0,62	0,44	0,53		
	E3	0,60	0,44	0,52		
	E4	0,37	0,44	0,41		
Social	S1	0,54	0,50	0,52	0,52	
	S2	0,36	0,46	0,41		
	S3	0,79	0,57	0,68		
	S4	0,34	0,59	0,46		

Fuente: elaboración propia

5. Resultados

Como resultado de aplicar la metodología para determinar el nivel de desarrollo sostenible, se presentan en la tabla 5 las calificaciones para cada una de las dimensiones ambiental, económica y social. De igual forma, la lista de variables se construye con abreviaturas: A, para la dimensión ambiental; E, para la dimensión económica, y S, para la dimensión social. La numeración está dada por el orden de las variables identificadas en las tablas 1, 2 y 3.

En la figura 3 se muestra la representación gráfica o biograma de la sostenibilidad general del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, mostrando las variables ambiental, económica y social, con sus respectivas abreviaturas y sus resultados. Este biograma se basa en los resultados que aparecen en la tabla 5.

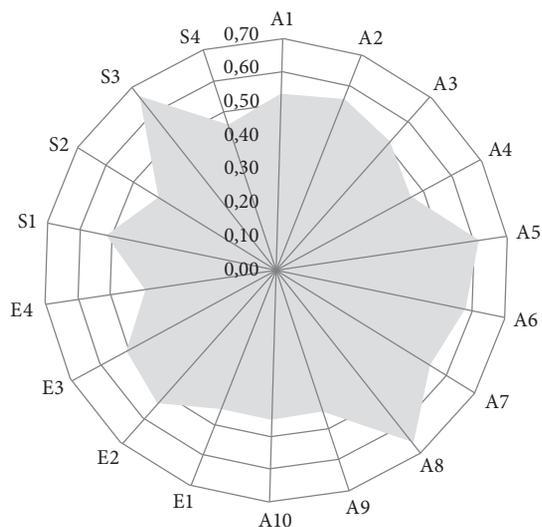


Figura 3. Biograma general de la sostenibilidad del actual aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 5, se puede observar que el resultado general del aprovechamiento actual del bagazo de caña de azúcar es inestable, aunque supera el 50 % del total de la escala de sostenibilidad propuesta por el IICA, ya que su valor adimensional es de 0,51 sobre 1.

La dimensión ambiental obtuvo el mayor nivel de sostenibilidad general debido a que las variables de consumo de energía y agua representan alta sostenibilidad, porque son variables con relación negativa o impactos que se consideran negativos, que en las dos formas de aprovechamiento han generado una disminución promedio considerable en el consumo durante los periodos evaluados. No se comportan de la misma manera de las variables con relación positiva o impactos positivos, como lo son ahorro de recursos naturales y bagazo dispuesto para aprovechamiento, las cuales no generan un cambio considerable en los procesos productivos, porque, a pesar de tener registros en aumento, la diferencia entre estos es pequeña, aspecto que no genera cambios en el indicador de sostenibilidad de acuerdo con la metodología de evaluación.

En el segundo nivel de sostenibilidad se encuentra la dimensión económica. Para esta dimensión todas las variables son positivas o representan un impacto positivo en la sostenibilidad (mayor sostenibilidad en relación con el aumento del dato). En los primeros periodos analizados los registros son considerablemente inferiores, debido a que cada año la rentabilidad del aprovechamiento va en aumento, lo que generó que el promedio del último año evaluado se viera disminuido por los bajos registros de sostenibilidad de los periodos anteriores.

Por último, el comportamiento del nivel de sostenibilidad en la dimensión social se ve influenciado porque en dos de las variables evaluadas para esta dimensión, como lo son la mejora del perfil laboral y la cantidad de beneficiados por programa, los datos aumentan de manera considerable debido a la ampliación de atención de la población en cada uno de los programas sociales y la implementación de nuevos programas. Este hecho compensa de alguna manera la disminución del empleo y la inversión económica, que no es realizada de manera proporcional todos los años, ya que algunas inversiones son proyectadas a largo plazo.

En la tabla 6 se muestran los resultados del índice de desarrollo sostenible para los ingenios de acuerdo con la coloración que indica el estado de la sostenibilidad. Los resultados fueron calculados en las dimensiones ambiental, económica y social, y haciendo un cálculo general de la sostenibilidad en los años que fue posible su evaluación.

Tabla 6. Resultados del cálculo de la sostenibilidad del actual aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca para los ingenios

Año	Índice ambiental	Índice económico	Índice social	Índice de desarrollo sostenible
2009	0,58	0,35	0,39	0,44
2010	0,63	0,36	0,41	0,43
2011	0,48	0,75	0,56	0,59
2012	0,49	0,43	0,53	0,48
2013	0,61	0,68	0,64	0,64

Fuente: elaboración propia

En la figura 4 se muestra la representación gráfica o biograma de la sostenibilidad de los ingenios azucareros, mostrando las variables ambiental, económica y social, con sus respectivas abreviaturas y resultados.

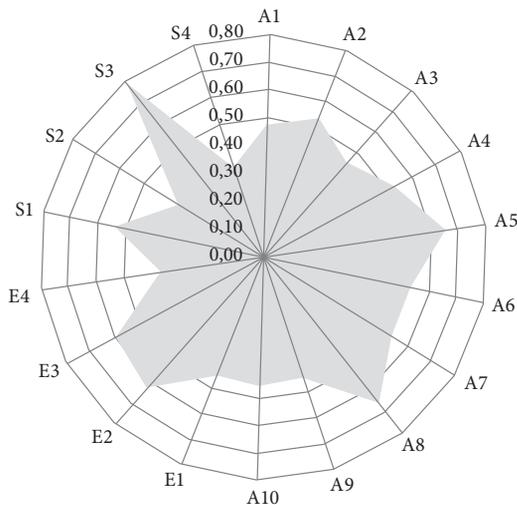


Figura 4. Biograma de la sostenibilidad del actual aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca para los ingenios

Fuente: elaboración propia

A pesar de que el mayor reporte de sostenibilidad en relación con los aspectos económicos fue 0,75 para el 2011, gracias a que este año se tuvo la mayor productividad del bagazo y por ende el ahorro en cambio de materias primas, el resultado general de la sostenibilidad fue 0,64 para el 2013,

ya que este año presenta calificaciones altas en las tres dimensiones. Además, la sostenibilidad económica logró recuperarse gracias a las mayores ventas de energía y fue uno de los reportes más altos en el ahorro por el cambio de materias primas debido al aumento del precio de las toneladas de carbón. La dimensión social tuvo el mayor índice de sostenibilidad debido a que para ese periodo se presentaron mayores personas beneficiadas en relación con la capacitación y participación en programas sociales por la concertación de nuevas alianzas educativas y de bienestar social con los ingenios.

La sostenibilidad en los ingenios presentó los menores niveles para los primeros periodos, porque para estos fue menor la disposición de bagazo y las ventas de energía a causa de la menor producción de caña molida. El primer año fue también el de menos inversión social debido a que no se habían implementado proyectos sociales como el programa educativo Uno para cada uno: educando al futuro.

En la tabla 7 se muestran los resultados del índice de desarrollo sostenible Propal de acuerdo con la coloración que nos indica el estado de la sostenibilidad, que se presenta de igual forma en la tabla 4; dichos resultados fueron obtenidos en las dimensiones ambiental, económica y social, y haciendo un cálculo general de la sostenibilidad en los años que fue posible su evaluación.

Tabla 7. Resultados del cálculo de la sostenibilidad del actual aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca para Propal

Año	Índice ambiental	Índice económico	Índice social	Índice de desarrollo sostenible
2010	0,56	0,25	0,37	0,39
2011	0,63	0,32	0,71	0,55
2012	0,42	0,75	0,50	0,55

Fuente: elaboración propia

En la figura 5 se muestra la representación gráfica o biograma de la sostenibilidad de Propal, y se evidencian las variables ambiental, económica y social, con sus respectivas abreviaturas y resultados.

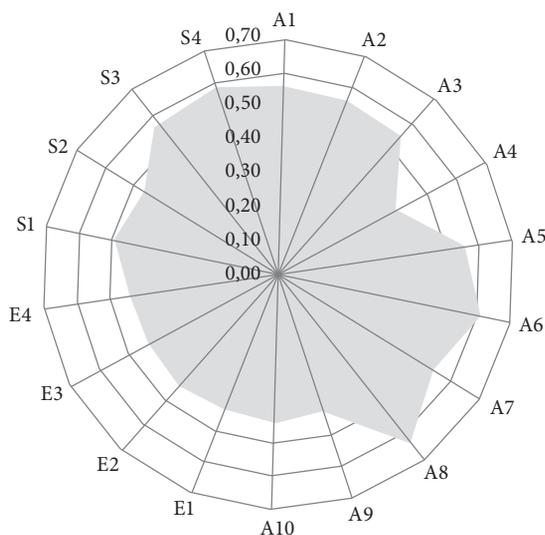


Figura 5. Biograma de la sostenibilidad del actual aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca para Propal
Fuente: elaboración propia

El análisis de la sostenibilidad para Propal, por medio de los resultados del índice de desarrollo sostenible, indica que hubo un aumento en uno de los periodos evaluados y para el siguiente se mantuvo estable; en los dos últimos momentos analizados, la dimensión social aporta al desempeño de la sostenibilidad de Propal y las dimensiones ambiental y económica lo hacen en uno de los tres periodos evaluados. El índice de desarrollo sostenible evaluado en el 2010 tiende a ser bajo, porque es el tiempo cuando se analizan los primeros datos de las variables, y estos indican que en los años posteriores existieron mejoras en el desarrollo sostenible, como se observa en la tabla 7.

El índice de sostenibilidad ambiental presenta un aumento y posterior disminución. Estos cambios están dados por variables que al interactuar registran una diferencia muy amplia entre sus datos, lo que genera promedios bajos y muestra una sostenibilidad que ronda el 50 %. La variable que más influye en estos cambios es el consumo de agua que tiene un promedio alto y resulta siendo un proceso sostenible.

El índice de sostenibilidad económico de Propal muestra un desempeño de sostenibilidad en crecimiento, porque las variables evaluadas como productividad del bagazo, ahorro económico por cambio de materia prima y generación de papel se interrelacionan y tienden al aumento constante en

los datos de sus variables. De acuerdo con los periodos analizados, para el 2012 alcanza su mayor nivel de sostenibilidad con un valor de 0,75, como se puede observar en la tabla 7.

Para finalizar, el índice a nivel social es desequilibrado, ya que algunos datos que fueron analizados presentan una gran diferencia de unidades, como la variable de inversión de proyectos sociales, que afecta el resultado final de la sostenibilidad en los periodos evaluados; sin embargo, se tienen variables que van en aumento, como la mejora del perfil laboral y la cantidad de personas atendidas por los programas de inversión social.

6. Discusión

El uso del indicador de desarrollo sostenible contribuye con la evaluación y análisis de la sostenibilidad de los procesos de aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, ya que permite visibilizar de manera global el nivel de sostenibilidad y analizar de manera individual las variables de cada dimensión. Esta doble condición hace que la metodología sea muy útil para la búsqueda de estrategias y toma de decisiones para la gestión ambiental, social y económica.

Se debe tener en cuenta que en la medida en la que el indicador integrado de desarrollo sostenible sea desarrollado y aumente la cantidad de periodos evaluados, sus resultados serán más robustos, ya que el aumento en la entrada de datos por temporalidad aumenta el nivel de precisión del indicador, siendo viable integrar nuevos indicadores que afecten la sostenibilidad de los procesos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda evaluar las variables seleccionadas a fin de insertar, modificar o descartar variables en cada una de las dimensiones, y así determinar un nivel de sostenibilidad en el aprovechamiento del bagazo de caña más preciso, ya sea por dimensión o en el resultado global; asimismo, se recomienda evaluar la inserción de otro tipo de dimensiones como la político institucional.

7. Conclusiones

La sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar para la producción de energía y papel en los periodos evaluados es inestable, y las

variables en las que más se deben proponer estrategias de mejora son la generación de vertimientos y la productividad del bagazo para mejorar el resultado del indicador y por ende el nivel de desarrollo sostenible. Por lo anterior, se recomienda implementar medidas como el secado previo al bagazo para disminuir el porcentaje de humedad y permitir mayor eficiencia en la combustión. De la misma manera, tanto los ingenios como Propal, en el desarrollo de sus actividades industriales, generan vertimientos caracterizados por su alta concentración de DBO y SST, y aunque cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, debe mejorarse la eficiencia de estas y asegurar que el 100 % de las aguas residuales sean tratadas para optimar la calidad de los vertimientos y evitar la contaminación del recurso hídrico de la región.

Los beneficios comunes, como la implementación de programas sociales o ingresos económicos derivados de las toneladas de caña molida aprovechada, hacen difícil la credibilidad de los datos de la sostenibilidad de cada uno de los procesos de aprovechamiento, ya que comparten en este caso beneficios sociales y económicos. Para el caso de la sostenibilidad social, se hace necesario mejorarla porque los habitantes del área de influencia directa del proceso son los que reciben los mayores impactos negativos. La incorporación de los empleados destituidos por el cambio o las mejoras tecnológicas que realizan las empresas aprovechadoras de bagazo de caña de azúcar a otros programas o proyectos del sector asegura que los niveles de empleo no disminuyan con el tiempo.

El aumento en la productividad del bagazo de caña de azúcar genera beneficios económicos para los ingenios azucareros en su proceso de cogeneración de energía. Por lo anterior, todas las mejoras tecnológicas en la eficiencia de las calderas, no solamente aportan a mejorar la sostenibilidad ambiental, sino también la sostenibilidad económica. La productividad del bagazo de caña de azúcar y de los productos fabricados por las empresas pueden resultar afectados por la situación sociopolítica de la región y de las mismas empresas, por lo que se recomienda tener en cuenta la participación activa de los grupos de interés, para evitar una disminución o parálisis de la producción, tanto de bagazo como de producto final.

Se recomienda investigar nuevas formas de utilizar o disponer los residuos de cosecha como

la integración de estos a las calderas para aumentar la producción eléctrica a partir de cogeneración, ya sea usándolos como porción para alimentación animal, abono para suelos, producción de hongos alimenticios a partir de bagazo, o como producción de bioetanol como medidas para reducir la generación de residuos. La implementación de programas como producción de hongos comestibles o inserción de hojas secas para cogeneración en relación con los desechos de cosecha mejoraría el proceso de cultivo de la caña de azúcar, lo que evitaría la saturación del suelo que genera la disposición de estos residuos picados en el área de cultivo y generaría ingresos financieros por su implementación.

Se recomienda implementar la metodología de determinación de la sostenibilidad por medio del indicador integrado de desarrollo sostenible propuesta por el IICA, para el aprovechamiento actual del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca por parte de Asocaña y Propal anualmente; de esta forma, se permite obtener resultados fiables, comparables y útiles para la toma de decisiones y acercamiento a la sostenibilidad. Para la aplicación más eficaz de la metodología, se recomienda que los datos ambientales sean reportados por las autoridades ambientales; de igual forma, que se reporten en los informes de sostenibilidad de Asocaña y de Propal, en las unidades que están estipuladas por la legislación, para corroborar el cumplimiento de la ley.

Referencias

- [1] L.F. Londoño Capurra, "Aspectos generales del sector azucarero colombiano 2015-2016", Asocaña, Cali, Colombia, Informe anual 2016 [en línea]. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/11993.aspx>
- [2] Asocaña, "El sector azucarero colombiano más que azúcar, una fuente de energía renovable", junio 2016 [en línea]. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/10392.aspx>
- [3] Asocaña, "Anexo estadístico 2014-2015", Cali, Colombia, Informe anual 2014-2015, 2015 [en línea]. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/11929.aspx>
- [4] Asocaña, "Aspectos generales del sector azucarero 2013-2014", Asocaña, Cali, Colombia, Informe anual 2014 [en línea]. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/10572.aspx>

- [5] Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], *Plan energético nacional Colombia: Ideario energético 2050*. Bogotá, Colombia: 2015 [en línea]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf
- [6] BNDES y CGEE, *Bioetanol de caña de azúcar, energía para el desarrollo sostenible*. Rio de Janeiro, Brasil: CEPAL, FAO 2008, p. 320. [en línea]. Disponible en: www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=5125
- [7] S. Sepúlveda, *Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, 2008, p. 132 [en línea]. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B0664e/B0664e.pdf>
- [8] O. A. Ávila Rojas y J. A. Suárez Duarte, "Análisis del ciclo de vida e integración del proceso de producción de Bioetanol de segunda generación a partir de bagazo de caña", Trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2010 [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6631/2/133914.pdf>
- [9] Z. G. Unday, "Estudio del impacto ambiental del uso del bagazo como fuente de energía en centrales azucareras en Cuba. Estudio de caso 'Melanio Hernández'", Tesis doctoral, Universidad de Girona, Matanzas, Cuba, 2005. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/50994>
- [10] C. Grogoletto Duarte, K. Gaudreau, R. Gibson y T. Malheiros, "Sustainability assessment of sugarcane ethanol production in Brazil: A case study of a sugar cane mill in Sao Paulo state", *Ecological Indicators*, vol. 30, pp. 119-129, 2013 [en línea]. Disponible en: <https://www.tamu.edu/faculty/tpd8/BICH407/Brazilenvsoc2.pdf>
- [11] M. M. El-Halwagi y C. A. Cardona, J. Moncada, "Techno-economic analysis for a sugarcane biorefinery: Colombian case", *Bioresource Technology*, vol. 135, p. 533-543, 2013.
- [12] Asocaña, "Anexo II. Procesos productivos Diagramas de entradas y salidas - Procesos productivos del sector azucarero", 20 enero 2011 [en línea]. Disponible en: <http://www.asocana.org/documentos/2012011-a46d6e8a-00ff00,000a000,878787,c3c3c3,0f0f0f,b4b4b4,ff00ff,fffff,2d2d2d,b9b9b9.pdf>
- [13] Asocaña, "Informe final convenio No. 011-12 suscrito entre Asocaña y Asoamaimé", 2015 [en línea]. Disponible en: <http://www.asocana.com.co/modules/documentos/10796.aspx>
- [14] A. Ortiz Rivera, "Tratamiento por acidificación controlada de licor negro derivado del bagazo de caña para la recuperación de lignina y reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)W". Proyecto de grado para optar al título de Magister en Ecotecnología, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia 2009 [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1462>
- [15] J. Rodríguez, T. Mañunga y C. Cárdenas, "Influencia de las fracciones de materia orgánica sobre el desempeño de un sistema de tratamiento de agua residual de una industria papelera", *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, vol. 15, n.º 2, pp. 447-455, 2012.
- [16] Asocaña, Guía ambiental para el subsector de la caña de azúcar", Sistema de Información Ambiental Minero Energético, 2010 [en línea]. Disponible en: http://www.siam.gov.co/siam/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/AGRICOLA%20Y%20PECUARIO/Guia%20Ambiental%20para%20el%20subsector%20Ca%C3%B1a%20de%20Azucar.pdf
- [17] Universidad Nacional de Cuyo, "Industria azucarera", *Revista Virtual Pro*, n.º. 106, p. 28, nov. 2010 Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/industria-azucarera>
- [18] C. Ronderos y L. Palacios, "Aspectos económico, sociales y ambientales de la industria de la caña de azúcar en Colombia. Reseña Bibliográfica". Bogotá, Colombia: Universidad Sergio Arboleda, 2011 [en línea]. Disponible en: http://www.academia.edu/4328305/responsabilidad_social_ambiental_industria_azucarera
- [19] Carvajal Pulpa y Papel, "Carvajal Pulpa y Papel, proceso de producción", 2015 [en línea]. Disponible en: <http://www.carvajalpulpaypapel.com/productos/proceso-de-produccion/>
- [20] D. C. Barrera, "Integración de la cogeneración en el mercado eléctrico", Tesis de Maestría en Gestión Técnica y Económica del Sector Eléctrico, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad Pontificia Comillas Sevilla, España, 2013 [en línea]. Disponible en: <https://www.iit.comillas.edu/docs/TM-03-004.pdf>
- [21] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2015, sep. 22) *Certificación 0111-15, por la cual se certifica que son acreditables los elementos y equipos objeto de la solicitud de exclusión del impuesto sobre las ventas IVA presentada por la empresa Mayagüez S.A., y se toman otras determinaciones*. Bogotá, Colombia: 2015 [en línea]. Disponible en: http://www.anla.gov.co/sites/default/files/certi_0111-15_22092015.pdf

- [22] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), *Estado de la calidad del aire en Colombia 2007-2010* D.C. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012, p. 311 [en línea]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022433/CALIDADDELAIREWEB.pdf>
- [23] H. García, A. Corredor, L. Calderón y M. Gómez, “Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia”, Fedesarrollo, Bogotá, Documento preparado para WWF, oct. 2013 [en línea]. Disponible en: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf
- [24] Carvajal Pulpa y Papel, “Informe de avances del convenio de reconversión a tecnología limpia CRTL, suscrito entre Carvajal Pulpa y Papel S.A. y la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC”, Yumbo, Valle del Cauca: Carvajal Pulpa y Papel, 2011.
- [25] Carvajal Pulpa y Papel, “Informe de Social y Ambiental 2014”, Yumbo, Valle del Cauca: Carvajal Pulpa y Papel, 2014 [en línea]. Disponible en: <http://www.carvajal.com/informes/SocialAmbiental2014.pdf>
- [26] Asocaña, “Balance azucarero colombiano Asocaña 2000 – 2016”, 2016 [en línea]. Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/vistadocumento.aspx?id=5528&>
- [27] P. Delgado Gómez, “Producción de energía a partir de bagazo de caña superará los 350Mw en 2017”, *La República*, 28, julio 2014. [en línea]. Disponible en: http://www.larepublica.co/%E2%80%9Cproducci%C3%B3n-de-energ%C3%A1a-partir-de-bagazo-de-ca%C3%B1a-superar%C3%A1-los-350mw-en-2017%E2%80%9D_150146
- [28] Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], “Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano, enero de 2015”, *Sistema de Información Eléctrico Colombiano (SIEL)*, 2015 [en línea]. Disponible en: http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2015/Seguimiento_Variables_Enero_2015.pdf
- [29] Carvajal Pulpa y Papel, “Earth Pact” [en línea]. Disponible en: <http://www.carvajalpulpaypapel.com/earth-pact/>
- [30] Carvajal Pulpa y Papel, “Carvajal Pulpa y Papel firma un pacto verde con el planeta”, 2016 [en línea]. Disponible en: <http://www.carvajal.com/carvajal-pulpa-y-papel-firma-un-pacto-verde-con-el-planeta.html>
- [31] N. Garrido Carrelero y F. Diez Torres, “Bagazo de caña de azúcar: ¿energía o etanol carburante? dos casos de estudio”, *Ingeniería Química Alcion*, vol. 506, pp. 76-85, 2012.

