

Propuesta metodológica para la gestión de residuos en la industria azucarera usando *lean manufacturing*

Methodological proposal for including *lean manufacturing* in sugar industry waste management

COLCIENCIAS TIPO 4. ARTÍCULO CORTO

RECIBIDO: MAYO 21, 2013; ACEPTADO: JULIO 20, 2013

Sulay Ruiz Mostacilla
sula_0729@hotmail.com

Martha C. Sandino R
macesa2000@hotmail.com

Universidad Santiago de Cali, Colombia

Resumen

Este artículo apunta a aportar en la solución de la problemática de contaminación ambiental que se genera por la mala utilización de los residuos en la industria azucarera. Como resultado, se identificaron estrategias de *lean manufacturing* para la gestión de residuos. En el proceso, se realizó un diagnóstico para conocer el manejo dado a los residuos de cada etapa del proceso, mediante la recopilación de información en algunos ingenios azucareros del Valle del Cauca; luego, se diseñó la propuesta metodológica del plan de *lean manufacturing*. El trabajo realizado incluyó las etapas de diagnóstico, fuentes de generación y clasificación de residuos; identificación de la estrategia a seguir, determinación del tratamiento o destino, determinación del transporte y almacenamiento, medición y control.

Palabras Clave

Manufactura esbelta; producción esbelta; gestión de residuos; industria azucarera; caña de azúcar.

Abstract

This article deals with the problem of the misuse of the residues in the sugar industry which cause pollution to the environment. As a result, it identifies strategies to implement lean manufacturing in waste management. A diagnosis was made in order to know how they are handling the waste of each process, by collecting information in some sugar mills in the Cauca Valley. For the present work we applied the following steps: diagnosis, power generation and waste classification, identification of the strategy, the treatment or fate determination, determination of transport and storage, measurement and control.

Keywords

Lean manufacturing; lean production; waste management; sugar industry; sugarcane.

I. INTRODUCCIÓN

La responsabilidad ambiental es un tema crítico al que debe hacer frente la industria en el inicio del siglo XXI. Producir eficientemente ya no es suficiente; es necesario ser ambientalmente responsable. En ello, el uso eficiente de los recursos naturales y la reducción del impacto ambiental, son temas fundamentales.

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, que abarca los municipios del norte del departamento del Cauca, la franja central del departamento del Valle y el sur del departamento de Risaralda. En esta región hay 223.905 hectáreas sembradas en caña, de las cuales, el 24% corresponde a tierras de los ingenios y el restante 76% a más de 2.000 cultivadores de caña. En conjunto abastecen a los trece ingenios de la región (Asocaña (2012)). A su infraestructura, desde 2005, cinco de ellos han agregado destilerías anexas para la producción de alcohol carburante.

La industria azucarera colombiana se caracteriza por ser, no solo una de las más organizadas a nivel gremial, sino también de las que más han avanzado en el uso de tecnología de vanguardia en sus procesos productivos, tanto en el campo, como en la fábrica. Además, mantiene excelentes estándares de calidad y eficiencia; casi todos sus productos cuentan con sello de calidad y sus empresas están certificadas –o en proceso de estarlo– en aseguramiento de la calidad NTC ISO 9001:2000. La industria azucarera está clasificada en la categoría *Alto comportamiento técnico* por LMC Internacional.

En la industria azucarera es posible identificar tres áreas productivas: campo, cosecha y fábrica, y en cada una de ellas una variedad de residuos. La presente investigación está relacionada con el manejo de estos residuos, pensando en la reducción de su impacto ambiental. Se busca integrar todas sus áreas –productivas y no productivas–, en torno a una metodología de manejo de residuos basada en *lean manufacturing*, concepto que abarca un conjunto de técnicas de fabricación que buscan la mejora de los procesos productivos a través de la reducción de todo tipo de desperdicio (Womack & Jones, 2005).

La relación entre la producción *lean* y la gestión medioambiental ha sido estudiada por diferentes autores (Miller, Pawloski, & Standridgel, 2010; Sawhney, Teparakul, Aruna, & Li, 2007), quienes señalan que la eliminación sistemática de residuos, pilar fundamental de la filosofía *lean*, encaja perfectamente con la estrategia general

de protección del entorno, por lo que *lean manufacturing* puede ser considerado un sistema productivo sostenible.

La producción sostenible es definida por Allwood (2005, citado por Lujan, Vintró, Fortuny, & Suñe, 2011) como un método de transformación de materiales sin la emisión de gases de efecto invernadero, la utilización de materiales no renovables o tóxicos o la generación de despilfarro.

La pregunta central en la formulación del problema – que define su objetivo general– está relacionada con la identificación de las estrategias de *lean manufacturing* que se podrían implementar para la gestión de residuos en el sector azucarero.

Los objetivos específicos –a los cuales apunta esta investigación– son: diagnosticar la manera en que se están manejando los residuos de los procesos en la industria azucarera y realizar una propuesta metodológica para incorporar el *lean manufacturing* en su gestión de residuos. Más allá de las consideraciones de carácter ambiental – válidas, esenciales–, este tipo de estrategias le permitirán al sector una gestión eficiente que recupere el máximo del valor de sus insumos.

II. MÉTODO

Los objetivos específicos declarados guían el proceso de trabajo. Para el primero, diagnosticar la manera en que se están manejando los residuos de los procesos en la industria azucarera, se recopila información a través de fuentes secundarias (vía Internet) y fuentes primarias, específicamente a partir de la realización de entrevistas a informantes clave en dos de los ingenios –uno de los de mayor tamaño y uno de los más pequeños– de la región.

Esta actividad estuvo orientada a conocer los procesos de la caña de azúcar para obtener la traza que va dejando un producto por todos los procesos internos de un ingenio.

Para la realización de las entrevistas se planteó un guión semiestructurado, con dos secciones fundamentales:

- *Procesos.* ¿Cuáles son los procesos de producción de azúcar? ¿Cómo manejan los residuos y desperdicios de cada uno?
- *Impacto ambiental.* ¿Qué problemas o dificultades enfrentan por el impacto ambiental de su producción?

Para el segundo objetivo, realizar una propuesta

metodológica para incorporar el *lean manufacturing* en la gestión de residuos, se planifican los pasos en la implementación de un sistema de este tipo: análisis de las barreras de entrada (donde se decide si se permite o no al residuo la entrada en el sistema *lean*, es decir, si interesa o no el retorno para su recuperación), gestión de la recogida (del residuo que se desea que retorne) y clasificación (decisión de qué hacer con cada residuo).

Con este tipo de método se describen e interpretan los fenómenos a través de las percepciones que tiene cada uno de los entrevistados. Las hipótesis y preguntas se pueden ir desarrollando antes, durante y después de la recolección y análisis de los datos; primero se descubren las preguntas de investigación más importantes, después se refinan y responden.

Como limitaciones del método empleado se reconoce que: el diseño de las entrevistas, semiestructurado, predeterminado, limita la recolección de datos; la disposición, por parte de los ingenieros, para brindar información está limitada por las políticas institucionales y su disponibilidad de tiempo; el número de ingenios seleccionados, dos, dificulta inferir para todo el sector.

III. RESULTADOS

A. El proceso de producción

Las entrevistas realizadas permitieron precisar que el proceso por el cual la caña de azúcar se transforma en azúcar y etanol consta de las siguientes etapas:

- *Alimentación de la caña*. Consiste en el pesaje de la caña que llega al ingenio y su descarga sobre las mesas de alimentación.
- *Molienda*. En esta etapa se realiza el proceso de extracción de la sacarosa que consiste en exprimir y lavar el colchón de bagazo. El jugo que se obtiene junto con el agua de imbibición, constituye el jugo mixto que se somete a la etapa de clarificación.
- *Clarificación*. El proceso más utilizado es el de sulfitación y alcalinización en caliente; posteriormente se sedimentan y decantan los sólidos en clarificadores continuos, los cuales pasan a los filtros rotatorios y al vacío, donde se utiliza agua de lavado, obteniendo cachaza, como residuo.
- *Evaporación*. Se extrae el 75% del contenido de agua del jugo y los condensados, normalmente, son reciclados y/o reutilizados.

- *Cristalización de la sacarosa*. Se realiza en recipientes al vacío. De acuerdo con su pureza se obtienen tres tipos de azúcares: crudo, blanco y refinado.
- *Centrifugación*. Los cristales de azúcar se separan de la miel restante (melaza) en las centrifugas. Las mieles vuelven a los tachos o se utilizan como materia prima para la producción de alcohol etílico.
- *Secado*. El azúcar húmedo que sale de las centrifugas pasa a los secadores y luego se enfría antes de su fraccionamiento.

B. Manejo de desperdicios

La investigación en Internet recogió el aporte de algunos autores sobre la utilización de los desperdicios, residuos y desechos en el sector azucarero.

Las centrales azucareras son, por definición, grandes contaminadoras, por la gran cantidad de desecho que genera su proceso agroindustrial; sus residuos pueden revalorizarse transformándose en materiales orgánicos con la ayuda del desarrollo de tecnologías y el aporte de microorganismos para que estos procesos degradativos sean aprovechados por las diversas actividades del ser humano (Calero, 1999).

Por cada tonelada de tallos molidos en el proceso de transformación agroindustrial, se extraen 250 kg de bagazo, 6 kg de cenizas, 45 kg de melaza, 30 kg de cachaza y 14 L de vinaza por cada litro de alcohol producido a partir de la melaza (Sánchez, 2009).

Generalmente, estos subproductos, son usados en el proceso de compostaje ya que constituyen un problema de contaminación ambiental, por la gran cantidad de residuos que se generan anualmente y que en forma permanente alterarían irreversiblemente los ecosistemas cercanos a las centrales; por ello, se les debe dar una salida, gestionándolos de la manera más económica, social y ambientalmente posible (Miranda, 2001).

El compostaje es una alternativa a la problemática de contaminación de los desechos orgánicos que se generan en la industria del azúcar, sin embargo, se manejan desconociendo la dinámica microbiana presente en el proceso, esto es los microorganismos responsables de la degradación de los desechos orgánicos y por ello los factores físicos-químicos que favorecen su actividad (Godoy, 2002).

La industria azucarera es una de las que provoca mayor impacto negativo sobre el medioambiente, ya que genera emisiones de gases efecto invernadero. Tiene además gran incidencia sobre el suelo, originado por los métodos de producción y cosecha de la caña.

Por su parte, los entrevistados aportaron la siguiente información a la descripción del problema ambiental en el sector.

La industria azucarera genera distintos contaminantes, los cuales se pueden agrupar por el estado en que se encuentran. Se obtienen contaminantes en estado sólido, líquido y gaseoso:

- *Desechos sólidos.* Entre las principales fuentes generadoras se observan: chatarra, material o ceniza recogido en la pantalla de lavado, bagacillo (polvo muy fino que cae del transportador hacia las calderas), cachaza (material particulado recogido durante el proceso de filtración), basura doméstica. La chatarra puede ser vendida, el material de ceniza, el bagacillo y la cachaza son dispuestos en una zona particular para ser ofrecido como fertilizante.
- *Desechos líquidos.* Pueden clasificarse en cuatro grandes flujos: aguas de servicio en el proceso del azúcar; aguas de lavado en el ingenio y la destilería; efluentes de destilería; y aceites y grasas lubricantes por lavado y mantenimiento de máquinas y equipos.
- *Desechos gaseosos.* Las que producen las chimeneas. Los principales contaminantes son el óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y el monóxido de carbono.

Sin embargo, los entrevistados indican que en este sector existe la preocupación por el impacto ambiental que generan en todas sus etapas. Su gran productividad de biomasa lo convierte en un cultivo que fija gran cantidad de carbono, genera subproductos valiosos (bagazo) y tiene mucho potencial de diversificación.

Algunas de las actividades realizadas por los ingenios azucareros orientadas a reducir su impacto ambiental –o generar un impacto positivo– son:

- *Optimización del uso de agua.* Desde el punto de vista económico, es necesario disminuir los costos de producción para que esta actividad industrial sea factible; a ello contribuye el aprovechamiento

correcto del agua que se utiliza tanto para riego, como para consumo en la planta; se han tomado las medidas necesarias, en todos los sistemas hidráulicos, para minimizar el consumo de agua.

- *Control biológico de plagas.* Cómo estrategia para combatir el gusano barrenador, una de las plagas con mayor potencial de afectar la caña de azúcar, se cultiva una pequeña avispa conocida científicamente como *Cotesia Flavipes* que actúa como control biológico natural, lo que elimina o reduce significativamente, el uso de insecticidas para esta tarea.
- *Manejo racional de agroquímicos.* Las cantidades utilizadas no exceden un litro por hectárea. Asimismo, son muy utilizados productos bióticos como los abonos foliares, los cuales también actúan como agentes maduradores. La aplicación aérea se realiza respetando las franjas de protección establecidas por las autoridades competentes.
- *Control de las emisiones atmosféricas de las chimeneas.* La quema de caña provoca contaminación ambiental derivada de un ineficiente proceso de generación de energía por el alto porcentaje de consumo de leña; lo que constituye una de las causas de emisión de los gases del efecto invernadero a nivel general.
- *Utilización de subproductos.* La naturaleza, principalmente orgánica, de sus residuos, es la característica que mayores oportunidades ofrece. Su biodegradabilidad permite grandes posibilidades de reutilización. La Tabla 2 define los cuatro principales subproductos y su utilización.

Tabla 2. Sub productos y su utilidad

| Subproducto | Definición / Uso |
|-------------|--|
| Melaza | Residuo obtenido durante la centrifugación y que se utiliza para la elaboración del alcohol y como alimento para el ganado. |
| Bagazo | Residuo fibroso de la molienda de la caña. Su combustión puede satisfacer las necesidades de energía del ingenio y también generar energía adicional con los consecuentes beneficios económicos y ecológicos. Se lo utiliza en la fabricación de papel, aglomerados y forraje. El problema radica en que su empleo como combustible genera emisiones de humo y partículas que es necesario controlar |
| Cachaza | Residuo rico en materia orgánica, hierro, fósforo y silice y bajo en cobre, cinc, manganeso y molibdeno. Se lo aprovecha para sustituir fertilizantes inorgánicos y mejorar los suelos cañeros |
| Vinaza | Residuo de fuerte acidez, que contiene sales, rico en materia orgánica y potasio y pobre en nitrógeno y fósforo, por lo que también ayuda a mejorar los suelos cañeros. |

C. Propuesta metodológica para la incorporación de *lean manufacturing* en la gestión de residuos

Las etapas de *lean manufacturing* propuestas son:

1. *Diagnóstico*. Su objetivo fundamental es conocer la situación actual de la industria azucarera a través de una inspección rigurosa, se analizan las pérdidas, residuos, desechos, se analizan las entradas al sistema y toda la información que lleva consigo dicha fase.

Para realizar la evaluación de la gestión de residuos se pueden utilizar herramientas como el diagrama Espina de pescado y el diagrama de Pareto (ver Figuras 1 y 2).

Como resultado del diagnóstico los desperdicios en el sector azucarero son causados principalmente por problemas de operación, mala calidad de materia prima y variabilidad de procesos. Además, dado que la industria azucarera genera distintos contaminantes, ellos se pueden agrupar según el estado en que se encuentran (sólido, líquido y gaseoso).

Figura 1. Diagrama Espina de pescado

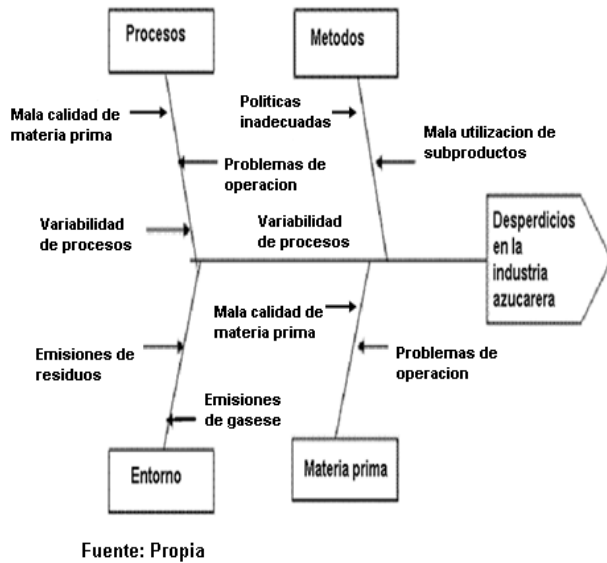


Figura 2. Diagrama de Pareto

| Causas de los efectos | Frecuencia | % |
|----------------------------------|------------|-----|
| Problemas de operación | 2 | 20 |
| Mala calidad de la materia prima | 2 | 20 |
| Variabilidad de procesos | 2 | 20 |
| Mala utilización de subproductos | 1 | 10 |
| Políticas Inadecuadas | 1 | 10 |
| Emisión de gases | 1 | 10 |
| Emisión de residuos | 1 | 10 |
| Total de casos | 10 | 100 |

20% → Problemas de operación
 20% → Mala calidad de materia prima
 20% → Variabilidad de procesos
 60%

Pero por otra parte, el diagnóstico arroja que los ingenios azucareros realizan actividades para la mejora del medio ambiente tales como: optimización continua del agua para riego y en los consumos de agua en la fábrica, control biológico de plagas, manejo racional de agroquímicos, control de las emisiones atmosféricas y utilización de subproductos.

2. *Fuentes de generación*. Se debe realizar un análisis de las fuentes de emisión de los volúmenes que se generan, e identificar las alternativas a analizar para pasar a la etapa siguiente; es un tiempo de recopilación de información a través de registros fundamentalmente y evalúa qué impacto genera dicha fuente al medio ambiente para determinar forma de almacenamiento y recepción. La forma de ejercer control sobre los residuos que se generan en todo los ingenios es a través de una Tabla de Identificación de Residuos (Figura 3), discriminada y ordenada por el tipo de material del residuo; a partir de allí se identifican las fuentes generadoras, el tipo de residuo (PA – Peligroso Aprovechable; NPA – No Peligroso Aprovechable; PNA – Peligroso No Aprovechable; NPNA – No Peligroso No Aprovechable) y las cantidades, se asigna un responsable de disposición y se define el tipo de tratamiento.

Figura 3. Esquema de Tabla de identificación de residuos

| Tabla de identificación y clasificación de residuos | | | | | | | | |
|---|---------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|
| Residuo generado | Fuente generadora (sitio) | Clase de residuo | Cantidad y medición | Responsable de acopio temporal | Responsable de disposición final | Almacenamiento temporal | Tipo de disposición | Proveedor |
| | | | | | | | | |

3. *Clasificación de residuos*: Se debe evaluar el residuo teniendo en cuenta diferentes criterios como son su estado, el grado de peligrosidad, su origen y destino, el grado de control que se tiene sobre él, su caracterización y el tipo de almacenamiento temporal que requiere, según su clasificación; para esto es necesario enmarcar estos grupos de residuos dentro de códigos de clasificación con el fin de obtener la descripción técnica del material, las consideraciones de seguridad industrial y ambiental para el manejo y criterios ecológicamente viables para su disposición final.

La clasificación del residuo se lleva a cabo por el tipo de residuo, donde se utilizarán los siguientes códigos para su clasificación (i.e., PA, NPA, PNA, NPNA).

4. *Identificación de la estrategia a seguir*: Se debe determinar la estrategia de tratamiento que debe seguir el residuo o desecho (e.g., reciclar, reutilizar, canibalizar, restaurar; directamente, a través de terceros). Para esto es necesario contar con un grupo de especialistas y consultar la normativa existente (nacional e internacional).

5. *Determinación del tratamiento o destino*: Una vez identificada la estrategia a seguir se realiza el tratamiento decidido o se pasa al destino final. Esto implica la decisión entre procesos de disposición y tratamiento (e.g., vertido sin control, vertido controlado, incineración y reciclado).

6. *Transporte y almacenamiento*: Esta es la penúltima etapa del proceso. Representa entre 60 y 80% de los costos globales y tiene, en consecuencia, gran importancia económica.

En esta fase es de vital importancia determinar las rutas de recogida, la frecuencia de recogida y las condiciones de transporte, y determinar la alternativa o alternativas más económicas teniendo en cuenta los costos asociados a dicha gestión.

La frecuencia de recogida depende del tipo de residuo y de la magnitud de su generación. Los horarios son establecidos a conveniencia y por acuerdo de los centros involucrados, pero siempre fuera del horario de trabajo o sin interferir en el funcionamiento con los equipos y personal especializados para evitar contaminación.

7. *Medición y Control*: Esta última etapa es de gran importancia ya que permite tener un control riguroso en cada una de las etapas, evaluar las mismas a través de indicadores y plantear diferentes alternativas de solución en cada momento. Una propuesta de indicadores

es: cantidad de pérdidas o residuos; costo total de gestión; costo por pérdidas y residuos; frecuencia de generación; cumplimiento de la frecuencia de recogidas; estructura de la composición de los residuos; costo de almacenamiento y transportación; y comparación entre los volúmenes potenciales a recuperarse en comparación con lo que realmente se recupera.

Además, es necesario tener el control a través de registros de una serie de datos: llevar el control de la cantidad de pérdidas y residuos en porcentaje y volumen; determinar el intervalo de tiempo entre la verificación y el control del volumen de residuos y pérdidas; llevar el control de la clasificación, tratamiento y destino de los residuos y las pérdidas; y llevar el control de toda la información relacionada con el proceso.

IV. CONCLUSIONES

Los amplios volúmenes de materias primas que se manejan al interior de los ingenios son causales de la gran variedad de residuos.

Se hizo una propuesta metodológica de implementación con la finalidad de hacer una guía de los pasos que se deben llevar a cabo para el buen manejo de los residuos en el sector azucarero a través del *lean manufacturing* y así poder disminuir la contaminación al medio ambiente, que es lo que tanto preocupa en este sector. Es evidente que, al incorporar *lean manufacturing* en la gestión de los residuos, se logra un mejor uso y un control adecuado de los residuos que genera cada proceso.

La implantación de la metodología *Lean Manufacturing* implica el compromiso de todas las áreas funcionales de los ingenios y supone un cambio de mentalidad basado en la calidad total y un ambiente sostenible. También ayuda a reducir costos y obtener mayor calidad en todos los procesos y con esto tener mayor rentabilidad. Es un sistema de calidad que debería adoptar todo el sector azucarero para poder ser mejores. *Lean* es básicamente todo lo concerniente a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

Se considera cumplido el objetivo inicial, definido como identificar las estrategias de *lean manufacturing* que se podrían implementar para la gestión de residuos en el sector azucarero, para contribuir a la solución de la problemática planteada.

V. REFERENCIAS

- Asocaña (2012). *El sector azucarero colombiano en la actualidad*. Cali, Colombia: Asocaña
- Calero, L. (1999). Manejo integral de residuos sólidos. *Revista Carta Trimestral*, 21(2), 34-36
- Godoy, N. (2002). *Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de compost en la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela* [tesis]. Universidad Central de Venezuela: Maracay
- Lujan, I., Vintró, C., Fortuny, J., & Suñe, A. (2011). *Estudio de la relación entre Lean manufacturing y gestión medioambiental (Lean and green) en la industria Catalana* [ponencia en 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management / XV Congreso de Ingeniería de Organización Cartagena]. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/13739/3/lean.pdf.txt>
- Miller, G., Pawloski, J., Standridge, Ch. (2010). A case study of lean, sustainable manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(1), 11-32
- Miranda, G. (2001). *Evaluación del proceso de compostaje a partir de residuos de la industria azucarera* [tesis]. Universidad Central de Venezuela, Maracay
- Sánchez T. (2009). *Caracterización Microbiológica del Proceso de Compostaje a partir de residuos azucareros*. <http://sian.inia.gob.ve>
- Sawhney, R., Teparakul, P., Aruna, B., & Li, X. (2007). En-lean: a framework to align lean and green manufacturing in the metal cutting supply chain. *International Journal of Enterprise Network Management*, 1 (3), 238-260
- Womack, J. & Jones, D. (2005). *Lean thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa*. Madrid, España: Gestión 2000

CURRÍCULOS

Sulay Ruiz Mostacilla. Aspirante al título de Ingeniera Industrial y a la Especialización en Gerencia Logística Integral en la Universidad Santiago de Cali [USC].

Martha Cecilia Sandino. Administradora de Empresas, Magíster en Administración de Empresas, y Magister en Educación Superior. Es docente de la Universidad Santiago de Cali y de la Escuela Nacional del Deporte.