

Marco metodológico para evaluar el desempeño ambiental de la disposición de residuos y subproductos en la producción de FCOJ

Methodological framework for assessing the environmental performance related to the disposal of waste and by-products of FCOJ production

Andréia Marize Rodrigues

andreia.marize@unesp.br

Doctora en Ingeniería Mecánica (USP/Brasil); Magíster en Ingeniería de Producción (UFSCar/Brasil); graduada en Ingeniería de Alimentos (UNESP, Brasil). Profesora en la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias (FCAV), UNESP, Brasil.

Marcelo Giroto Rebelato

ac.cerqueiraamanda@gmail.com

Doctor en Ingeniería Mecánica, Magíster en Ingeniería de Producción y graduado en Ingeniería de Producción (USP, Brasil). Profesor en la Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias (FCAV), UNESP, Brasil.

Amanda Cerqueira

ac.cerqueiraamanda@gmail.com

Magíster en Ciencias Ambientales (UFSCar, Brasil); graduada en Ciencias Biológicas, UNESP, Brasil.

Juan Arturo Castañeda-Ayarza

juan.arturo@puc-campinas.edu.br

Doctor y Magíster en Planeamiento de Sistemas de Energía (Unicamp, Brasil); graduado en Administración de Empresas (UNCP, Perú). Profesor e investigador en el Centro de Economía y Administración de la Universidad Católica de Campinas (PUCCAMP, Brasil).

pensamiento y gestión, N.º 47

ISSN 1657-6276

<http://dx.doi.org/10.14482/pege.47.5820>

Resumen

Las operaciones productivas industriales generan residuos que impactan el suelo, el agua y la atmósfera. En Brasil, las operaciones industriales de la producción de jugo de naranja congelado y concentrado (FCOJ) impactan el ambiente debido a los millones de toneladas de residuos y subproductos que se generan. El objetivo de esta investigación es proponer un marco metodológico que permita evaluar el desempeño ambiental de la disposición de residuos y subproductos generados en las etapas industriales de la producción de FCOJ. Para esto se elaboró un constructo con base en 37 residuos/subproductos, ponderados a través del método *analytic hierarchy process*. Las principales contribuciones de la propuesta son: considera especificidades del proceso productivo de FCOJ; tiene como base los residuos y subproductos generados; pondera el impacto en el agua, el suelo y la atmósfera para cada residuo y subproducto, de acuerdo con su composición y la cantidad generada; muestra el vertimiento adecuado para cada elemento considerado.

Palabras clave: *desempeño ambiental, FCOJ, industria citrícola, residuos, subproductos.*



Abstract

Industrial production operations generate waste that impacts on soils, water and atmosphere. In Brazil, industrial operation of production of orange juice, frozen and concentrated (FCOJ) have impact upon the environment due to millions of tons of waste and by-products generated. The objective of this research is to propose a methodological framework to evaluate the environmental performance of the disposal of waste and by-products generated in the industrial stage of FCOJ production. A construct based on 37 residues/by-products from FCOJ production, weighted through the analytic hierarchy process method, was elaborated. The main contributions of the proposal are: specificities of the productive process have been considered; it is based on the waste and by-products generated; it weighs the impact on water, soil and atmosphere for each waste and by-product, according its composition and quantity generated; it shows the adequate shedding for each element considered.

Keywords: *environmental performance, FCOJ, citrus industry wastes, by-products.*

1. INTRODUCCIÓN

Todo proceso industrial imprime sus efectos en el medio ambiente, en especial a través de los residuos sólidos, los residuales líquidos y la emisión de gases que resultan de las actividades productivas, y los cuales tienen un alto potencial de impacto negativo en las tres esferas ambientales: suelo, agua y atmósfera. Por tanto, el aumento de la preocupación con los niveles de degradación del medio ambiente causadas por las industrias permitió el surgimiento de una nueva función organizacional, denominada de “gestión ambiental” (Rebelato, Saran, Paulino y Rodrigues, 2017).

La gestión ambiental se define como las directrices o actividades administrativas y operacionales realizadas por las empresas, por las cuales buscan productos y procesos productivos con menor impacto ambiental (Haden, Oyler y Humphreys, 2009). Esta función organizacional, que depende de las actitudes y la postura de la empresa, también se propone alcanzar efectos positivos sobre el medio ambiente, bien sea por la reducción, por la eliminación de daños provocados a causa de la acción humana, o bien por la posibilidad de impedir la aparición de sus efectos negativos (Barbieri, 2012; Rohrich y Cunha, 2004; Rowland-Jones, Pride y Cresser, 2005).

La conducción de negocios industriales, pautada en la gestión ambiental, presupone la adopción de acciones que deriven en el incremento del desempeño ambiental de las propias actividades productivas (El Korchi y Millet, 2011; Srivastava y Srivastava, 2006). Zobel, Amroth, Bresky y Burman (2002) definen el desempeño ambiental como la información obtenida a partir de indicadores que posibilitan comparar, entre sí o a partir de un referente conceptual, los requisitos ambientales de una empresa.

Así, la evaluación del desempeño ambiental (EDA) consiste en un proceso que busca auxiliar la toma de decisión gerencial sobre el desempeño ambiental de la organización, por medio de indicadores, de colecta y análisis de datos, así como del análisis de información con base en criterios de desempeño ambiental, además de la divulgación, la revisión y la mejora de todo el proceso (ISO/DIS 14031, 2013).

De acuerdo con Searcy, Karapetrovic y McCartney (2005), en la actual literatura sobre evaluación del desempeño ambiental no se observa con claridad un consenso sobre los asuntos ambientales que se deben medir. En este sentido, autores como Hunt y Auster (1990), Delmas y Toffel (2004), Tahir y Darton (2010), Delai y Takahashi (2011), Ucker, Kemerich y Almeida (2012), Almeida y Sellito (2013), Rodrigues, Rebelato y Zeviani (2015), Shen, Muduli y Barve (2015), y Rebelato, et al. (2017) proponen métodos y herramientas diversas que contribuyen con la tarea de evaluar el desempeño ambiental.

Mientras tanto, los impactos ambientales provocados por las operaciones productivas se pueden distinguir con claridad a través de los sectores económicos. En la producción de jugo de naranja concentrado y congelado, conocido en inglés como *frozen concentrated orange juice* (FCOJ), el Brasil es líder mundial desde 1982 y, en la actualidad, representa el 50% de la producción mundial (CITRUSBR, 2016). Esta posición de mercado conlleva, de manera implícita, la importancia del impacto ambiental que el sector de FCOJ puede causar. Esto al resaltar que en las etapas industriales necesarias para la producción del jugo de naranja se generan residuos sólidos, residuales **líquidos** y emisiones de gases, tales como jarabe, agua amarilla, bagazo y compuestos orgánicos volátiles (COV), entre otros. Algunos tienen potencial productivo con valor agregado y se transforman en subproductos, mientras que aquellos que no pueden reaprovecharse necesitan una correcta disposición para evitar impactos negativos en el medio ambiente.

Aunque no fue posible encontrar literatura que muestre un marco metodológico para la EDA, para los residuos y subproductos generados en la industria productora de FCOJ, en específico, el contexto descrito en los párrafos anteriores muestra el aumento del interés por los estudios sectoriales que evalúen el desempeño ambiental mediante el levantamiento de datos sobre prácticas ambientales adoptadas por las empresas. Esos estudios podrían contribuir a la elaboración de políticas públicas ambientales, y servir como modelo para otras empresas que busquen mejorar la gestión de sus prácticas ambientales.

Por consiguiente, el objetivo de este trabajo consiste en construir un marco metodológico que permita evaluar el desempeño ambiental en la dis-

posición de los residuos y subproductos generados en las etapas industriales del proceso tradicional de producción (extracción mecánica) de FCOJ. En función de esto, el trabajo se divide en cinco tópicos, lo cual incluye esta introducción. El segundo tópico trata de los aspectos metodológicos. El tópico tres aborda el panorama de los estudios sectoriales realizados sobre la EDA y describe las operaciones productivas, además de los residuos y subproductos que se generan. En el cuarto tópico se encuentra la propuesta del marco metodológico y un ejemplo de su aplicación. La última parte traza las consideraciones finales del trabajo.

2. MÉTODO

Esta investigación es de carácter referencial, descriptivo y cuantitativo, y su método lo componen dos fases.

2.1 Fase 1

En esta fase se colectó información sobre las operaciones necesarias para la producción mecánica de FCOJ. Este proceso de producción se escogió por ser el más utilizado por las empresas, además de que lo consideran el proceso más rentable para la obtención de FCOJ (Mastello, Janzantti y Monteiro, 2015).

Sin embargo, el flujo completo y detallado del proceso tradicional de producción de FCOJ, lo que incluye el producto, los subproductos y los residuos, no se encuentra en la literatura.

De esta manera, dado que las operaciones del proceso industrial del FCOJ —lo cual incluye los residuos y los subproductos generados— son básicamente las mismas, se realizaron visitas en dos empresas del sector (una visita en cada una) a fin de realizar las siguientes actividades *in loco*: a)

mapear y describir las etapas productivas (fase industrial) de la producción de jugo de naranja concentrado y congelado (FCOJ); y b)

identificar y caracterizar los residuos y subproductos generados en cada etapa productiva, para lo cual se consideró como residuo todo aquello que resulte del proceso industrial y no se pueda aprovechar económicamente.

Como subproducto se consideraron las sustancias o materiales que atendían los siguientes requisitos: a) potencial utilización futura; b) posibilidad de utilización sin sufrir alteraciones; y c) ser parte del proceso productivo continuo (FIPA, 2007). A partir de estos criterios es posible destacar que un residuo y un subproducto podrán producir impactos negativos en el caso en que sean vertidos de forma directa en el medio ambiente.

A fin de escoger a las dos empresas (Empresa X y Empresa Y) se utilizaron criterios tales como localización, tamaño, capacidad de producción y disponibilidad o acceso para poder realizar el estudio. Ambas empresas son brasileñas, localizadas en el interior del Estado de San Pablo, y son conocidas por su envergadura; ambas desarrollan procesos productivos que caracterizan y representan a la industria citrícola.

Los datos se colectaron, en las dos empresas, primero, por medio de entrevistas direccionadas a los gerentes de las áreas de producción y medio ambiente, y luego se realizó una visita al sector productivo.

2.2 Fase 2

El marco metodológico propuesto tiene como base el método desarrollado por Sellitto, Borchardt y Pereira (2010), posteriormente utilizado por Rodrigues et al. (2015). Este método, denominado “SBP”, permite construir mecanismos para la EDA en operaciones industriales. Tiene como premisas la definición de constructos que describen de qué manera las actividades de las operaciones industriales afectan el medio ambiente. Para cada constructo se definen indicadores y, para ambos constructos e indicadores se definen pesos relativos a su potencial impacto ambiental.

En esta fase también se utilizó la técnica de grupo focal, definida como la realización de foros con pequeños grupos de especialistas en gestión ambiental y en operaciones del sector industrial estudiado (Ribeiro y Newman, 2013). De esta forma, se contó con un equipo de cuatro especialistas en gestión ambiental, expertos en la producción industrial de FCOJ, que tenían por lo menos dos años de experiencia en empresas del sector citrícola (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Características del equipo de evaluadores

Evaluador	Experiencia en la producción cítrica	Experiencia en gestión ambiental	Profesión
A	Nueve años	Nueve años	Ingeniero de alimentos
B	Dos años	Dos años	Biólogo
C	Cuatro años	Seis años	Ingeniero ambiental
D	Cuatro años	Cuatro años	Ingeniero de producción

Fuente: Elaboración propia.

Ribeiro y Newman (2013) sugieren que el uso de grupos focales pasa por tres etapas: 1) planeamiento; 2) conducción de las sesiones; y 3) resultados. A continuación, se detallan las actividades realizadas en las tres etapas.

2.2.1 Planeamiento

El planteamiento comprende dos actividades:

- *Definición y ponderación de los constructos.* Se seleccionaron los elementos básicos del ambiente (suelo, agua y atmósfera) y, posteriormente, se ponderaron entre sí.
- *Definición y ponderación de los indicadores.* Se utilizaron como indicadores los residuos y subproductos identificados en la Fase 1. Se evaluó, de forma cuantitativa, el impacto ambiental —al suelo, al agua y a la atmósfera— de cada residuo y subproducto.

En vista de la subjetividad inherente al proceso decisorio, realizado por el equipo de especialistas, se utilizó el método *analytic hierarchy process* (AHP), el cual, a través de la jerarquización, contribuye a la toma de decisiones para la solución de conflictos en situaciones con múltiples criterios (Marins, Souza y Barros, 2009). Los modelos decisorios con múltiples criterios se proponen identificar factores de capacidad y encontrar modelos matemáticos que indiquen la mejor opción. Para esa finalidad se utilizan combinaciones de suposiciones subjetivas y cualitativas con el apoyo adicional de la ciencia exacta matemática (Costa, 2006; Marins et al., 2009).

Costa (2006) explica que el método AHP se sustenta en tres principios del pensamiento analítico: a) en la construcción de jerarquías el problema, los criterios y las alternativas se estructuran en niveles jerárquicos o conjuntos afines, para que quien toma las decisiones visualice el sistema como un todo, lo que incluye los impactos que los componentes y sus interacciones generan sobre tal sistema; b) en el establecimiento de prioridades, el cual se fundamenta en la habilidad de percibir el relacionamiento entre objetos y situaciones observadas al comparar semejanzas, a partir de un determinado foco, criterio o juicio de semejanza; y c) en la consistencia lógica, en la que el método AHP se propone calcular la relación de consistencia de la evaluación de semejanzas, denotada por $CR = IC/IR$, donde IR es el índice de consistencia aleatorio, e IC es el índice de consistencia. En consecuencia, esta herramienta mensura el modelo de priorización construido en cuanto a su consistencia.

La aplicación de ese método requiere, primero, la definición del objetivo global, de las alternativas y de los criterios. Las comparaciones de semejanza las responden personas que entienden del problema (Marins et al., 2009).

A fin de realizar la práctica de comparaciones de semejanza a través del método AHP se utilizó el *software* Make It Rational (véase <http://makeit-rational.com/features>). Este *software* se seleccionó porque tiene una interfaz gráfica capaz de organizar el proceso de análisis multicriterio de manera lógica y de fácil comprensión, además de calcular automáticamente la relación de consistencia (CR) de la jerarquía. El proceso de inserción de los datos al *software* Make It Rational se realizó por medio del consenso entre los especialistas miembros del grupo focal, en relación con los criterios y las alternativas de decisión.

La comparación entre los atributos de semejanza se realizó en el mismo nivel de estructura de decisión. El método permite atribuir valores a los elementos, del 1 al 9, por medio de la “Escala fundamental”, propuesta por Saaty (1991) (véase la Tabla 2). Atribuir el valor 1 significa que la comparación entre los elementos evaluados es igualmente importante; el valor 5 apuntará una importancia grande o esencial; y el valor 9 indicará importancia absoluta de un elemento con relación a otro (Costa, Rodrigues y Felipe, 2008).

Tabla 2. Factores para las comparaciones de semejanza

Intensidad de la importancia (valor)	Peso	Explicación
1	Misma importancia.	Los dos atributos contribuyen de igual forma para el objetivo.
3	Importancia pequeña de uno sobre el otro.	La experiencia y la valoración favorecen levemente un atributo en relación con el otro.
5	Importancia grande o esencial.	La experiencia y la valoración favorecen fuertemente un atributo en relación con el otro.
7	Importancia muy grande.	Un atributo es fuertemente favorecido con relación al otro; su dominación de importancia se demuestra en la práctica.
9	Importancia absoluta.	La evidencia favorece un atributo en relación con otro con el más alto grado de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediarios entre los valores adyacentes.	Cuando se busca una condición de compromiso entre dos definiciones.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 *Conducción de las sesiones*

Para la realización de las actividades fueron necesarias dos sesiones, con tiempo de duración aproximado de tres horas cada una. Cada sesión contó con la presencia de los cuatro especialistas en gestión ambiental e industria citrícola.

2.1.3 *Resultados*

En esta parte se presenta el marco metodológico para la evaluación del desempeño ambiental de empresas citrícolas productoras de FCOJ, direccionada a la toma de decisión sobre el destino dado a cada residuo y

subproducto, basado en la colecta y la caracterización realizadas en la Fase 1 y derivado del resultado de las ponderaciones realizadas en las primeras etapas de la Fase 2.

Al final de la Fase 2, el marco metodológico desarrollado se aplicó en una de las empresas escogidas en la Fase 1 (Empresa X). Ese evento sucedió en una fecha diferente al de la colecta de datos y se realizó a través de una nueva entrevista al gerente ambiental de la empresa.

3. ESTUDIOS SOBRE LA EDA Y LAS OPERACIONES PRODUCTIVAS DEL FCOJ

3.1 Mecanismos de evaluación del desempeño ambiental

Las prácticas empresariales que buscan mitigar los impactos ambientales de las actividades productivas deben ser precedidas por la medición y la evaluación del desempeño ambiental de la empresa. De esta forma, será posible direccionar las acciones y obtener conocimiento sobre la evolución de la gestión ambiental. Con ese propósito, es posible encontrar en la literatura de gestión ambiental diversos métodos y herramientas para la evaluación del desempeño ambiental (EDA) de empresas.

En este contexto, es importante adicionar que, como cada área funcional de una empresa puede afectar el medio ambiente de forma distinta, los indicadores de la EDA deben considerar las especificidades de los bienes producidos y la naturaleza de los procesos. Eso se debe a que cada tipo de manufactura puede generar y descartar una gran variedad de residuos, tales como efluentes químicos, gases, partículas, metales, lodo, solventes y compuestos orgánicos, entre otros. Así, la aplicación de acciones EDA exige el conocimiento de cada etapa del proceso de transformación, a fin de que se identifique el conjunto de residuos generados y, de esta manera, apuntar las implicaciones para el medio ambiente (Delai y Takahashi, 2011). En la literatura es posible encontrar trabajos que proponen estructuras EDA específicas para diferentes actividades industriales. Por ejemplo, Akinyele (2017) elaboró un análisis ambiental sobre plantas solares fotovoltaicas instaladas en pequeñas comunidades alejadas de la red de distribución de energía eléctrica. Garcia, Millet, Tonnelier, Richet y Che-

nouard (2017), a fin de ayudar a los fabricantes de vehículos, propusieron un método para simular los impactos ambientales de las baterías en su fase de uso en los carros. Nunes, Seferin, Maciel y Ayub (2017) utilizaron el análisis de ciclo de vida (ACV) con el propósito de evaluar el desempeño ambiental del arroz parbolizado blanco y marrón, producidos de dos formas: labranza mínima y agricultura orgánica.

Asimismo, Zadeh y Kazemi (2016) realizaron un estudio con el fin de evaluar el desempeño del sistema de gestión ambiental y la eficacia de la norma ISO 14001 en una empresa fabricante de tubos. Chithambaranathan, Subramanian, Gunasekaran y Palaniappan (2015) propusieron un modelo híbrido de evaluación ambiental para los servicios de cadenas de abastecimiento mediante la combinación de los métodos Electre y Vikor. Shen, Muduli y Barve (2015) examinaron, a través de un caso del sector de minería en la India, cómo el “enfoque de implementación” y el “mejoramiento continuo” son las áreas de mayores problemas en la práctica de gestión sostenible de la cadena de abastecimiento.

Chalvatzaki, Glytsos y Lazaridis (2015) desarrollaron un método para determinar las concentraciones de PM10 en el ambiente debidas a las emisiones de polvo generado en las áreas de vertimiento, en las cuales los trabajadores estaban expuestos. Zhang, Weiqiang y Wang (2015) propusieron un sistema de evaluación ambiental que permite analizar cuantitativamente los efectos del sistema de gestión ambiental utilizada por una industria de revestimiento. Shokravi, Smith y Burvill (2014) abordaron los aspectos operacionales de procesos industriales por medio de la aplicación de un método llamado “evaluación del desempeño ambiental industrial”, el cual se basa en incertidumbres epistémicas y estocásticas. Samuel, Agamuthu y Hashim (2013) contribuyeron con un estudio para mejorar los indicadores de producción sostenible utilizados por la industria petroquímica en Malasia. Trcek, Auersperger, Leis y Sultenfuss (2013) presentan técnicas de análisis de la capa freática para estudiar el riesgo de contaminación del agua potable en un acuífero localizado en Ljubljana (Eslovenia).

Por su parte, Strezov, Evans y Evans (2013) evalúan los indicadores y los parámetros más importantes para la definición del rol de las operaciones de hierro y acero con foco en el desarrollo sostenible, además de analizar

los principales desafíos ambientales que deberán considerar la ciencia y la industria. Finalmente, Delai y Takahashi (2011) elaboraron un modelo con el fin de evaluar la sostenibilidad corporativa que podría ayudar a las empresas a insertar la sostenibilidad en sus actividades diarias y acompañar su desempeño ambiental.

En general, las propuestas de estructuras sistemáticas de EDA están relacionadas con los efectos en la atmósfera, el agua, el suelo, el consumo de energía y el uso de materiales. La preservación de la biodiversidad, el control de efluentes, el vertimiento de residuos sólidos peligrosos y la calidad del agua también se consideran importantes debido a la influencia en el bien-estar humano y en la calidad del medio ambiente (Delai y Takahashi, 2011). Además, es importante resaltar que la revisión bibliográfica mostrada en este trabajo también señala que los residuos y los subproductos tienen grandes impactos en el agua, el suelo y la atmósfera.

3.2 Residuos y subproductos de la producción de jugo de naranja

Las etapas genéricas del proceso tradicional de producción de FCOJ, basado en la extracción mecánica, son: extracción, filtrado, concentración, enfriamiento y mistura. Las operaciones asociadas al proceso mecánico o proceso tradicional de producción son ampliamente aplicadas por la industria productora de FCOJ hace más de medio siglo. Aún hoy ese proceso se constituye como el más utilizado y rentable, a pesar de la existencia de alternativas utilizadas en pequeña escala, como, por ejemplo, el proceso enzimático de producción (Ashurst, 2016; Mastello, Janzantti y Monteiro, 2015; Janzantti, Machado y Monteiro, 2011; Xu et al., 2001).

Sin embargo, el flujo completo y detallado del proceso tradicional de producción de FCOJ, lo cual incluye el producto, los subproductos y los residuos, no se encuentra en la literatura. Los trabajos publicados, por lo general, evalúan la relación del proceso de producción completo o una parte de él, junto con otros aspectos. Este es el caso de Wong, Vaillant-Barka y Chaves-Olarte (2012), quienes analizan la parte química en busca de reducir la presencia de la bacteria salmonela en el jugo de naranja; o el de Meléndez-Martínez, Britton, Vicario y Heredia (2008), quienes muestran cómo la concentración de carotenoides puede influenciar el tiempo

de almacenamiento del jugo. Asimismo, el de Miranda-Ackermany Az-zaro-Pantel (2017), quienes evalúan la relación del desempeño ambiental y la producción de jugo de naranja, o el de Perez-Cacho y Rouseff (2008), quienes discuten el efecto de los procesos de producción y del almacenamiento en el aroma del jugo de naranja.

De esta manera, y de acuerdo con lo previsto en la Fase 1, se realizó la colecta de informaciones en las etapas productivas inherentes al proceso mecánico de producción de FCOJ, identificándose los residuos y subproductos, descritos a continuación.

La Figura 1 muestra, de manera esquemática, el proceso de producción de FCOJ. En la figura, las flechas continuas representan la secuencia de etapas del proceso productivo principal o jugo primario, mientras que la generación de residuos la representan las flechas descontinuas y los subproductos las flechas punteadas.

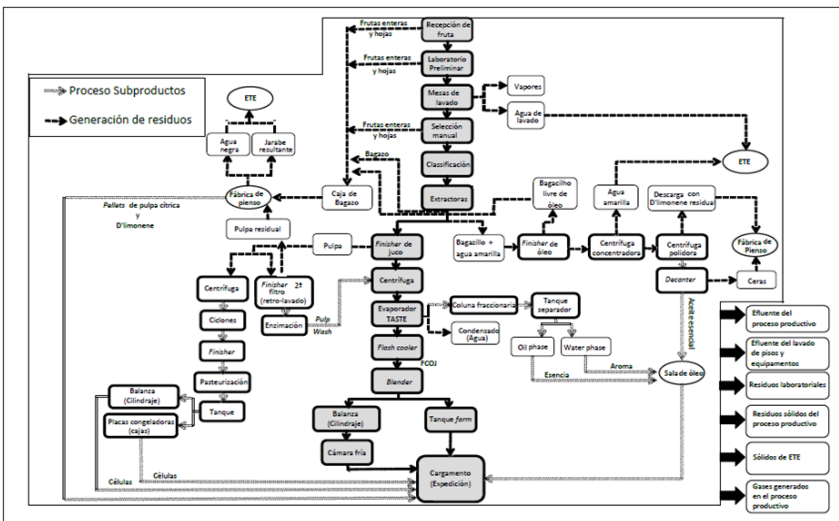
Además de las operaciones direccionadas a la fabricación de FCOJ (representadas en la Figura 1 por rectángulos plomos) es común que las empresas citrícolas, de forma paralela, presenten las siguientes operaciones: a) “Fabrica de pienso”, que utiliza la parte sólida de la naranja (cascara y bagazo) a fin de producir *pellets* que se destinan a empresas productoras de pienso.

El proceso de industrialización de la naranja comienza por la recepción de la fruta por parte de la empresa procesadora. El transporte de la naranja hasta la fábrica lo realizan camiones que, al llegar a las rampas de descarga, los inspeccionan funcionarios que autorizarán la descarga. En el caso de que la carga de naranja no cumpla los requisitos de calidad de la empresa, se procede a la inspección de todos los envíos que, posteriormente, realizará el proveedor.

El “estándar de calidad” se basa en las características que se analizan en el laboratorio a través de la inspección visual (suciedad, cortes o daños en la cáscara y hongos, entre otros) y la detección de parámetros físico-químicos, tales como el análisis del grado Brix, la acidez, el rendimiento del jugo y la variedad de la fruta. De esta forma, después de que los parámetros de calidad de la fruta se determinen por medio de los análisis

iniciales realizados en el denominado “Laboratorio preliminar”, se tendrá conocimiento del estándar físico-químico de las frutas recibidas. Luego, con todas las características aseguradas, los camiones se posicionan en rampas hidráulicas y las frutas se transfieren a depósitos metálicos (*bins*) por medio de correas transportadoras, en las cuales se almacenan de acuerdo con especificaciones propias del producto final.

En la etapa de producción, las frutas se distribuyen secuencialmente a fin de pasar por el proceso de extracción. Cada línea lleva las frutas hacia una mesa de lavado que, por medio de boquillas de aspersion, utiliza agua y soluciones sanitizantes. Esas soluciones son necesarias para reducir la carga microbiana que existe en la cáscara de las frutas, debido a su potencial influencia negativa en la calidad del jugo que será producido.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Flujograma simplificado de las etapas de producción industrial de FCOJ con residuos y subproductos generados.

Cuando las transportan las correas a las mesas de lavado, se realiza la etapa de selección manual de las frutas no-conformes (verdes, podridas o con señales de enfermedad) que se separan y envían a las “cajas de bagazo”, las mismas que posteriormente se envían a la fábrica de pienso.

Las frutas aptas para la producción de jugo se clasifican y separan, después del lavado, por tamaño (pequeñas, medianas y grandes) de forma automatizada.

Después de la clasificación, las frutas se llevan a las correas extractoras de jugo. Esas máquinas, por lo general, las componen cinco pares de vasos, en los que cada uno tiene dos unidades que se compenetran verticalmente. La parte superior comprime la naranja contra el vaso inferior y retira la cáscara. El vaso inferior, estático, se conecta a un tubo colador que retiene las partes sólidas, separándolas del jugo. Al extraer la cáscara, se le raspa la parte superior de modo que se forma el llamado “bagazillo”, el cual se mezcla con el agua atomizada por la parte inferior (agua amarilla). Esa unión (bagazillo y agua amarilla) origina una especie de emulsión con partículas sólidas rica en aceites que seguirá en dirección a los *finisher* de aceite y sus etapas subsecuentes para la producción de aceite esencial, un subproducto de la producción del jugo. La cáscara, el bagazo y el bagazillo, ya libre de aceite, se envían a la “caja de bagazo”, y también se destinan a la producción de *pellets* en la fábrica de pienso. Con relación al bagazo, en específico, además de la producción de *pellets* servirá también, a través del proceso de prensado, para la producción de un tipo de aceite denominado de “d’limonene”, el cual tiene alto valor comercial.

El jugo extraído hasta este punto, sigue, debido a la acción de la gravedad, para tanques que alimentarán las próximas etapas del proceso productivo. Ese jugo corresponde a cerca de 50% del peso de la naranja.

Después de la extracción, el jugo aún presenta alta proporción de pulpa y necesita recibir el llamado “remate”, a fin de ajustar así las características deseadas. De esa forma, sigue para los llamados “*finishers* de jugo” que actúan como filtros, en donde se retira el exceso de pulpa y los restos de semillas y otras impurezas. Es en este momento que se obtienen los productos jugo “primario” y pulpa. La pulpa se envía a los *finishers* de segunda filtración, en los que la separarán de los restos de jugo por medio de dos posibles caminos: a) obtención del jugo llamado de *pulp wash* (pulpa lavada), que será incorporado al jugo primario; o b) conducción para una centrífuga que producirá células de pulpa (gajos de la fruta que

envuelven el jugo), los cuales podrán incorporarse al jugo o congelarse y comercializarse por separado.

Por otra parte, el jugo primario, después de pasar por los *finishers* de jugo, se direcciona a centrífugas que permitirán la estandarización del producto. En la centrífuga de jugo primario se obtiene un jugo con un contenido de aproximadamente 1% de pulpa, el cual seguirá para los tubos de evaporadores de múltiple efecto, tipo TASTE (*thermally accelerated short time evaporator*). Los efectos en esta etapa se relacionan con el proceso de evaporación del agua y de las fases aromáticas del jugo. La alta temperatura de la concentración del jugo, debido a la evaporación del agua, también es responsable por la pasteurización, ya que la alta temperatura se mantiene durante algunos segundos. La pasteurización es una etapa esencial que permite garantizar los estándares de calidad del producto, pues inactiva microorganismos, lo que aumenta la vida útil del jugo, además de preservar las características sensoriales de un jugo fresco.

Para la recuperación de las fases aromáticas del jugo —componentes volátiles (*water-phase* y *oil-phase*)— que se evaporan junto al agua, los evaporadores poseen unidades de recuperación que los capturan y así pueden conducirse a la sala de aceite, donde se almacena y, posteriormente, se comercializa o reincorpora al FCOJ, a fin de atribuirle el sabor y el aroma característicos del jugo de naranja. El vapor de agua retirado del jugo pasa del estado gaseoso al estado líquido en un proceso denominado “condensación vegetal” que, usualmente, se almacena en un tanque, en el cual puede tratarse con dióxido de cloro (ClO₂) para que, luego, sea posible su utilización en la limpieza de ambientes industriales.

El jugo, una vez concentrado y pasteurizado, pasa por un sistema de enfriamiento por medio de los *flash-coolers*, y después para grandes tanques de homogenización llamados de *blenders* (mezcladores) que también trabajan a bajas temperaturas. Esos tanques se usan con el propósito de ajustar las características sensoriales y estandarizar las características físico-químicas (grado Brix, acidez, sodio, pulpa, aceite, vitamina C, formol, color, viscosidad y sabor), con el soporte analítico y de inspección de los test de laboratorio. Además de esos análisis, se realizan recolectas para el análisis de control microbiológico, el cual mostrará si las etapas ante-

rios de lavado de frutas, pasteurización del jugo y limpieza de equipamientos y tuberías se realizaron de manera correcta.

Es en ese momento que el producto final (FCOJ) podrá seguir dos caminos: a) envasado en cilindros de 200 litros y almacenados en cámaras-frigoríficas; o b) su envío a los *tank farm*, que funcionan a temperaturas entre -12 °C y -8 °C, para su posterior comercialización a granel, distribuidos por camiones frigoríficos. Es importante resaltar la importancia de las condiciones de envasado y almacenaje, pues el producto final solo tendrá la autorización de venta si cumple los estándares microbiológicos.

En todas las etapas del proceso se genera un total de 37 residuos/subproductos, además de residuos que resultan del funcionamiento de la planta, como, por ejemplo, en el lavado de pisos y equipamientos, así como los residuos del laboratorio (Figura 1). A fin de estar en capacidad de caracterizar esos materiales en el Cuadro 1 se muestra, para cada residuo/subproducto, la composición principal, la etapa (operación) en el que se genera, su vertimiento adecuado y la caracterización genérica.

Cuadro 1. Residuos y subproductos generados en las etapas industriales del sector cítrico

Residuo/ subproducto	Composición principal	Operación	Vertimiento adecuado	Caracterización
Frutas descartadas	Agua, ácido fólico, calcio, potasio, magnesio, fósforo y fierro, fibras, pectina y flavonoides.	Recarga de frutas, selección, análisis en el laboratorio, tanques de almacenamiento .	Producción de pellets de pulpa cítrica para la producción de pienso.	
Hojas	Aceites y esencias.	Recarga de frutas, análisis en el laboratorio.	Producción de pellets de pulpa cítrica para la producción de pienso.	
Bagazo	Carbohidratos solubles, pectina.	Sector de extracción.	Producción de pellets de pulpa cítrica para la producción de pienso.	
Bagazillo	Fibras, flavonoides, aceites.	Finisher	a) Extracción de bolsas de aceite: producción de aceite esencial; b) Parte sólida: producción de pellets de pulpa cítrica para la producción de pienso.	Partes y componentes de la naranja con potencial valor productivo y económico.
Emulsión de aceite esencial	Terpenos, alcoholes, cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas.	Centrifugación	Producción de aceite esencial.	
Jarabe	Azúcares, pectina, proteínas.	Prensado del bagazo.	Obtención de D-limoneno (terpeno monocíclico) en los evaporadores WHEST en la fábrica de pienso.	
Fase acuosa (water-phase) y fase oleosa (oil-phase)	Agua de la fruta y alcohol	Centrifugación y concentración del jugo en los evaporadores.	Obtención de aromas y esencias.	

Continúa...

MARCO METODOLÓGICO PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA DISPOSICIÓN
DE RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS EN LA PRODUCCIÓN DE FCOJ

Residuo/ subproducto	Composición principal	Operación	Vertimiento adecuado	Caracterización
Pulpa (células)	Agua, ácido fólico, calcio, potasio, magnesio, fósforo y fierro, fibras, pectina y flavonoides, ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico) y carbohidratos solubles.	Finisher	Obtención y producción de células congeladas.	
Pulpa (pulp wash)	Agua, ácido fólico, calcio, potasio, magnesio, fósforo y fierro, fibras, pectina y flavonoides, ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico) y carbohidratos solubles.	Finisher	Producción de pulp wash.	Partes y componentes de la naranja con potencial valor productivo y económico.
Pulpa residual	Agua, ácido fólico, calcio, potasio, magnesio, fósforo y fierro, fibras, pectina y flavonoides, ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico) y carbohidratos solubles.	Finisher de 2o filtro-retrolavado.	Producción de pellets de pulpa cítrica para la producción de pienso.	

Continúa...

Residuo/ subproducto	Composición principal	Operación	Vertimiento adecuado	Caracterización
Efluente condensado en los evaporadores	Agua	Concentración del jugo en los evaporadores Taste.	Utilización en el lavado de equipamientos, limpieza en general, lavado de las frutas.	
Agua amarilla	Proteínas, aceites esenciales, pectinas, azúcares, ácidos orgánicos, sales y d'limonene residual.	Residuo líquido resultado de la obtención de aceite esencial.	Sector de extracción o estación de tratamiento de efluentes (ETE).	
Agua del lavado de frutas	Agua, dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, tierra y suciedad.	Lavado/sanitización de las frutas.	ETE	
Residuos del jugo FCOJ	Agua, ácido fólico, calcio, potasio, magnesio, fósforo y fierro, fibras, pectina y flavonoides, ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico) y carbohidratos solubles.	Derrame accidental.	ETE	Efluente del proceso productivo.
Residuos de óleo cítrico (d'limonene)	Terpenos, alcoholes, cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos, ésteres, cetonas.	Descarga de las centrífugas pulidoras de óleo.	Fábrica de pienso: recuperación d'limonene.	
Óleos lubricantes y grasos	Minerales, hidrocarburos, derivados de petróleo, entre otros.	Mantenimiento de equipamientos.	Refino	
Óleo lubricante con residuos de cal, amonio y agua	Minerales, cal, amonio y agua.	Refrigeración	Refino	
Fluido refrigerante vencido	Amonio	Refrigeración	Tratamiento por empresas licenciadas.	
Agua Negra del levado de gases	carbono, azufre, potasio, nitrógeno, minerales, partículas sólidas.	Secador rotativo de bagazo.	ETE	

Continúa...

MARCO METODOLÓGICO PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA DISPOSICIÓN
DE RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS EN LA PRODUCCIÓN DE FCOJ

Residuo/ subproducto	Composición principal	Operación	Vertimiento adecuado	Caracterización
Químicos del lavado	Soda y ácido peracético.	Lavado de tuberías y tanques.	ETE	Efluente de lavagem de pisos y equipamientos.
Agua del lavado de pisos y equipamientos	Materia orgánica (M. O.), productos químicos, material particulado.	Lavado de pisos y equipamientos.	ETE	
Productos químicos/solución reactiva	Químicos en general.	Análisis físico-químicas.	ETE	Residuo del laboratorio.
Muestras de jugo recogidas	Agua, ácido fólico, calcio, potasio, magnesio, fósforo y fierro, fibras, pectina y flavonoides, ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico) y carbohidratos solubles.	Análisis microbiológicos y físicoquímicos.	ETE	
Placas de petri con medios de cultura (contaminadas o no).	Nutrientes como, por ejemplo, suero de naranja, extracto de papa y micro-organismos.	Análisis microbiológicas.	Relleno sanitario para incineración.	
Seringas com resíduo orgânico. (suco ou células)	M.O., caucho, polietileno y polipropileno.	Análisis microbiológicos.	Relleno sanitario para incineración.	

Continúa...

Residuo/ subproducto	Composición principal	Operación	Vertimiento adecuado	Caracterización
Cenizas de la Caldera	Potasio, calcio, magnesio, sodio, entre otros.	Quema de biomasa y astillas en la caldera.	Área agrícola, rellenos sanitarios o empresas de compostaje.	
Metales en general	Acero, fierro, aluminio, bronce, latón, cobre, zinc, estaño, etc.	Mantenimiento de equipamientos.	Separados por tipo y enviados a reciclaje.	
Tambores antiguos	Metales	Almacenamiento del jugo.	Comercializados para recuperadoras.	
Residuos de caucho	Látex, químicos y otros.	Producción, mantenimiento, eléctrica, laboratorio.	Relleno sanitario industrial o comercialización para empresas especializadas.	Residuos sólidos del proceso productivo.
Espuma (residuos de poliestireno)	Poliestireno.	Mantenimiento en cámaras frías y aislamiento.	Relleno sanitario licenciado.	
Pilas y baterías	Metales pesados como níquel, cadmio y plomo.	Generadores de energía, instrumentos y equipamientos.	Colectadas por empresas especializadas.	
Residuos orgánicos de los filtros da ETE	Bagazillo, semillas, cáscaras, hojas y fragmentos de naranja.	Proceso de fabricación del jugo.	Fábrica de pienso: producción de pellets de pulpa cítrica.	Sólidos da ETE
Lodo Biológico	M.O., micronutrientes y microorganismos.	Laguna de aeración, laguna de pulimento y decantadores primarios.	Relleno sanitario industrial.	

Continúa...

Residuo/ subproducto	Composición principal	Operación	Vertimiento adecuado	Caracterización
Vapores del agua del lavado de frutas	Agua, dióxido de cloro y peróxido de hidrógeno	Lavado/sanitización de las frutas.	Captación y filtrado.	
Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	Aceites esenciales.	Volatilización del aceite residual presente en la cáscara, en los secadores rotativos y evaporador whest.	Captación y filtrado.	Gases generados en el proceso productivo.
Gases oriundos de la quema del bagazo de caña	CO, CO ₂ , NO ₂ , NO _x , CH ₄ , entre otros.	Caldera	Lavador de gases.	
Gases oriundos de la combustión de óleo BPF	CO, CO ₂ , NO ₂ , NO _x , CH ₄ , SO ₄ , entre otros	Caldera	Lavador de gases.	

4. MARCO METODOLÓGICO PROPUESTO

En esta sección se presentan los resultados relacionados con la Fase 2, perteneciente a la sección 2 (método), tanto para la propuesta del marco metodológico como para el ejemplo de aplicación. En este sentido, como lo previsto por el método AHP, se comienza por presentar la ponderación cuantitativa del impacto ambiental de cada residuo y subproducto en el agua, el suelo y la atmósfera. Luego, se presenta el marco metodológico desarrollado y, por último, los resultados de su aplicación

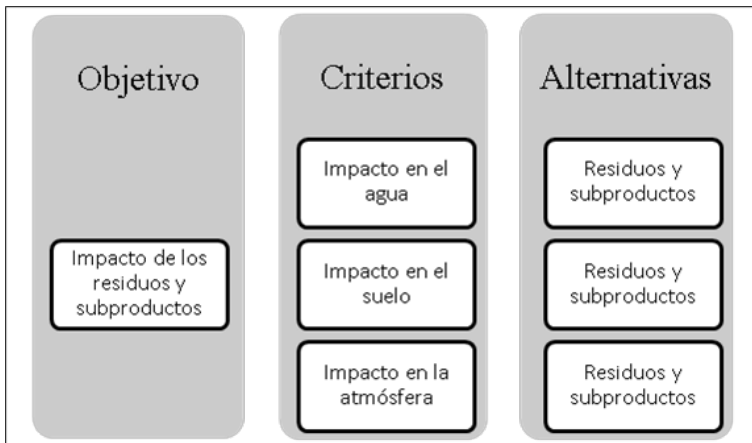
4.1 Ponderación cuantitativa del impacto ambiental

Al tener en cuenta la ponderación cuantitativa del impacto ambiental relativo a cada residuo/subproducto identificado se construyó una estructura jerárquica direccionada por los elementos básicos del ambiente: suelo, agua y atmósfera. Esos elementos figuraron como los criterios para la eva-

luación paritaria de las alternativas, que son los 37 residuos/subproductos (Tabla 3), de modo tal que forman la estructura jerárquica presentada en la Figura 2.

En la ponderación cuantitativa del impacto ambiental relativo a cada residuo/subproducto por medio del método AHP, se consideró el impacto potencial a partir de la hipótesis según la cual cada residuo o subproducto se vierte de forma directa en el medio ambiente. Por ejemplo, en la comparación paritaria entre el jarabe y el agua amarilla, bajo el punto de vista del criterio “impacto en el agua”, se asumieron como hipótesis que ambos efluentes se verterían directamente en los cursos de agua. Para ese caso, los evaluadores ponderaron una relación de 3:1, es decir, la alternativa “jarabe” se consideró más impactante. Cabe señalar que ambos efluentes son contaminantes pues contienen elevada DBO (demanda bioquímica de oxígeno).

Los cuatro especialistas que evaluaron el impacto de los residuos y subproductos consideraron los siguientes factores: a) composición; b) cantidad generada en el proceso productivo; c) posibles interacciones que pueden ocurrir en ambientes naturales; y d) posibles interacciones de largo plazo en el medio ambiente afectado.

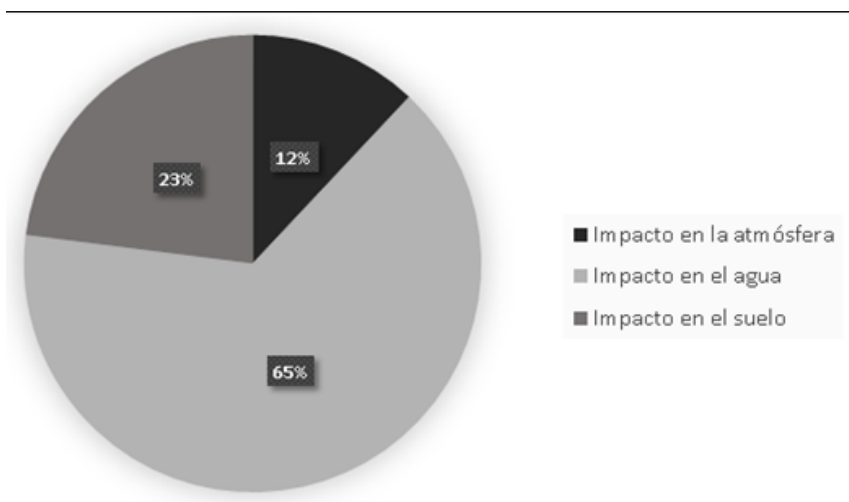


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Estructura jerárquica para la ponderación de los residuos y subproductos

La Figura 3 muestra el resultado global de las comparaciones paritarias realizadas por medio del *software* Make it Rational, a partir de los siguientes criterios: impacto en la atmósfera, en el agua, y en el suelo. Con base en las ponderaciones hechas por el equipo de especialistas se puede afirmar que la producción industrial de FCOJ mostró más impacto ambiental relativo en el agua (64,83%), después en el suelo (22,97%) y, finalmente, en la atmósfera (12,20%).

El análisis de consistencia calculado por el *software* para los pesos relativos de cada residuo o subproducto reveló una razón de consistencia (RC) de 0,04. Una tasa de consistencia menor a 0,10 se considera válida y retrata coherencia en las evaluaciones y cuán cuidadosas fueron las respuestas elaboradas por los especialistas evaluadores.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Resultado de las comparaciones paritarias entre los criterios de la jerarquía propuesta

Al pormenorizar los resultados de la ponderación realizada, la Tabla 3 relaciona los 37 residuos/subproductos con los respectivos pesos relativos obtenidos por el *software* en los ambientes agua, suelo y atmósfera, que

se encuentran organizados de forma decreciente en relación con el valor total del impacto causado. Esa tabla permitió observar que todos los residuos resultantes de la industria cítrica son capaces de alterar el medio ambiente de manera negativa. De esta manera, los más impactantes, que obtuvieron una nota superior a 4,0 y ordenados por su nivel de impacto, fueron: *water-phase* y *oil-phase* (aromas y esencias), emulsión de aceites esenciales, bagazillo y jarabe.

Tabla 3. Residuos/subproducto

Residuo/subproducto	Impacto			
	Agua	Suelo	Atmósfera	Total
Productos y sus respectivos pesos relativos				
Fase acuosa (<i>water-phase</i>) y Fase oleosa (<i>oil-phase</i>)	4,91	1,81	0,66	7,37
Emulsión de aceite esencial	3,55	1,20	0,41	5,16
Bagazillo	3,54	0,77	0,43	4,73
Jarabe	2,77	1,06	0,23	4,05
Bagazo	3,08	0,61	0,23	3,92
Agua negra del lavador de gases	2,58	1,04	0,23	3,84
Agua amarilla	2,38	0,97	0,23	3,59
Fluido refrigerante	1,80	0,86	0,85	3,51
Pulpa (<i>pulp wash</i>)	2,43	0,65	0,23	3,30
Residuos de óleo cítrico	2,33	0,67	0,23	3,23
Pulpa (células)	2,28	0,58	0,23	3,09
Óleo lubricante con residuos de amonio	2,18	0,52	0,23	2,92
Agua del lavado de pisos y equipamientos	1,71	0,89	0,23	2,82
Agua del lavado de las frutas	1,69	0,88	0,23	2,79
Productos químicos/soluciones y reactivos	1,97	0,52	0,23	2,72
Cenizas de la caldera	1,73	0,59	0,23	2,55
Óleos lubricantes y grasas	1,85	0,44	0,23	2,52
Condensado de los evaporadores	1,43	0,78	0,23	2,44
Muestras de jugo recolectadas	1,33	0,80	0,23	2,36
Pilas y baterías	1,61	0,42	0,23	2,26

Continúa...

Residuo/subproducto	Impacto			
	Agua	Suelo	Atmósfera	Total
Productos y sus respectivos pesos relativos				
Residuos orgánicos de los filtros de ETE	1,60	0,41	0,23	2,24
Residuos del jugo FCOJ	1,14	0,82	0,23	2,19
Frutas descartadas	1,36	0,59	0,23	2,17
Hojas	1,33	0,59	0,23	2,14
Gases oriundos de la combustión del óleo BPF	0,77	0,28	1,00	2,05
Gases oriundos de la quema del bagazo	0,79	0,27	0,87	1,93
Pulpa residual	1,26	0,39	0,23	1,88
Lodo biológico	1,23	0,41	0,23	1,87
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	0,82	0,30	0,75	1,87
Jeringas con residuo del jugo	1,13	0,40	0,23	1,76
Metales en general	1,15	0,32	0,23	1,70
Químicos del lavado	0,80	0,39	0,45	1,64
Vapores del agua del lavado de frutas	0,86	0,26	0,44	1,56
Cilindros antiguos	0,88	0,40	0,23	1,50
Residuos de caucho	0,87	0,41	0,23	1,50
Placas de Petri con medio de cultura	0,88	0,33	0,23	1,43
Espuma (residuos de poliestireno)	0,83	0,33	0,23	1,38

Fuente: elaboración propia.

Los compuestos volátiles, denominados *water-phase/oil-phase* son los elementos de mayor impacto entre los 37 presentados en este trabajo, debido a que son compuestos químicamente inestables que, en contacto con el aire, la luz y el agua son pasibles de reagrupamiento estructural, además de poseer alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). La DQO es un parámetro indispensable en los estudios de caracterización de, por ejemplo, efluentes industriales, además es bastante común relacionarla con la DBO para observar la biodegradabilidad de los vertidos.

El segundo elemento ambientalmente más impactante, la emulsión de aceites esenciales, presenta un gran potencial contaminante por tener alta carga de materia orgánica, además de DBO y DQO elevados. El mayor impacto se refleja en el agua, aunque también tiene valores relativamente altos para impactar el suelo, bien sea por la infiltración (al llegar a los cuerpos hídricos) o bien por las alteraciones que se producen como consecuencia del exceso de óleo. En relación con el bagazillo, que es resultado del raspado de la cáscara de naranja, ocupa el tercer lugar entre los residuos/subproductos de la industria citrícola aquí estudiados. No se encuentran muchas informaciones respecto a ese residuo, pero los especialistas consultados para las evaluaciones afirmaron que una explicación plausible sería que el bagazillo posee alta carga orgánica y bajo pH. Cuando se colocan en un mismo ambiente y en una gran cantidad pueden significar una fuente contaminante, sobre todo, en cuerpos hídricos, debido a su gran volumen generado y a la alta DBO.

En fin, el jarabe se consideró el cuarto residuo o subproducto de mayor impacto ambiental en la producción de la industria citrícola. Resulta de pensar el bagazo de la naranja y se caracteriza por ser un residuo cuyo descarte puede ser altamente contaminante. Además, posee acción bactericida, lo cual afecta los microorganismos del sistema de tratamiento de efluentes cuando se descarta en un volumen grande.

4.2 Presentación del marco metodológico

El marco metodológico desarrollado (Tabla 4) se basa en los valores totales de las ponderaciones relativas, obtenidos previamente por medio del *software*, a fin de alcanzar la evaluación absoluta de cada residuo o subproducto, organizados categóricamente de acuerdo con la Tabla 3.

Tabla 4. Marco metodológico propuesto

Residuos/subproductos	Ponderación relativa	Empresas evaluadas						Evaluación absoluta de los residuos/ subproductos
		A	B	C	D	E	F	
Espuma (residuos de poliestireno)	1,38							
Placas de Petri con medio de cultura	1,43							
Residuos de caucho	1,50							
Cilindros antiguos	1,50							
Vapores del lavado de frutas	1,56							
Químicos del lavado	1,64							
Metales en general	1,70							
Jeringas con residuos de jugo	1,76							
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	1,87							
Lodo biológico	1,87							
Pulpa residual	1,88							
Gases oriundos de la quema del bagazo	1,93							
Gases de combustión del óleo BPF	2,05							
Hojas	2,14							
Frutas descartadas	2,17							
Residuos de jugo FCOJ	2,19							
Residuos orgánicos de filtros de ETE	2,24							
Pilas y baterías	2,26							
Muestras de jugo recolectadas	2,36							
Condensado de los evaporadores	2,44							
Óleos lubricantes y grasas	2,52							
Cenizas de la caldera	2,55							
Productos químicos/soluciones y reactivos	2,72							
Agua de lavado de las frutas	2,79							
Agua de lavado de pisos y equipamientos	2,82							
Óleo lubricante con amonio	2,92							
Pulpa (células)	3,09							

Continúa...

Residuos/subproductos	Ponderación relativa	Empresas evaluadas						Evaluación absoluta de los residuos/ subproductos
		A	B	C	D	E	F	
Residuos de óleo cítrico	3,23							
Pulpa (pulp wash)	3,30							
Fluido refrigerante	3,51							
Agua amarilla	3,59							
Agua negra del lavador de gases	3,84							
Bagazo	3,92							
Jarabe	4,05							
Bagazillo	4,73							
Emulsión de aceite esencial	5,16							
Fase acuosa y fase oleosa	7,37							
Evaluación absoluta							Promedio:	

Con relación a la métrica que deberá utilizarse para evaluar el desempeño ambiental de una empresa, para cada residuo o subproducto se debe atribuir el valor de 1 (uno) o 0 (cero), de acuerdo con las prácticas de vertimiento de la empresa que se desea estudiar. Cuando el destino del residuo o subproducto se considera ambientalmente correcto, se otorga la nota 1 (uno), y en la situación opuesta se atribuye nota 0 (cero).

Es importante aclarar que para la evaluación del vertimiento adecuado se debe utilizar como parámetro la cuarta columna del Cuadro 1, denominada de “vertimiento adecuado”, y que ese parámetro para cada residuo o subproducto es fruto de la evaluación realizada por el equipo de especialistas consultados para este trabajo.

La evaluación absoluta de cada residuo o subproducto (véase la Tabla 4) es el resultado de la multiplicación entre la ponderación relativa y el valor atribuido para el vertimiento. Los resultados obtenidos de esa multiplicación deben, posteriormente, sumarse y atribuirse a la empresa circunscrita, en la última columna al lado derecho.

Es posible destacar que este marco metodológico puede también utilizarse para la evaluación de un conjunto de empresas del mismo sector, como, por ejemplo, empresas localizadas en una misma cuenca hidrográfica. En este sentido, para cada empresa se deberá efectuar la evaluación individual tal como se describe en el párrafo anterior. En ese caso, el promedio localizado en el extremo inferior derecho representará la evaluación cuantitativa de todas las empresas analizadas.

4.3 Ejemplo de aplicación

El resultado de la aplicación del marco metodológico propuesto muestra que la empresa analizada vierte de manera correcta el 96,57% de los residuos y subproductos provenientes de sus actividades productivas. Con excepción de los residuos “vapores del lavado de la fruta” y “compuestos orgánicos volátiles (COV)”, todos los demás residuos y subproductos de la empresa analizada recibieron nota 1 en la evaluación. Quiere decir que sus vertimientos pueden considerarse ambientalmente adecuados. Mientras que en el caso de los residuos que recibieron nota cero, las causas pueden apuntarse como falta de medidas que permitan prevenir, tratar o reaprovechar dichos residuos.

En el caso de los vapores del lavado de frutas, su liberación a la atmósfera puede minimizarse utilizando ambientes cerrados que puedan abrigar las mesas de lavado de las frutas en el sector de extracción. Esa práctica no la realiza la empresa analizada, pues hace que libere esos vapores con residuos de sanitizantes de forma directa a la atmósfera. Consecuentemente, el valor de la nota fue 0 (cero). La otra nota cero atribuida, referente a los COV, se debe también a la inexistencia de medidas eficaces que prevengan o que los traten. Tales compuestos poseen olor fuerte, de modo que alteran la composición de la atmósfera en las regiones circundantes a la planta industrial, y causan así trastornos por la formación de una niebla, popularmente conocida como “smog”. A pesar de eso, no hay una ley ambiental que prohíba la liberación de los COV a la atmósfera, debido a la falta de evidencias de su impacto en la salud y en el medio ambiente.

Sin embargo, el resultado de la evaluación de la empresa analizada puede considerarse satisfactorio, con admisión de acciones que mejoren el desempeño ambiental de los procesos de producción.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Al tener como referencia principal que la variable ambiental aumentó su importancia en el ámbito de los negocios, este trabajo pretendió construir un marco metodológico específico para la evaluación del desempeño ambiental en empresas de la industria citrícola que producen FCOJ por medio del proceso de producción tradicional (extracción mecánica).

Entre las premisas que justificaron y motivaron este trabajo se subraya la apremiante necesidad de monitorear las prácticas ambientales de las empresas, en especial, con relación al vertimiento de los residuos y subproductos generados, ya que la industria citrícola tiene una gran representatividad socioeconómica en los contextos nacional e internacional, además de que el tamaño de la industria potencializa el impacto contaminante de las actividades productivas.

De esta forma, se realizó la investigación del proceso productivo y de los residuos y subproductos generados en esta industria. En total se identificaron 37 residuos y subproductos, posteriormente caracterizados con relación a su composición y su potencial contaminante, lo que permitió la construcción del marco metodológico.

La ponderación de los residuos y los subproductos se realizó utilizándose el método AHP, a partir del entendimiento del potencial impacto que se tendría en el caso que se vertieran directamente al agua, al suelo y a la atmósfera. Se consideraron la cantidad de residuos o subproductos generados, la composición química y física de cada uno, las posibles interacciones que pueden ocurrir en los ambientes naturales de forma inmediata y al pasar del tiempo.

A partir de la ponderación del impacto relativo de cada residuo y subproducto estudiado fue posible identificar el impacto global, de modo que se obtuvo como resultado que la producción industrial del FCOJ presentó mayor impacto ambiental relativo en el agua (64,83%), seguido del suelo (22,97%) y la atmósfera (12,20%). La ponderación de cada residuo y subproducto analizado obtuvo una razón de consistencia (RC) satisfactoria (0,04%), lo que garantiza la confiabilidad de los resultados de este trabajo.

Para la aplicación práctica del marco metodológico propuesto se indicó la utilización de una escala de 1 a 0 para los vertimientos correctos e incorrectos, respectivamente.

El marco metodológico propuesto se diferencia de los modelos de evaluación de desempeño ambiental encontrados en la literatura por los siguientes aspectos: 1) se considera las especificidades de los procesos productivos de las empresas citrícolas productoras de FCOJ a partir del método de extracción mecánica (tradicional); 2) está basado en los residuos y subproductos generados específicamente en el proceso productivo de FCOJ; 3) se presenta la ponderación específica del impacto en el agua, el suelo y la atmósfera para cada residuo y subproducto, de acuerdo con su composición y cantidad generada; 4) muestra el vertimiento adecuado para cada elemento considerado, de acuerdo con la visión del grupo de especialistas que participaron en el estudio.

En relación con la aplicación práctica realizada en una empresa de la industria citrícola, esta obtuvo un índice de 96,57% sobre el vertimiento correcto de sus residuos y subproductos. Con esta aplicación fue posible identificar los puntos que necesitan mejorar en el proceso productivo evaluado.

Como propuestas de trabajos futuros se menciona la creación de una escala de evaluación más precisa que contemple las posibilidades de vertimiento intermedio, entre el vertimiento correcto y el vertimiento incorrecto de los residuos y subproductos generados.

REFERENCIAS

- Akinyele, D.O. (2017). Environmental performance evaluation of a grid-independent solar photovoltaic power generation (SPPG) plant. *Energy*, 130, 515-529.
- Almeida, T. S. M. y Sellito, M. A. (2013). Avaliação do desempenho ambiental de uma instituição pública de ensino técnico e superior. *Revista Produção*, 23(3), 625-636.
- Ashurst, P. R. (2016). Fruit juices. En *Encyclopedia of food and health* (pp. 130-137). Elsevier.
- Barbieri, J. C. (2012). *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos* (3ª ed.). San Pablo: Saraiva.

- CITRUSBR-Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos (2016). *O retrato da citricultura brasileira*. Recuperado de http://www.citrusbr.com/download/Retrato_Citricultura_Brasileira_MarcosFava.pdf
- Costa, H. G (2006). Auxílio multicritério à decisão: método AHP. En *Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep)*. Río de Janeiro: Abepro.
- Costa, J. F. S., Rodrigues, M. M. y Felipe, A. P. M. (2008). *Utilização do método de análise hierárquica (AHP) para escolha de interface telefônica*. En *Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)*. Río de Janeiro: Abepro, 074, 525, 10732.
- Chalvatzaki, E., Glytsos, T. y Lazaridis, L. (2015). A methodology for the determination of fugitive dust emissions from landfill sites. *Int. J. Environ. Health Res.*, 25, 551-569.
- Chithambaranathan, P., Subramanian, N., Gunasekaran, A. y Palaniappan, P. L. K. (2015). Service supply chain environmental performance evaluation using grey based hybrid MCDM approach. *Int. J. Prod. Econ.*, 166, 163-176.
- Delai, I. y Takahashi, V. (2011). Sustainability measurement system: a reference model proposal. *Social Responsibility Journal*, 7(3), 438-471.
- Delmas, M. y Toffel, M. W. (2004). Stakeholders and environmental management practices: an institutional framework. *Business Strategy and the Environment*, 13, 209-222.
- El Korchi, A. y Millet, D. (2011). Designing a sustainable reverse logistics channel: the 18 generic structures framework. *Journal of Cleaner Production*, 19, 588-597.
- FIPA (2007). *Boletim Informativo da Federação das Indústrias Portuguesas Agroalimentares*. Recuperado de <http://www.fipa.pt/pdf/fipa-flash95.pdf>.
- Garcia, J., Millet, D., Tonnelier, P., Richet, S. y Chenouard, R. (2017). A novel approach for global environmental performance evaluation of electric batteries for hybrid vehicles. *J. Clean. Prod.*, 156, 406-417.
- Haden, S. S. P., Oyler, J. D. y Humphreys, J. D. (2009). Historical, practical and theoretical perspectives on green management: an exploratory analysis. *Management Decision*, 47(7), 1041-1055.
- Hunt, C. B. y Auster, E. R. (1990). Proactive environmental management: avoiding the toxic trap. *Sloan Management Review*. EE. UU: Putnam, Hayes & Bartlett.
- ISO/DIS 14031 (2013). *Environmental management-environmental performance evaluation: guidelines*. Ginebra: International Organization for Standardization.
- Janzantti, N. S., Machado, T. V. y Monteiro, M. (2011). Sensory acceptance of juice from FCOJ processing steps. *Journal of Sensory Studies*, 26, 322-330.

- Marins, C. S., Souza, D. O. y Barros, M. S. (2009). O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. En *Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional* (pp. 1778-1788). Porto Seguro: Sobrapo.
- Mastello, R. B., Janzantti, N. S. y Monteiro, M. (2015). Volatile and odoriferous compounds changes during frozen concentrated orange juice processing. *Food Research International*, 77(Part 3), 591-598.
- Meléndez-Martínez, A. J., Britton, G., Vicario, I. M. y Heredia, F. J. (2008). The complex carotenoid pattern of orange juices from concentrate. *Food Chemistry*, 109(3), 546-553.
- Miranda-Ackerman, M. A. y Azzaro-Pantel, C. (2017). Extending the scope of eco-labelling in the food industry to drive change beyond sustainable agriculture practices. *Journal of Environmental Management*, 204(Part 3), 814-824.
- Nunes, F. A., Seferin, M., Maciel, V. G. y Ayub, M. (2017). Life cycle assessment comparison between brown parboiled rice produced under organic and minimal tillage cultivation systems. *J. Clean. Prod.*, 161, 95-104.
- Oliveira, A. A., Costa, J. A. F. y Neto, M. V. S. (2011). Aplicação do método de análise hierárquica na tomada de decisão para a adoção de computação em nuvem. En *Anais do XIV Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais (SIMPOI)* (pp. 1-16). San Pablo: FGV-EAESP.
- Perez-Cacho, P. R. y Rouseff, R. (2008). Processing and storage effects on orange juice aroma: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), 9785-9796.
- Rebelato, M. G., Saran, L. M., Paulino, T. P. y Rodrigues, A. M. (2017). Environmental performance assessment (EPA): a case study in a graphic company. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 28(4), 593-608.
- Ribeiro, J. L. D. y Newmann, C. R. (2013). Estudos qualitativos com o apoio de Grupos Focados. En *Anais da XIII Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana (SEPROSUL)*. Gramado: UFRGS, 1-9.
- Rodrigues, A. M., Rebelato, M. G. y Zeviani, C. H. (2015). Methodological benchmark for environmental performance evaluation in metalworking companies. *Business and Management Review*, 2(12), 285-299.
- Rohrich, S. S. y Cunha, J. C. A. (2004). Proposição de uma taxonomia para análise da gestão ambiental no Brasil. *Revista de Administração Contemporânea*, 8(4), 81-97.

- Rowland-Jones, R., Pride, M. y Cresser, M. (2005). An evaluation of current environmental management systems as indicator of environmental performance. *Management of Environmental Quality*, 16, 2011-2019.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de análise hierárquica*. San Pablo: Makron Books.
- Samuel, V. B., Agamuthu, P. y Hashim, M. A. (2013). Indicators for assessment of sustainable production: a case study of the petrochemical industry in Malaysia. *Ecol. Indic.*, 24, 392-402.
- Searcy, C., Karapetrovic, S. y McCartney, D. (2005). Designing sustainable development indicators: analysis for a case utility. *Measuring Business Excellence*, 9(2), 33-41.
- Sellitto, M.; Borchardt, M.; Pereira, G. (2010). Modelagem para avaliação de desempenho ambiental em operações de manufatura. *Gestão & Produção*, 17, 1, 95-109.
- Shen, L.; Muduli, K.; Barve, A. (2015). Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. *Resources Policy*, 46(1), 15-26.
- Shokravi, S., Smith, A. J. R. y Burvill, C. R. (2014). Industrial environmental performance evaluation: a Markov-based model considering data uncertainty. *Environ. Model. Softw.*, 60, 1-17.
- Srivastava, S. K. y Srivastava, R. K. (2006). Managing product returns for reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(7), 524-546.
- Strezov, V., Evans, A. y Evans, T. (2013). Defining sustainability indicator of iron and steel production. *Journal Cleaner Production*, 51, 66-70.
- Tahir, A. C. y Darton, R. C. (2010). The process analysis method of selecting indicators to quantify the sustainability performance of a business operation. *Journal of Cleaner Production*, 18, 1598-1607.
- Trcek, B., Auersperger, P., Leis, A. y Sultenfuss, J. (2013). Risk assessment of an urban aquifer based on environmental tracers. *Geologija*, 56, 97-106.
- Ucker, F. E., Kemerich, P. D. C. y Almeida, R. A. (2012). Indicadores ambientais: importantes instrumentos de gestão. *Engenharia Ambiental*, 9(1), 119-127.
- Wong, E., Vaillant-Barka, F. y Chaves-Olarte, E. (2012). Synergistic effect of sonication and high osmotic pressure enhances membrane damage and viability loss of Salmonella in orange juice. *Food Research International*, 45(2), 1072-1079.
- Xu, F., Wang, Z., Xu, S. y Sun, D-W. (2001). Cryostability of frozen concentrated orange juices produced by enzymatic process. *Journal of Food Engineering*, 50(4), 217-222.

- Zadeh, N. C. y Kazemi, R. (2016). The environmental performance evaluation of Ahwaz Pipe Manufacturing Company within the environmental management system. *Int. J. Pharm. Res. Allied Sci.*, 5, 413-436.
- Zhang, W., Weiqiang, W. y Wang, S. (2015). Environmental performance evaluation of implementing EMS (ISO 14001) in the coating industry: case study of a Shanghai coating firm. *J. Clean. Prod.*, 64, 205-217.
- Zobel, T., Amroth, C., Bresky, J. y Burman, J. O. (2002). Identification and assessment of environmental aspects in an EMS context: an approach to a new reproducible method based on LCA methodology. *Journal of Cleaner Production*, 10(4), 381-396.