Principales NTC y protocolos de caracterización en productos derivados de caña de azúcar

Main NTC and characterization protocols in products derived from sugar cane

Leonardo Moreno-Chacón[1]
Diego Suarez- Peñaranda[2]

[1]Servicio Nacional de Aprendizaje SENA; Universidad Industrial de Santander (Colombia).
Correo electrónico: anlmoreno@sena.edu.co; almorenoch@unal.edu.co
orcid: https://orcid.org/0000-0002-1402-6178

[2]Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (Colombia). Correo electrónico: dfsuarezp@sena.edu.co
orcid: https://orcid.org/0000-0002-3139-4239

Recibido: 15-03-2021 Aceptado: 11-08-2021

Cómo citar: Moreno-Chacón, Leonardo; Suarez- Peñaranda, Diego (2021). Principales NTC y protocolos de caracterización en productos derivados de caña de azúcar. *Informador Técnico*, 85(2), 184 -218.
https://doi.org/10.23850/22565035.3631

Resumen

Los productos derivados de la caña de azúcar (*Saccharum o icinarum* L) conforman una de las agroindustrias rurales de mayor tradición en Colombia. Con el fin de establecer los principales indicadores y protocolos que permitan la caracterización bromatológica, fitoquímica y antioxidante de productos derivados de *S. officinarum,* se realizó un rastreo bibliográfico a través de la base documental del Icontec y Scopus, en el periodo comprendido entre enero de 1990 y febrero de 2021. Lo anterior, bajo lineamientos que permitieran establecer un panorama mundial sobre las tendencias de investigación y desarrollo, análisis de productos finales e identificación de los principales protocolos normalizados y no normalizados. Fue así como se lograron identificar las principales NTC (Normas Técnicas Colombianas) y los protocolos más empleados para la cuantificación de los indicadores fisicoquímicos y de algunos metabolitos de interés, confirmando y estableciendo sus efectos positivos para la salud animal y humana, como potenciador inmunológico, antitóxico, citoprotector, anticariógeno y antioxidante. Adicionalmente, se logró determinar que los metales pesados (plomo, mercurio, cadmio, arsénico), furfural, 5-hidroximetilfurfural y acrilamida son los principales contaminantes sobre los cuales se debe establecer una estrategia de mitigación. Con esto, se hace evidente la necesidad de generar una política nacional que posibilite cuantificar los indicadores fisicoquímicos exigidos, el contenido de compuestos bioactivos y la presencia de contaminantes peligrosos en los productos derivados de la caña de azúcar, con el fin de dar cumplimiento a la normativa legal para la distribución y comercialización de productos azucarados en el mercado nacional e internacional y, por qué no, iniciar su diversificación.

Palabras clave: acrilamida; anticancerígeno; antioxidante; metales pesados; panela; *Saccharum officinarum L.*

Abstract

Products derived from sugar cane (*Saccharum officinarum* L) make up one of the rural agro-industries with the longest tradition in Colombia. In order to establish the main indicators and protocols that allow the bromatological, phytochemical and antioxidant characterization of products derived from *S. officinarum*, a bibliographic search was carried out through the Icontec and Scopus documentary bases, in the period between January of 1990 and

February 2021. The foregoing, under guidelines that would allow establishing a global panorama on research and development trends, analysis of final products and identification of the main standardized and non-standardized protocols. This is how it was possible to identify the main CTS (Colombian Technical Standards) and the most used protocols for the quantification of physicochemical indicators and of some metabolites of interest, confirming and establishing their positive effects for animal and human health, as an immunological enhancer, antitoxic, cytoprotective, anticariogenic and antioxidant. Additionally, it was possible to determine that heavy metals (lead, mercury, cadmium, arsenic), furfural, 5-hydroxymethylfurfural and acrylamide are the main pollutants on which a mitigation strategy should be established. With this, it becomes evident the need to generate a national policy that makes it possible to quantify the required physicochemical indicators, the content of bioactive compounds and the presence of dangerous contaminants in products derived from sugar cane, in order to comply with the legal regulations for the distribution and commercialization of sugary products in the national and international market and, why not, start their diversification.

Keywords: acrylamide; anticancer; antioxidant; heavy metals; panela; *Saccharum officinarum L.*

1. Introducción

En las décadas recientes, la inserción en el mercado internacional de productos agroindustriales de origen colombiano ha sido uno de los principales objetivos del Gobierno Nacional y de los gobiernos regionales. La cadena agroindustrial rural de los productos derivados de caña de azúcar merece atención, y que se le ofrezcan planes y posibilidades de mejora, de tal forma que las pequeñas unidades productivas agrícolas puedan mantener, optimizar o aumentar su participación en los mercados de una manera más dinámica, sostenible y rentable, mediante la realización de actividades de transformación e incorporación de valor a las materias primas agrícolas que generan.

De la caña de azúcar se elaboran diferentes tipos de productos, entre los más representativos se encuentran mieles crudas de caña, mieles refinadas de caña, melazas, miel para fermentación alcohólica, panela en bloque, panela pulverizada, panela en cubos, azúcar sin refinar, azúcar refinada, batidos, entre otros (Jaffé, 2012). Cada uno de ellos tiene unas características de elaboración, empacado y de procesamiento diferentes, pero no existe claridad sobre los requerimientos para su comercialización legal y segura, cada empresa que compra impone sus requerimientos y precio.

Las Normas Técnicas Colombianas (NTC) pueden dar un poco de luz sobre algunos parámetros mínimos de verificación para lograr una circulación segura de los productos, pero no se han difundido entre los productores, se encuentran desactualizadas, usan técnicas analíticas básicas y rudimentarias, entre otras desventajas; pero, sí son exigidas por entidades de regulación, como el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima), o por los compradores. Adicionalmente, estas NTC no exploran grupos de moléculas de interés creciente, como lo son fenoles, metabolitos antioxidantes, aminoácidos libres, entre otros; así mismo, no contemplan, por ejemplo, la cuantificación de furfural, 5-hidroximetilfurfural o acrilamida, moléculas tóxicas que se han detectado en algunos productos derivados de *S. officinarum*, sobre todo en los productos en los que, en su proceso de fabricación, se incrementa de forma considerable debido al poco control en la temperatura de procesamiento (Mesias; Delgado-Andrade; Gómez-Narváez; Contreras-Calderón; Morales, 2020).

Así mismo, es conocido que el sector productivo en nuestro país aún no tiene la cultura de calidad en sus procesos, implementa poco los sistemas normativos que permitan asegurar la inocuidad de los alimentos y cumplir con los estándares de calidad a través del análisis de sus productos. Según la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica, EDIT (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2013), que adelantó el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el periodo 2005-2012, la cantidad de empresas que manifestaron haber obtenido algún tipo de certificación de calidad, bien sea de proceso o

de producto, se mantuvo por debajo del 25 % del total de empresas encuestadas. Una de las falencias que conllevan a esta situación es el bajo nivel de desarrollo de los servicios para la determinación de la calidad, como ensayos de laboratorio, calibración de equipos, normalización, acreditación, entre otros. Al presentarse deficiencias en la capacidad técnica de los laboratorios, se tiene como resultado una baja oferta de ensayos acreditados y concentración geográfica en ciudades capitales, lejos de los trapiches y centros de producción, lo cual incrementa los costos para los empresarios que desean garantizar la calidad de sus productos para comercializar en el territorio nacional o extranjero (Castro; Arboleda; Balcázar; Estupiñán, 2013; Consejo Nacional de Política Económica y Social [Conpes], 2016). De igual forma, en la EDIT (DANE, 2020) del periodo 2018-2019 se identifica como un obstáculo asociado al entorno, la baja oferta se servicios de inspección, pruebas, certificación y verificación por más del 50 % de las empresas encuestadas.

Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de generar un programa estratégico nacional que posibilite cuantificar los indicadores exigidos en las diferentes NTC, así como otros parámetros fisicoquímicos, como el contenido de compuestos bioactivos y la presencia de contaminantes peligrosos en los productos derivados de la caña de azúcar, que se generan en diferentes regiones de Colombia, con el fin de dar cumplimiento a la normativa legal para la distribución y comercialización de productos azucarados en el mercado nacional e internacional, e iniciar la diversificación de sus usos. A continuación, se presentará una revisión de las NTC vigentes, y de los protocolos de caracterización bromatológica, nutricional, fitoquímicos y de capacidad antioxidante de productos derivados de *S. officinarum*, con el objeto de verificar su vigencia y posibilidad de renovación o modificación.

2. Metodología

La revisión de las NTC se realizó en la página del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Icontec (2021), usando las siguientes palabras claves de rastreo: mieles de caña, caña de azúcar y panela. Por su parte, los reportes de investigación se rastrearon mediante fuentes primarias contenidas en la plataforma de bases de datos Scopus. Las palabras claves de cada aspecto explorado se reportan en la Tabla 1. El periodo de observación fue el comprendido entre enero de 1990 y febrero de 2021. Los criterios de selección aplicados para los artículos de investigación constaban de una serie de requerimientos donde eran necesarias al menos tres citaciones, una descripción de la técnica y metodología especificada, y que proporcionaran resultados cuantitativos y soportados por análisis estadísticos. Para los artículos de revisión y capítulos de libros, se estableció que las fuentes de los fundamentos teóricos no debían superar el rango temporal establecido.

Tabla 1. *Palabras claves de cada una de las líneas generales de búsqueda en los aspectos explorados en mieles de caña y derivados de panela en la plataforma Scopus.*

Líneas generales	Palabras claves
Determinación de tendencias mundiales de investigación y desarrollo, con énfasis en bromatológica, nutricional, fitoquímicos y de capacidad antioxidante.	Panela Muscovado Raw sugar Brown sugar Sugar cane Sugar cane extracts
Análisis de posibles productos finales, con énfasis en bromatológica, nutricional, fitoquímicos y de capacidad antioxidante.	Sugar cane products Sugar cane juice Crude sugarcane bagasse Sugarcane Straw
Identificación de las capacidades nacionales.	Evaluado dentro de las demás líneas generales, haciendo exploración de los reportes generados en Colombia.

Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la búsqueda realizada en las plataformas de datos Icontec y Scopus.

3.1. Normas Técnicas Colombianas

La búsqueda exclusiva de las NTC arrojó el listado de normas vigentes para los diferentes productos derivados de *S. officinarum*, que se encuentran en las Tablas 2 y 3. Estas normas se pueden clasificar en dos grupos, uno relacionado con la caracterización de parámetros fisicoquímicos y otro que busca establecer y medir la inocuidad microbiana del producto.

Dentro del primer tipo (Tabla 2) se destaca la NTC 1779:2017 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec], 2017a), esta norma presenta el método de Lane y Eynon como forma de determinación de monosacáridos (azúcares reductores), se fundamenta en la capacidad de los monosacáridos para reducir una solución de cobre bajo condiciones básicas y de calentamiento, y usa como referencia The International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis-ICUMSA GS 4/3-7:2011 (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis [ICUMSA], 2011a). Asimismo, la NTC 570:2012 (Icontec, 2012a), que muestra la forma de determinar el porcentaje o contenido de ceniza en azúcar, mieles, jarabes y jugos de caña por la metodología de cenizas sulfatadas y por el método conductimétrico. Se basa en ICUMSA-GS3/4/7/8-11:2000 (ICUMSA, 2000), ICUMSA-GS 2/3/ 9-17:2011 (ICUMSA, 2011b) e ICUMSA-GS 1/3/4/7/8-13:1994 (ICUMSA, 1994).

Por su parte, NTC 1856:2010 (Icontec, 2010) presenta dos formas de determinar el dióxido de azufre, en forma cualitativa y cuantitativa. La prueba cualitativa se realiza con un papel de almidón yodurado, se prepara humedeciendo papel de filtro con una solución de almidón al 1 %, con una gota de solución de interés, si el producto contiene ácido sulfuroso, el papel impregnado con solución toma un color pardo más o menos intenso por acción del ácido sulfúrico que se desprende. Esta reacción es muy sensible. La determinación cuantitativa se basa en el tratamiento de una solución de azúcar acidulada que arrastra el anhídrido sulfuroso por destilación, recogiéndolo sobre una solución de yodo. Se valora el exceso de yodo y se calcula el dióxido de azufre a partir del yodo cuantificado. Por otro lado, para el mismo parámetro, existe la NTC 5970:2012 (Icontec, 2012b), que emplea como referencia ICUMSA GS 2/1/7-33:2009 (ICUMSA, 2009a). En un método espectrofotométrico, después de una reacción con formaldehido, el complejo formado de sulfito/rosanilina se cuantifica espectrofotométricamente a una longitud de onda de 560 nm.

La NTC 6385:2020 (Icontec, 2020a) establece el método espectrofotométrico rápido de almidón de SPRI para determinar almidón soluble en azúcar y otros materiales de proceso (jugos y mieles). Se añaden yoduro potásico (KI) y yodato potásico (KIO_3) a la muestra. Dado que el almidón se compone de amilosa y amilopectina, el yodo reacciona con la amilosa para formar un complejo azul/púrpura. La lectura espectrofotométrica se realiza a 600 nm. La NTC 1846:2020 (Icontec, 2020b) establece las exigencias que debe cumplir y las pruebas a las cuales debe someterse la miel virgen de caña de azúcar (*S. officinarum*). Usa como referencia las NTC 440:2015 (Icontec, 2015), para productos alimenticios. Métodos de ensayo: NTC 573:2013 (Icontec, 2013), Azúcar. Terminología: NTC 587:1994 (Icontec, 1994a), Industrias alimentarias e industrias de bebidas. Melaza de caña: NTC 1779:2017 (Icontec, 2017a), Meladura y mieles de caña. Método para determinar azúcares reductores totales en meladura y mieles de caña, después de hidrólisis por el procedimiento Lane y Eynon a volumen constante: NTC 1856:2010 (Icontec, 2010), Bebidas alcohólicas, Mieles de caña, y Determinación del dióxido de azufre. Y, por último, la NTC 1311:2009 (Icontec, 2009) es la que proporciona las exigencias y los métodos que debe cumplir la panela destinada para el consumo humano, en ella se consignan los protocolos para la identificación de colorantes cualitativamente, la determinación de materia extraña, contenido de humedad, ceniza, azúcares totales, reductores y fósforo, así como la de los metales calcio, sodio, potasio y hierro, y de los metales pesados plomo y arsénico.

Tabla 2. *Normas Técnicas Colombianas vigentes para los diferentes productos derivados de S. officinarum relacionadas con parámetros fisicoquímicos.*

NTC	Título	Objeto
NTC 1779:2017 (Icontec, 2017a)	Meladura y mieles de caña. Método para determinar azúcares reductores totales en meladura y mieles de caña, después de hidrólisis por el procedimiento Lane y Eynon a volumen constante.	Esta norma establece el método para determinar los azúcares totales expresados como reductores en mieles de caña por el método de Lane-Eynon (modificado).
NTC 570:2012 (Icontec, 2012a)	Azúcar, mieles, jarabes y jugos de caña, métodos de ensayo para determinar cenizas.	Establece los métodos de ensayo para determinar cenizas por gravimetría y por conductimetría, en cualquier tipo de azúcar, jugos, jarabes y mieles de caña.
NTC 1856:2010 (Icontec, 2010)	Bebidas alcohólicas, mieles de caña, determinación del dióxido de azufre.	Establece los métodos para determinar cualitativa y cuantitativamente el contenido de dióxido de azufre en mieles de caña.
NTC 6385:2020 (Icontec, 2020a)	Azúcar. Determinación de almidón soluble en azúcar y materiales de proceso mediante el método rápido de almidón de SPRI.	La presente norma establece el método rápido de almidón de SPRI, para determinar almidón soluble en azúcar y otros materiales de proceso (jugos y mieles).
NTC 1846:2020 (Icontec, 2020b)	Miel virgen de caña de azúcar.	Esta norma establece los requisitos que debe cumplir y los ensayos a los cuales debe someterse la miel virgen de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), que se utiliza como materia prima para la industria.
NTC 5970:2012 (Icontec, 2012b)	Azúcar, jugos y jarabes de caña, determinación de sulfito con el método colorimétrico de rosanilina.	Establece el método de ensayo para la determinación colorimétrica de SO_2 y es aplicable a jugos y jarabes y a azúcar blanco, blanco especial, refinado y crudo.
NTC 3442:2011 (Icontec, 2011)	Bebidas alcohólicas, tafias de caña.	Establece los requisitos y los métodos de ensayo que deben cumplir las tafias de caña empleadas en la elaboración de rones y de algunas bebidas alcohólicas que por sus características requieren de esta materia prima.
NTC 410:1999 (Icontec, 1999)	Bebidas alcohólicas, aguardiente de caña, caña, cachaza o branquiña.	Establece los requisitos y los ensayos que debe cumplir la bebida alcohólica denominada aguardiente de caña, caña, cachaza o branquiña.
NTC 440:2015 (Icontec, 2015)	Productos alimenticios, métodos de ensayo.	Establece los métodos de ensayo para determinar las características físicas y químicas de los productos alimenticios.
NTC 573:2013 (Icontec, 2013)	Azúcar, terminología.	Establece las definiciones de los términos más empleados en la industria azucarera de caña.

NTC	Título	Objeto
NTC 587:1994	Industrias alimentarias e industrias de bebidas, melaza de caña.	Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la melaza de caña empleada en la alimentación animal y producción de alcoholes, levaduras e industrias afines.
NTC 2369:1994 (Icontec, 1994b)	Industrias alimentarias, floculantes derivados de la acrilamida utilizados en la clarificación del agua potable y de los jugos y jarabes de la caña de azúcar.	Establece definiciones y clasificación, condiciones generales, requisitos, ensayos, empaque, rotulado y precauciones de manejo.
NTC 1311:2009 (Icontec, 2009)	Productos agrícolas, panela.	Establece los requisitos y los ensayos que debe cumplir la panela destinada para el consumo humano.

Fuente: elaboración propia.

La inocuidad de los productos derivados de *S. officinarum* se establecen por las normas de la Tabla 3. En ellas se describe cómo realizar el recuento de coliformes, *Escherichia coli*, mohos, levaduras y bacterias mesófilas.

Tabla 3. *Normas Técnicas Colombianas vigentes para los diferentes productos derivados de S. officinarum relacionadas con parámetros de inocuidad.*

NTC	Título	Objeto
NTC 3953:2017 (Icontec, 2017b)	Azúcar, jugos, meladuras y mieles de caña, determinación de coliformes y *Escherichia coli*, técnica del número más probable (NMP).	Esta norma da directrices generales para realizar el recuento de coliformes y *Escherichia coli* en azúcar granulado, azúcar líquido, azúcar pulverizado, jugos, meladuras y mieles de caña mediante el cálculo del número más probable (NMP).
NTC 3954:2017 (Icontec, 2017c)	Azúcar, jugos, jarabes y mieles de caña, determinación de mohos y levaduras, método de recuento en placa.	Esta norma establece el método para determinar el recuento de mohos y levaduras en azúcar granulado, azúcar líquido, jugos, meladuras y mieles de caña por la técnica de recuento en placa.
NTC 6086:2017 (Icontec, 2017d)	Azúcar, jugos, meladuras y mieles de caña, detección y recuento de coliformes o *Escherichia coli* o ambos, método de recuento en placa.	Establece el método de ensayo para detectar y contar coliformes, *Escherichia coli* o ambos en azúcar granulado, azúcar líquido, jugos, meladuras y mieles de caña por la técnica de recuento en placa.

NTC	Título	Objeto
NTC 3908:2017 (Icontec, 2017e)	Azúcar, jugos, meladuras y mieles de caña, recuento de bacterias mesófilas aerobias, método de recuento en placa.	Establece el método de ensayo para determinar el recuento de bacterias mesófilas aerobias en azúcar granulado, azúcar líquido, jugos, meladura y mieles de caña por la técnica de recuento en placa.

Fuente: elaboración propia.

Los planes de muestreo u otra toma de muestras se pueden regir por los establecidos en la:

- NTC-ISO 2859 (Icontec, 2002) partes 1, 2, 3 o 4: procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1: planes de muestreo determinados por el nivel aceptable de calidad (NAC) para inspección lote a lote.

- NTC-ISO 3951-1, 2, 3, 4 y 5 (Icontec, 2009): procedimientos de muestreo para inspección por variables. Parte 1: especificación para planes de muestreo simple clasificados por nivel aceptable de calidad (NAC) para inspección lote a lote para una característica de calidad única y un solo NAC.

3.2. Rastreo fuentes en plataforma Scopus

Durante los años 1990 a 2021 (febrero), en la plataforma de bases de datos Scopus, se encontraron los siguientes resultados para las palabras clave de cada una de las líneas generales en los aspectos explorados en mieles de caña y derivados.

- **Determinación de tendencias mundiales de investigación y desarrollo**

- *Panela:* arrojó 485 documentos primarios, 228 documentos secundarios y 300 patentes. Dentro de los documentos primarios, desde el año 2017, se vienen presentado más de 40 reportes por año, en el año 2020 se registró el mayor número, con 55 reportes. Entre los países, Brasil y Colombia presentan el mayor número de reportes, con 87 y 76, respectivamente. En cuanto al tipo de documentos, se presenta la cifra mayoritaria en los del tipo artículo 375, así mismo, el área de estudio más referenciada son las ciencias agrícolas y biológicas con 241, seguida de las ciencias sociales, con 80 reportes. El resumen de la información se reporta en la Figura 1.

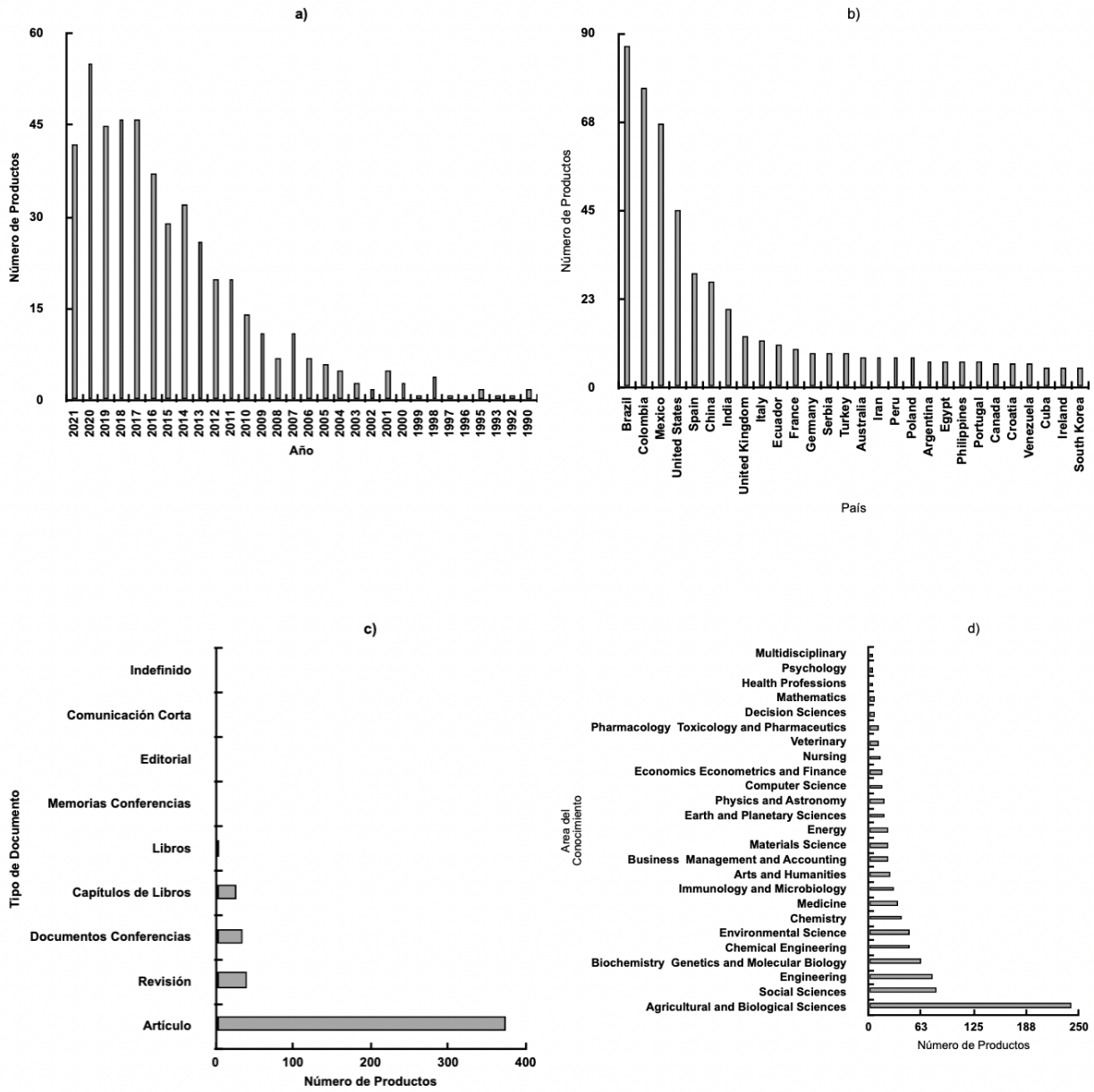

Figura 1. Análisis de los documentos primarios encontrados para la palabra clave "panela" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: a) año, b) país, c) tipo de documento, d) área de conocimiento.
Fuente: elaboración propia.

- ***Muscovado:*** arrojó 21 documentos primarios, 4 documentos secundarios y 5216 patentes. En el conjunto de los documentos primarios, el año de mayor número de reportes es el 2021, con 4, de la misma forma se evidencia que después del año 2019 se viene incrementando dicho número de reportes. Los países que más han reportado documentos son Filipinas y China, con 5 y 3, respetivamente. Colombia presenta un reporte. El tipo de documentos más referenciados fueron los artículos, con 14. Dentro las áreas que tratan los documentos, se destacan las subáreas de ciencias agrícolas y biológicas con 11, y el área de genética bioquímica y biología molecular, con 4 reportes. El resumen de la información se reporta en la Figura 2.

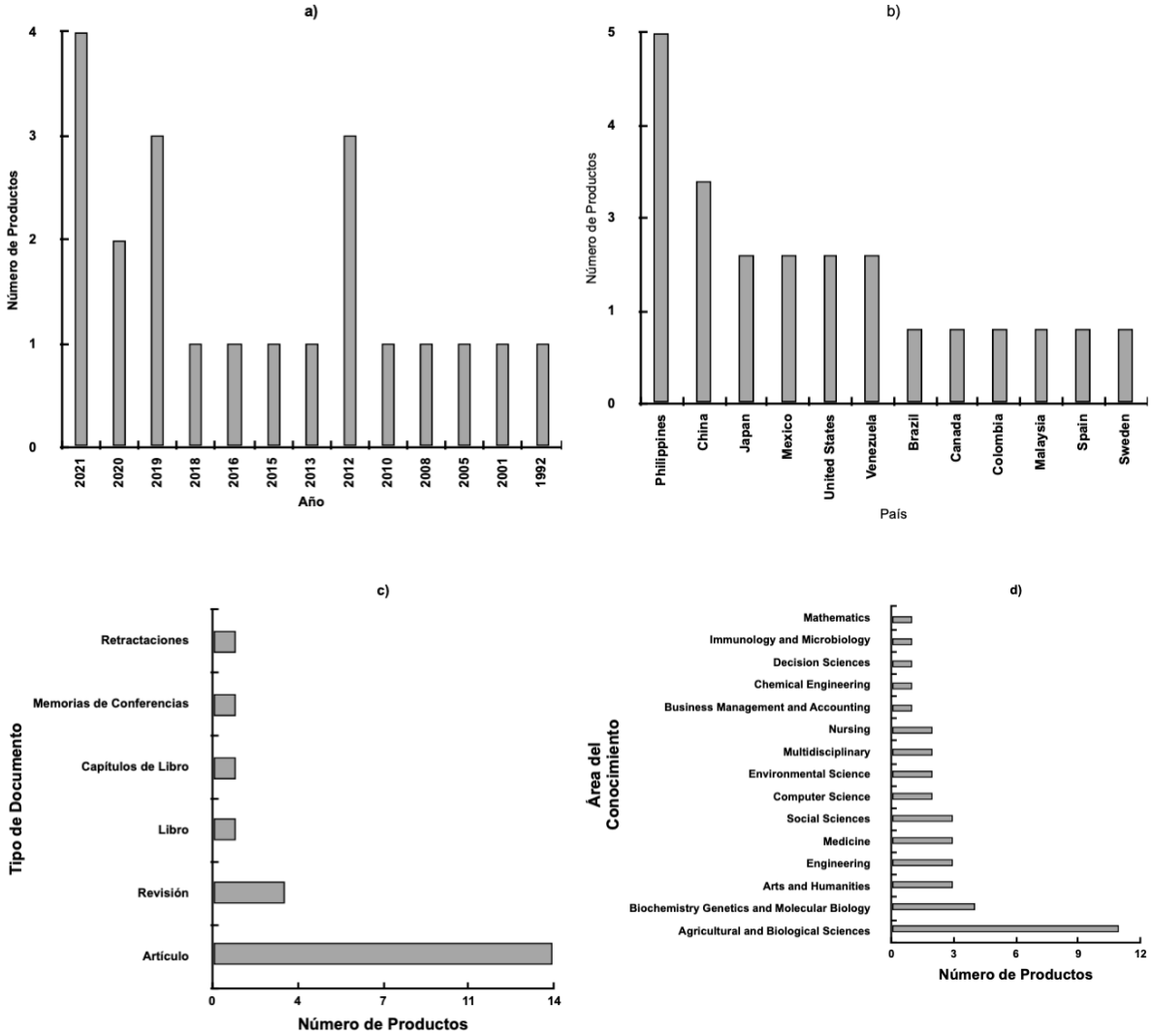

Figura 2. Análisis de los documentos primarios encontrados para la palabra clave "muscovado" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: a) año, b) país, c) tipo de documento, d) área de conocimiento

Fuente: elaboración propia.

- ***Raw sugar:*** arrojó 55.133 documentos primarios, 385 documentos secundarios y 277.163 patentes. A partir del año 2011, se han reportado más de 2.000 documentos por año, donde el año 2020 es el que presenta el mayor número, con 6.283. En lo que va del año 2021, se tienen 3.924. En los países, China presenta 8.782 y Estados Unidos 6.980. En Colombia se tienen 468, y es superada en América Latina por México con 1.039, y por Argentina con 473. En los tipos de documentos, los artículos presentan 40.789, las revisiones 6.935 y los capítulos de libro resultaron con 3.778. Son de interés particular las áreas en las cuales se encuentran estos documentos, se destacan las subáreas de ciencias agrícolas y biológicas con 21.205 y el área de genética bioquímica y biología molecular con 12.517, microbiología e inmunología con 5.794, medicina 3.824, y en farmacología, toxicología y farmacia con 2.702. El resumen de la información se reporta en la Figura 3.

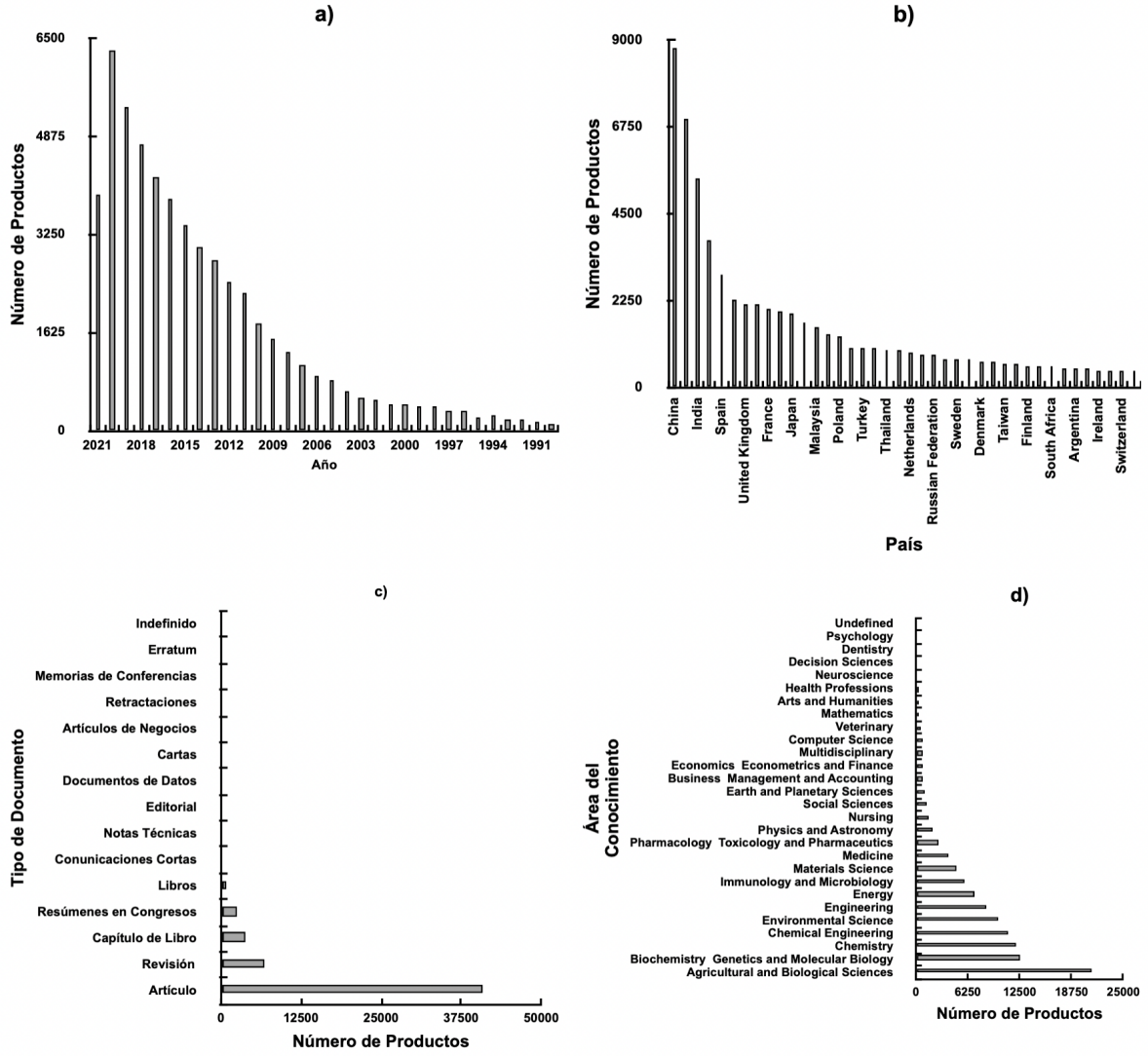

Figura 3. Análisis de los documentos primarios encontrados para la palabra clave "Raw sugar" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: a) año, b) país, c) tipo de documento, d) área de conocimiento.
Fuente: elaboración propia.

- ***Brown sugar:*** arrojó 186.850 documentos primarios, 263 secundarios y 220.484 patentes. Después del año 2014, se han presentado más de 10.000 reportes por año, donde el 2020 es el que más registra reportes, con 15.312, y 9.438 en lo que va del año 2021. Los países que reportan mayor número son Estados Unidos, China, Reino Unido y Alemania con 60.824, 20.159, 17.425 y 13.503, respectivamente. Colombia presenta 595 documentos. Los artículos son la forma más recurrente de reportar la información, con 129.918, seguidos de las revisiones, con 33.565. El área de genética bioquímica y biología molecular con 61.236 artículos, ciencias agrícolas y biológicas con 53.063, y medicina con 42.101. El resumen de la información se reporta en la Figura 4.

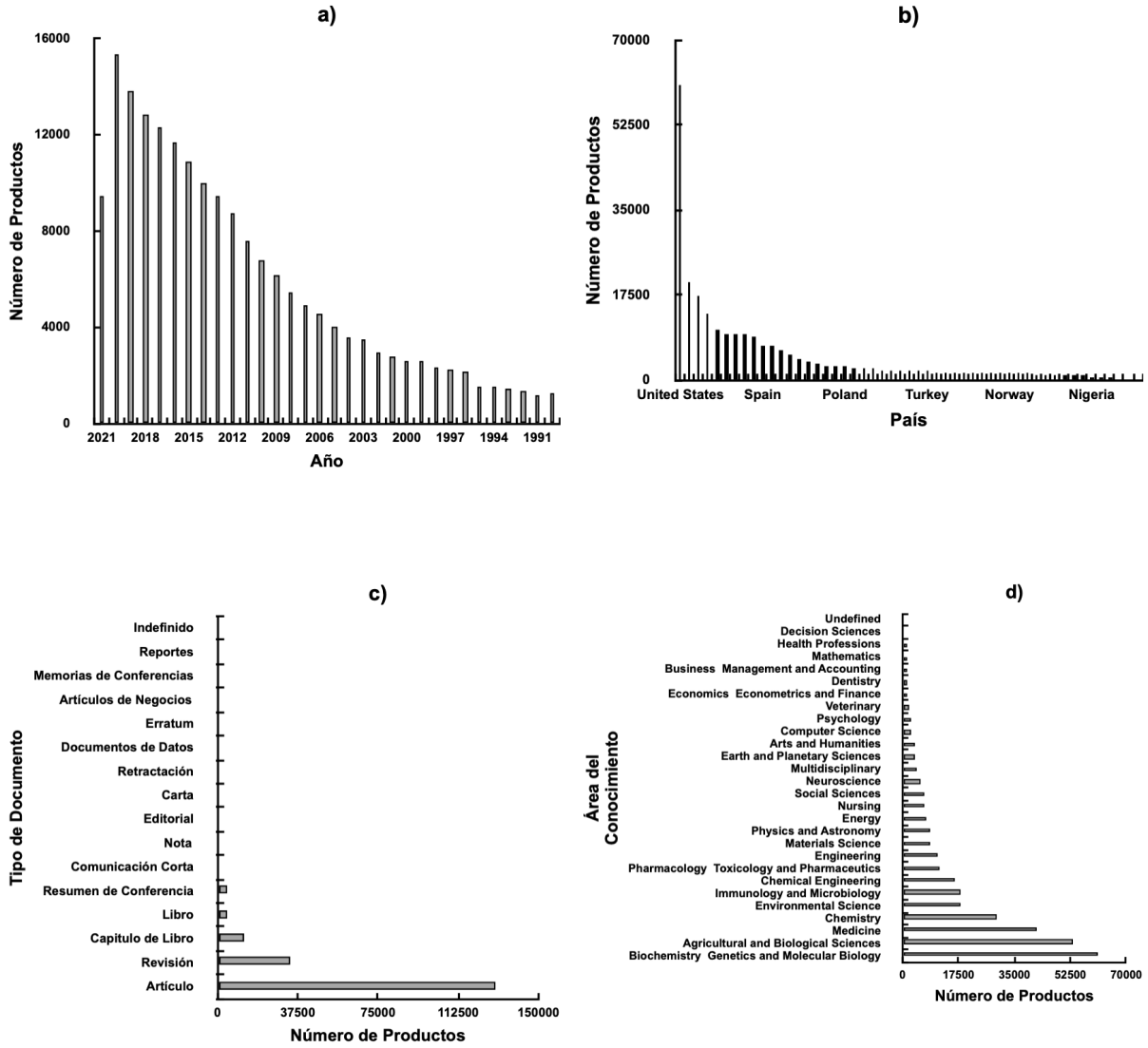

Figura 4. Análisis de los documentos primarios encontrados para la palabra clave "Brown sugar" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: a) año, b) país, c) tipo de documento, d) área de conocimiento.
Fuente: elaboración propia.

- ***Sugar cane:*** arrojó 61.663 documentos primarios, 6.039 documentos secundarios y 54.379 patentes. A partir del año 2012, se registran más de 3.000 reportes por año, el 2020 registra el mayor número con 5.074 reportes, en el año en curso van 3.043. Los países que más reportan documentos son Brasil y Estados Unidos con 11.838 y 9.259, respectivamente. Colombia presenta 885 registros. Los artículos son el tipo de documentos más publicado en este tema con 47.910, lo que representa alrededor del 78 %. Las áreas de publicaciones se centran en ciencias agrícolas y biológicas con 24.990, ciencias ambientales con 13.323 y genética bioquímica y biología molecular con 10.818. El resumen de la información se reporta en la Figura 5.

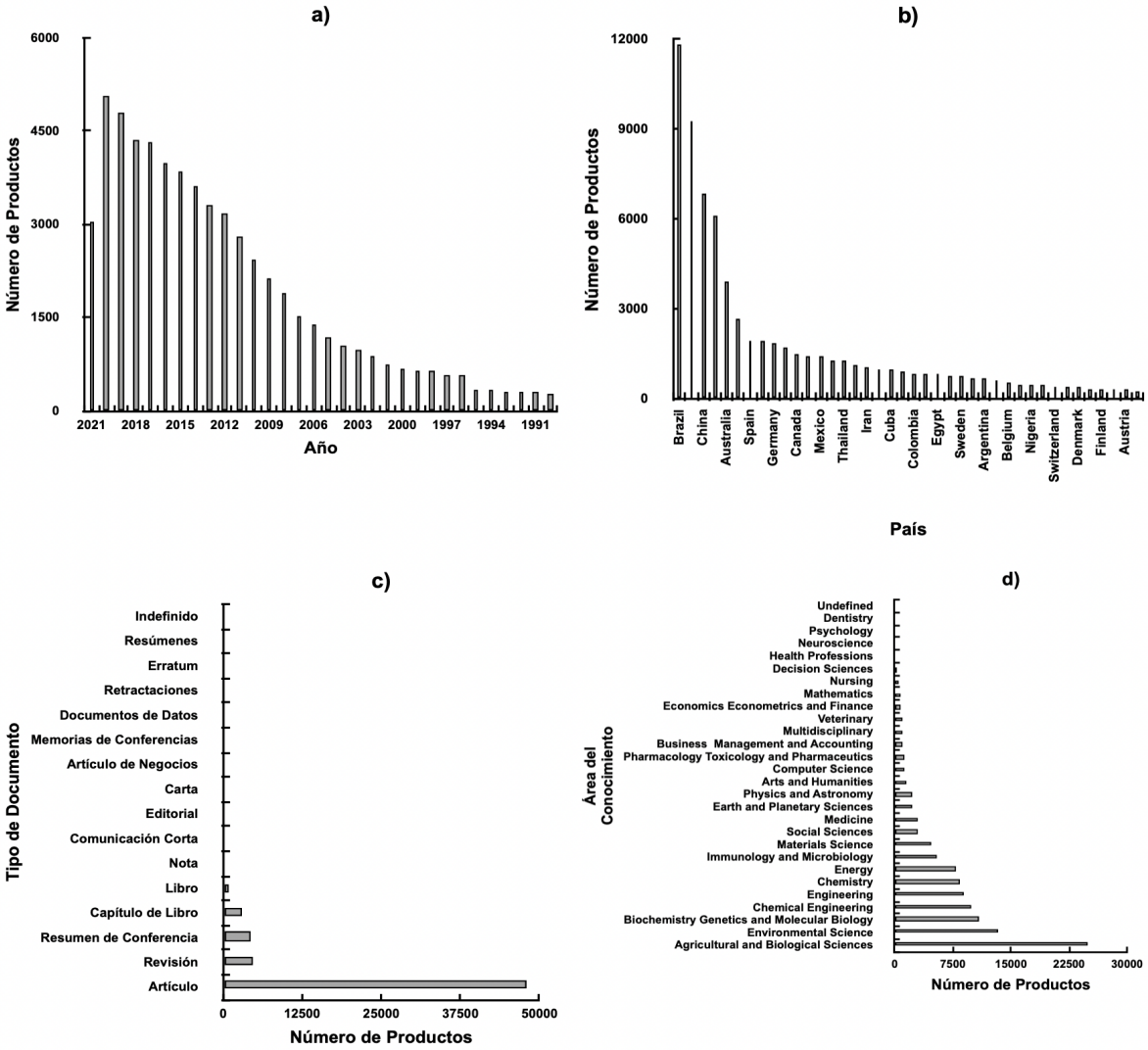

Figura 5. Análisis de los documentos primarios encontrados para las palabras clave "Sugar cane" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: *a)* año, *b)* país, *c)* tipo de documento, *d)* área de conocimiento.
Fuente: elaboración propia.

- ***Sugar cane extracts:*** arrojó 7.470 documentos primarios, 12 documentos secundarios y 27.466 patentes. Dentro de los años, se encuentra un incremento en el número de publicaciones, a partir del año 2013, pues se han tenido más de 400 por año. El año 2020 registra el mayor número con 751, en el año en curso van 517. Brasil lidera las publicaciones en este tema con el 18 % con 1.367 reportes, seguido de Estados Unidos con el 12 % representado en 906 documentos. Colombia registra 64 reportes. El tipo de documentos más generado son los artículos con 5.594, dentro de estos los que se relacionan con ciencias agrícolas y biológicas presentan el mayor número con 3216. El resumen de la información se reporta en la Figura 6.

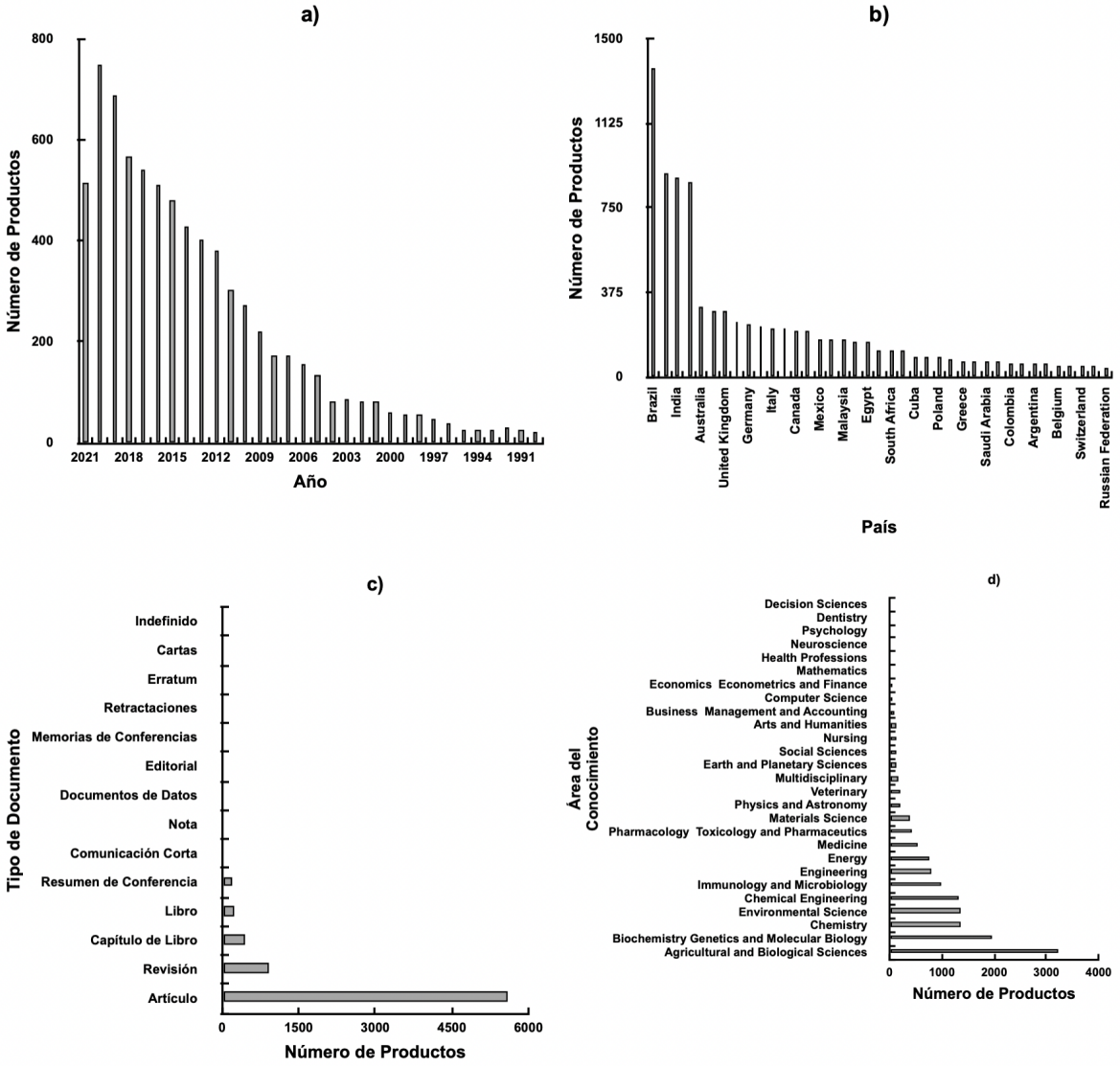

Figura 6. Análisis de los documentos primarios encontrados para las palabras "Sugar cane extracts" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: a) año, b) país, c) tipo de documento, d) área de conocimiento.

Fuente: elaboración propia.

- **Análisis de posibles productos finales**

- Sugar cane products: arrojó 28.152 documentos primarios, 135 documentos secundarios y 49.899 patentes. Desde el año 2016 se han presentado más de 2.000 reportes por año, el 2020 es en el que más han generado documentos con 2.864, en lo que va corrido del 2021 van 1.813 reportes. Entre los países con mayor número de documentos generados, se encuentra Brasil con 4.873, Estados Unidos con 4.119 y China con 3.518. Colombia registra 432 documentos. Los artículos son el tipo de documentos más generados con 20.833. El resumen de la información se reporta en la Figura 7.

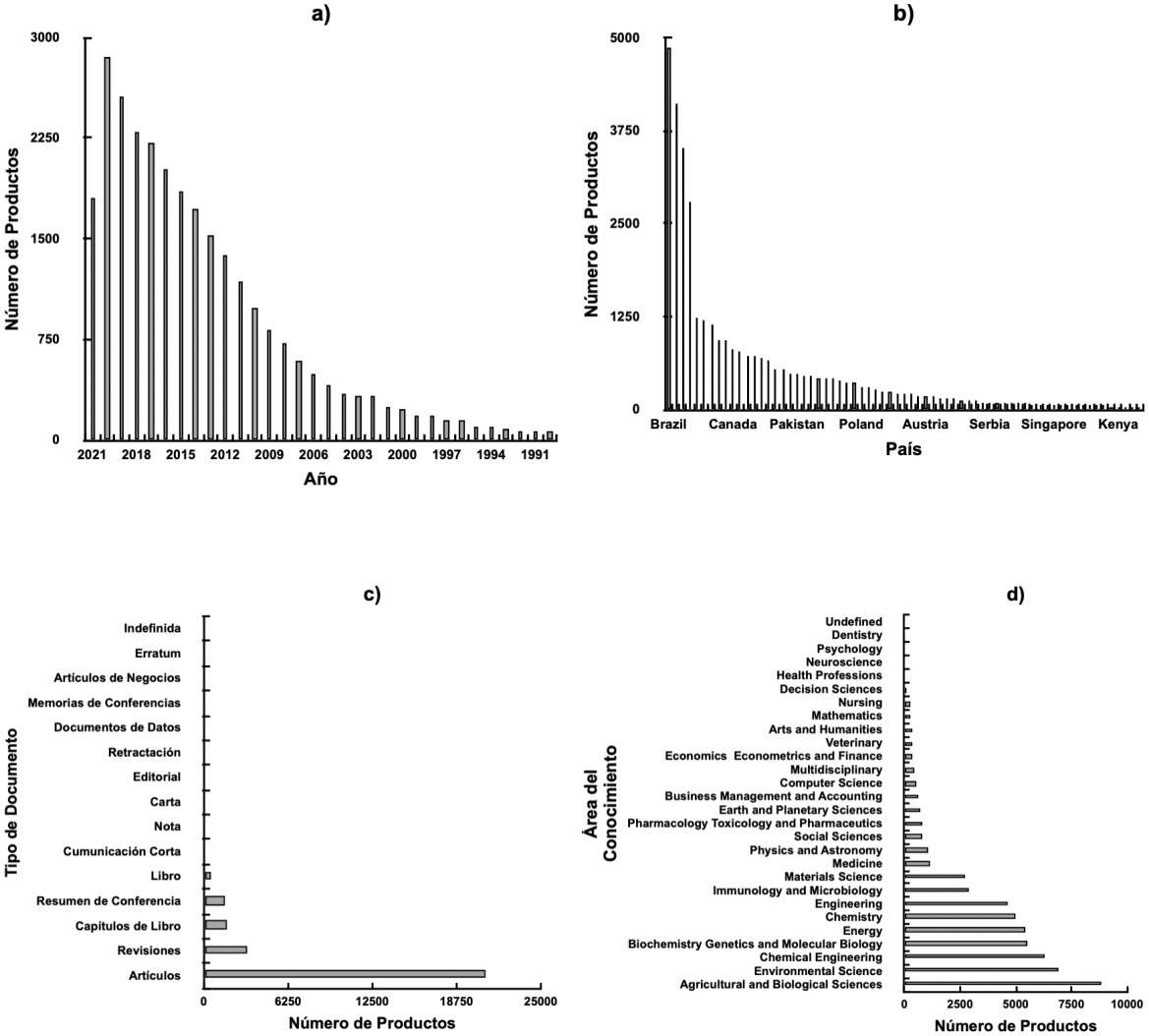

Figura 7. Análisis de los documentos primarios encontrados para las palabras "Sugar cane products" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: a) año, b) país, c) tipo de documento, d) área de conocimiento.
Fuente: elaboración propia.

- ***Sugar cane juice:*** arrojó 7.474 documentos primarios, 251 documentos secundarios y 10.775 patentes. Las publicaciones en esta línea se han incrementado en los últimos años, tal es así, que a partir del año 2017 se registran más de 500 por año y en el año 2020 se reportaron 666. La India registra el 16,6 % de las publicaciones con 1.237 y Colombia ha publicado el 2 % con 147 documentos. Los artículos constituyen el 75 % del tipo de documentos generados, representados en un total de 5.595. La subárea más explorada son las ciencias agrícolas y biológicas, que presentan el mayor número con 3.735. El resumen de la información se reporta en la Figura 8.

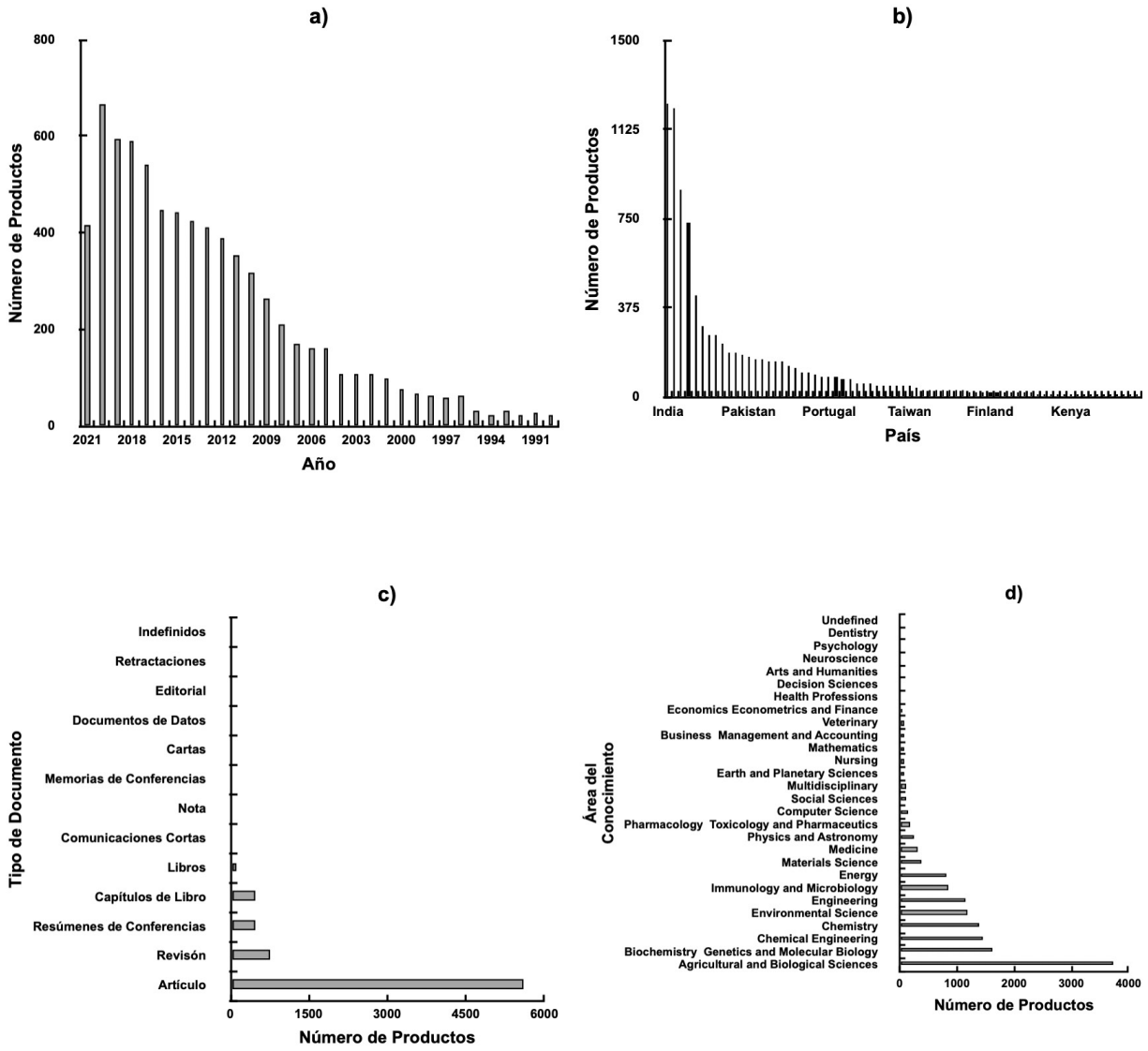

Figura 8. Análisis de los documentos primarios encontrados para la palabra "Sugar cane juice" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: *a)* año, *b)* país *c)*, tipo de documento, *d)* área de conocimiento.
Fuente: elaboración propia.

- ***Crude sugarcane bagasse:*** arrojó 19.382 documentos primarios, 5 documentos secundarios y 2.289 patentes. Desde el año 2017 se vienen registrando más de 1.500 reportes por año, donde el 2020 es el que más documentos arroja. El país que más reportes presenta es Brasil con 3.961, seguido de China con 3.157 y Colombia registra 308 reportes. Los artículos siguen siendo la forma más empleada para reportar los hallazgos con 15.096. En las subáreas de mayor volumen de reportes, se encuentra la ingeniería química con 6.032, ciencias ambientales con 5.668 y energía con 5.468. El resumen de la información se reporta en la Figura 9.

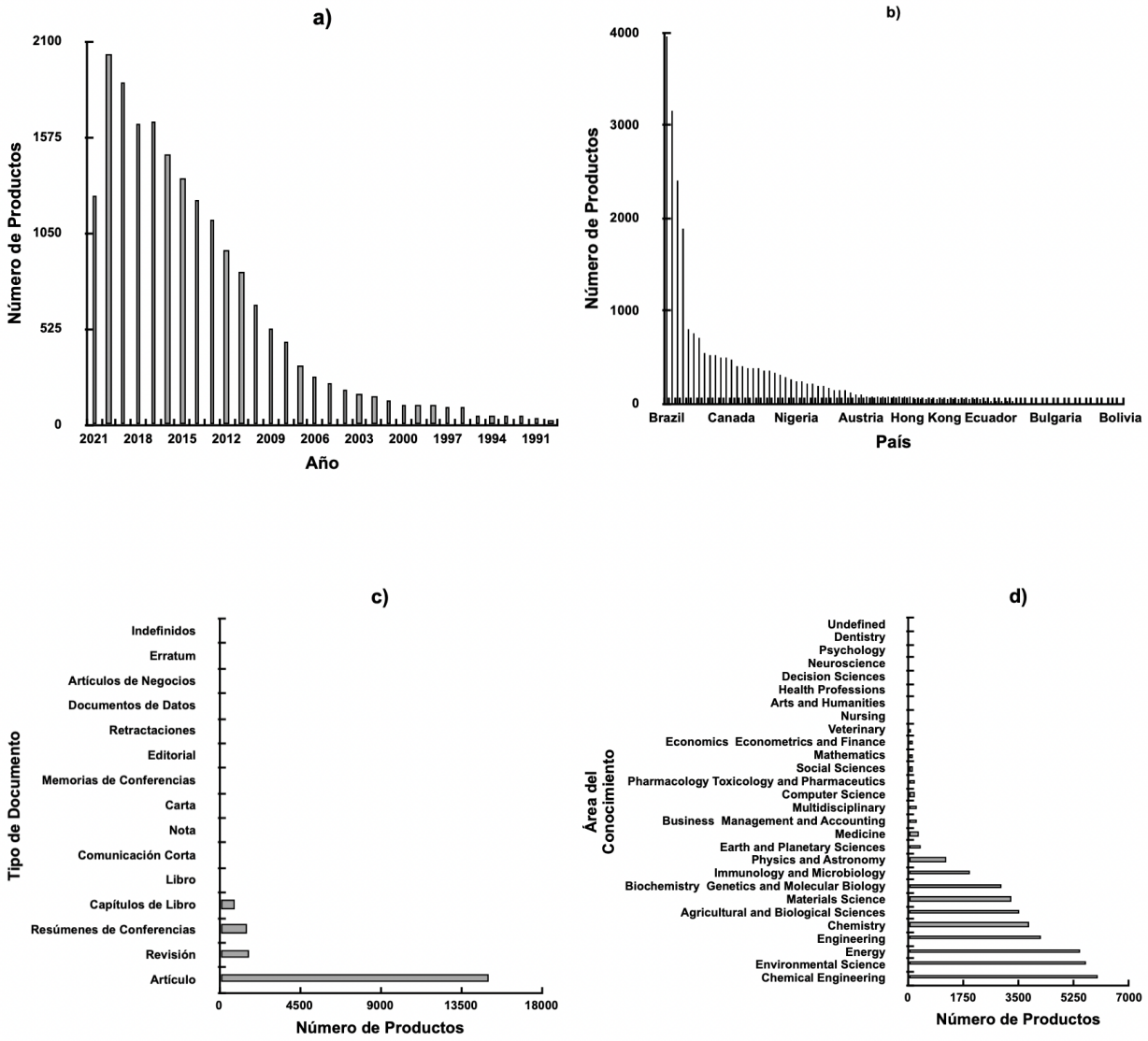

Figura 9. Análisis de los documentos primarios encontrados para la palabra "Sugarcane bagasse" en la plataforma de bases de datos Scopus, organizados por: a) año, b) país c), tipo de documento, d) área de conocimiento.
Fuente: elaboración propia.

- Sugarcane straw: arrojó 27.833 documentos primarios, 120 documentos secundarios y 6.891 patentes. Desde el año 2013 se presentan más de 1.000 reportes por año para esta palabra clave, el año con el mayor número de reportes fue el 2020 con 4.613, en el 2021, a la fecha, van 2.989. El país que más reportes presenta es China con 7.008, seguido por Brasil, India y Estados Unidos con 3.858, 3.788 y 2.883, respectivamente. Colombia reporta 289 documentos. Los artículos son la forma más recurrente de reporte con 21.948, seguidos de las revisiones con 3209 y de los capítulos de libros con 1.347. En las subáreas de estos documentos, se tiene que las ciencias ambientales tienen 9.995, energía 7.696 e ingeniería química 7.747. El resumen de la información se reporta en la Figura 10.

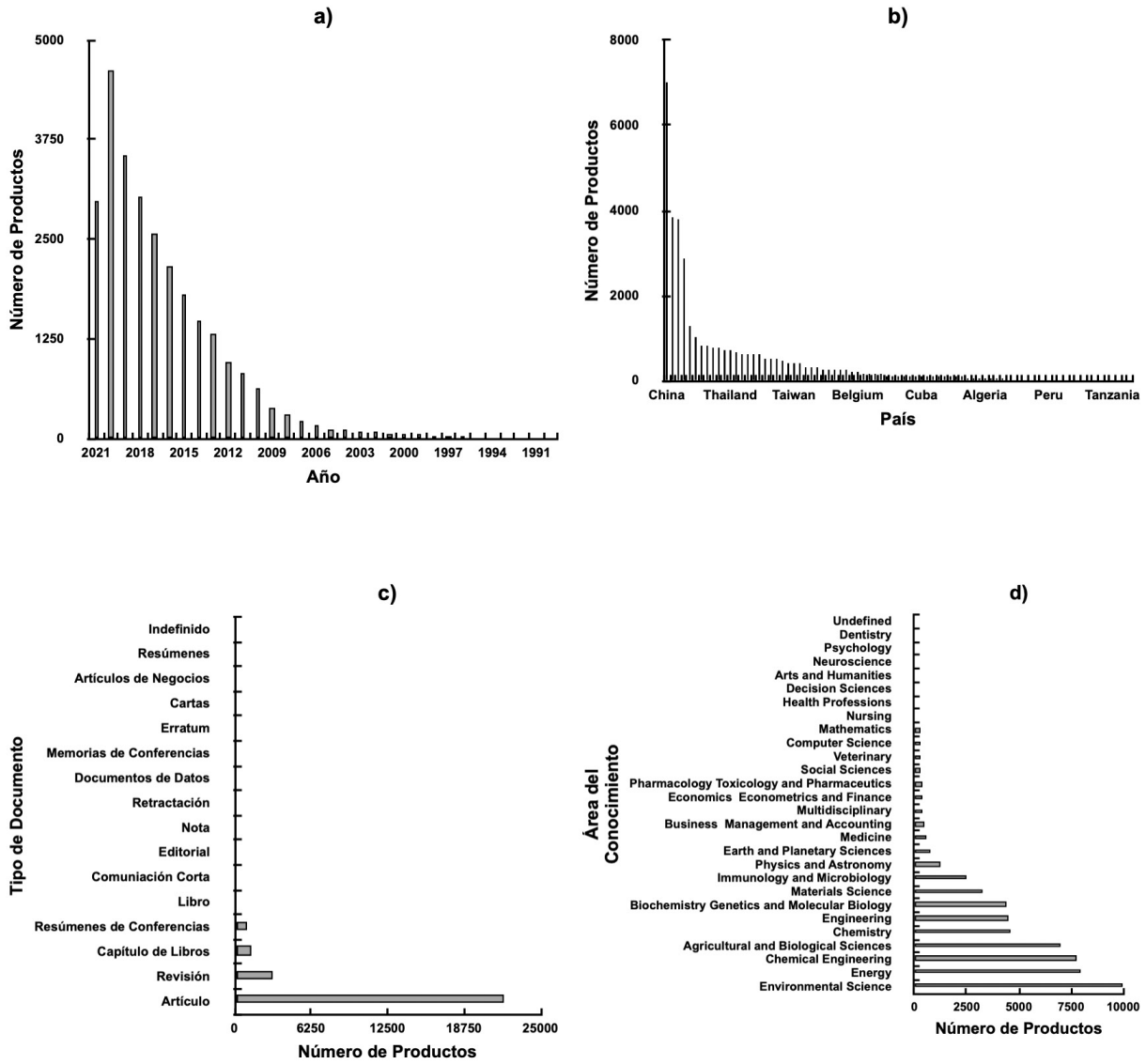

Figura 10. Análisis de los documentos primarios encontrados para la palabra Sugarcane straw en la plataforma de bases de datos Scopus organizados por: a) año, b) país c), tipo de documento, d) área de conocimiento.

Fuente: elaboración propia.

3.3. Otros protocolos de caracterización

Los protocolos que describen las diferentes NTC son de alcance limitado. Por lo tanto, a continuación, se describen los protocolos no contenidos en las NTC expuestas en las Tablas 2 y 3, o que no son usados como referencias para estas, los cuales pueden ser explorados para medir otros indicadores de calidad, de contenido de biomoléculas o de contaminantes relevantes para la industria de productos derivados del aprovechamiento de la caña de azúcar. Estos protocolos se pueden dividir en dos: normalizados y no normalizados.

- **Protocolos normalizados**

Este grupo de normas y protocolos corresponden a determinaciones que se referencian en Codex Alimentarius (Food and Agriculture Organization [FAO], 2019), para productos azucarados y mieles:

- Contenido de Humedad: esta determinación presenta varias opciones metodológicas para la matriz de azúcar o productos similares como la miel. Existe la ISO 1741:1980 (International Organization for Standardization [ISO], 1980a) e ISO 1742:1980 (ISO, 1989b), que determinan el contenido de agua por calentamiento en un horno de vacío para azúcares.

- pH: esta medición se realiza de forma potenciométrica por el método ICUMSA GS 1/2/3/4/7/8-23 (ICUMSA, 2009b).

- Azúcares por HPLC: la ISO 10504:2013 (ISO, 2013a) referencia la metodología para determinar los azúcares reductores, glucosa y fructosa, mediante HPLC con un detector de índice de refracción. Así mismo, puede ser usada para medir disacáridos, como la sacarosa u otros de interés. Es una técnica que permite medir monosacáridos, disacáridos y otros polisacáridos, con la cual se podría realizar la medición de los azúcares totales y reductores, en menor tiempo y de forma más precisa, repetible y reproducible.

- Color: ICUMSA GS9/1/2/3-8 (ICUMSA, 2011c) muestra una metodología para determinar el color de azúcares o mezclas de estas. Resulta importante determinar este parámetro, ya que la adición de colorantes es común en productos como la panela o los batidos, con el ánimo de engañar el consumidor simulando el color del producto.

- **Protocolos no normalizados**

En seguida, se presentan los posibles protocolos que se pueden adaptar para la medición de otros parámetros en productos derivados de caña de azúcar:

- Azúcares por HPLC (Glyad, 2002)
Se pesan 100 g de producto y se vierten en un matraz Erlenmeyer con tapón de vidrio de 250 mL, se disuelven con 200 mL de agua destilada. Luego, se vierten en un matraz volumétrico de 500 mL y se afora con agua destilada. La solución de muestra se filtra a través de membranas de 0,22 μm antes de la inyección. La separación cromatográfica de azúcares (sacarosa, fructosa y glucosa) se logra con un sistema HPLC en modo isocrático. Las muestras se analizan en una columna para carbohidratos (250 x 4,6 mm D.I., 5 μm) equipada con una columna de protección (12,5 x 4,6 mm D.I.). Las temperaturas de la columna y el detector de índice de refracción (RID) se fijan en 30 y 35 °C, respectivamente. La fase móvil está compuesta por acetonitrilo y agua (75:25, v/v), con un flujo de 1,0 mL/min. El volumen de inyección es de 10 μL. Se utiliza maltosa como estándar interno para la cuantificación. Se reporta el contenido como mg azúcar/100 g producto fresco.

- Determinación del contenido fenólico total (TPC) y flavonoide total contenido (TFC)
El TPC y TFC se miden utilizando el método establecido por Wang, Melnyk, Tsao, y Marcone (2011). Se calcula el TPC de cada muestra por la ecuación de regresión de la curva de calibración del ácido gálico-AG. Los resultados se expresan en miligramos de equivalentes de ácido gálico por 100 mg de peso seco de producto fresco (mg AG/100 mg). El TFC de cada muestra se calcula mediante la ecuación de regresión de la calibración de catequina. Los resultados se expresan como miligramos de catequina equivalentes/100 mg de producto fresco (mg CE/100 mg).

- Medición de la actividad antioxidante por absorción de radicales de oxígeno (ORAC)

La actividad antioxidante de los productos derivados de la caña de azúcar se determina por ensayo ORAC, como describen Wootton-Beard, Moran, y Ryan (2011) y Thaipong, Boonprakoba, Crosby, Cisneros-Zevallos, y Hawkins (2006). En el ensayo ORAC, todos los reactivos se preparan recién y se disuelven en tampón fosfato (75 mM, pH 7,4). El Trolox (utilizado como estándar) y las muestras se diluyen a concentraciones en serie con tampón fosfato y se transfieren 20 µL a una placa de 96 pocillos de pared negra (Corning Scientific, Corning, NY, EE. UU.). Seguido de la adición de 200 µL de sal sódica de fluoresceína (0,96 µM). Después de la incubación de 20 min a 37 °C, se agregan 20 µL de 119 mM Ácido2,2´-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6- sulfónico-ABAP en cada pocillo. La intensidad de la fluorescencia se mide cada 5 min durante 35 ciclos a una longitud de onda de excitación de 485 nm y a una longitud de onda de emisión de 535 nm. Los resultados se expresan como equivalentes µmol de Trolox por miligramo de producto fresco (µmol TE/mg).

- Medición de la actividad antioxidante por capacidad de eliminación de radicales peroxilo (PSC)

En el ensayo de PSC (Shahidi; Zhong, 2015), 100 µL de producto fresco o su extracto son añadidos en una microplaca negra de 96 pozos. Luego, se adicionan 100 µL de 33,15 µM Dicloro-dihidro-fluoresceina diacetato-DCFH y 50 µL de ácido 2,2´-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina)-6- sulfónico-ABAP 200 mM. La microplaca se incuba a 37 °C durante 40 min en oscuridad. La fluorescencia se mide a la longitud de onda de excitación de 485 nm y la longitud de onda de emisión de 535 nm. Se expresa la CE_{50} de la muestra y el valor PSC como equivalentes de µmol de vitamina C-VC por mg de producto fresco (µmol VC/mg).

- Determinación del potencial de reducción por el poder antioxidante reductor férrico (FRAP)

El ensayo FRAP se evalúa según el método de Benzie y Strain (1996). El reactivo FRAP se prepara el mismo día de la medición, se usan 200 µL de reactivo FRAP y 200 µL de muestra. Se incuba la mezcla a 37 °C durante 10 min en oscuridad. Se mide la absorbancia a 593 nm en relación con un blanco de reactivos también incubados a 37 °C. Se determinan los datos de FRAP para las muestras frente a un estándar de valor FRAP conocido, se suele usar sulfato ferroso-FeSO4. Los resultados se expresan como mg FeSO4/100 g peso fresco.

- Ensayo de peroxidación lipídica

Los ensayos de peroxidación lipídica se realizan según el protocolo propuesto por Jiang, Hunt, y Wolfe (1992). Fe^{3} + generado mediante la oxidación de Fe^{2} + por hidroperóxidos se puede determinar utilizando tintes sensibles al ion férrico como medida indirecta de concentración de hidroperóxido. Los resultados se expresan como mg Fe^{3} +/100 g peso fresco.

- Crecimiento bacteriano

El crecimiento bacteriano, según el método establecido por Zhao, Chen, Zhao, y Yu (2015), se utiliza para evaluar la actividad antimicrobiana de un extracto. Se sugiere probar las bacterias Staphylococcus aureus, Listeria monocytogenes, Escherichia coli y Salmonella typhimurium. En cajas de Petri pequeñas o en placas de crecimiento bacteriano, se ponen a crecer las bacterias a una concentración de 106-107 UFC/mL en agar suplementado con 200 µL de extracto. Se utiliza agua estéril como control negativo y un antibiótico de amplio espectro como control positivo. Los platos se guardan en el refrigerador por 6 h a 4 °C y luego son incubados a 37 °C por 20 h. El efecto antibacteriano del extracto se evalúa midiendo y comparando los diámetros de las zonas de inhibición, todas las pruebas se deben realizar mínimo por triplicado.

- Concentración mínima inhibitoria bacteriana

Se determina utilizando inóculos estándar de 105 UFC/mL de las siguientes bacterias sugeridas o con otras de interés: S. aureus, L. *monocytogenes*, *E. coli y S. typhimurium*. Se emplea el método de dilución

en serie de Nedorostova, Kloucek, Kokoska, Stolcova, y Pulkrabek (2009) y Andrews (2001). El medio de cultivo es suplementado con las siguientes concentraciones finales de extracto 0; 0,1562; 0,315; 0,625; 1,25; 2,5; 5,0 y 10,0 mg/mL. Después se incuba durante 18-24 h a 37 °C con agitación a 150 rpm, se determina la concentración más baja del extracto, necesario para inhibir visiblemente el crecimiento, mediante el conteo de bacterias mediante cámara de Neubauer. Se utiliza agua destilada esterilizada como control negativo y un antibiótico de amplio espectro como control positivo.

- La diversidad fenólica y derivados

El método fue reportado por Zheng *et al.* (2017), quienes emplearon espectrofotometría de masas de alta resolución-HRMS y resonancia magnética nuclear protónica hidrógeno-deuterio-HDNMR. Los autores informan que los compuestos fenólicos libres se extraen del producto en polvo o en estado líquido de acuerdo con un método previamente informado por Wen et al. (2015). La muestra (100 g) se extrae dos veces con 1,5 L de una mezcla 1:1:1 de acetona 40 %, metanol 40 % y ácido clorhídrico 5 % en agua, en condiciones de en oscuridad durante 12 h a temperatura ambiente. Después, la suspensión se combina y se centrifuga a 3.500 rpm durante 20 min a 4 °C. A continuación, se recoge el sobrenadante y se concentra a menos de 5 mL por un rotaevaporador a máximo 40 °C al vacío. El extracto es llevado a un volumen final de 25 mL con la adición de una solución de metanol al 20 %, y se almacena a -40 ° C hasta su posterior análisis.

El residuo semisólido es recolectado para la extracción de compuestos fenólicos ligados, los cuáles se extraen de los residuos después de la extracción de fenoles libres de acuerdo con un método reportado previamente por Adom y Liu (2002) y Wang, Chen, Xie, Ju, y Liu (2013). Los residuos son digeridos en una botella de 50 mL que contiene 20 mL de hidróxido de sodio 2 M con una velocidad de agitación de 60 rpm a temperatura ambiente durante 1,5 h bajo atmósfera de nitrógeno. Posteriormente, la mezcla se neutraliza con ácido clorhídrico 1 M y se extrae con hexano para eliminar los lípidos de la mezcla. Luego, se extrae con 20 mL de acetato de etilo cinco veces. Se reúnen las fracciones extraídas y se ponen en el rotaevaporador a máximo 40 °C al vacío. Los fenoles ligados se reconstituyen a 10 mL con la adición de metanol al 20 %. Los extractos se almacenan a -40 ° C hasta su posterior análisis. La corrida se hace en una columna ZORBAX RRHD SB-C18 (50 x 2,1 mm D.I., 1,8 μm), Agilent Corporation, EE. UU). La columna se mantiene a 20 °C y a un caudal de 0,2 mL/min.

- La diversidad de derivados de tipo fitoesteroles por HPLC

El análisis se realiza de acuerdo con lo propuesto por Novak et al. (2017). Una muestra de 100 g de producto se deposita en un matraz aforado con 200 mL etanol anhidro. Luego, se colocan en un baño de ultrasónico a 40 kHz durante 1 h a 50 °C. Después se filtra. Se añade etanol anhidro hasta llegar a volumen final del extracto de 250 mL. La identificación y cuantificación de fitoesteroles se lleva a cabo según el método de Indyk, Lawrence, y Broda (1993). La separación se realiza en un Luna 5l Columna C-18 (250 x 4,6 mm D.I., Phenomenex Ltd.) usando fases móviles: metanol y agua en una relación 100: 4 (en volumen). El volumen de inyección es de 20 μL, el caudal de 1,2 mL/min y la longitud de onda utilizada para la detección debe ser 205 nm. Todos los análisis se realizan a una temperatura de 30 °C. La cuantificación se basa en una calibración externa y las concentraciones finales se expresan como mg/100 g de muestra.

- Determinación de acrilamida por cromatografía liquida de alta resolución (HPLC)

Las muestras se recolectan en diferentes etapas del proceso de elaboración de la panela (extracción, prelimpieza, clarificación y encalado, evaporación y concentración, punteo y batido), para posteriormente ser analizadas por HPLC según el método establecido por Vargas, Talero, Trujillo, y Caballero (2014), por lo cual se realiza el siguiente procedimiento: para las muestras líquidas se toman 10,00 mL de jugo de caña y se disuelven en 100 mL de agua desionizada y filtrada. En cuanto a las muestras sólidas, se pesan 10,00 g en las etapas de evaporación y concentración (mieles) y en la de punteo y batido (panela),

para posteriormente ser pulverizadas en un molino con cuchillas extrafinas; consecutivamente se disuelven en 100 mL de agua tipo HPLC y se centrifugan a 4.000 rpm durante 30 min, para retirar la mayor parte de sólidos presentes; cada muestra se inyecta al equipo por triplicado, posteriormente, se extraen los datos reportados por el equipo de las áreas bajo la curva, y de esta manera se interpola en la ecuación de la recta, y se determina la concentración de analito presente en cada una de las muestras. Se emplea una columna C18 (150 x 4,6 mm, D.I.) tamaño de partícula 5 µm, a una temperatura de 23 °C y un flujo de 0,5 mL/min, con un detector UV-Vis a 210 nm. El volumen de inyección es de 20µL, se realiza una elución isocrática con acetonitrilo: agua, 1:24 (v/v). Para realizar la corrida cromatográfica, se inyectaron cada uno de los estándares de acrilamida y las muestras de panela o productos derivados de caña. El tiempo de corrida es de 6 min para los estándares de acrilamida, debido a que después de este tiempo no aparecían más señales; y 30 min para las muestras, para observar si aparecían nuevas señales durante este tiempo de corrida. Se prepara una solución stock de acrilamida, 100 mg/kg utilizando reactivo grado analítico, acrilamida electroforesis 99,9 % Merck, esta disolución se prepara empleando un balón aforado clase A. Posteriormente se hacen disoluciones a diferentes concentraciones de 0; 4; 1; 2; 5; y 10 mg/kg respectivamente con lo cual se obtiene la curva de calibración para la cuantificación de acrilamida en las muestras. Las concentraciones finales se expresan como mg/100 g de muestra.

4. Discusión de resultados

Luego del rastreo de información, se pudo establecer que se han utilizado otras cuatro especies del género *Saccharum* para la producción de mieles de caña o azúcar: *S. barberi*, conocida como "caña india" o caña "fina"; *S. robustum; S. sinense*, conocida como "caña china"; y *S. spontaneum*, que se conoce como "caña silvestre" y se utiliza con fines de hibridación (FAO, 2014; Jaffé, 2012). Enfocados en la cadena productiva de *S. officinarum*, se identificaron algunas problemáticas tecnológicas y de mercado (FAO, 2014). Los problemas centrales están referidos a la baja competitividad de los trapiches pequeños, a la deficiente calidad de los productos derivados, falta de homogeneidad, a los daños ambientales por el consumo de leña y caucho en las hornillas, a las restricciones para ampliar el mercado debido a las exigencias dadas por la normativa legal para la comercialización de productos azucarados (FAO, 2014), y a la necesidad de verificar la diversidad fenólica, metabolitos antioxidantes y la presencia de oligoelementos tóxicos, como los metales pesados o la acrilamida.

Las NTC establecen un punto de partida válido y vigente para el inicio del proceso de caracterización de los productos derivados de *S. officinarum,* pero no es suficiente debido al limitado conjunto de parámetros que evalúan. Según lo rastreado en el organismo Icontec (Tablas 2 y 3), para los productos de mieles de caña, el conjunto de NTC se puede dividir en dos grupos, uno relaciona la caracterización de algunos parámetros fisicoquímicos (Tabla 2) y otro pretende determinar la inocuidad microbiana del producto (Tabla 3). Dentro del primer grupo de NTC permiten cuantificar algunos parámetros fisicoquímicos y contenidos de moléculas de seguimiento, mayoritariamente azúcar y etanol, entre ellas se registran la NTC 1779:2017 (Icontec, 2017a), NTC 570:2012 (Icontec, 2012a), NTC 1856:2010 (Icontec, 2010) y NTC 6385:2020 (Icontec, 2020a) (Tabla 2). Los ensayos y parámetros que deben cuantificarse y reportase para establecer las características físicas y químicas de los productos derivados de caña de azúcar, como por ejemplo en jugos, jarabes, fermentados alcohólicos y los diversos tipos de azúcar blanco, blanco especial, refinado y crudo se registran en las NTC 1846:2020 (Icontec, 2020b), NTC 3442:2011 (Icontec, 2011) y NTC 440:2015 (Icontec, 2015) (Tabla 2). Los requisitos o terminología se consignan en las NTC 587:1994 (Icontec, 1994a) y NTC 573:2013 (Icontec, 2013). La determinación de aditivos, lo muestran las NTC 5970:2012 (Icontec, 2012b) y NTC 2369:1994 (Icontec, 1994b) (Tabla 2). Por último, en cuanto a la Panela, se tiene la NTC 1311:2009 (Icontec, 2009), la cual establece los requisitos y los ensayos que debe cumplir la panela destinada para el consumo humano (Tabla 2).

Al ahondar en el contenido de algunas NTC, por ejemplo, la NTC 1779:2017 (Icontec, 2017a), por medio de la cual se determina el contenido de azúcares reductores, se puede notar que muestra una secuencia metodológica que puede llevar a que se presenten varias fuentes de error, lo cual hace que la técnica presente un amplio rango de incertidumbre asociado. Algunas fuentes de incertidumbre son la preparación de solución Fehling A y B, titulación de una solución en ebullición, el material volumétrico diverso y el punto final de la titulación. La cromatografía líquida HPLC con detector de índice de refracción es una alternativa fiable, robusta y con menor grado de incertidumbre asociado, así como lo describe la ISO 10504:2013 (ISO, 2013a), que además, ofrece menor tiempo de análisis, produce menos residuos y permite cuantificar en una sola corrida el conjunto de azúcares.

Por su parte, la NTC 1856:2010 (Icontec, 2010) presenta dos formas de determinar el dióxido de azufre, las dos metodologías son de uso recurrente, no solo en la industria de azúcares, sino en otros alimentos. Su adaptación resulta muy compleja en los laboratorios, debido a sus requerimientos en términos de equipamientos, preparación de soluciones, falsos positivos e interferentes. Las alternativas normalizadas que se presentan son igualmente dispendiosas: la ISO 5379:2013 (ISO, 2013b) presenta la determinación por acidimetría y nefelometría; la ICUMSA GS 2/3-35 (ICUMSA, 2011e) y Nordic Committee on Food Analysis (1990), en su NMKL 135, presentan una determinación por un método enzimático de difícil manejo, aunque menos dispendioso que la ISO 5379:2013 (ISO, 2013b); la AOAC Official Method 990.28 presenta la determinación por el método de Monier-Williams, el cual también resulta complejo de adaptar y obtener mediciones reproducibles. Existen otros métodos no normalizados como el de Ho-Soo *et al.* (2014), donde se emplea HPLC, pero son aún metodologías en proceso de validación y adaptación a las matrices alimentarias complejas. Esta determinación continúa siendo un desafío para la química analítica.

Por último, la NTC 1311:2009 (Icontec, 2009), además de presentar las problemáticas asociadas a las determinaciones anteriormente mencionadas, muestra un criterio cualitativo, el color por medio del ensayo de tinción de lana. Para determinar el color existen protocolos normalizados que se deben adoptar, ya que es crucial, en la industria de la panela, determinar la inclusión mal intencionada de colorantes para engañar el consumidor simulando un color óptimo del producto, se puede y se debe implementar dentro de la NTC 1311:2009 (Icontec, 2009) la ICUMSA GS9/1/2/3-8 (ICUMSA, 2011d), que muestra como determinar el color de azúcares o mezclas de estas. En el segundo grupo, se encuentran las NTC que tienen por objetivo la determinación de algunos microorganismos perjudiciales para la salud humana, entre ellos la *Escherichia coli*, mohos, levaduras y bacterias mesófilas aerobias, consignadas en las normas NTC 3953:2017 (Icontec, 2017b), NTC 3954:2017 (Icontec, 2017c), NTC 6086:2017 (Icontec, 2017d) y NTC 3908:2017 (Icontec, 2017e) (Tabla 3).

Son claras, entonces, las limitaciones de las NTC, en cuánto a que, si bien responden a generar estándares básicos para la comercialización de productos derivados de *S. officinarum*, no contemplan la cuantificación de vitaminas, antioxidantes, fenoles, antocianinas o fitoesteroles, ni de un contaminante como la acrilamida, pero ¿por qué resulta relevante medir estos grupos de moléculas? Revisemos alguna evidencia científica que nos puede ayudar a contestar esta pregunta.

Las mieles de caña y los productos que se elaboran a partir de ella, como la panela, poseen gran potencial en términos nutricionales y comerciales. En términos nutricionales, su participación en el consumo diario de edulcorantes calóricos (g/ persona/día) para 2007 fue de 46 % en Myanmar, 20 % en Bangladesh, 19 % en Colombia, 10 % en India y 10 % en Pakistán (Jaffé, 2012). La sacarosa es el componente más importante de los derivados de jugo de caña, entre 76,55 y 89,48 %, seguido de azúcares reductores (3,69 a 10,5 %) y agua (1,5 a 15,8 %). El rango relativamente grande de contenido de humedad se debe a las diferencias en las condiciones del proceso de fabricación de este producto principalmente artesanal. El contenido de minerales (cenizas) es relativamente alto (0,3-3,6 %). El contenido de proteínas oscila entre el 0,37 y el 1,7 % y las grasas entre el 0 y el 0,1 %.

La diferencia básica entre los derivados de jugo de caña y azúcar refinada es la presencia en el primero de azúcares reductores y de importantes cantidades de minerales y otros constituyentes menores, como los fenoles, así como lo reportan Semwal, Jai Singh, Kumar, y Malik (2021). La diferencia nutricional y funcional dependerá principalmente, de la determinación de este grupo de componentes menores (Shaheen et al., 2013; Nimrouzi et al., 2014). Al menos dos azúcares raros o complejos con potencial funcional se han identificado en los derivados de jugo de caña. D-psicosa, un epímero C-3 de D-fructosa, es uno de ellos, presente en pequeñas cantidades en alimentos con carbohidratos comerciales o productos agrícolas. Tiene 70 % del dulzor de la sacarosa, pero sin calorías (Cheung et al., 2012). Se ha encontrado que en los derivados de jugo de caña se presentan cantidades relativamente altas de ella. En modelos animales se ha afirmado que la D-psicosa tiene propiedades antihiperglucémicas y efectos antiaterosclerosis (Cheung; Oh; Lee, 2012).

Por su parte, un estudio temprano en 1949 con ratas anémicas indicó que el hierro en la panela se absorbe fácilmente y produce niveles altos de hemoglobina en 18 dias (Jaffé; Ochoa, 1949). Dos estudios apoyan estos hallazgos en humanos. Olivares, Pizarro, Hertrampf, Fuenmayor y Estévez (2007) encontraron que la adsorción de hierro de la sopa de fideos de trigo fue significativamente mayor cuando es consumida con limonada endulzada con panela (11 %), en comparación con la misma comida sin limonada. El análisis se realizó con 13 mujeres y fue medida por un método doble isotópico. Arcanjo, Pinto, Arcanjo y Amancio (2009) registraron un aumento estadísticamente significativo de hemoglobina en niños en edad preescolar, asociado al consumo de una bebida de panela con ácido ascórbico. Las estrategias actuales se centran en la mejora de las dietas y los patrones dietéticos, así como en la fortificación de alimentos con hierro y la suplementación directa de la ingesta de hierro (World Health Organization [WHO], 2001); y, más recientemente, en la denominada biofortificación, que busca aumentar el contenido de hierro en cultivos básicos, por medios genéticos o por fertilización (Sautter; Gruissem, 2010). El desarrollo de productos de consumo masivo basados en las mieles de caña, o en alguno de los derivados de caña, podrá ser una estrategia relativamente barata y adaptada al mercado, que podría ser industrial y comercialmente atractiva. Así mismo, reportan Watanabe, Nakabaru, Taira, Ueno, Kawamitsu (2016) y Scheid *et al.* (2020), pero en un cultivo de basidiomicetos.

El efecto cariostático de las mieles de caña y los derivados de caña se debe presumiblemente a su contenido de fosfatos. Pero en un efecto sinérgico de la adición de fosfatos a una dieta de azúcar morena sobre la inhibición de la caries dental en hámsteres sugirió la presencia de sustancias bioactivas adicionales (Stralfors, 1966). Esto también se ha encontrado en una colaboración de la Universidad Ryukyus y Toiyo Kagaku Co. de Japón, quienes informaron del aislamiento de dos compuestos bioactivos fenólicos de la melaza de caña de azúcar, que tienen propiedades inhibidoras contra las bacterias cariogénicas *Streptococcus mutans* y Streptococcus *sobrinus* comparables a los agentes antibacterianos comerciales (Takara; Otsuka; Wada; Iwasaki; Yamashita, 2007) por efecto de la inhibición de la glucosiltransferasa.

La actividad antioxidante y citoprotectora también se encuentra en la azúcar morena producida a partir de panela, lo que sugiere que los compuestos bioactivos detrás de estas propiedades se transfieren de las mieles de caña (Seguí; Calabuig-Jiménez; Betoret; Fito, 2015). Investigadores del Instituto Central de Investigación Tecnológica de Alimentos y la Universidad de Mysore, India, informaron que una concentración de azúcar morena de 4 mg/mL proporcionó una protección del 97 % en un modelo de investigación de oxidación de células NIH 3T3 (Harish Nayaka; Sathisha; Manohar; Chandrashekar; Dharmesh, 2009). Por otro lado, un grupo de la Ehine Graduate School of Medicine y la Foundation of International Oriental Medicine Research demostró que la aplicación tópica durante 19 semanas de la fracción no azucarada de la azúcar morena previno el envejecimiento crónico de la piel inducido por los rayos UVB en un modelo in vivo con ratones sin pelo que poseían melanina (Sumiyoshi; Hayashi; Kimura, 2009). Se sugiere que esto puede deberse a la inhibición del aumento en la expresión de la metaloproteinasa-2 de la matriz y del factor de crecimiento endotelial vascular (Harish Nayaka et al., 2009). Resultados similares reportan Zhao et al. (2018) y, Uchenna, Adaeze y Steve (2015). Investigadores de universidades japonesas, egipcias, finlandesas, surcoreanas, tailandesas y de una

empresa azucarera japonesa han demostrado que azúcar morena producida a partir de panela tiene efectos reconstituyentes funcionales y morfológicamente en intestinos de pollo, con consecuencias significativas para el aumento de peso corporal, lo que indica un posible papel en nutrición animal (El-Abasy *et al*., 2004; Amer *et al*., 2004).

Se han reportado efectos anticancerígenos de los derivados de la caña de azúcar. Yoshimoto, Kurata, Fujii, y Hou (2008) encontraron, en experimentos *in vitro* e *in vivo*, que el vinagre de caña de azúcar deprimió una mutación inducida en *Salmonella typhimurium* TA98. El componente bioactivo, 3 ', 5'-di-O-metiltricetina es el 3', 5'-di-O-metil o tricina, extraído por cromatografía, estimado como fenólico, deprimió efectivamente la proliferación de una línea celular de leucemia promielocítica. Su administración a ratones con una dieta al 5 % estimuló significativamente la actividad de las células asesinas y mostró una tendencia a deprimir la proliferación de células tumorales. El extracto fenólico que contiene los glucósidos de tricina (5,7,4-trihidroxi-3,5-dimetoxiflavona), apigenina (4, 5,7-trihidroxi-flavona) y luteolina (3, 4, 5,7-tetradihidroxi-flavona), extraídos del jugo de caña de azúcar por un grupo brasileño, mostró actividad antiproliferativa *in vitro* contra varias líneas celulares de cáncer humano de mama, con una mayor selectividad hacia células de la línea NIC/ADR resistentes (Duarte-Almeida; Novoa; Linares; Lajolo; Genovese, 2006).

La sacarosa es el componente más importante de los derivados de jugo de caña, entre 76,55 y 89,48 %, seguida de azúcares reductores (3,69 a 10,50 %) y agua (1,50 a 15,80 %). El rango relativamente grande de contenido de humedad se debe a las diferencias en las condiciones del proceso de fabricación de este producto principalmente artesanal. El contenido de minerales (cenizas) es relativamente alto (0,3-3,6 %). El contenido de proteínas oscila entre el 0,37 y el 1,7 % y las grasas entre el 0 y el 0,1 %. No se ha reportado fibra dietaria. La diferencia básica entre los derivados de jugo de caña y azúcar refinada es la presencia en el primero de azúcares reductores y de importantes cantidades de minerales y otros constituyentes menores. La diferencia nutricional y funcional dependerá entonces, de la determinación de este grupo de componentes menores (Guerra; Mujica, 2010; Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF], 2014; Rodríguez; Segura, 2004; Waheed; Ahmad, 2008).

Para los minerales en los derivados de jugo de caña, se tienen rangos para el calcio, el cloruro y el potasio del orden de 100 mg/100 g, seguidos de fósforo, sodio y magnesio del orden de 10 mg/100 g, cobre y hierro del orden de 1 mg/100 g, manganeso y zinc del orden de 0,1 mg/100 g y cromo y cobalto en un orden de 0,01 a 0,001 mg/100 g (Guerra; Mujica, 2010; ICBF, 2014; Rodríguez; Segura, 2004; Waheed; Ahmad, 2008).

En cuanto al contenido de vitaminas presentes en los derivados de jugo de caña, la vitamina A se reporta en un rango de 1,90 mg/100 g, carotenos 80,75 µg/100 g, vitamina B1 0,03 mg/100 g, vitamina B2 0,07 mg/100 g, vitamina B3 2,14 mg/100 g, vitamina B5 0,70 mg/100 g, vitamina B6 0,25 mg/100 g, vitamina B9 3,33 µg/100 g, vitamina C 4,23 mg/100 g, vitamina D2 2,17 mg/100 g y vitamina E 55,65 mg/100 g (ICBF, 2014; Shaheen *et al*., 2013; Singh *et al.,* 2015; Waheed; Ahmad, 2008).

La actividad antioxidante de los derivados de jugo de caña ha sido cuantificada por ensayos de eliminación de radicales libres, estas medidas son difíciles de comparar debido a diferentes metodologías y unidades de medida, pero está claro que presenta importantes capacidades antioxidantes. El estudio publicado por Payet, Shum-Cheong-Sing, y Smadja (2005) mostró que por el método de DPPH se obtiene un 22,1 % y por el de ABTS, entre un 47,1-51,3 % de inhibición. Harish Nayaka *et al*. (2009), por el método de DPPH, reportan 7,81 µg/ml EC50. Okabe *et al*. (2008), por el método de DPPH, evidencian 935,67 mmol trolox equivalente/100 g. Phillips, Carlsen, y Blomhoff, (2009), por el método de RAP, reportan 0,204 mmol/100 g. La importancia relativa de esta capacidad antioxidante ha sido abordada parcialmente por Phillips *et al*. (2009), quienes calcularon que el aumento en el contenido de antioxidantes que resultaría de la sustitución del azúcar refinado por azúcar de caña en bruto sería de 0,1 a 0,2 mmol por día. La ingesta de antioxidantes provenientes de los derivados de jugo

de caña sería similar al aporte de té o frutas, que se consideran altos en antioxidantes (Phillips *et al.,* 2009). Está claro que reemplazar el azúcar refinado con derivados de jugo de caña puede contribuir significativamente al contenido acumulativo de antioxidantes de la dieta.

Desde 2006, se han publicado al menos ocho informes sobre actividad antioxidante en hojas de caña de azúcar, otras partes de la planta, jugo de caña de azúcar y melaza (Abbas *et al*., 2013). Esta actividad ha sido cuantificada mediante ensayos de actividad captadora de radicales y otros, como DPPH, capacidad reductora férrica del plasma (FRAP), ácido β-caroteno/linoleico y reducción de fosfomolibdeno. Todos estos estudios coinciden en la actividad antioxidante relativamente alta de la caña de azúcar, el jugo de caña de azúcar y la melaza, y en su potencial importancia funcional. La actividad antioxidante se correlaciona significativamente con el contenido fenólico total medido por el ensayo de Folin-Ciocalteu (Harish Nayaka *et al*., 2009; Payet *et al*., 2005). Otros estudios identifican compuestos antioxidantes fenólicos individuales en la planta de caña de azúcar y jugo de caña de azúcar (Abbas *et al*., 2013, 2014; Vila; Colombo; de Lira; Yariwake, 2008).

En cuanto a los contenidos de otras moléculas bioactivas, Payet *et al.* (2005) reportan 25,96 mg ácido gálico equivalente/100 g, y Harish Nayaka *et al.* (2009) 3873 mg ácido gálico equivalente/100 g. Así mismo, se ha informado la presencia de al menos 15 agliconas fenólicas (Galvez; Kwon; Genovese; Lajolo; y Shetty, 2008; Harish Nayaka *et al.*, 2009; Payet *et al.*, 2005), identificadas y cuantificadas por HPLC o RMN. Los compuestos fenólicos en la caña de azúcar han sido tradicionalmente de interés para los tecnólogos del azúcar como una de las causas del color en los productos de la caña de azúcar. Se ha identificado una gran variedad de pigmentos vegetales y colorantes naturales en las hojas y el jugo de la caña de azúcar (Paton; Doung, 1992). La propia planta de caña suministra principalmente pigmentos vegetales de bajo peso molecular: flavonoides, clorofilas, carotenos, xantofilas y compuestos fenólicos, que aportan aproximadamente el 30 % de todo el color del azúcar en bruto. El resto lo proporcionan los colorantes de alto peso molecular, muchos de ellos producto de transformaciones químicas durante el procesamiento de la caña (Paton; Doung, 1992).

Se han identificado más de veinte aminoácidos en los derivados de jugo de caña, el 70-80 % de ellos son Ácido aspártico-Asp, Asparagina-Asn, Ácido glutámico-Glu y Glutamina-Gln (Nakasone; Ikema; Kobayashi, 1990). Se sugiere que los aminoácidos juegan un papel importante en la formación de aroma de la panela. La presencia de aminoácidos se confirmó indirectamente cuando se detectó acrilamida en los derivados de jugo de caña (Hoenicke; Gatermann, 2005). Se sospecha que esta sustancia es cancerígena y se forma cuando los carbohidratos y el aminoácido asparagina se someten a altas temperaturas, como durante el horneado, la fritura y el asado (Dybing *et al.,* 2005).

Se han identificado treinta compuestos volátiles en los derivados de jugo de caña mediante cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas (GC-MS), la mayoría son furanos, furanonas, 2-acetilpirrol o 5-(hidroximetil) furfural, producto de la degradación térmica de carbohidratos vía caramelización o reacciones de Maillard durante el proceso de fabricación (Payet *et al.*, 2005). Las reacciones de Maillard glucosa-aminoácidos también producen aromas diferentes dependiendo del aminoácido presente (Wong; Aziz; Mohamed, 2008).

Jaffé (2012), en una revisión, identificó 27 reportes de una amplia gama de efectos en la salud de los derivados de jugo de caña o sus extractos, en modelos de investigación *in vitro* o en animales. Dentro de eso, solo dos artículos informan ensayos con humanos. Los compuestos bioactivos propuestos como posibles causas son minerales: Fe, Cr y P en forma de fosfatos y compuestos fenólicos. En dos casos se han identificado polifenoles bioactivos específicos, como la tricina, apigenina y luteolina. La evidencia más fuerte de un efecto sobre la salud es el aumento de en la formación de hemoglobina y glóbulos rojos causado por su contenido de hierro, reportado en humanos por al menos dos artículos (Jaffé, 2012). La relación de causa y efecto entre el consumo de hierro y el aumento de hemoglobina y glóbulos rojos ha sido aceptada por la Agencia Europea de

Seguridad Alimentaria y, por lo tanto, las afirmaciones en este sentido están permitidas en Europa (European Food Safety Agency [EFSA], 2014). El aumento estadísticamente significativo de hemoglobina en niños en edad preescolar después del consumo de una bebida fortificada con los derivados de jugo de caña o sus extractos ha sido demostrado (Arcanjo *et al*., 2009), lo que los llevó a considerarlo como un fortificante alimentario (Nishad; Selvan; Mir; Bosco, 2017; Arcanjo; Amancio; Braga, 2013). También se han reportado efectos antiaterogénicos (Penson; Banach, 2021).

En Pakistán se han detectado oligoelementos tóxicos como arsénico, bromo, mercurio, antimonio y selenio por medio de cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento con detector de conductividad (HPAEC-CD) en los derivados de jugo de caña o sus extractos (Waheed; Ahmad, 2008), pero su contenido está dentro de los niveles de tolerancia humana. Asimismo, se ha encontrado acrilamida (Hoenicke; Gatermann, 2005), un producto del proceso de fabricación, y su formación puede reducirse o evitarse controlando algunos parámetros del proceso (Dybing *et al*., 2005). En un estudio reciente, Mesias *et al*. (2020) muestran evidencia concreta de la evolución en la formación de la acrilamida, a medida que se van incremento los °Brix, pH, azúcares reductores, furfural, pardeamiento y fenoles; y disminuyen la humedad y el contenido de asparagina. Es así, como se determinó que la muestra de jugo fresco recién exprimido y jugo clarificado y procesado a temperaturas menores de 100 °C no contenían niveles de acrilamida; en contraste, con las muestras de jugo concentrado a más de 100 °C hasta lograr 60-65 °Brix, y en la muestra de panela en bloque producida a más de 120 °C, donde se encontraron niveles de 298+31 μg acrilamida/kg producto y 890+15 μg acrilamida/kg producto, respectivamente. Lo cual corrobora la evidencia antes reportada sobre el efecto de los tratamientos térmicos en la producción de acrilamida, por ejemplo, en el estudio de Vargas *et al*. (2014) se reportan 800 μg acrilamida/kg producto panela; en azúcar sin refinar se reportan 140 μg acrilamida/kg producto (Hoenicke; Gatermann, 2005); en panela en bloque se reportan 540 μg acrilamida/kg producto (Gómez-Narváez *et al*., 2019).

5. Conclusiones

Lo anteriormente descrito muestra un panorama reciente de los diferentes metabolitos de los productos derivados de *S. officinarum*. Son claros los efectos positivos para la salud de las mieles de caña y sus derivados. Queda en evidencia la necesidad de reformular las NTC que determinan los parámetros mínimos en los productos derivados de caña de azúcar, lo anterior, no con el ánimo de generar otro impedimento a la cadena productiva, sino todo lo contrario, con el fin de generar un valor agregado a los productos, en términos de aprovechamiento integral de las propiedades biológicas, nutracéuticas y biofuncionales del conjunto de metabolitos. Estas cuantificaciones generarán un valor agregado a los productos y les darán el peso nutricional suficiente para negociar mejores precios, así como, la opción de pensar en nuevos productos para el mercado. Este esfuerzo debe venir acompañado de una caracterización nacional y concertada con el sector productivo, que posibilite el estudio de las potencialidades de las subregiones de cultivo, por ejemplo, en la Hoya del Río Suarez que abarca sectores de los Departamentos de Santander, Boyacá y Cundinamarca o en las zonas de Valle del Cauca o Antioquia. Se sugiere, como mínimo, que los parámetros de contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y acrilamida, sean adicionados a las NTC 1311:2009 (Icontec, 2009), y se inicie el estudio de la posible incorporación al otro grupo de normas de caracterización de los productos derivados de *S. officinarum* descritas en la Tabla 2 y 3, o generar un nuevo grupo de NTC que estandaricen su medición empleando las normas disponibles para azúcares o productos similares, derivadas de entidades como ISO, ICUMSA o la International Sugar Organization.

6. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Coordinación Nacional de Sennova por la financiación del proyecto SGPS 6383, que permitió el montaje de la infraestructura del laboratorio de servicios tecnológicos del Centro Agroturístico de San Gil. También agradecen el apoyo de las profesionales Nelly Quiroga Sarmiento, subdirectora (e); Tulio Rodríguez Bautista, subdirector (e) y Luz Marina Arenas Villar, coordinadora misional, por toda su gestión, que permitió recibir los recursos y realizar su ejecución para adquirir la infraestructura del proyecto de servicios tecnológicos, enfocado al sector productivo de panela y derivados.

7. Referencias

Abbas, Syed; Ahmed, Sundus; Sabir, Syed; Shah, Asad; Awan, Shahid; Gohar, M.; Khan, M. F.; Rao, Aurangzeb. (2013). Antioxidant activity, repair and tolerance of oxidative DNA damage in different cultivars of Sugarcane (*Saccharum officinarum*) leaves. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 40-45. R

Abbas, Syed; Sabir Syed; Ahmad, Syed; Boligon, Aline; Athayde, Margareth (2014). Phenolic profile, antioxidant potential and DNA damage protecting activity of sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Food Chemistry*. 15(147), 10-16.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.113

Adom, Kafui; Liu, Rui. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*(21), 6182-6187.
https://doi.org/10.1021/jf0205099

Amer, Said; Na, Ki-Jeong; El-Abasy, Moshira; Motobu, Maki; Koyama, Yukari; Koge, Kenji; Hirota, Yoshikazu. (2004). Immunostimulating effects of sugar cane extract on X-ray radiation induced immunosuppression in the chicken. *International Immunopharmacology, 4*(1), 71-77.
https://doi.org/10.1016/j.intimp.2003.10.006

Andrews, Jennifer. (2001). Determination of minimum inhibitory concentrations. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *48*(1), 5-16,
https://doi.org/10.1093/jac/48.suppl_1.5

Arcanjo, Francisco; Amancio, Olga; Braga, Josefina. (2013). Evaporated sugarcane juice as a food fortificant. En V. Preedy, R. Srirajaskanthan, y V. B. Patel (Eds.), *Handbook of Food Fortification and Health* (pp. 105-111). Nueva York: Springer.

Arcanjo, Francisco; Pinto, Vicente; Arcanjo, María; Amancio, Olga (2009). Effect of a beverage fortified with evaporated sugarcane juice on hemoglobin levels in preschool children. *Revista Panameña de Salud Pública*, 26, 350-354.

Benzie, Iris; Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, *239*(1), 70-76.
https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

Castro, Felipe; Arboleda, Óscar; Balcázar, Álvaro; Estupiñán, Fernando. (2013). *Evaluación institucional y de resultados del Subsistema Nacional de la Calidad. Informe final.* Bogotá: Fedesarrollo.

Cheung, Min-Yu; Oh, Deok-Kun; Lee, Ki Won. (2012). Hypoglycemic health benefits of D-psicose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(4), 863-869.
https://doi.org/10.1021/jf204050w

Consejo Nacional de Política Económica y Social [Conpes]. (2016). *Conpes 3866. Política nacional de desarrollo productivo.* Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2013). *Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica EDIT, 2005-2012.* Recuperado de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/encuesta-de-desarrollo-e-innovacion-tecnologica-edit

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2020). *Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica EDIT, 2018-2019.* Recuperado de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/encuesta-de-desarrollo-e-innovacion-tecnologica-edit

Duarte-Almeida, Joaquim; Novoa, Alexis; Linares, Adyary; Lajolo, Franco; Genovese, María. (2006). Antioxidant activity of phenolic compounds from sugarcane juice. *Plant Foods for Human Nutrition,* 61, 187-192. https://doi.org/10.1007/s11130-006-0032-6

Dybing, Erik; Farmer, P. B.; Anderson, Melvin; Fennell, Timothy; Lallje, Sam; Müller, D. J. G.; Olin, S.; Petersen, B. J.; Schlatter, J.; Scholz, Gabriele; Scimeca, Joseph; Slimani, Nadia; Törnqvist, Margareta; Tuijtelaars, S.; Verger, Philippe. (2005). Human exposure and internal dose assessments of acrylamide in food. *Food Chemical Toxicology, 43*(3), 365-410. https://doi.org/10.1016/j.fct.2004.11.004

El-Abasy, Moshira; Motobu, Maki; Nakamura, Kikuyasu; Koge, Kenji; Onodera, Takashi; Vainio, Olli; Toivanen, Paavo; Hirota, Yoshikazu. (2004). Preventive and therapeutic effects of sugar cane extract on cyclophosphamide-induced immunosuppression in chickens. *International Immunopharmacology, 4*(8), 983-990. https://doi.org/10.1016/j.intimp.2004.01.019

European Food Safety Agency. (2014). Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to iron and contribution to normal formation of hemoglobin and red blood cells pursuant to Article 14 of regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal, 12*(1), 3355. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3515

Food and Agriculture Organization (2019). *Codex Alimentarius. Recommended methods of analysis and sampling, adopted by the 42nd Session of the Codex Alimentarius Commission in 2019.* Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/CXS_234e.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). *Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina.* Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/AGSF_WD6s.pdf

Galvez, Lena; Kwon, Young-In; Genovese, María; Lajolo, Franco; Shetty, Kalidas. (2008). Antidiabetes and antihypertension potential of commonly consumed carbohydrate sweeteners using in-vitro models. *Journal of Medicinal Food, 11*(2), 337-348. http://doi.org/10.1089/jmf.2007.689

Glyad, V. M. (2002). Determination of monosaccharides, disaccharides, and oligosaccharides in the same plant sample by High-Performance Liquid Chromatography. *Russian Journal of Plant Physiology, 49*(2), 277-282. https://doi.org/10.1023/A:1014870011027

Gómez-Narváez, F; Mesías, Marta; Delgado-Andrade, Cristina; Contreras-Calderón, José; Ubillús, Fabiola; Cruz, Gastón; Morales, Francisco. (2019). Occurrence of acrylamide and other heat-induced compounds in panela: Relationship with physicochemical and antioxidant parameters. *Food Chemestry, 301*, 125-256. http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125256

Guerra, María; Mujica, Virginia. (2010). Physical and chemical properties of granulated cane sugar ''panelas''. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, 30*(1), 250-257. http://doi.org/10.1590/S0101-20612010005000012

Harish Nayaka, M. A.; Sathisha, U. V.; Manohar, M. P.; Chandrashekar, K. B.; Dharmesh, Shylaja. (2009). Cytoprotective and antioxidant activity studies of jaggery sugar. *Food Chemistry, 115*(1), 113-118. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.067

Hoenicke, K.; Gatermann, R. (2005). Studies on the stability of acrylamide in food during storage. *Journal of AOAC International, 88*(1), 268-273.

Ho-Soo, Lim; Sung-Kwan, Park; So-Hee, Kim; Sung-Bong, Song; Su-Jin, Jang; Meehye, Kim. (2014). Comparison of four different methods for the determination of sulfites in foods marketed in South Korea. *Food Additives & Contaminants: Part A, 31*(2), 187-196. https://doi.org/10.1080/19440049.2013.857048

Indyk, H. E., Lawrence, Broda. (1993). The micronutrient content of bovine whole milk powder: influence of pasture feeding and season. *Food Chemistry, 46*(4), 389-396. https://doi.org/10.1016/0308-8146(93)90010-D

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. (2014). *Tabla de composición de alimentos colombianos.* Recuperado de http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos_colombianos/consulta_alimento.asp

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2021). *Icontec.* https://www.icontec.org/

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2009). *Norma Técnica Colombiana, NTC-ISO 3951-1, 2, 3, 4 y 5: Procedimientos de muestreo para la inspección por variables.* Recuperado de https://www.icontec.org/rules/procedimientos-de-muestreo-para-la-inspeccion-por-variables-parte-2-especificacion-general-para-los-planes-de-muestreo-simples-tabulados-segun-el-nivel-aceptable-de-calidad-nac-para-la-inspeccion/

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1994a). *Norma Técnica Colombiana, NTC 587:1994. Industrias alimentarias e industrias de bebidas. melaza de caña.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-industrias-alimentarias-e-industrias-de-bebidas-melaza-de-cana-ntc587-1994.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1994b). *Norma Técnica Colombiana, NTC 2369:1994. Industrias alimentarias. Floculantes derivados de la acrilamida utilizados en la clarificación del agua potable y de los jugos y jarabes de la caña de azúcar.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-industrias-alimentarias-floculantes-derivados-de-la-acrilamida-utilizados-en-la-clarificacion-del-agua-potable-y-de-los-jugos-y-jarabes-de-la-cana-de-azucar-ntc2369-1994.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1999). *Norma Técnica Colombiana, NTC 410:1999. Bebidas alcohólicas. aguardiente de caña. Caña, cachaza o branquiña.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-bebidas-alcoholicas-aguardiente-de-cana-cana-cachaza-o-branquina-ntc410-1999.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2002). *Norma Técnica Colombiana, NTC-ISO 2859-1:2002. Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. parte 1: planes de muestreo determinados por el nivel aceptable de calidad -nac- para inspección lote a lote.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-procedimientos-de-muestreo-para-inspeccion-por-atributos-parte-1-planes-de-muestreo-determinados-por-el-nivel-aceptable-de-calidad--nac--para-inspeccion-lote-a-lote-ntc-iso2859-1-2002.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2009). *Norma Técnica Colombiana, NTC 1311:2009. Productos agrícolas. Panela.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-productos-agricolas-panela-ntc1311-2009.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2010). *Norma Técnica Colombiana, NTC 1856:2010. Bebidas alcohólicas. Mieles de caña. determinación del dióxido de azufre.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-bebidas-alcoholicas-mieles-de-cana-determinacion-del-dioxido-de-azufre-ntc1856-2010.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2011). *Norma Técnica Colombiana, NTC 3442:2011. Bebidas alcohólicas. Tafias de caña.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-bebidas-alcoholicas-tafias-de-cana-ntc3442-2011.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación . (2012a). *Norma Técnica Colombiana, NTC 570:2012. Azúcar, mieles, jarabes y jugos de caña. métodos de ensayo para determinar cenizas.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-mieles-jarabes-y-jugos-de-cana-metodos-de-ensayo-para-determinar-cenizas-ntc570-2012.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2012b). *Norma Técnica Colombiana, NTC 5970:2012. Azúcar, jugos y jarabes de caña. determinación de sulfito con el método colorimétrico de rosanilina.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-jugos-y-jarabes-de-cana-determinacion-de-sulfito-con-el-metodo-colorimetrico-de-rosanilina-ntc5970-2012.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2013). *Norma Técnica Colombiana, NTC 573:2013. Azúcar. Terminología.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-terminologia-ntc573-2013.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2015). *Norma Técnica Colombiana, NTC 440:2015. Productos alimenticios. Métodos de ensayo.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-productos-alimenticios-metodos-de-ensayo-ntc440-2015.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017a). *Norma Técnica Colombiana, NTC 1779:2017. Meladura y mieles de caña. Método para determinar azúcares reductores totales en meladura y mieles de caña, después de hidrólisis por el procedimiento Lane & Eynon a volumen constante*. Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-meladura-y-mieles-de-cana-metodo-para-determinar-azucares-reductores-totales-en-meladura-y-mieles-de-cana-despues-de-hidrolisis-por-el-procedimiento-lane-eynon-a-volumen-constante-ntc1779-2017.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017b). *Norma Técnica Colombiana, NTC 3953:2017. Azúcar, jugos, meladuras y mieles de caña. Determinación de coliformes y Escherichia coli. técnica del número más probable (nmp).* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-jugos-meladuras-y-mieles-de-cana-determinacion-de-coliformes-y-escherichia-coli-tecnica-del-numero-mas-probable-nmp-ntc3953-2017.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017c). *Norma Técnica Colombiana, NTC 3954:2017. Azúcar, jugos, jarabes y mieles de caña. determinación de mohos y levaduras. Método de recuento en placa.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-jugos-jarabes-y-mieles-de-cana-determinacion-de-mohos-y-levaduras-metodo-de-recuento-en-placa-ntc3954-2017.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017d). *Norma Técnica Colombiana, NTC 6086:2017. Azúcar, jugos, meladuras y mieles de caña. detección y recuento de coliformes o Escherichia coli o ambos. Método de recuento en placa.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-jugos-meladuras-y-mieles-de-cana-deteccion-y-recuento-de-coliformes-o-escherichia-coli-o-ambos-metodo-de-recuento-en-placa-ntc6086-2017.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017e). *Norma Técnica Colombiana, NTC 3908:2017. Azúcar, jugos, meladuras y mieles de caña. recuento de bacterias mesófilas aerobias. Método de recuento en placa.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-jugos-meladuras-y-mieles-de-cana-recuento-de-bacterias-mesofilas-aerobias-metodo-de-recuento-en-placa-ntc3908-2017.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2020a). *Norma Técnica Colombiana, NTC 6385:2020. Azúcar. Determinación de almidón soluble en azúcar y materiales de proceso mediante el método rápido de almidón de spri.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-azucar-determinacion-de-almidon-soluble-en-azucar-y-materiales-de-proceso-mediante-el-metodo-rapido-de-almidon-de-spri-ntc6385-2020.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2020b). *Norma Técnica Colombiana, NTC 1846:2020. Miel virgen de caña de azúcar.* Recuperado de https://tienda.icontec.org/gp-miel-virgen-de-cana-de-azucar-ntc1846-2020.html

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (1994). *GS 1/3/4/7/8-13. Determinación de cenizas conductimétricas en azúcar crudo, azúcar moreno, jugo, jarabe y melaza-Oficial.* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=931

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2000). *GS3/4/7/8-11. Determinación de cenizas sulfatadas en azúcar moreno, jugos, jarabes y melazas-Oficial.* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=1301

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2009a). *GS 2/1/7-33. Determinación de sulfito por el método colorimétrico de rosanilina en azúcar blanco-Oficial.* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=1067

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2009b). *GS 1/2/3/4/7/8-23. Determinación del pH por un método directo - en azúcar crudo, melaza, jugos y jarabes-Oficial.* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=935

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2011a). *GS 4/3-7. Determinación de azúcares reductores totales en melaza y jarabes refinados después de hidrólisis por el procedimiento Lane & Eynon contante-Oficial (de referencia).* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=1375

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2011b). *GS 2/3/ 9-17. Determinación de cenizas conductimétricas en productos de azúcar refinada y azúcar blanco de plantación-Oficial.* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=1058

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2011c). *GS9/1/2/3-8. Determinación del color de la solución de azúcar a pH 7,0 mediante el método tampón MOPS-Oficial*. Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=1717

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2011d). *GS9/1/2/3-8. The Determination of Sugar Solution Colour at pH 7.0 by the MOPS Buffer Method-Official (Reference) Method.* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=1717

International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. (2011e). *GS 2/3-35. Determinación de sulfito en productos de azúcar refinado con excepción del azúcar moreno por un método enzimático-Oficial. Determinación de sulfito en azúcares moreno.* Recuperado de https://www.icumsa.org/index.php?id=1068

International Organization for Standardization. (1980a). *ISO 1741:1980. Dextrose. Determination of loss in mass on drying. Vacuum oven method.* Recuperado de https://www.iso.org/standard/6362.html

International Organization for Standardization. (1980b). *ISO 1742:1980. Glucose syrups. Determination of dry matter. Vacuum oven method* Recuperado de https://www.iso.org/standard/6363.html

International Organization for Standardization. (2013a). *ISO 10504:2013. Starch derivatives. Determination of the composition of glucose syrups, fructose syrups and hydrogenated glucose syrups. Method using high-performance liquid chromatography*. Recuperado de https://www.iso.org/standard/50792.html

International Organization for Standardization. (2013b). *ISO 5379:2013. Starches and derived product. Determination of sulfur dioxide content. Acidimetric method and nephelometric method.* Recuperado de https://www.iso.org/ru/standard/50791.html

Jaffé, Walter. (2012). Health Effects of Non-Centrifugal Sugar (NCS): A Review. *Sugar Tech, 14*(2), 87-94.

Jaffé, Walter; Ochoa. A. E. (1949). El papelón como fuente de hierro en la dieta popular Venezolana. *Revista de la Sociedad Venezolana de Química*, 21, 1-7.

Jiang, Zhen-Yue; Hunt, James; Wolff, Simon. (1992). Ferrous ion oxidation in the presence of xylenol orange for detection of lipid hydroperoxide in low density lipoprotein. *Analytical Biochemistry, 202*(2), 384-389. https://doi.org/10.1016/0003-2697(92)90122-N

Mesias, Marta; Delgado-Andrade, Cristina; Gómez-Narváez, Faver; Contreras-Calderón, José; Morales, Francisco. (2020). Formation of Acrylamide and other Heat-Induced Compounds during Panela Production. *Foods (Basel, Switzerland), 9*(4), 531. https://doi.org/10.3390/foods9040531

Nakasone, Y.; Ikema, Y.; Kobayashi, A. (1990). Changes in the composition of amino acids during manufacturing process of non-centrifugal cane sugar (Kokuto). *The Science Bulletin of the College of Agriculture, University of Ryukyus,* 35, 35-39.

Nedorostova, Lenka; Kloucek Pavel; Kokoska, Ladislav; Stolcova, Milusa; Pulkrabek, Josef. (2009). Antimicrobial properties of selected essential oils in vapour phase against food borne bacteria. *Food Control,* 20, 157-160. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.03.007

Nimrouzi, Majid; Sadeghpour, Omid; Imanieh, Mohammad-Hadi; Shams-Ardekani, Mohammadreza; Zarshenas, Mohammad; Salehi, Alireza; Mohamad-Bagher, Minaei. (2014). Remedies for Children Constipation in Medieval Persia. *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 19*(2), 137-143. https://doi.org/10.1177/2156587214524579

Nishad, Jyoti; Selvan, Cynthia; Mir, Shabir; Bosco, Sowriappan. (2017). Effect of spray drying on physical properties of sugarcane juice powder (*Saccharum officinarum* L.). *Journal of Food Science and Technology, 54*(3), 687-697. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2507-x

Nordic Committee on Food Analysis [NMKL]. (1990). *NMKL 135. Sulphite. Enzymatic determination in foods.* Recuperado de https://www.nmkl.org/index.php/en/publications/item/sulfit-enzymatisk-bestamning-i-livsmedel-nmkl-135-1990

Novak, Ana; Gutiérrez-Zamora, Mercè; Domenech, Lluís; Suñé-Negre, Josep; Miñarro, Montserrat; García-Montoya, Encarna; Llop, Josep; Ticó, Josep; Pérez-Lozano, Pilar. (2017). Development and validation of a simple high-performance liquid chromatography analytical method for simultaneous determination of phytosterols, cholesterol and squalene in parenteral lipid emulsions. *Biomedical Chromatography*, *32*(2), e4084. https://doi.org/10.1002/bmc.4084

Okabe, Takafumi; Toda, Takayoshi; Inafuku, Massashi; Wada, Koji; Iwasaki, Hironori; Oku, Hirosuke. (2008). Antiatherosclerotic function of Kokuto, Okinawan noncentrifugal cane sugar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57*(1), 69-75.
https://doi.org/10.1021/jf802796m

Olivares, Manuel; Pizarro, Fernando; Hertrampf, Eva; Fuenmayor, Guillermo; Estévez, Edmundo. (2007). Iron absorption from wheat flour: Effects of lemonade and chamomille infusion. *Nutrition*, 23, 296-300. https://doi.org/10.1016/j.nut.2006.04.014

Paton, N. H.; Doung, M. (1992). Sugarcane phenolics and first expressed juice colour. Part III. Role of chlorogenic acid and flavonoids in enzymic browning of cane juice. *Journal International Sugar*, 94, 170-176.

Payet, Bertrand; Shum-Cheong-Sing, Alain; Smadja, Jacqueline. (2005). Assessment of antioxidant activity of cane Brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging Assays: determination of their polyphenolic and volatile constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 10074-10079.
https://doi.org/10.1021/jf0517703

Penson, Peter; Banach, Maciej. (2021). Natural compounds as anti-atherogenic agents: Clinical evidence for improved cardiovascular outcomes. *Atherosclerosis, 316*, 58-65.
https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2020.11.015

Phillips, Katherine; Carlsen, Monica; Blomhoff, Rune. (2009). Total antioxidant content of alternatives to refined sugar. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 109, 64-71.
https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.10.014

Rodríguez, Antonio; Segura, M. (2004). Panela granulada ecológica. *Antenor Orrego, 15*(22), 43-55.

Sautter, Christof; Gruissem, Wilhelm. (2010). *Iron biofortification of rice by targeted genetic engineering. ISB. News Report*. Recuperado de
https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.614.4228&rep=rep1&type=pdf

Scheid, Simone; Faria, Maria; Velásquez, Leonardo; do Valle, Juliana; Gonçalves, Affonso; Dragunski, Douglas; Colauto, Nelson; Linde, Giani. (2020). Iron biofortification and availability in the mycelial biomass of edible and medicinal basidiomycetes cultivated in sugarcane molasses. *Scientific Reports, 10*(1), 12875. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69699-0

Seguí, Lucía; Calabuig-Jiménez, Laura; Betoret, Noelia; Fito, Pedro. (2015). Physicochemical and antioxidant properties of non-refined sugarcane alternatives to white sugar. *International Journal of Food Science, 50*(12), 2579-2588.
https://doi.org/10.1111/ijfs.12926

Semwal, Pooja; Jai Singh, Ranjana; Kumar, Amit; Malik, Jitender. (2021). Pharmacognostical Exploration of *Saccharum officinarum*. *Scholars International Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 4(4), 53-60. https://doi.org/10.36348/sijtcm.2021.v04i04.003

Shaheen, Nazma; Rahim, Abu; Mohiduzzaman, Cadi; Bari, Latiful; Tukun, Avonti; Mannan, M. A.; Bhattacharjee, Lalita; Stadlmayr, Barbara. (2013). *Food composition table for Bangladesh. Institute of Nutrition and Food Science, University of Dhaka, Bangladesh*. Recuperado de
http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/FCT_10_2_14_final_version.pdf

Shahidi, Fereidoon; Zhong, Ying. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of functional foods*, 18, 757-781. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047

Singh, Amandeep: Lal, Uma; Mukhtar, Hayat; Singh, Prabh; Shah, Gagan; Dhawan, Ravi (2015). Phytochemical profile of sugarcane and its potential health aspects. *Pharmacognosy reviews*, 9(17), 45–54. https://doi.org/10.4103/0973-7847.156340

Stralfors, A. (1966). Inhibition of hamster caries by substances in brown sugar. *Archives of Oral Biology*, 11, 61-–622. https://doi.org/10.1016/0003-9969(66)90228-7

Sumiyoshi, Maho; Hayashi, Teruaki; Kimura, Yoshiyuki. (2009). Effects of the non-sugar fraction of brown sugar on chronic ultraviolet B irradiation-induced photoaging in melanin-possessing hairless mice. *Journal of Natural Medicines*, 63, 130-136. https://doi.org/10.1007/s11418-008-0301-9

Takara, Kensaku; Otsuka, Keiko; Wada, Koji; Iwasaki, Hironori; Yamashita, Masatsugu. (2007). 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity and tyrosinase inhibitory effects of constituents of sugar cane molasses. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 71, 183-191. https://doi.org/10.1271/bbb.60432

Thaipong, Kriengsak; Boonprakoba, Unaroj; Crosby, Kevin; Cisneros-Zevallos, Luis; Hawkins, David. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669-675. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003

Uchenna, Eneh; Adaeze, Okechukwu; Steve, Adindu. (2015). Phytochemical and antimicrobial properties of the aqueous ethanolic extract of *Saccharum officinarum* (sugarcane) bark. *Journal of Agricultural Science*, *7*(10), 291. https://doi.org/10.5539/jas.v7n10p291

Vargas, J. J; Talero, Y. V; Trujillo, F; Caballero, L. R. (2014). Acrylamide Determintion in the Sugar Cane Juice Process by the Liquid Chromatography Technique. *Revista Ciencia en Desarrollo*, 5, 99-105. https://doi.org/10.19053/01217488.3664

Vila, Fabiana; Colombo, Renata; de Lira, Tatiana; Yariwake, Janete. (2008). HPLC microfractionation of flavones and antioxidant (radical scavenging) activity of *Saccharum officinarum* L. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 19, 903-908.

Waheed, Shahida; Ahmad, Shujaad. (2008). Instrumental neutron activation analysis of different products from the sugarcane industry in Pakistan – Part 1: essential elements for nutritional adequacy. *Journal of AOAC International, 91*(2), 392-399.

Wang, Lifeng; Chen, Jingyi; Xie, Huihui; Ju, Xingrong; Liu, Rui. (2013). Phytochemical profiles and antioxidant activity of adlay varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(21), 5103-5113. https://doi.org/10.1021/jf400556s

Wang, Sunan; Melnyk, John; Tsao, Rong; Marcone, Massimo. (2011). How natural dietary antioxidants in fruits, vegetables and legumes promote vascular health. *Food Research International*, *44*(1), 14-22. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.028

Watanabe, Kenta; Nakabaru, Mai; Taira, Eizo; Ueno, Masami; Kawamitsu, Yoshinobu. (2016). Relationships between nutrients and sucrose concentrations in sugarcane juice and use of juice analysis for nutrient diagnosis in Japan. *Plant Production Science, 19*(2), 215-222. https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128106

Wen, Lingrong; Guo, Xingbo; Liu, Rui; You, Lijun; Abbasi, Arshad; Fu, Xiong. (2015). Phenolic contents and cellular antioxidant activity of Chinese hawthorn "*Crataegus pinnatifida*". *Food Chemistry, 186*, 54-62. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.017

Wong, Kam; Aziz, Suraini; Mohamed, Suhaila. (2008). Sensory aroma from Maillard reaction of individual and combinations of amino acids with glucose in acidic conditions. *International Journal Food Science Technology*, *43*(9), 1512-1519. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01445.x

Wootton-Beard, Peter; Moran, Aisling; Ryan, Lisa. (2011). Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods. *Food Research International*, *44*(1), 217-224. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.033

World Health Organization. (2001). *Iron deficiency anaemia. Assessment, prevention and control. A Guide for programme managers. WHO/NHD/01.3.* Recuperado de https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/anaemia_iron_deficiency/WHO_NHD_01.3/en/

Yoshimoto, M.; Kurata, R.; Fujii, M.; Hou, D. X. (2008). In vitro and in vivo anticarcinogenesis of sugarcane-vinegar. XXVII International Horticultural Congress. *Acta Horticulturae*, 765, 17-22. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.765.1

Zhao, Yi; Chen, Mingshun; Zhao, Zhenzhang; Yu, Shujuan. (2015). The antibiotic activity and mechanisms of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse extract against food-borne pathogens. *Food Chemistry*, 185, 112-118. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.120

Zhao, Zhenzhang; Huaifeng, Yan; Rui, Zheng; Muhammad, Saeed; Xiong, Fu; Zi, Tao; Zhanying, Zhang. (2018). Anthocyanins characterization and antioxidant activities of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) rind-extracts. *Industrial Crops and Products*, 113, 38-45. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.015

Zheng, Rui; Su, Shan; Zhou, Huifang; Yan, Huaifeng; Ye, Junhua; Zhao, Zhengang; You, Lijun; Fu, Xiong. (2017). Antioxidant/antihyperglycemic activity of phenolics from sugarcane (*Saccharum officinarum L.*) bagasse and identification by UHPLC-HR-TOFMS. *Industrial Crops and Products*, 101, 104-1147. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.012