



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

SISTEMA DE MEDICIÓN DE GASES NOCIVOS PARA
LA SALUD DEL PROCESO DEL TOSTADO DE CAFÉ
CON EL ACV

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

PRESENTA

ING. LESLY GOMEZ GARCIA

DIRECTOR DE TESIS

M. C. C. ROGELIO GARCÍA RODRÍGUEZ



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS DE POSGRADO**

Tantoyuca, Ver., a 10 de Septiembre de 2020.

C. Lesly Gomez Garcia

PRESENTE:

De acuerdo al dictamen emitido por el jurado asignado para la revisión de su Trabajo Profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE: M.C.C. Rogelio García Rodríguez
SECRETARIO: Dra. Fabiola Sánchez Galván
VOCAL: Dr. Leobardo Mendo Ostos
SUPLENTE: Dra. María Leonor Méndez Hernández

Y considerando que cumple con todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a usted la autorización para que proceda a imprimir su Trabajo de Posgrado para titulación por la:

Opción de "TESIS" cuyo nombre del trabajo es:

"Sistema de medición de gases nocivos para la salud del proceso del tostado de café con el ACV"

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen de Grado de **Maestro en Ingeniería Industrial**, por lo cual deberá entregar al encargado de Titulación de Posgrado un ejemplar de su documento final de tesis empastado en color vino con letras plateadas y cuatro CD's (debidamente rotulados) en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su LGAC al Centro de Información (Biblioteca).

Esperando que el logro del mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

ATENTAMENTE

M.I. Jesús Guillermo Rivera Zumaya
Director Académico

C.c.p. Servicios Escolares.
Titulación de Posgrado

Desv. Lindero - Tametate S/N, Col. La Morita
CP 92100, Tantoyuca, Veracruz
Tel. (01 789) 8931680, 8931552
<https://itsta.edu.mx>





INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Tantoyuca, Veracruz a 10 de Septiembre de 2020

Yo, Lesly Gomez Garcia, alumno (a) de la Maestría en Ingeniería Industrial, con numero de control M183S0010, por medio del presente declaro mi conformidad para ceder los derechos del proyecto: Sistema de medición de gases nocivos para la salud del proceso del tostado de café con el ACV, desarrollado en: Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, durante el periodo comprendido del 18 de Febrero de 2019 al 15 de Julio de 2020, del cual declaro:

- Que es inédito
- Que es de mi autoría y me hago responsable por su contenido
- Que autorizo al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca para que, en el caso de que sea requerido pueda hacer uso libre de la totalidad del contenido del proyecto, para que sea desarrollado o divulgado en cualquier medio impreso o electrónico.
- El presente instrumento no contempla remuneración alguna por la transferencia de los derechos sobre dicho proyecto.

Lo anterior con el fin de que quede expresamente asentado mi consentimiento total a favor del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en todo lo relativo al proyecto en mención.

Para constancia firma:

Vo. Bo.

Lesly Gomez Garcia

Nombre y firma del(a) alumno(a)

M.C.C. Rogelio Garcia Rodriguez

Nombre y firma del asesor interno.

DEDICATORIA

A mis padres, por siempre estar a mi lado apoyándome en todo momento, desde mi infancia hasta estos momentos más importantes de mi vida, por ayudarme a superarme ante cualquier circunstancia y por los valores que me enseñaron.

A Dios, que está a un costado de mi guiándome por el buen camino, a cada paso que doy.

A mis hermanos, por estar en las buenas y en las malas, por su comprensión y apoyo hacia el estudio, muchas gracias.

A mi compañero, por ayudarme siempre que lo necesito, sé que siempre está conmigo incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por hacer que la comunidad estudiantil continúe con su preparación académica.

Al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTA) por la formación profesional que forja en todos los jóvenes estudiantes y la esperanza de seguir creciendo académicamente.

A mi director de tesis Mtro. Rogelio García Rodríguez, por su apoyo y conocimiento que me ha transmitido en el tiempo que curse la maestría, ha sido para mí un buen maestro que siempre está dispuesto a enseñar.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES	14
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento del problema	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 Justificación	16
1.5 Hipótesis	17
1.6 Alcances y limitaciones	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Café.....	18
2.1.1 Importancia del café	18
2.1.2 Historia del café.....	19
2.1.3 Características.....	20
2.1.4 Tipos de café.....	21
2.1.5 Proceso de fabricación del café	23
2.1.6 Proceso del tostado industrial de café.....	24
2.1.7 Proceso de tostado artesanal de café.....	26
2.2 Análisis del Ciclo de Vida	28
2.2.1 Origen del ACV.....	28
2.2.2 ¿Qué es el ACV?	29

2.2.3 Etapas del Análisis del Ciclo de Vida	31
2.3 ISO 14000.....	32
2.3.1 ISO 14040: Gestión Ambiental	33
2.3.2 ISO 14041: Gestión Ambiental	34
2.3.3 ISO 14042: Gestión Ambiental	34
2.3.4 ISO 14043: Gestión Ambiental	34
2.4 NOM-025-SSA1-2014 Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación	35
2.5 NOM-015-STPS-2001 Condiciones térmicas elevadas o abatidas – Condiciones de seguridad e higiene	35
2.6 NOM-085-SEMARNAT-2011, Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su emisión.....	36
2.7 ISO 50001:2011 Sistemas de gestión de la energía.....	36
2.8 Caso de estudio.....	36
3. ESTADO DEL ARTE	38
4. MARCO METODOLÓGICO	40
4.1 Tipo de investigación.....	40
4.2 Metodología.....	40
4.2.1 Etapa 1: Definición de meta y alcance	41
4.2.2 Etapa 2: Análisis de inventario	42
4.2.3 Etapa 3: Evaluación de impacto	43
4.2.4 Etapa 4: Interpretación.....	44
5. MARCO OPERATIVO	45
5.1 Descripción del proceso de producción de la microempresa “Café del Hogar”	45

5.2 Definir meta y alcance	49
5.2.1 Función del sistema estudiado	49
5.2.2 Unidad funcional	50
5.2.3 Sistemas estudiados	50
5.3 Análisis de inventario	52
5.3.1 Análisis de inventario del sistema tostado de café	52
5.3.2 Análisis de inventario del sistema de enfriamiento y cribación	53
5.3.3 Análisis de energía eléctrica del proceso.....	55
5.3.4 Análisis de la distribución y transporte	57
5.3.5 Análisis de emisiones y gases nocivos con un sistema de medición sensorial....	60
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales países exportadores e importadores de café, 2015/16 (Millones de sacos de 60 kg, equivalente en café verde). Fuente: USDA.....	19
Figura 2. Composición del fruto de café. Fuente: Soto, 2010.....	21
Figura 3. Producción Mundial de Café. 2015-2016 Porcentaje. Fuente: ICO.....	22
Figura 4. Etapas del ACV por SETAC.....	29
Figura 5. Etapas del Ciclo de Vida. Fuente: Leiva, 2016.....	30
Figura 6. Estructura ACV. Fuente: UNE-EN ISO 14040.....	31
Figura 7. Proceso de producción del tostado del café en la microempresa “Café del Hogar”. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 8. Tostado de café. Fuente: El autor, 2019.....	45
Figura 9. Enfriamiento del café tostado. Fuente: El autor, 2019.....	45
Figura 10. Cribación del Café. Fuente: El autor, 2019.....	46
Figura 11. Embolsado y pesaje de café. Fuente: El autor, 2019.....	46
Figura 12. Sistema de Proceso de la microempresa. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 13. Layout del área de tostado. Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 14. Layout con medidas correspondientes del área de tostado. Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 15. Diagrama esquemático de la producción y flujos de entradas/salidas de café artesanal. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 16. Fórmulas eléctricas y unidades de medición. Fuente: Cime, 2018.....	56
Figura 17. Red logística de distribución de la microempresa “Café del Hogar”. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 18. Descripción de las fuentes y tipo de actividad que se realiza. Fuente: GreenHouse Gas Protocol, 2020.....	58
Figura 19. Distancias y tipo de vehículo con su kilometraje. Fuente: GreenHouse Gas Protocol 2020.....	58
Figura 20. Emisiones de GHG por día de distribución. Fuente: GreenHouse Gas Protocol, 2020.....	59
Figura 21. Emisiones totales de efecto invernadero. Fuente: GreenHouse Gas Protocol, 2020.....	59

Figura 22. Diagrama de funcionamiento de los sensores con el programa PROTEUS.
Fuente: Elaboración propia..... 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estado del arte.	38
Tabla 2. Producción semanal de la microempresa.	47
Tabla 3. Especificaciones para el tostado de café en la microempresa “Café del Hogar”. ..	53
Tabla 4. Producción de café en temporada baja.	54
Tabla 5. Producción de café en temporada alta.	54
Tabla 6. Parámetros operativos de la maquinaria.	55
Tabla 7. Valores del consumo de energía respecto a la potencia.	56
Tabla 8. Consumo de energía eléctrica total por etapa del proceso del café.	57

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Censo de temperatura y humedad del mes de Marzo 2020. Fuente: Elaboración propia.	62
Gráfica 2. Censo de temperatura y humedad del mes de Abril 2020. Fuente: Elaboración propia.	62
Gráfica 3. Censo de temperatura y humedad del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.	63
Gráfica 4. Censo del gas MQ2 y MQ135 del mes de Abril 2020. Fuente: Elaboración propia.	63
Gráfica 5. Censo de gas MQ2 y MQ135 del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.	64
Gráfica 6. Censo de polvo y ruido del mes de Marzo 2020. Fuente: Elaboración propia.	64
Gráfica 7. Censo de polvo y ruido del mes de Abril 2020. Fuente: Elaboración propia.	65
Gráfica 8. Censo de polvo y ruido del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.	65
Gráfica 9. Censo de dióxido de carbono con el sensor MH-Z19B del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.	66

RESUMEN

El análisis ciclo de vida realizado al proceso del café en una microempresa de Tempoal, Veracruz se llevó a cabo mediante el análisis de entradas y salidas de materia prima y de materias contaminantes que se genera en cada parte del proceso.

Mediante la adquisición de sensores como MQ2 (niveles de gas), DHT11 (temperatura y humedad), KY-038 (niveles de ruido), MQ135 (monóxido de carbono - CO), GP2Y1010AU0F (partículas de polvo) y MH-Z19B (dióxido de carbono - CO₂), fue posible cuantificar la cantidad de material contaminante que se generaba en cada fase del proceso del café.

Después del censo realizado con los sensores adquiridos se obtuvo que el principal gas o material contaminante al que se exponen los trabajadores y operadores de la microempresa es el monóxido de carbono (CO) que emite el proceso de tostado y solamente un poco el dióxido de carbono. Además, de otros materiales contaminantes como el tamo (cascarilla), en base a estos resultados, se analizó que de acuerdo con la norma NOM-025-SSA1-2014 sí cumple con los estándares de los promedios diarios permisibles.

Por lo que se determina que los materiales contaminantes afectan la salud de los trabajadores de la microempresa dependiendo de las concentraciones que se encuentran en el aire, la dosis que se inhala, el tiempo de exposición y la frecuencia, dando como resultado problemas al sistema cardiovascular y respiratorio. Como se menciona en la NOM-025, donde indica que el trabajador bajo las condiciones ambientales laborales que se analizaron puede desarrollar enfermedades e inclusive originarse la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, terapia en asmáticos, aumento en el riesgo de infarto, inflamación en las vías respiratorias, un aumento en la incidencia de infecciones y cáncer de pulmón, solo por mencionar algunas. Se recomienda atender a sus trabajadores para evitar cualquier problema hacia la salud, reduciendo los tiempos de exposición al ambiente de trabajo por las partículas que se encuentran en el aire, distribuir la carga de trabajo en el área de tostado y/o cambiar su maquinaria que sea adecuada para la protección de su trabajador.

Palabras clave: Análisis del ciclo de vida, tostado de café, cascarilla.

ABSTRACT

The life cycle analysis carried out to the coffee process in a microenterprise in Tempoal, Veracruz was carried out by analyzing in and outs of raw materials and contaminants generated in each part of the process.

By acquiring sensors such as MQ2 (gas levels), DHT11 (temperature and humidity), KY-038 (noise levels), MQ135 (carbon monoxide - CO), GP2Y1010AU0F (dust particles) and MH-Z19B (dioxide carbon - CO₂), it was possible to quantify the amount of polluting material that was generated in each phase of the coffee process.

After the census is carried out with the acquired sensors it was obtained that the main gas or polluting material to which the workers and operators of the microenterprise are exposed is the carbon monoxide (CO) emitted by the roasting process and only a little carbon dioxide. Also, other polluting materials such as chaff (husk), based on these results, were analyzed to meet the standards of permissible daily averages.

It is therefore determined that the pollutant materials affect the health of micro-enterprise workers depending on the concentrations found in the air, the dose being inhaled, the exposure time and frequency, resulting in problems with the cardiovascular and respiratory system. As mentioned in NOM-025, where it indicates that the worker under the environmental working conditions discussed can develop diseases and even cause chronic obstructive pulmonary disease, asthma therapy, increased risk of heart attack, inflammation in the airways, an increase in the incidence of infections, and lung cancer, just to name a few. It is recommended to care for your workers to avoid any health problems, reducing working environment exposure times by particles in the air, distributing the workload in the roasting area, and/or changing your machinery that is suitable for the protection of your worker.

Keywords: Life cycle analysis, Coffee roasting, husk.

INTRODUCCIÓN

El análisis del ciclo de vida toma en cuenta el desempeño ambiental de un producto, proceso o sistema durante todas las fases de adquisición de materias primas para refinar dichos materiales, la manufactura, el uso y el manejo de fin de vida (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

En Tempoal, Veracruz existen aproximadamente 4 microempresas del ramo cafetalero encargadas de producir y comercializar el café molido en distintas zonas y colindancias del municipio, estas microempresas se caracterizan por tener un proceso rudimentario y poco automatizado, con áreas elementales como tostado, molido y empaquetado, dentro de las cuales se generan una gran cantidad de gases contaminantes que afectan a los trabajadores y empleados de las mismas microempresas.

Es por ello que, desarrollando y aplicando esta herramienta de gestión medioambiental en el proceso del café se pretende identificar y cuantificar los gases contaminantes, las emisiones y las partículas que existan durante la fabricación y elaboración del café. Para cuantificar estos factores que afectan de manera directa la salud del trabajador es necesario adquirir sensores de temperatura, humedad, ruido, gas, polvo y CO₂, los cuales permitirán censar, registrar y medir mediante unidades específicas la cantidad de material contaminante (CO, CO₂, polvo, gas LP) que se genera en cada parte del proceso. Se despliegan datos diarios principalmente cada 5 o 2 minutos y medio entre cada uno para mayor precisión y menor porcentaje de error. También se empleará un protocolo de gases de efecto invernadero para la red logística de distribución del café.

Con los censos realizados se determina si la microempresa cumple con un estándar bajo en material contaminante, que afecta de manera mínima o nula la salud de los trabajadores, o por el contrario si debe tener medidas de seguridad más adecuadas y rigurosas que cuiden la salud e integridad de los trabajadores ante estos factores nocivos encontrados.

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes del problema

El café verde, también llamado oro, es utilizado para el tostado, sea en pequeños módulos o bien en grandes instalaciones industriales, para posteriormente molerse y envasarse o bien solubilizarse (AMECAFE, 2012).

Dicho proceso de transformación del tostado del café se realiza artesanalmente en la microempresa “CAFÉ DEL HOGAR”, desde que se compra el café en verde hasta su empaquetado y distribución a los puntos de venta, por la calidad del tostado del café y la consistencia de la microempresa, se ha logrado mantener entre sus competidores y ha llegado a más clientes. Cabe mencionar que esta locación de producción lleva aproximadamente 37 años de operación y aun procesa el café de manera artesanal.

Desde sus comienzos, la microempresa no ha tenido muchos avances con la producción de la venta de café, ya que solamente ha tenido de dos o tres avances representativos durante sus años de operación los cuales han sido benéficos para su negocio. A pesar de las mejoras e inversiones de capital que ha realizado la microempresa, aún existen áreas de oportunidad con gran potencial de mejora, de particular importancia el Análisis del Ciclo de Vida del proceso del café, ya que mediante este análisis es posible identificar posibles riesgos a la salud de los trabajadores por materiales contaminantes, permitiendo así, considerar medidas de seguridad adecuadas que ayuden y prevengan riesgos para los empleados.

1.2 Planteamiento del problema

Una de las tendencias actuales a nivel mundial en todas las empresas de bienes y servicios, es la preocupación por el medio ambiente, ya que año tras año se ve afectado por diversos factores y contaminantes que despiden pequeñas, medianas y grandes empresas a nivel global, siendo de interés de los clientes que las empresas participen y se involucren con alternativas y estrategias ecológicas - sustentables que ayuden a minimizar y a proteger el medio ambiente.

La microempresa de estudio ubicada en Tempoal de Sánchez, Veracruz, tiene 37 años de antigüedad, años en los cuales el proceso de molido y tostado no ha cambiado. La marca “Café del Hogar” es muy conocida en la región de Huejutla, Platón, Tempoal y sus comunidades, se ha ganado este reconocimiento debido al sabor y olor que lo caracteriza resultado del proceso de producción artesanal.

Como ya es una marca conocida por los municipios y alrededores, se ha observado que deben de avanzar en cuanto a la calidad de su producto, no solo en el café sino en todos los procesos que requieran ya sea en la venta de alimentos o bebidas al cliente. Una de las tendencias actuales a nivel mundial en todas las empresas sea grandes o pequeñas, es la colaboración y contribución con proyectos sustentables y ecológicos que permitan salvaguardar el medio ambiente, es por ello que considerando las preocupaciones mundiales por la contaminación que generan las empresas, se ha optado por realizar un Análisis del Ciclo de Vida que permita identificar las sustancias nocivas que se crean en la microempresa de estudio.

La microempresa a través del proceso de tostado y cribación del café, esencialmente en esta parte del proceso, genera residuos que son liberados al ambiente, después de ello, es enfriado a temperatura ambiente liberando ciertas partículas, lo que ocasiona contaminación al medio ambiente y molestias e ineficiencias en los trabajadores que laboran en esas condiciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Caracterizar el proceso de producción del tostado del café en la microempresa artesanal “CAFÉ DEL HOGAR” mediante la metodología ACV, con la finalidad de reducir el impacto ambiental y aumentar la calidad en su producto con mejoras en la producción de tostado.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir el objetivo de la investigación orientándolo a la mitigación de contaminantes y la mejora del producto y de los procesos.
- Analizar el proceso de producción de café en la microempresa artesanal con la finalidad de detectar los posibles problemas de contaminación al medio ambiente y el daño a la salud de los empleados.
- Evaluar el impacto ambiental del proceso de producción del café para conocer las consecuencias en el medio ambiente y en la salud de los trabajadores.
- Interpretar los resultados obtenidos con la finalidad de proponer mejoras para mitigar las consecuencias del daño al medio ambiente y a la salud de los trabajadores.

1.4 Justificación

El café tiene una gran importancia a nivel mundial, ya que sus semillas, tostadas, molidas y en infusión, constituyen la bebida no alcohólica más consumida actualmente. Su cultivo supone una actividad económica clave en muchos países en desarrollo, los suministros comerciales de café provienen de más de una especie, pero es *Coffea arabica* (cafeto de arabia) la que suministra la mayor cantidad y mejor calidad de semillas.

La microempresa “CAFÉ DEL HOGAR” cuenta con demanda alta en el municipio de Huejutla de Reyes Hidalgo, es por ello que esta investigación pretende identificar con el Análisis del Ciclo de Vida oportunidades de mejora en aspectos ambientales, seleccionar y evaluar los indicadores ambientales en el proceso del tostado del café para aprovechar aquellos desechos o productos que pueda darle otro medio para reutilizarse, ya que por el contrario determinar si no es recomendable usarlo para darle otro destino sin contaminar el medio ambiente.

1.5 Hipótesis

H₁: El análisis ciclo de vida demuestra e identifica los contaminantes que genera la microempresa, así como reduce el impacto medio ambiental del proceso de estudio, generando mayor calidad en el producto.

H₀: El análisis ciclo de vida no identifica claramente los contaminantes y sustancias tóxicas que genera el proceso de estudio, además de que no reduce el impacto ambiental.

1.6 Alcances y limitaciones

Con la caracterización en el proceso del tostado del café, se pretende alcanzar el nivel de calidad en el proceso, como también reducir el impacto ambiental que se presente en el transcurso de todo el desarrollo del tostado de café, esperando que las partes que son afectadas por estas emanaciones al ambiente mejoren en su condición de salud.

En cuanto a limitaciones, se observa que los propietarios del negocio muestran cierta inseguridad al desarrollo de la investigación, por lo que se teme que la información sea un tanto censurada y escasa, además las propuestas y recomendaciones que se establezcan al final del análisis pueden ocasionar una resistencia al cambio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Café

2.1.1 Importancia del café

México produce cafés de excelentes calidades, ya que su topografía, altura, climas y suelos le permiten cultivar y producir variedades clasificadas dentro de las mejores del mundo, la variedad genérica que se produce en México es la "arábica", que se clasifica dentro del grupo de "otros suaves". Destacan por su calidad las variedades de Coatepec, Pluma Hidalgo, Jaltenango, Marago y Natural de Atoyac, sólo por citar algunas. Como productor de café México ocupa el quinto lugar a nivel mundial, después de Brasil, Colombia, Indonesia y Vietnam, México es el primer productor mundial de café orgánico, y uno de los primeros en cafés "Gourmet". El café se produce sobre una superficie de 761 mil hectáreas en doce estados de la República Mexicana. Estos estados son: Colima, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tabasco y Veracruz.

El café es uno de los principales productos genéricos que se comercializan en el mercado mundial, su producción se realiza por lo regular en las zonas tropicales. Actualmente más de 80 países lo cultivan en sus diferentes tipos, de los cuales poco más de 50 países lo exportan. Por el valor que representa, el café es uno de los principales productos agrícolas, con un peso importante en el comercio mundial, llegando a generar ingresos anuales superiores a los 15 mil millones de dólares para los países exportadores y dando ocupación directa e indirecta a poco más de 20 millones de personas dedicadas al cultivo, transformación, procesamiento y comercialización del producto en todo el mundo (Lázaro, 2001).

La producción mundial de café, durante el ciclo 2016/2017 (setiembre-octubre) se estimaba en 156.6 millones de sacos de 60 kilogramos (kg), lo que significa un incremento de 2.4 % respecto al ciclo anterior. Mientras que el consumo mundial se proyectó en 153.3 millones de sacos, mayor en 0.8 % a la registrada en el ciclo anterior.

En el periodo 2007-2016 la producción y consumo de café en el mundo se incrementó en un promedio anual de 3.0 % y 2.5 % respectivamente. Mientras que los inventarios finales se incrementaron 1.5 % en el periodo antes mencionado (Escamilla, 2017).

En la Figura 1 se observa a los principales países exportadores e importadores de café durante el ciclo 2015-2016.

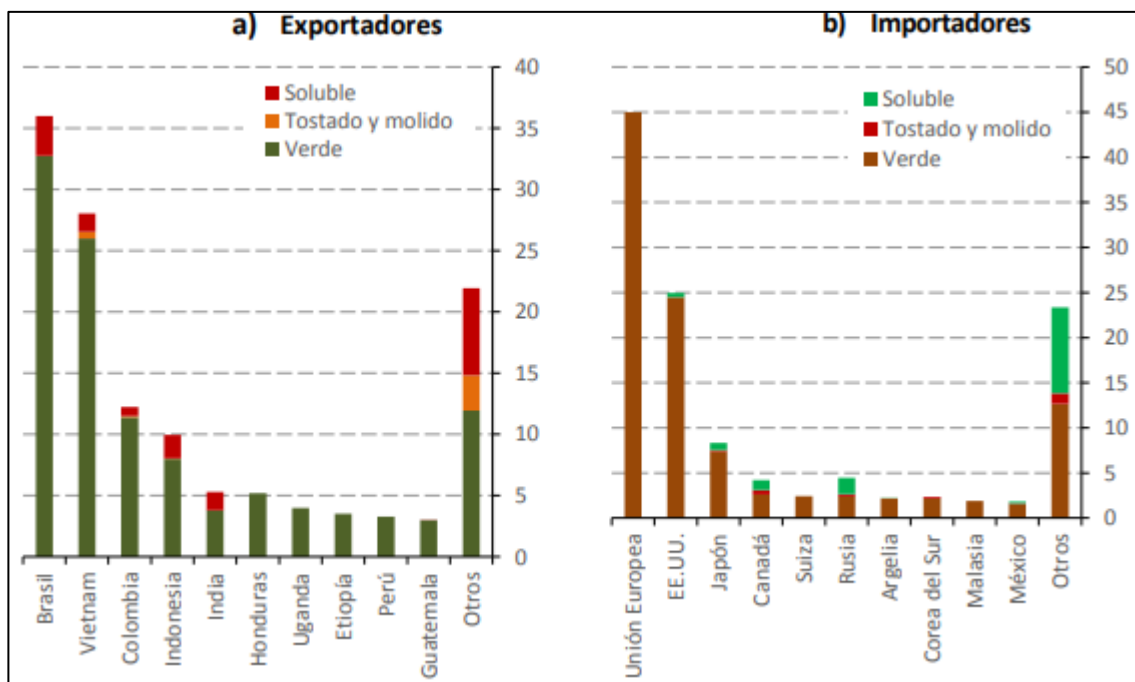


Figura 1. Principales países exportadores e importadores de café, 2015/16 (Millones de sacos de 60 kg, equivalente en café verde). Fuente: USDA.

2.1.2 Historia del café

El café, por su reputación, se descubrió en la edad de piedra y los efectos estimulantes se notaron temprano, posiblemente al observar los efectos en animales que pastan bayas de café silvestres. La bebida llegó a estar bien establecida en Arabia, el nombre se deriva del árabe *qahwah* (un nombre poético para el vino temprano). El hábito del café se extendió hacia el oeste en Europa, estableciéndose en el Reino Unido en el siglo XVII.

Casas de café se establecieron en Viena y se extendió por toda Europa a Londres. Las casas de café se convirtieron en lugares populares de negocios y la institución de seguros, Lloyd's desarrollado a partir de un lugar de encuentro de suscriptores y armadores. En el Reino Unido, el café se sustituyó por el té como la bebida favorita, durante el siglo XVIII, pero el

café ha permanecido dominante en Europa continental y América del Norte. El café siempre ha sido reconocido como más difícil de preparar que el té.

La disponibilidad de este producto fue, en cierta medida, responsable del aumento del consumo de café en el Reino Unido después de la segunda Guerra Mundial. El alto contenido de cafeína del café y la preocupación por los efectos del gran consumo, ha llevado al desarrollo de productos de café descafeinados (AH & Sutherland , 1994).

2.1.3 Características

El café pertenece a la familia de las rubiáceas (*Rubiaceae*), grupo que engloba unos 500 géneros y más de 6.000 especies, la mayoría árboles y arbustos tropicales. Dentro del género *Coffea* hay más de 100 especies, todas ellas autóctonas de África tropical y de algunas islas de Océano Índico. Todas son leñosas, pero comprenden desde arbustos hasta árboles de 5 a 10 metros de altura. Sus hojas son elípticas, acabadas en punta y aparecen por pares. Presentan peciolo cortos y pequeñas estipulas, y en el envés pueden aparecer unas pequeñas cavidades que albergan pequeños artrópodos, conocidas como domotia. Las hojas pueden ser también de distintos colores: verde lima, verde oscuro, bronce o con matices purpúreos. Los frutos son tipo drupa, con epicarpio carnoso y doble semilla. Las dos especies más importantes desde el punto de vista económico son *Coffea arabica* L. (café arábico) y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusto) (Jiménez, 2014).

El cafeto (*Coffea arabica* L.) es uno de los principales cultivos industriales en México, después del petróleo, es el producto más importante de exportación. En México, el cafeto se cultiva en las regiones que poseen el clima adecuado para su crecimiento, y casi toda la producción es llevada a cabo por productores con pequeñas parcelas y escaso capital para invertir en su cultivo y manejo a diferencia de otros productores en Guatemala y Costa Rica. En los mercados internacionales se reconocen algunos factores ambientales que influyen en la calidad del café como la altitud de la plantación, y la sombra, pero la variedad del cafeto también juega un papel muy importante en cualquier sistema de producción, pues del genotipo y su adaptación al ambiente depende la cantidad y la calidad de frutos a cosechar.

México cuenta con condiciones ideales para el cultivo del café, con zonas montañosas del sureste del país que se encuentran a altitudes mayores a 900 metros sobre el nivel del mar, así como temperaturas que van de los 17.5 a 25.3 ° C. La caficultura en el país representa una actividad fundamental en el sector agrícola, no sólo por el valor de su producción, sino además por ser un importante generador de divisas, además por las bondades que ofrece al ser un cultivo de gran relevancia ambiental, puesto que el 99 % de los predios cafetaleros se establecen bajo sombra (FIRA, 2016).

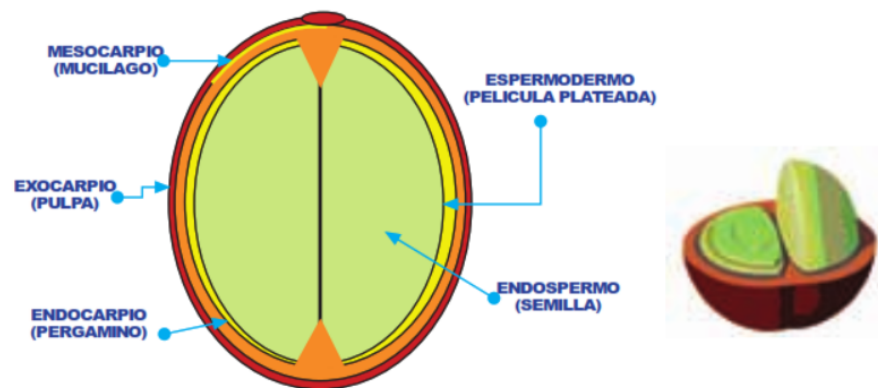


Figura 2. Composición del fruto de café. Fuente: Soto, 2010.

El fruto del cafeto es una drupa que contiene 2 semillas, las que se encuentran separadas por el tabique interno del ovario. El color verde del fruto, según su maduración, cambia a verde amarillento y posteriormente a rojo vinoso. Se distinguen tres partes principales en el fruto: el exocarpio constituido por una sola capa de células de paredes finas, el mesocarpio, que es una sección parenquimatosa rica en azúcares, taninos y sustancias colorantes, y el endocarpio o pergamino que es una cubierta de consistencia coriácea (Soto, 2010).

2.1.4 Tipos de café

En la producción de café se distinguen dos variedades principales: arábica (*Coffea arábica*) y robusta (*Coffea canephora*). Las variedades más conocidas del café arábica son *Typica* y *Borbón*, pero a partir de éstas se han desarrollado muchas cepas y cultivares diferentes,

como son el Caturra (Brasil, Colombia), el Mundo Novo (Brasil), el Tico (América Central), el San Ramón enano y el Jamaican Blue Mountain.

De 2015 al 2016, el 56.3 por ciento de la producción mundial de café correspondió a la variedad arábica y el 43.7 por ciento a robusta. Durante la última década, el dinamismo ha sido mayor en la producción de este último, con una tasa de crecimiento promedio anual de 3.6 por ciento, mientras que la cosecha de arábica se incrementó a una tasa promedio anual de 2.0 por ciento.

En el mercado internacional se distinguen cuatro categorías de café de acuerdo con el tipo de grano. En orden descendente con respecto a la calidad y el precio, son: suaves colombianos, granos de arábica lavados, producidos principalmente en Colombia; otros suaves, granos de arábica, cuyos principales productores son México y Centroamérica; brasileños naturales, granos de arábica sin lavar, provenientes de Brasil y otros países sudamericanos; y robustas, producidos en África, Asia y algunos países sudamericanos, como se aprecia en la Figura 3.

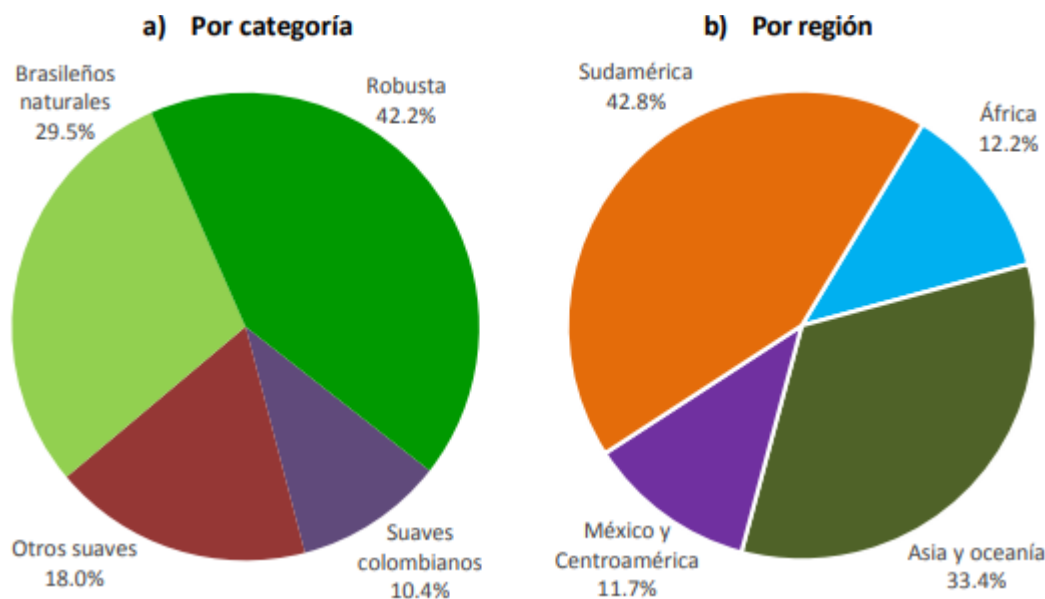


Figura 3. Producción Mundial de Café. 2015-2016 Porcentaje. Fuente: ICO.

El 72.1 por ciento de la producción mundial de café en 2015/16 se concentró en cinco países: Brasil (32.2 por ciento), Vietnam (19.1 por ciento), Colombia (8.9 por ciento), Indonesia (7.7 por ciento) y Etiopía (4.2 por ciento). Entre los principales productores también están Honduras (3.7 por ciento), India (3.5 por ciento) y Perú (2.3 por ciento).

México se ubicó en la décimo primera posición, con una participación del 1.6 por ciento de la producción mundial.

En México, aproximadamente el 94.5 por ciento de la producción de café se obtiene de la especie arábica y el 5.5 por ciento corresponde a variedad robusta. En 2015/16 se produjo café cereza en 15 entidades; en cinco de éstas se concentró el 93.7 por ciento de la oferta nacional: Chiapas (43.3 por ciento), Veracruz (22.9 por ciento), Puebla (14.5 por ciento), Oaxaca (7.9 por ciento) y Guerrero (5.0 por ciento) (FIRA, 2016).

2.1.5 Proceso de fabricación del café

Primeros inicios del café antes de su tratamiento:

1. Ubicación

Antes de siquiera poder comenzar a sembrar las semillas. Se debe tener en cuenta donde es el lugar indicado para plantarlas. Existe una zona conocida como el “cinturón verde del café” en la que es la ideal para plantarlo. Tal zona es la comprendida entre el trópico de cáncer y el trópico de capricornio, este lugar es el ideal debido a sus condiciones del clima.

2. Siembra

Una vez que se tiene el lugar designado, se procede a sembrar la semilla. De 45 a 50 días después de la siembra aparecen los fósforos, que es el germinado. A los 60-65 días de la siembra comienzan a aparecer las primeras hojas, las cuales se proceden a implantarse en bolsas negras al almacigo, lo que las protege del sol y la lluvia. Entre 150-180 días después se procede a trasplantar al campo.

3. Cosecha

Después de 540-600 días de haber trasplantado la planta se da la primera floración y entre 240-270 días después se obtiene el primer fruto maduro, con ello se procede a comenzar la cosecha del café. Tal cosecha se hace de forma automática con máquinas en algunas partes del mundo, pero en otras partes se hace de forma manual seleccionando cada grano maduro para que así resulte en un producto de mejor calidad. Este fruto a recoger es de un tono

rojizo que asemeja a una baya, el producto del que se elabora la bebida son las semillas de esa baya. Esta cosecha se lleva a cabo una vez al año.

4. Beneficiar

Beneficiar es el término que se le da al proceso de quitar la pulpa del fruto, fermentar los granos y lavarlos. Estos pueden ser de dos formas, una en la que los frutos se desgranar con máquinas y luego se colocan en tinas con agua para quitar cualquier posible desecho. Luego proceden a secarse al sol. El otro método primero se deja secar al sol el grano durante 20 días, ya que el fruto esté completamente seco entonces se procede a extraer el grano mediante máquinas. Una vez concluido uno de estos dos procesos se procede a clasificar el grano por tamaño y número de defectos, los cuales proceden a empaquetarse en sacos para poder transportarlos hacia el tueste.

2.1.6 Proceso del tostado industrial de café

Los procesos de industrialización del café se desarrollan en todos los continentes, y en general tienden a desarrollarse cerca de los mercados de consumo final del producto. Las diferentes técnicas de industrialización que se aplican pueden llevarse a cabo de la misma forma por ejemplo en Italia, Nueva Zelanda o Colombia, en la medida en que las se apliquen los mismos conceptos y procesos.

Independientemente de la técnica que se utilice, siempre será fundamental conocer el tipo de materia prima o café verde que se utilice. Ninguna técnica puede mejorar la calidad de la materia prima original. Lo único que podría hacer es atenuar los defectos de la misma. Es por ello que, independientemente de la técnica de industrialización aplicada, conocer la calidad y el origen del café es fundamental para poder obtener una experiencia de consumo satisfactoria (Colombia, 2010).

En el campo de la industrialización del café existen diferentes etapas. Una porción del café consumido en el mundo se somete a procesos de descafeinación. Se podría aseverar que todo el café que se consume en el mundo ha pasado por el proceso de tostación, de molienda y extracción.

Tueste (Tostación)

Aquí llegan los granos verdes, limpios y secos. Este punto es el que realmente le da el sabor al café, y por tanto es el más importante de todos. Un buen tostado hará que el grano tenga un mejor sabor, mientras que un tostado que no es el adecuado puede llegar a echar a perder su gran sabor.

La Tostación es la transformación de los granos de café verde mediante la aplicación de calor, lo que origina varios cambios físicos y reacciones químicas que desarrollan todo el aroma y sabor de la apreciada bebida (Colombia, 2010).

Inicialmente el grano absorbe calor y pierde la humedad y algunos gases. Luego ocurre el "primer crack" con un sonido como de crispeta (maíz tostado) o "palomitas de maíz". A partir de ese momento el grano crece en tamaño y comienza a tomar un color oscuro por la caramelización de los azúcares conformando los más de 800 compuestos químicos que tiene el café tostado.

La transformación de los azúcares simples y aminoácidos, que le otorgan al café la mayoría de sus mejores propiedades aromáticas y su color característico, se conoce como la reacción de Maillard. Finalmente, y dependiendo del grado de tostación deseado, puede haber un "segundo crack" y se presenta una reacción exotérmica (que libera calor). A partir de ese momento es necesario reducir la temperatura aplicada con agua o con aire frío para obtener exactamente el color y sabor deseados. Las reacciones químicas en el interior del grano continúan por algún tiempo después de que el grano ha salido del tostador, durante el cual el café tostado continúa emitiendo CO₂.

Existen diversos niveles y técnicas de tostación que se adaptan a los gustos y preferencias de diferentes consumidores y mercados. Es así como en ciertos mercados como en Norte América y los países escandinavos prefieren niveles de tostación baja o media con los que se pueden experimentar en detalle las características de origen del grano, y en otros mercados como en la cuenca del Mediterráneo prefieren cafés con tostaciones altas en las que se siente más el "carácter" de la tostación en sí, con menor presencia de notas ácidas y florales de origen, pero mayor cuerpo.

Hay varias maneras de cuantificar el grado de tostación de un café y una de las más aceptadas es la medición de color por método Agtron, que indica el grado de "reflectancia", es decir que colores más claros tienen un mayor valor, desde colores alrededor de 60 para escandinavos, 45 para tostaciones intermedias tipo "city", hasta colores de 25 a 30 para tostaciones profundas tipo italiana o francesa.

Molido de Café

A partir del tostado del café se puede esperar un máximo de 30 días hasta que este sea molido, para que no pierda sus aceites esenciales. El proceso del molido se recomienda hacerlo máximo 3 días antes de consumirlo, ya que cuando se muele el café este puede perder sus propiedades mucho más rápidamente. Por eso se recomienda consumir un café recién molido y recién tostado. Existen tres tipos principales de molido: fino, medio y grueso. Los cuales alteran la resistencia del café al flujo del agua. El expreso se hace con la molienda más fina, el café americano se hace con molienda más gruesa mientras que el café de moka se hace con una molienda media (Food Mexico and me, 2016).

2.1.7 Proceso de tostado artesanal de café

Tostar café no es más que aplicar una fuente de calor al grano de café verde. Hacerlo artesanalmente es no utilizar máquinas industriales que tuestan cientos de kilos en un solo tostado, sino pequeñas máquinas que tuestan menos de cien kilos de café y hacerlo escuchando el café con un maestro tostador al frente del proceso. En el tostado del café va a favorecer que aparezcan una serie de transformaciones en el grano de café tanto físicas como químicas (Del Mar, 2018).

La temperatura a la que se tuesta va a variar en función del tipo de tueste que quieres conseguir y es función del maestro tostador determinar cuál es el que elige para conseguir los mejores resultados con un determinado café.

- Aproximadamente a los 193° C para un tueste claro o ligero.
- A unos 200 ° C para un tueste medio.

- Sobre los 218 ° C para un tueste oscuro.

La duración del proceso de tostado artesanal del café varía en función del tipo de tostado; Los granos en verde se depositan dentro de un tostador de aire caliente entre los 180 a 240 grados centígrados. La duración va desde los 12 hasta los 25 minutos aproximadamente, dependiendo del grado de tueste que se quiera alcanzar.

Se puede dividir el proceso en varias partes:

1. Los primeros 5 minutos el café pasa de verde a un color amarillo, similar al color de la paja.
2. Del minuto 5 al 10 es donde los aromas y sabores son mayormente extraídos y donde se debe de cuidar la humedad, temperatura y presión de los granos. Es aquí donde ocurre el primer crack, el cual es un sonido que sucede debido a la expansión del grano producido por la presión liberada del dióxido de carbono y vapor de agua, producto de diversas reacciones químicas del grano. En esta etapa el color cambia de amarillo a un color café claro.
3. Durante los últimos minutos del tueste, depende del grado de tueste su duración, los sabores del café terminan de desarrollarse y es donde los azúcares y aminoácidos son liberados y donde se alcanzan temperaturas internas de entre 180 y 225 grados centígrados como se ha explicado en la temperatura de tueste del café.

Cada tueste de café debe realizarse a la temperatura indicada y controlada por los torrefactores las cuales desarrollan y estandarizan cada uno de los perfiles de tostado.

Una vez que se alcanza el grado de tostado deseado, el proceso debe detenerse para que el grano no se queme y se es sacado de la tostadora para proceder a enfriarlo rápidamente y evitar que se sigan tostando con el calor que traían.

Molido de Café

Este cambio que se le da al café, se realiza con ayuda de los molinos para las cantidades que normalmente abarca su producción, este paso puede llevarse a cabo tiempo después que se tuesta el café, pero debe esperarse cierto tiempo para que el café se enfríe y pueda ser

molido para que no pierda su sabor. En otras ocasiones también se reserva y se muele hasta que vaya a ser vendido al cliente logrando un sabor más consistente, lo cual le da un olor más intenso por el tiempo que logró ser reservado hasta el día de su molienda.

Empaquetado

El empaquetado es básico para asegurar que el café no pierda su calidad y sus características protegiéndolo del oxígeno, la luz y de las condiciones ambientales. El café es un producto que sigue su proceso natural una vez envasado y extrae gases que debe dejar salir de la bolsa mediante una válvula para que esta no se hinche. Los formatos del café en grano son bolsas de complejo triple en formatos de 1 kilogramo o de 1/2 kilogramo (Torruella, 2014). Este proceso se lleva a cabo en empresas donde su producción es elevada y requiere de máquinas empaquetadoras y envasadoras.

Por otro lado, el empaquetado en el proceso de café artesanal es más sencillo y se lleva a cabo con poco personal debido a sus ventas menores, ya que suelen ser más estatales y se empaqueta en bolsas de celofán o de papel.

2.2 Análisis del Ciclo de Vida

2.2.1 Origen del ACV

El ACV tiene sus raíces en la década de los 60's, cuando un científico preocupado por el rápido consumo de los combustibles fósiles, lo desarrolló como una propuesta para comprender los impactos del consumo de energía. A principios de 1970, la Evaluación del Ciclo de Vida se concentraba principalmente en energía y materias primas, pero más tarde también se incluyeron en los cálculos, emisiones al aire, emisiones al agua y desechos sólidos (Aguilar Lasserre, 2015).

Para finales de los 70's y principios de los 80's, la preocupación por el ambiente se enfocó en asuntos referentes al manejo de desechos peligrosos. La conferencia SETAC de 1990 Society of Environmental Toxicology and Chemistry en Vermont fue la primera en analizar

la LCA (por sus siglas en ingles Life Cycle Assessment) en tres etapas principales, como se muestra en la Figura 4.

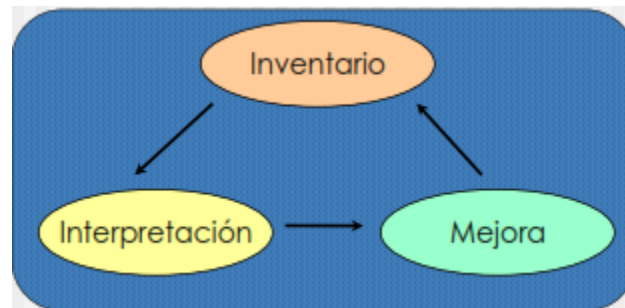


Figura 4. Etapas del ACV por SETAC.

2.2.2 ¿Qué es el ACV?

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión medioambiental cuya finalidad es analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo (esto es, de la cuna a la tumba). En los inicios de su uso se le denominaba también eco balance o análisis del perfil ambiental (Leiva, 2016).

El Análisis del Ciclo de Vida es un proceso objetivo que permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de ese uso de recursos y esas emisiones y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental.

El ACV incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesamiento de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final (Ambiente).

En el contexto del Análisis del Ciclo de Vida, se incluye el estudio y la cuantificación de los impactos ambientales asociados a la vida de un producto, proceso o actividad desde “la cuna a la tumba”, esto es, el conjunto de las siguientes etapas: adquisición de materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida útil. Cada una de estas etapas tiene asociados unos inputs (principalmente consumo de materias primas y energía) y unos

outputs (esencialmente residuos y emisiones). En la Figura 5 se muestran las relaciones entre ellos.



Figura 5. Etapas del Ciclo de Vida. Fuente: Leiva, 2016.

Existen cinco maneras de abordar un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en relación a los límites de estudio de acuerdo con Murcia Castro & Rodriguez Velázquez, (2017), clasificándose en:

- De la puerta a la puerta (Gate to Gate): En donde se consideran únicamente las etapas asociadas al proceso productivo al que aplique.
- De la cuna a la puerta (Cradle to Gate): Tiene en cuenta procesos de extracción hasta la transformación de materias primas en el proceso productivo de la empresa.
- De la puerta a la tumba (Gate to Grave): Además de tener en cuenta el proceso productivo incluye la fase de gestión de los residuos que abarque el producto.
- De la cuna a la tumba (Cradle to Grave): Estudia la transformación de materias primas hasta la disposición final de los residuos (reciclaje entre otros).
- De la cuna a la cuna (Cradle to Cradle): Abarca el ciclo de vida completo del producto, no sólo incluye transformación de materias primas si no que al finalizar su uso analiza la reincorporación en el mismo proceso productivo o en otro.

El ACV se estandarizó en la ISO 14040 con la finalidad de contribuir a la gestión ambiental en el sector productivo, ahí se evidencia la estructura metodológica como se representa en la Figura 6.



Figura 6. Estructura ACV. Fuente: UNE-EN ISO 14040.

2.2.3 Etapas del Análisis del Ciclo de Vida

El desarrollo de un Análisis del Ciclo de Vida, de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 14040, debe cubrir las siguientes etapas metodológicas:

- Etapa 1. Definición del objetivo y alcance del ACV. En los objetivos se exponen los motivos por los que se desarrolla el estudio, la aplicación prevista y a quién va dirigido. El alcance consiste en la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio.
- Etapa 2. Análisis de inventario de ciclo de vida. Esta fase incluye la identificación y cuantificación de las entradas (consumo de recursos) y salidas (emisiones al aire, suelo y aguas y generación de residuos) del sistema del producto. Por sistema del producto se entiende el conjunto de procesos unitarios conectados, material y energéticamente que realizan una o más funciones idénticas.

- Etapa 3. Evaluación de impacto de ciclo de vida. Durante esta etapa, utilizando los resultados del análisis de inventario, se evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales generados por las entradas y salidas del sistema del producto.
- Etapa 4. Interpretación. Incluye la combinación de los resultados de las dos etapas anteriores, con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones (Leiva, 2016).

2.3 ISO 14000

El propósito de esta Norma Internacional es proporcionar a las organizaciones un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas. Esta norma especifica requisitos que permitan que una organización logre los resultados previstos que ha establecido para su sistema de gestión ambiental (ISO, 2015).

Un enfoque sistemático a la gestión ambiental puede proporcionar información a la alta dirección para generar éxito a largo plazo y crear opciones para contribuir al desarrollo sostenible mediante:

- La protección del medio ambiente, mediante la prevención o mitigación de impactos ambientales adversos.
- La mitigación de efectos potencialmente adversos de las condiciones ambientales sobre la organización.
- El apoyo a la organización en el cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos.
- La mejora del desempeño ambiental.
- El control o la influencia sobre la forma en la que la organización diseña, fabrica, distribuye, consume y lleva a cabo la disposición final de productos o servicios, usando una perspectiva de ciclo de vida que pueda prevenir que los impactos ambientales sean involuntariamente trasladados a otro punto del ciclo de vida.

- El logro de beneficios financieros y operacionales que puedan ser el resultado de implementar alternativas ambientales respetuosas que fortalezcan la posición de la organización en el mercado.
- La comunicación de la información ambiental a las partes interesadas pertinentes.

La certificación conforme a la norma ISO 14001:2004 prueba que un Sistema de Gestión Medioambiental ha sido evaluado de acuerdo con la norma de buenas prácticas y que cumple con sus requerimientos. El certificado es emitido por un organismo de certificación ajeno a la empresa y permite a los clientes identificar los productos, los procesos y las organizaciones que innovan día a día con el fin de minimizar los impactos medioambientales derivados de su actividad.

El Sistema de Gestión Medioambiental de la norma ISO 14001:2004, reconocido internacionalmente, es aplicable a organizaciones privadas o públicas pequeñas, medianas y grandes del sector industrial y de servicios de cualquier actividad económica. Se basa en dos conceptos: el de mejora continua y el de cumplimiento legal. Exige que la empresa defina objetivos medioambientales, un sistema de gestión necesario para cumplir estos objetivos y que cumpla con los procesos, procedimientos y actividades de ese sistema.

2.3.1 ISO 14040: Gestión Ambiental

La creciente conciencia con respecto a la importancia de la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos, han aumentado el interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar esos impactos. Una de las técnicas desarrolladas en este sentido es el ACV (Plattaform, 2006).

Esta Norma Internacional describe los principios y el marco de referencia para el Análisis del Ciclo de Vida incluyendo:

- La definición del objetivo y el alcance del ACV.
- La fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV).
- La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV).
- La fase de interpretación del ciclo de vida.

- El informe y la revisión crítica del ACV.
- Las limitaciones del ACV.
- La relación entre las fases del ACV.
- Las condiciones de utilización de juicios de valor y de elementos opcionales.

Esta Norma Internacional comprende los estudios del Análisis del Ciclo de Vida y los estudios de análisis del inventario del ciclo de vida. No describe la técnica de ACV en detalle, ni especifica metodologías para las fases individuales del ACV.

2.3.2 ISO 14041: Gestión Ambiental

Este estándar internacional, además de ISO 14041 especifica los requerimientos y procedimientos necesarios para la compilación y preparación de la definición de la meta y alcance de un estudio de Evaluación del Ciclo de Vida y para la ejecución, interpretación y reporte del análisis del Inventario del Ciclo de Vida (Life Cycle Inventory, LCI o ICV). Este estándar internacional no describe a detalle la técnica de Evaluación del Ciclo de Vida.

2.3.3 ISO 14042: Gestión Ambiental

ISO 14042 describe y da una guía del marco de referencia general para la fase de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) del LCA (o ACV en español), así como sus características claves y las limitaciones inherentes. Especifica los requerimientos para conducir un LCIA y su relación con otras fases de la LCA.

2.3.4 ISO 14043: Gestión Ambiental

Este estándar internacional provee requerimientos y recomendaciones para conducir la fase de interpretación del ciclo de vida en los estudios de LCA. Este documento tiene como objetivo proveer una guía de interpretación de los resultados de LCA en relación a la fase

de definición de meta de la evaluación de ciclo de vida, incluyendo una revisión del alcance de la LCA.

Esta norma no describe las metodologías específicas para la fase de interpretación del ciclo de vida de los estudios del LCA. Este es un estándar corto, claro e ilustrado. El propósito del grupo de trabajo es demostrar que la interpretación de la LCA puede llevarse a cabo simplemente haciendo uso del sentido común.

2.4 NOM-025-SSA1-2014 Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación

Esta Norma tiene por objeto establecer los valores límites permisibles de concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y los criterios para su evaluación, con la finalidad de proteger la salud de la población.

2.5 NOM-015-STPS-2001 Condiciones térmicas elevadas o abatidas – Condiciones de seguridad e higiene

Tiene por objeto establecer las condiciones de seguridad e higiene, los niveles y tiempos máximos permisibles de exposición a condiciones térmicas extremas, que por sus características, tipo de actividades, nivel, tiempo y frecuencia de exposición, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores.

Esta Norma aplica en todos los centros de trabajo del territorio nacional en los que exista exposición de los trabajadores a condiciones térmicas, provocadas por fuentes que generen que la temperatura corporal de los trabajadores sea inferior a 36 ° C o superior a 38 ° C.

2.6 NOM-085-SEMARNAT-2011, Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su emisión

Establece los niveles máximos permisibles de emisión de humo, partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) de los equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas, con el fin de proteger la calidad del aire.

2.7 ISO 50001:2011 Sistemas de gestión de la energía

Establece los requisitos que debe tener un sistema de gestión de la energía en una organización para sistematizar la mejora de su desempeño energético, el aumento de su eficiencia energética y la reducción de los impactos ambientales. Así como el incremento de sus ventajas competitivas dentro de los mercados en los que participan, todo esto sin sacrificio de la productividad.

2.8 Caso de estudio

El desarrollo del trabajo se realizará en la microempresa “CAFÉ DEL HOGAR” ubicado en el municipio de Tempoal de Sánchez, Ver., es un negocio propio a cargo de la señora Lucia Santiago, que anteriormente el propietario era el señor Abraham Reyes (†), fundador de la microempresa del cual se le atribuye sus años de crecimiento hasta la actualidad, posicionándose como la primera microempresa en su ramo en el municipio de mención.

Actualmente cuenta con las maquinas necesarias para llevar a cabo el proceso de tostado de café (tostador, molino, selladora y bascula), de entonces hasta hoy en día se ha mantenido en la región norte de Veracruz con ventas de café en el municipio y sus colindantes.

Ofrece un amplio café puro, de tipo crudo y tostado, en mayoreo y menudeo. Actualmente distribuye el café a diferentes lugares de la región, también en lugares fuera de la región como en Huejutla de reyes, Tanquian, San Vicente, Cerro Azul, San Sebastián, Ixcanelco,

Pastoria, Atlapexco, Tepezintla, Platón, Chicón, Chapopote, Tres Palmas, Los Ajos, Horcón Potrero y Victoria, en donde tiene su zona de venta específica en días de mercado. Esta microempresa tiene sus materiales en su propia casa, además cuenta con 3 espacios (áreas) en donde realizan el proceso del café tostado, enfriamiento, cribación, molido y empaquetado (ver Figura 7).

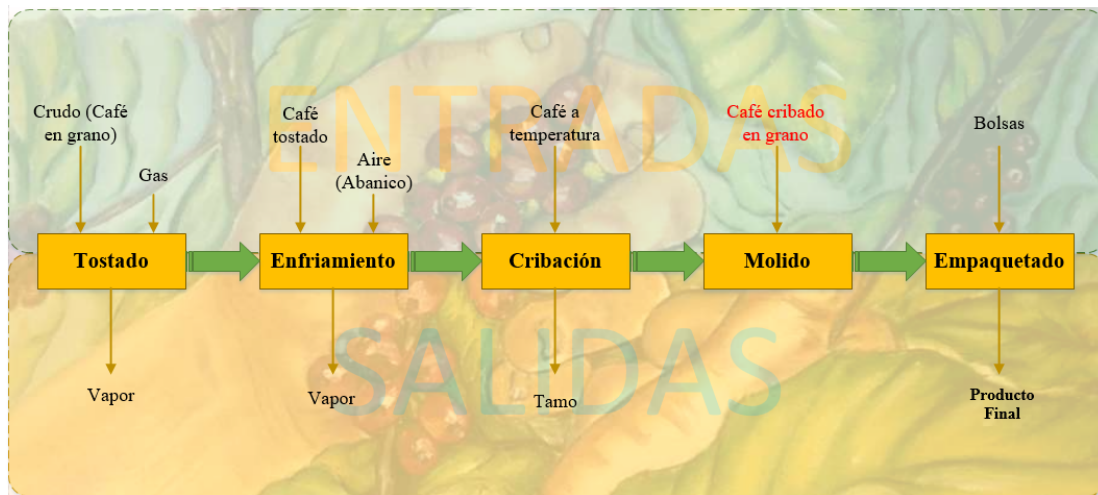


Figura 7. Proceso de producción del tostado del café en la microempresa “Café del Hogar”. Fuente: Elaboración propia.

3. ESTADO DEL ARTE

Tabla 1. Estado del arte.

Nombre de Investigación	Autor, año de publicación	Aportaciones
Análisis del ciclo de vida del proceso de torrefacción de café.	(Curbelo Martínez, Rodríguez Pérez, & Curbelo Martínez, 2014)	Se analizó el impacto ambiental del proceso de torrefacción de café en la UEB Torrefactora y Distribuidora de Café “5 de septiembre”, y se propusieron un conjunto de acciones a mediano y largo plazo que permitirán disminuir las incidencias.
Posibilidades técnicas de la producción de bioetanol a partir de pulpa de café: una materia prima renovable.	(Gurram, y otros, 2015)	Se caracterizó la composición química de la pulpa de café con relevancia para la producción de bioetanol y comparar los resultados con otras materias primas de bioetanol. Sobre la base del rendimiento total de azúcar, se investiga la producción de bioetanol utilizando un software de simulación. Los resultados mostraron los contenidos de azúcar, expresados como porcentajes de masa seca. La emisión / reducción de 2 fue a favor del medio ambiente.
Fomento de la sostenibilidad corporativa en la industria cafetalera mexicana.	(Munguia, Valera, Esquer, & Velazquez Contreras, 2017)	Se recopilaron datos sobre los flujos de materiales, donde reveló oportunidades para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, identificando la necesidad de instalar dispositivos de medición de gas licuado de petróleo y dispositivos de medición individuales para el consumo de electricidad.
Análisis del ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café del beneficio ecológico en la Finca Juancito y convencional en la	(Cádenas Arévalo & Vásquez López, 2013)	En este estudio se utilizó la metodología del Análisis del Ciclo de Vida que permite identificar los impactos ambientales asociados al procesamiento y distribución de café. Se tomaron datos del consumo de agua, el uso de electricidad y la generación de residuos en las fincas y la planta de procesamiento. Se realizó un balance de materia del proceso, elaborado en el software Umberto 5.5. La finca a la planta del café de La Montaña generó 169.96 g

<p>Finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras.</p>		<p>de CO₂eq/kg de café molido empacado y el de la finca Juancito generó 169.14 g de CO₂eq/kg.</p>
<p>Análisis del ciclo de vida de los impactos ambientales: caso de estudio Caffenio.</p>	<p>(Varela Sortillón, 2015)</p>	<p>Presenta una evaluación de desempeño ambiental del proceso de tostado de café en la empresa, Café del Pacífico, S.A.P.I de C.V. Se cuantificaron los flujos de materiales y energía. En las siguientes categorías de impacto; cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles, formación de material particulado, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación terrestre y agotamiento de la capa de ozono. Los resultados arrojaron que la principal sustancia emitida es el dióxido de carbono y la evaluación de impacto mostró que el tostado y empaquetado son las etapas de mayor afección ambiental.</p>
<p>Evaluación del ciclo de vida de café molido y comparación de diferentes métodos de preparación: un estudio de caso de café Arábica Orgánico en el Norte de Tailandia.</p>	<p>(Phrommarat, 2018)</p>	<p>Se evaluaron los impactos ambientales de una sola taza de café negro caliente elaborado a partir de granos de arábica orgánica molida producidos y consumidos localmente en la región septentrional de Tailandia. Se evaluaron los impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida y se compararon las influencias de diferentes métodos de elaboración de cerveza.</p>
<p>Evaluación del ciclo de vida del café soluble secado por aspersión y comparación con alternativas (goteo filter y cápsula espresso)</p>	<p>(Humbert, 2009)</p>	<p>Evaluó las cargas ambientales asociadas con el café soluble secado por aspersión a lo largo de todo su ciclo de vida y compararlo con el café por goteo filter y el café espresso en cápsulas. En comparación con otras alternativas de café, el café soluble secado por aspersión consume menos energía y tiene una huella ambiental menor que el café espresso en cápsulas o el café por goteo, siendo este último el que tiene el mayor impacto ambiental por taza.</p>

Fuente: Elaboración propia.

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizará es la descriptiva, que permite especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren (Herández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

4.2 Metodología

Para dar solución al planteamiento del problema, se desarrollará la siguiente metodología donde se estructura el proceso productivo del café. Se identifica el proceso que genera mayor cantidad de emisiones y/o materiales contaminantes y se localiza la estación de trabajo que requiere mayor atención debido a los contaminantes identificados, permitiendo tomar medidas preventivas para aminorar los posibles riesgos a la salud de los trabajadores y el medio ambiente.

Como lo menciona Lasserre (2015), el reto para el profesional en LCA o ACV es desarrollar el modelo de manera tal que las simplificaciones y por tanto las incertidumbres no influyeran en gran medida el resultado. La mejor manera de lidiar con este problema es definir cuidadosamente una meta y el alcance del estudio del ACV antes de empezar.

De acuerdo a las cinco maneras en que se puede abordar un Análisis del Ciclo de Vida en relación a los límites de estudio de Murcia Castro & Rodríguez Velázquez, (2017), se desarrollará el estudio de la puerta a la tumba (Gate to Grave), que toma en cuenta el proceso incluyendo la gestión de los residuos que abarque el producto.

En la Figura 6, se muestra el esquema del ACV, como anteriormente se mencionó en el marco teórico, dentro del esquema se integran las normas ISO 14040, cada una de ellas

forman al Análisis del Ciclo de Vida, fortaleciendo cada una de sus etapas en el proceso de elaboración.

4.2.1 Etapa 1: Definición de meta y alcance

En esta etapa se establecen las razones y motivos por el cual se desarrolla el estudio, además de determinar la información que se espera obtener, como lo explica Lasserre (2015).

La metodología de ACV se aplicará a una microempresa cafetalera de la región, conocida como “Café del hogar”, en la cual se analizarán a detalle los procesos por los que pasa el grano de café hasta llegar a los puntos de venta, con el objetivo de evaluar el rendimiento ambiental y conocer los contaminantes que se generan durante el proceso.

Paso 1: Análisis del sistema

El primer paso para analizar el sistema es identificar claramente las entradas y salidas que tiene la microempresa, desde la materia prima, hasta otros insumos necesarios que se requieran para su elaboración, y no solo eso, es de suma importancia conocer y describir cada parte del proceso productivo al que se somete el producto.

Paso 2: Definir la meta

En cualquier estudio la meta debe de ser establecida de manera inequívoca, la aplicación pretendida, y las razones para realizar el estudio. Para definir la meta es necesario saber a qué audiencia se planea comunicar los resultados del estudio. Tomando en cuenta la norma ISO en los requerimientos particulares; La aplicación y las audiencias previstas deben ser descritas de manera clara y las razones para llevar a cabo el estudio deben ser representadas notoriamente.

Paso 3: Definir el alcance

El alcance de estudio permite describir las suposiciones y limitaciones como son las funciones del sistema a analizar, los límites del sistema, requerimientos de calidad de los datos. Para esto deben ser considerados los siguientes factores:

- La función del sistema a ser analizado.
- La unidad funcional en que se basará el estudio.
- Los límites del sistema.
- Los procedimientos de distribución adoptados.
- Requerimientos de calidad de los datos.
- Cualquier suposición hecha.
- Limitaciones del estudio.
- El tipo y formato de los reportes del estudio.

4.2.2 Etapa 2: Análisis de inventario

Indica Lasserre (2015), que el Análisis de Inventario es la etapa en la cual los datos son colectados y donde los cálculos se llevan a cabo para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema como un todo.

Una parte muy importante en el análisis de inventario es crear un diagrama de flujo de proceso donde se vea sumergido todo el proceso del tostado de café, conociendo aquellas emisiones sólidas, líquidas o gaseosas que se crean durante el proceso.

Paso 1: Recopilación de datos

En este paso se buscan y reúnen todos los datos y procedimientos que permitan cuantificar las entradas y salidas en el proceso.

Paso 2: Límites del sistema de refinación

Este paso comprende la adquisición de materia prima que son aquellas actividades requeridas para obtenerlas como el transporte, es decir, las entradas de energía, materiales y equipo necesario para adquirir cada materia prima.

Sistema de Producto. Son aquellos datos del subsistema que incluye todas las entradas de energía, materia o agua y las descargas ambientales que ocurren durante los procesos de manufactura requeridos para convertir la entrada de materias primas en materiales intermedios listos para fabricación.

Un inventario de las actividades de transporte del producto relacionadas a almacenes y usuarios finales puede ser simplificado usando estándares para la distancia promedio y el modo de transportación usado.

4.2.3 Etapa 3: Evaluación de impacto

Esta etapa permite evaluar los resultados de un sistema de Inventario del Ciclo de Vida con el objetivo de mejorar el entendimiento con respecto a su potencial de significancia ambiental (Aguilar Lasserre, 2015).

Paso 1: Selección de categorías de impacto

Se muestra un panorama general de la estructura de un método de evaluación de impacto. De acuerdo a ISO, la relevancia ambiental de cada indicador debe documentarse describiendo su relación con los puntos finales.

Se buscan aquellas categorías que afectan a las personas que estén en contacto con las emisiones.

Paso 2: Asignación de resultados del ACV (Clasificación)

En las clasificaciones de las categorías de impacto deben de asignarse los datos de entrada y salida del inventario a los impactos ambientales potenciales.

4.2.4 Etapa 4: Interpretación

Identificar, calificar, revisar y evaluar información de las conclusiones del análisis de inventario y/o evaluación de impacto de un sistema y la presenta con la finalidad de cumplir con los requerimientos de la aplicación como se describió en la meta y alcance de estudio.

5. MARCO OPERATIVO

5.1 Descripción del proceso de producción de la microempresa “Café del Hogar”

La empresa cuenta con la compra de café verde de altura, del cual le atribuye la calidad al café tostado, este es el primer paso para la fabricación del producto final que se ofrece al cliente. Después de recibir la materia prima es almacenada, se direcciona al área de almacén para posteriormente ser llevada al tostador (ver Figura 8), donde se tiene un tiempo de espera establecido de 1 hora con 10 minutos entre cada tostada. Al concluir el tiempo de tostado es vaciado a una tina que contiene aspas, éstas le proporcionan al café la liberación de calor para ser manejable.

Una vez que libera calor el café ya tostado, se vacía a otra tina más grande, donde requiere que libere una mayor parte de calor para esto es movido con una espátula en forma de tenedor. El trabajador realiza este movimiento en todo el café y le proporciona aire con un abanico convencional, para que le sea más fácil y rápido la disminución de temperatura en el café. En la Figura 8 y la Figura 9 se observa el proceso de tostado de café y el enfriamiento.



Figura 8. Tostado de café. Fuente: El autor, 2019.



Figura 9. Enfriamiento del café tostado. Fuente: El autor, 2019.

El siguiente paso en el proceso del café es la cribación. La cribación se realiza con la acción de llenar un tanque con café para vaciarlo hacia una criba, esto le permite al café liberar el tamo, es decir, la cáscara ligera que suelta. En seguida es pesado y embolsado, cabe mencionar que el proceso no termina en esta parte, si no que una cantidad de café tostado es

enviado al área de molido, donde se encuentran de dos a tres trabajadores empaquetando y sellando el producto final para ser enviado a los diferentes establecimientos con los que cuenta. En la Figura 10 y la Figura 11 se observa los pasos que anteriormente se mencionaron.



Figura 10. Cribación del Café. Fuente: El autor, 2019.



Figura 11. Embolsado y pesaje de café. Fuente: El autor, 2019

En la Figura 12 se aprecia el sistema de producción de café tostado en la microempresa “Café del Hogar” donde se describe la entrada, proceso y salida del producto, así como también sus características y herramientas.

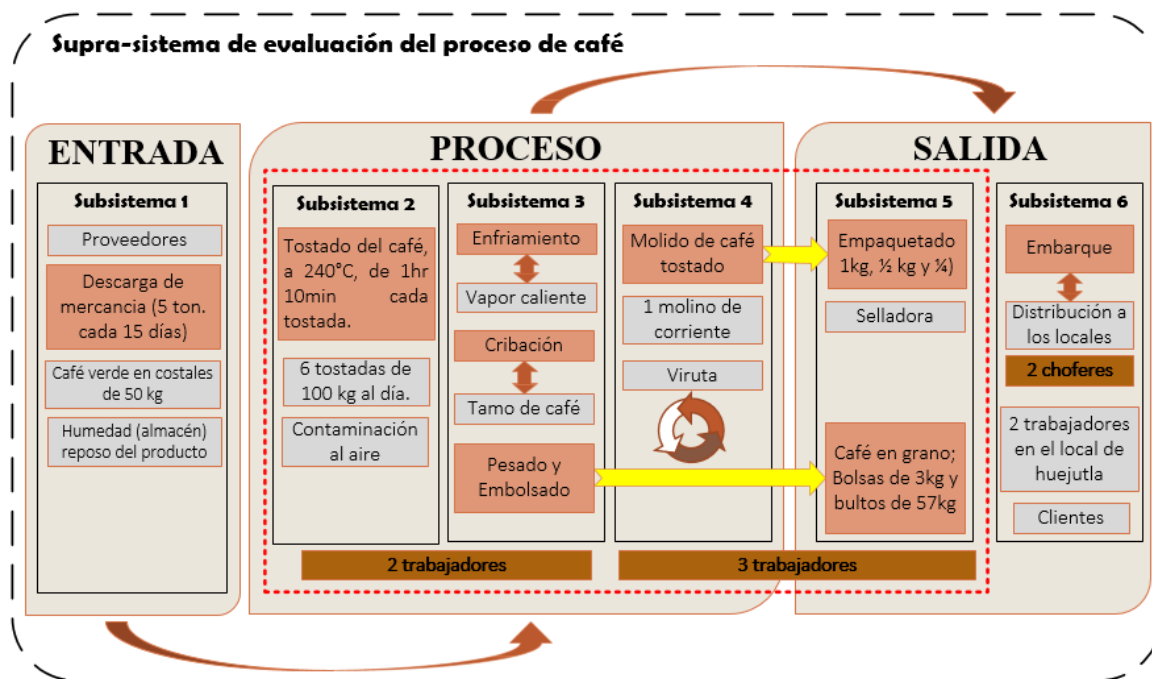


Figura 12. Sistema de Proceso de la microempresa. Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que en la figura anterior se demuestra a detalle el proceso del tostado de café artesanal que lleva a cabo la microempresa, como se describió anteriormente el proceso de transformación del café. De igual manera se especifica en cada subsistema las emisiones que generan en cada paso.

En la Tabla 2 se ilustra la producción que lleva a cabo semanalmente la microempresa y los diferentes puntos de distribución, así como la cantidad de café molido que es producido en cada día. Por lo general su mayor embolsado es en bultos de 54 hasta 57 kg de café tostado en grano, a comparación del café molido, esto se debe a que su mayor venta es en café de grano y el café molido se vende directamente al cliente. Actualmente genera una producción semanal de 2 toneladas y media con un total aproximado de 10 toneladas al mes en temporada baja, por el contrario, en temporadas altas (noviembre-marzo) registra una producción de 12 a 15 toneladas mensuales aproximadamente.

Tabla 2. Producción semanal de la microempresa.

Día	Producción (2 ½ a 4 toneladas semanal)	Café tostado en grano	Café Molido	Gastos	
Lunes	6 tostadas al día de 100 kg c/u, con duración de tostado de 1 hr 10 min a 240 °C	7 bultos de 56 kg c/u	392 kg	201 kg	Gas \$4,000 semanal
Martes		4 bultos de 54 kg c/u	216 kg	384 kg	Bolsa (Polipapel \$1,500 millar) (Celofán 12/26 \$ 170 millar, 10/15 \$150 millar) (Plástico \$48)
Miércoles		28 bolsas de 3 kg c/u	504 kg	96 kg	Luz \$3,500 bimestral
Jueves		28 bolsas de 3 kg c/u	504 kg	96 kg	7 trabajadores
Viernes		7 bultos de 57 kg c/u	399 kg	201 kg	Gasolina \$4,000 semanal
Sábado		Posibles 3 tostadas	Limpieza del tostador y del área de trabajo		Café verde \$ 45,000 mensual
Domingo		Día no laborado			

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior en relación a los gastos de la microempresa, se tiene una recurrencia promedio de \$ 45,000.00 pesos mensuales, los cuales corresponden a gas, productos de empaque y embalaje, luz, gasolina, materia prima y sueldo de trabajadores.

Cabe señalar que los días sábados se produce un total de 3 a 5 toneladas de café, considerando que esta producción se genera solo para completar con la demanda establecida, ya que si la demanda es obtenida en los días hábiles (lunes a viernes), el personal solo asiste para realizar limpieza en las áreas. Los domingos se contemplan no laborales para el personal de producción y solo laboran los distribuidores.

En la Figura 13, se muestra el Layout del área de tostado donde se ejerce la actividad principal y en la Figura 14 se especifica el área con las medidas de cada pieza necesaria para el proceso de producción del café, cabe mencionar que el lugar cuenta con medidas de 4 X 10 metros.

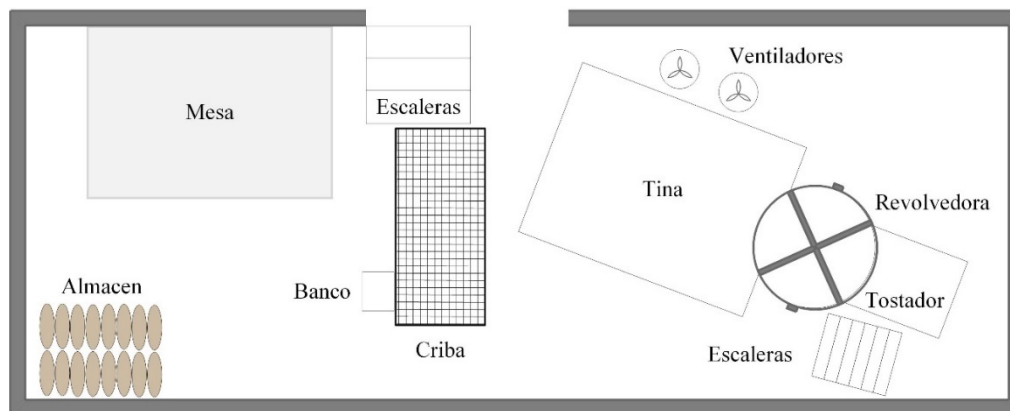


Figura 13. Layout del área de tostado. Fuente: Elaboración propia.

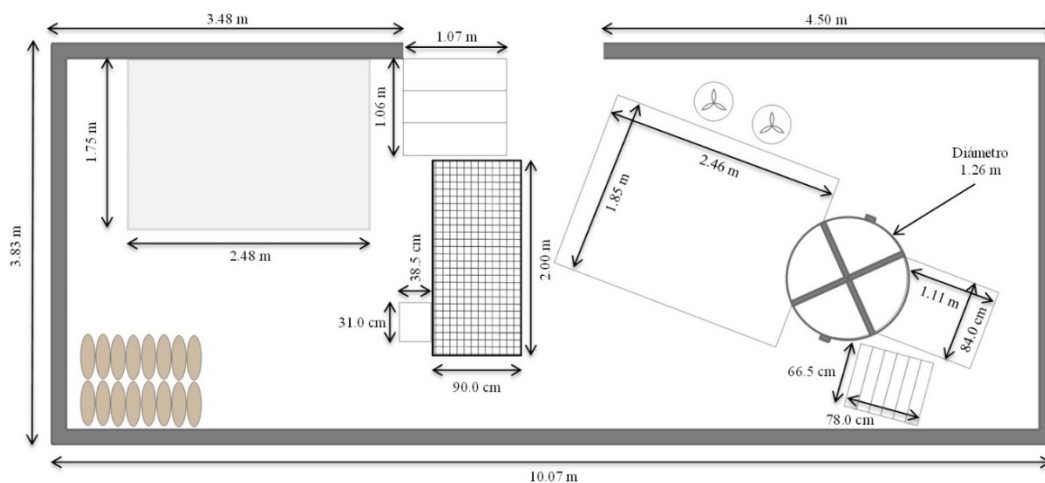


Figura 14. Layout con medidas correspondientes del área de tostado. Fuente: Elaboración propia.

5.2 Definir meta y alcance

Uno de los principales objetivos del ACV son: Propiciar una representación de las interrelaciones de una actividad con el medio ambiente tan completa como sea posible, contribuir al entendimiento de la interdependencia de las actividades humanas y su entorno, adoptar información de los agentes que toman las decisiones políticas o técnicas y por último ayudar a identificar oportunidades para mejorar el medio ambiente, y facilitar el diálogo constructivo entre los diferentes sectores de la sociedad involucrados en la calidad ambiental (López López, 2008).

Al concluir con la aplicación de la metodología del ACV se tiene que abordar el papel de importancia del cuidado del medio ambiente, en especial las micro, pequeñas o grandes empresas, se tomará que la microempresa “Café del Hogar” tenga el cuidado y calidad necesaria en su proceso de producción, con este desarrollo en una empresa cafetalera, observarán las demás empresas como se lleva el análisis y se reduce el impacto ambiental, esperando que las demás empresas puedan aplicarlo y sea primordial que cada una de ellas lo tengan implementado.

Las razones por las que se realiza la aplicación, es porque cada día se observa el avance en la contaminación al medio ambiente, lo que destruye y daña la salud de los habitantes del planeta tierra. Por otro lado, se ha observado en la microempresa que requiere del análisis y desarrollo del ACV, ya que en su proceso de producción se le presentan emisiones que afectan al medio ambiente, así como a sus trabajadores, es por ello que se identificarán y evaluarán los impactos ambientales asociados con la producción del “Café del Hogar” mediante esta metodología.

5.2.1 Función del sistema estudiado

El sistema que se está estudiando cumple la función de (desde el almacenamiento, transformación hasta su posterior distribución al cliente) producir café molido artesanalmente, con una capacidad del tostador de 100 kg.

5.2.2 Unidad funcional

La unidad funcional es la unidad de referencia en la cual se expresan, desde un punto de vista matemático, los datos de entrada y salida (Leiva, 2016). Se menciona que solamente se produce un producto en el sistema, dado que es una microempresa con la finalidad de satisfacer a sus clientes. La unidad funcional es 1 tonelada de café.

5.2.3 Sistemas estudiados

Después de haber definido el sistema y la unidad funcional, se especificarán las partes del sistema junto con las entradas de producto y las salidas de emisiones que genera en su proceso de producir café artesanal. En la Figura 15 se presenta el esquema de las etapas que conforma el proceso de café, desde que es recibido en el almacén, hasta obtener el producto final empaquetado.

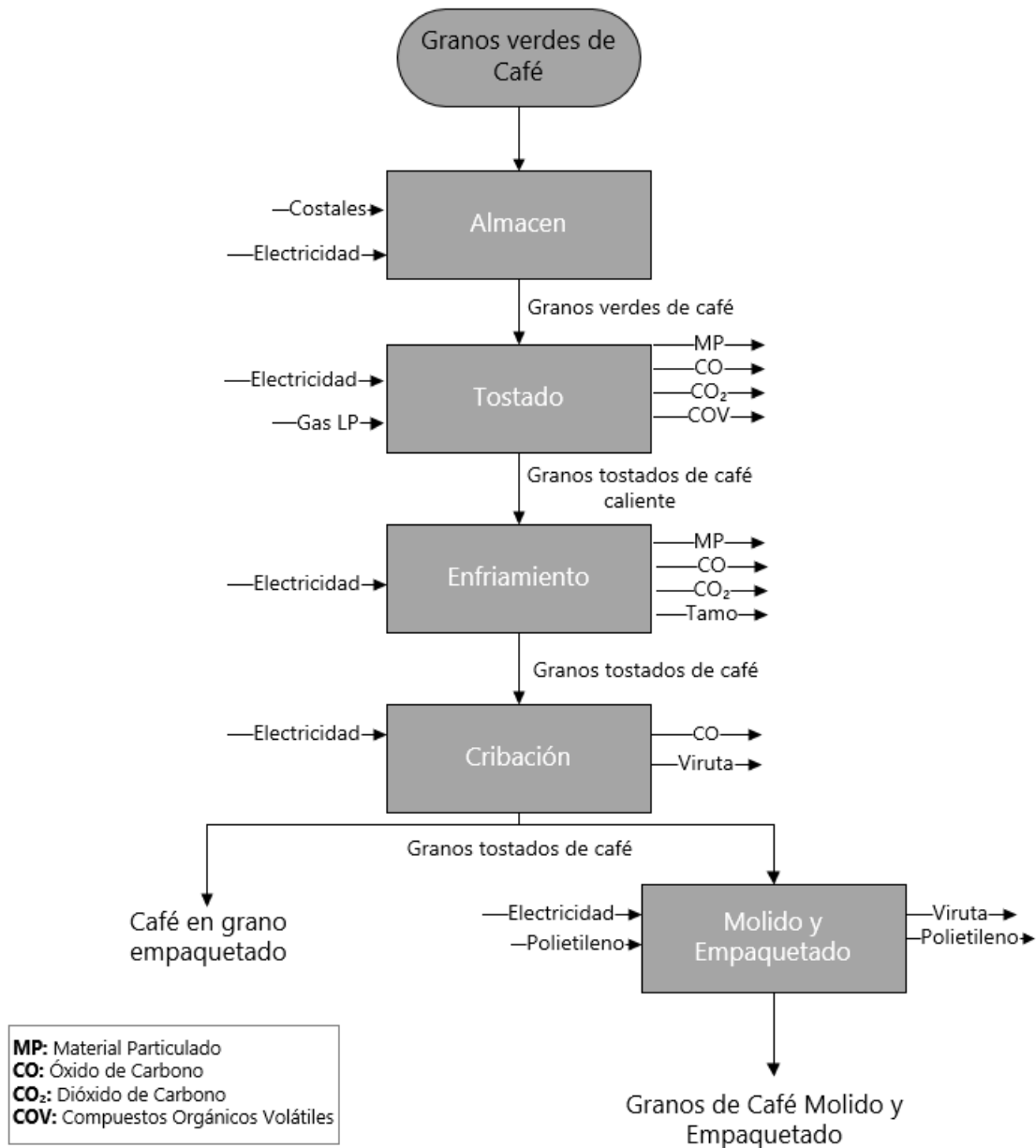


Figura 15. Diagrama esquemático de la producción y flujos de entradas/salidas de café artesanal.
Fuente: Elaboración propia

Este sistema describe las etapas de análisis en la transformación de café artesanal. Se incluye el tostado de café, enfriamiento que se realiza agregando aire natural con un abanico, lo que ocasiona una emisión de vapor caliente en el exterior, en la etapa de cribación se genera tamo (cáscara delgada que cubre el café tostado) que es almacenado en el área, en la etapa de molido se obtiene una viruta que es más delgada que el tamo, pero esta es propensa a ser inhalada, llegando al final con el empaquetado y distribución de café.

5.3 Análisis de inventario

Esta fase consiste en la cuantificación de las entradas y salidas del sistema en estudio, en la que se incluye el uso de recursos (materias primas y energía), las emisiones a la atmósfera, los vertidos al suelo y aguas y la generación de residuos (Leiva, 2016). Los datos obtenidos en esta fase son el punto de partida para la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida. Siguiendo las etapas del ciclo de vida del proceso, las cuales corresponden a las etapas de tostado de café, enfriamiento, cribación y molido, se identifican y cuantifican las entradas y salidas del sistema.

5.3.1 Análisis de inventario del sistema tostado de café

El grado de tostación está basado en las preferencias de los consumidores y está correlacionado con el desarrollo de los aromas. Generalmente es definido por la variación de peso del café y el color del mismo (Riaño Luna).

La acción de la temperatura tiene los siguientes efectos:

- Cambios Físicos. Hacia los 100 ° C el color verde de los granos comienza a variar a amarillo, hacia los 130 ° C el grano adquiere un tinte castaño que se acentúa poco a poco hasta colores más o menos oscuros, hacia los 180 ° C se comienza a producir el aroma, el cambio de color al marrón y la liberación de CO y CO₂; a mayor temperatura los granos se tornan más oscuros, se genera una mayor cantidad de gases, los granos comienzan a crepitar (sonidos atribuidos a la ruptura celular) y comienza a hacerse notorio un exudado brillante, a los 270 ° C los granos se tornan negros y se desmenuzan fácilmente.
- Cambios químicos. La pirolisis genera varias reacciones químicas como: oxidación, reducción, hidrolisis, polimerización y descarboxilación.

En el sistema del tostado de café está definido por el tiempo de tueste que se le aplica para cada tipo de café, en la microempresa se aplica un tiempo de 1hr con 10 minutos entre cada tostada que corresponde a 100 kg de la capacidad del tostador convencional, este a su vez necesita de gas LP de 1776 litros por mes, ver la Tabla 3, al momento que alcanza una

temperatura de 180 ° C se despiden el aroma de café, generando la liberación de CO₂ al ambiente.

Tabla 3. Especificaciones para el tostado de café en la microempresa “Café del Hogar”.

TOSTADO DE CAFÉ		
Descripción	Cantidad	Unidades
Duración de tostado	1hr 10min	600 – 1,000 kg
Gas LP	1,776	Lt/mes
Emisión (CO ₂)	2 %	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Análisis de inventario del sistema de enfriamiento y cribación

En una etapa siguiente y para concluir con la torrefacción se debe realizar un enfriamiento; operación que tiene como finalidad interrumpir las reacciones de Pirolisis y demás que están ocurriendo dentro del grano de café y así evitar que estos entren en ignición y rápidamente se carbonicen. Este enfriamiento generalmente es efectuado de dos maneras: haciendo circular aire frío, o dejando los granos sobre una bandeja provista de un agitador y un soplador que suministra aire hasta el momento en el cual estos alcanzan la temperatura ambiente; y la otra forma de enfriar es asperjando agua a presión en finas gotas directamente sobre los granos esta técnica es conocida como “quenching” o apagado (Riaño Luna).

Esta etapa del sistema se lleva a cabo de manera tradicional, utilizando abanicos o ventiladores como se muestra en la Figura 9, con el fin de enfriar el café para ser manipulado y embolsado. Para el análisis de inventario en la etapa de cribación se registraron datos donde se especifican las cantidades de café verde que entra para ser tostado a altas temperaturas, se consideró el valor resultante después de dicha transformación del café, como se ilustra en la Tabla 4 con más detalle, semanalmente se registraron los datos para observar la pérdida de humedad del café una vez que fue tostado para posteriormente cribarlo, al momento de realizar esta acción el café pierde una pequeña capa de su envoltura (después de salir del tostador), se considera como basura, tamo

(nombre por el cual es llamado por los trabajadores) o cascarilla como lo menciona la Figura 2. Composición del fruto de café.

Tabla 4. Producción de café en temporada baja.

Temporada Baja	Entrada Almacén		LUNES kg	MARTES kg	MIÉRCOLES kg	JUEVES kg	VIERNES kg	SÁBADO kg
	<i>Producción (tostado) del día anterior</i>		368.57	142.37	110.07	148.13	74.46	42.46
	Café Verde	E	1200	1200	1200	1200	1200	400
	Café Tostado (Torrefacción)	S	1360	917	945	912	1105	310
	Pérdida de humedad	kg (-)	197.70	133.30	137.37	132.57	160.627	45.063
		S	1002.30	1066.70	1062.63	1067.43	1039.37	354.94
	Cribación (Basura)	E	1002.30	1066.70	1062.63	1067.43	1039.37	354.94
		kg (-)	10.88	7.33	7.56	7.29	8.84	2.48
<i>Producto Tostado Final</i>		1360	1202	1165	1208	1105	395	

Fuente: Elaboración propia.

En el estudio para definir el inventario de cribación hasta obtener el producto final tostado se determinó que fuera por temporadas Alta y Baja respectivamente para tener una base de datos mejor fundamentada con respecto a la basura que se genera, así como la salida total de café tostado.

Tabla 5. Producción de café en temporada alta.

Temporada Alta	Entrada Almacén		LUNES kg	MARTES kg	MIÉRCOLES kg	JUEVES kg	VIERNES kg	SÁBADO kg
	<i>Producción (tostado) del día anterior</i>		454.56	230.99	300.45	264.83	308.49	428.76
	Café Verde	E	1200	1200	1400	1600	1300	900
	Café Tostado (Torrefacción)	S	1580	1366.5	1050	1275	1536	450
	Pérdida de humedad	kg (-)	63.80	55.18	42.40	51.48	62.022	18.171
		S	1136.20	1144.82	1357.60	1548.52	1237.98	881.83
	Cribación (Basura)	E	1136.20	1144.82	1357.60	1548.52	1237.98	881.83
		kg (-)	10.77	9.31	7.15	8.69	10.47	3.07
<i>Producto Tostado Final</i>		1580	1366.50	1651	1805	1536	1308	

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Análisis de energía eléctrica del proceso

Ahora bien, en la Tabla 6 se describen los equipos utilizados en el proceso de tostado de café. Como se observar se cuenta con 1 tostador de 3 motores convencionales, de los cuales se utilizan para extraer el aire del tostador, extraer el aire del almacén y dar movimiento y rotación de la tina. También con 1 molino con una capacidad de 50 kg y 6 focos en todo el establecimiento.

Tabla 6. Parámetros operativos de la maquinaria.

Parámetros operativos de la maquinaria				
Equipo		Especificaciones		Capacidad (kg)
Tostador	Motor 1 (rotación del tostador y mov. De la tina)	Trifásico de 330V	4 HP	100
	Motor 2 (Extractor de aire del tostador)	Monofásico de 127V	0.373 kW/h 10 A	
	Motor 3 (Extractor del aire de almacén)	Monofásico de 115/230V	0.746 kW/h 1.5 CP	
Molino		Monofásico de 220V	3.73 kW/h 25.3 A	50
Focos		6 focos de 80W y 3 de 40W		...
Ventiladores		2 ventiladores de 650 W		

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el consumo de energía eléctrica se utilizaron los criterios de la norma ISO 50001 (2011) sobre la gestión de la energía, así como la información proporcionada por la empresa. Para el cálculo de los Amperios para cada maquinaria se utilizaron las fórmulas eléctricas para una energía monofásica y trifásica proporcionadas por Cime (2018).

ENERGÍA		
	Monofásica*	Trifásica*
KW	$\frac{V \times I \times FP}{1000}$	$\frac{1.732 \times V \times I \times FP}{1000}$
KVA	$\frac{V \times I}{1000}$	$\frac{1.732 \times V \times I}{1000}$
Caballos de fuerza (hp) requeridos cuando se conocen los KW	$\frac{KW}{0.746 \times \text{Eficiencia (generador)}}$	$\frac{KW}{0.746 \times \text{Eficiencia (generador)}}$
KW cuando se conoce hp del motor	$\frac{HP \times 0.746}{\text{Eficiencia (motor)}}$	$\frac{HP \times 0.746}{\text{Eficiencia (motor)}}$
Amperes cuando se conoce HP	$\frac{HP \times 746}{V \times FP \times \text{Eficiencia}}$	$\frac{HP \times 746}{1.732 \times V \times FP \times \text{Eficiencia}}$
Amperes cuando se conoce KW	$\frac{KW \times 1000}{V \times FP}$	$\frac{KW \times 1000}{1.732 \times V \times FP}$
Amperes cuando se conoce KVA	$\frac{KVA \times 1000}{V}$	$\frac{KVA \times 1000}{1.732 \times V}$

V= volts
I= corriente/Amperes
FP= factor potencia
HP= caballos de fuerza

*Corriente alterna

Figura 16. Fórmulas eléctricas y unidades de medición. Fuente: Cime, 2018.

Para los valores de consumo de energía se calcularon de acuerdo a las fórmulas del departamento de energía de los EU (U.S. DOE, 2020). Es necesario mencionar que la energía eléctrica que es utilizada en el proceso proviene directamente del servicio público de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

$$\text{Potencia} = \text{Voltaje} * \text{Amperios}$$

$$\text{Consumo de energía} = \frac{\text{Potencia} * \text{Horas uso}}{1000}$$

Las estimaciones del consumo de energía se muestran en la Tabla 7, como el total de consumo por etapa del proceso de café en la Tabla 8.

Tabla 7. Valores del consumo de energía respecto a la potencia.

Maquinaria del Proceso		Amperios (A)	Potencia	Consumo
Tostador	Motor 1	5.221	1722.864	12.060
	Motor 2		1270	10.16
	Motor 3	4.325	497.333	3.979
Molino			5566	33.396
Focos	40 W		5080	40.64
	80 W		10160	81.28
Ventiladores	650 W		165100	1320.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Consumo de energía eléctrica total por etapa del proceso del café.

Consumo de energía eléctrica por etapa	
Etapa	Consumo de energía (kWh/UF)
Tostado	1428.279
Molido	74.036

Fuente: Elaboración propia.

5.3.4 Análisis de la distribución y transporte

En este caso de análisis de transporte se diseñó la red logística de distribución de la microempresa, para obtener la distancia entre los clientes que tiene que recorrer los repartidores, logrando medir con los datos el consumo de gasolina y el kilometraje (Figura 17). La red logística comprende todas las actividades y recursos asociados con el flujo y la transformación de bienes y servicios desde el estado de materia prima (extracción) hasta el usuario final. También comprende los flujos asociados de información y de dinero. El sentido de esos flujos es hacia y desde el Cliente Final (Carro y González, 2014).

Posteriormente con el análisis de GEI se obtienen los datos de emisiones de gases de efecto invernadero que genera la microempresa durante su distribución de café a las diferentes localidades y establecimientos que ya tiene definidos. (Ver Figura 18).

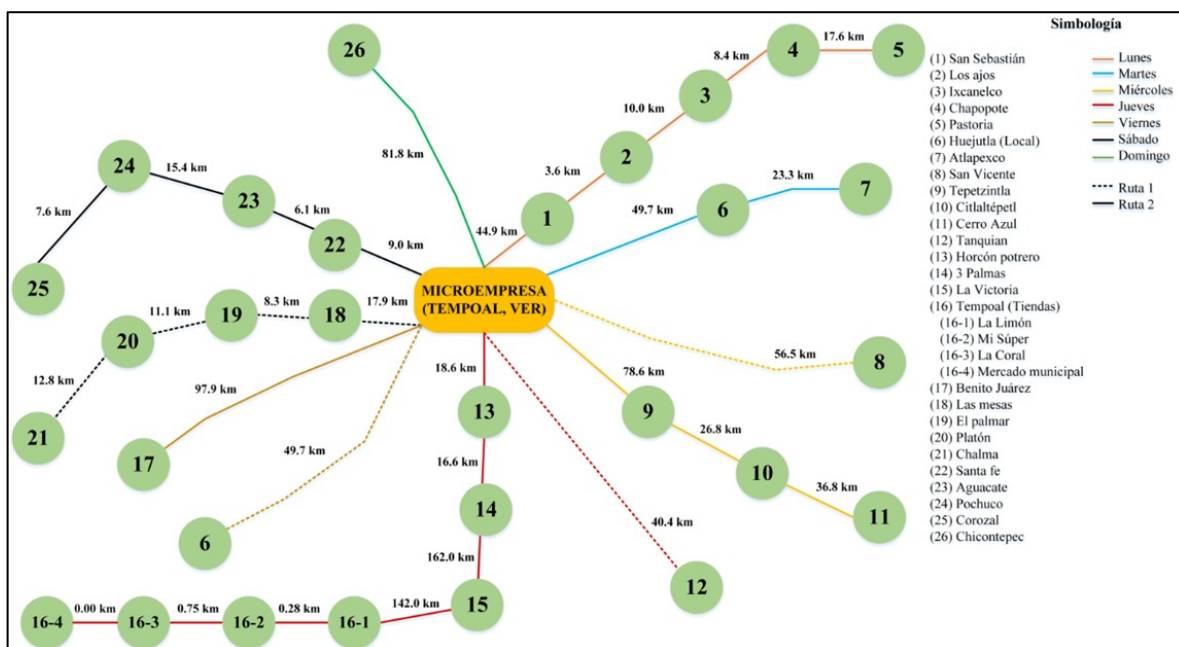


Figura 17. Red logística de distribución de la microempresa “Café del Hogar”. Fuente: Elaboración propia.

Es necesario mencionar que el Protocolo de GEI establece marcos globales estandarizados integrales para medir y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las operaciones del sector público y privado, las cadenas de valor y las acciones de mitigación. GHG Protocol proporciona las normas de contabilidad de gases de efecto invernadero más utilizadas en el mundo. El Estándar de Informes y Contabilidad Corporativa proporciona la plataforma de contabilidad para prácticamente todos los programas corporativos de informes de GEI del mundo (GreenHouse Gas Potocol, 2020).

Se utiliza la herramienta de cálculo que lleva por nombre Emisiones de GEI del transporte o fuentes móviles.

Activity Data

The default emission factors are sourced from the US EPA Climate Leaders program or from the UK DEFRA (for air travel only).

Status	Source Description	Region	Mode of Transport	Scope	Type of Activity Data	Vehicle Type (For air transport, see footnote)
	Ruta del día Lunes	Other	Road	Scope 1	Fuel Use	Other
	Ruta del día Martes	Other	Road	Scope 1	Fuel Use	Construction Equipment - Gasoline
	Ruta del Día Miércoles	Other	Road	Scope 1	Fuel Use	Construction Equipment - Gasoline
	Ruta del Día Jueves	Other	Road	Scope 1	Fuel Use	Construction Equipment - Gasoline
	Ruta del día Viernes	Other	Road	Scope 1	Fuel Use	Construction Equipment - Gasoline
	Ruta del Día Sábado	Other	Road	Scope 1	Fuel Use	Construction Equipment - Gasoline
	Ruta del Día Domingo	Other	Road	Scope 1	Fuel Use	Construction Equipment - Gasoline

Figura 18. Descripción de las fuentes y tipo de actividad que se realiza. Fuente: GreenHouse Gas Protocol, 2020.

Activity Data				
Vehicle Type (For air transport, see footnote)	Distance Travelled	Total Weight of Freight	# of Passenger	Units of Measurement
Other	155	135		2 Kilometer
Construction Equipment - Gasoline	145.5	855		2 Kilometer
Construction Equipment - Gasoline	391.1	275		2 Kilometer
Construction Equipment - Gasoline	423.73	590		2 Kilometer
Construction Equipment - Gasoline	295.2	450		2 Kilometer
Construction Equipment - Gasoline	154.2	600		2 Kilometer
Construction Equipment - Gasoline	163.6	150		2 Kilometer

Figura 19. Distancias y tipo de vehículo con su kilometraje. Fuente: GreenHouse Gas Protocol 2020.

GHG Emissions				
Fossil Fuel CO2 (metric tonnes)	CH4 (kilograms)	N2O (kilograms)	Total GHG Emissions, exclude Biofuel CO2 (metric tonnes CO2e)	Biofuel CO2 Emissions (metric tonnes)
0.063			0.063	0
0.067			0.067	0
0.048			0.048	0
0.026			0.026	0
0.024			0.024	0

Figura 20. Emisiones de GHG por día de distribución. Fuente: GreenHouse Gas Protocol, 2020.

Al finalizar, los datos que se agregaron a la hoja de trabajo proporcionada por GreenHouse Gas Potocol (2020), se obtienen los resultados de las emisiones totales de gases de efecto invernadero por la combustión del transporte que maneja la microempresa para entregar su producto al cliente final, observe la Figura 21.

Mode of Transport	Scope	Fossil Fuel Emissions			Biofuel CO2 Emission (metric tonnes)
		Fossil Fuel CO2 (metric tonnes)	CH4 (kilograms)	N2O (kilograms)	
Road	Scope 1	0.273	0	0	0
	Scope 3	0	0	0	
Rail	Scope 1	0	0	0	0
	Scope 3	0	0	0	
Water	Scope 1	0	0	0	0
	Scope 3	0	0	0	
AirCraft	Scope 1	0	0	0	0
	Scope 3	0	0	0	
Total Emissions		0.273	0	0	0
Total GHG Emission (metric tonnes CO2e)		0.273			

Figura 21. Emisiones totales de efecto invernadero. Fuente: GreenHouse Gas Protocol, 2020.

5.3.5 Análisis de emisiones y gases nocivos con un sistema de medición sensorial

Para este análisis se necesitaron sensores con la programación para Arduino, para tener datos más relevantes y acertados sobre las emisiones de gases, polvo, entre otros, que se emiten durante la jornada de trabajo en el tostado de café. Los sensores que se requirieron fueron los siguientes:

- **Temperatura y humedad**, modelo **DHT11**.

Este sensor es capaz de realizar mediciones de temperatura y humedad relativa. El sensor posee una interfaz serial propietaria, que solo requiere de un pin para comunicarse con un microcontrolador (Factory, 2018).

Estos sensores están compuestos en dos partes, un sensor de humedad capacitivo y un termistor, también constan de un circuito integrado básico en el interior que hace la conversión de analógico a digital y este envía una señal digital con la temperatura y la humedad.

Lectura de humedad con un +/- 5 % de precisión, capaz de medir humedad de 20 % a 80 %, lectura de temperatura con un +/- 2 ° C de precisión, capaz de medir temperatura de 0 a 50 ° C.

- **Gas**, modelo **MQ2**.

Se utilizan en equipos de detección de fugas de gas en la industria, son adecuados para detectar de GLP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno, humo (Electronics, 2020).

- **Ruido**, modelo **KY-038**.

El módulo AR-SOUND es un sensor analógico y/o digital de sonido (KY-038), diseñado para proyectos y circuitos elaborados con Arduino. Cuenta con un micrófono de condensador omnidireccional de alta sensibilidad, que permite detectar con precisión hasta sonidos de muy baja intensidad (JOY-IT, 2017).

- **Polvo**, modelo Sharp **GP2Y1010AU0F**.

Este sensor de polvo es el dispositivo para detectar polvo, humo de cigarrillos, etc. y está diseñado como un sensor para el funcionamiento automático de aplicaciones como purificador de aire y aire acondicionado con función de purificador de aire (SHARP, 2018). La unidad de medida que maneja es en mg/m^3 .

- **CO y gases, modelo MQ135.**

Se utilizan en equipos de control de calidad del aire para edificios/oficinas, son adecuados para detectar NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo, CO₂, etc. (Electronics, 2020).

- **CO₂ infrarrojo, modelo MH-Z19B NDIR**

El módulo de gas infrarrojo MH-Z19B es un sensor de tamaño pequeño de tipo común que utiliza infrarrojos no dispersivos (NDIR), para detectar la existencia de CO₂ en el aire, con buena selectividad, no dependiente de oxígeno y de larga vida. Compensación de temperatura incorporada; y tiene salida UART y salida PWM. Es desarrollado por la estrecha integración de tecnología madura de detección de gas absorbente de infrarrojos, diseño de circuito óptico de precisión y diseño de circuito superior. Cuenta con dos rangos de medición desde 0~2000 ppm y de 0~5000 ppm (Zhengzhou Wnsen Electronics Technology Co., 2016).

En la Figura 22 se muestra el diagrama de funcionamiento en el Arduino, de la manera en que está formado con los sensores, el reloj y la tarjeta micro SSD de almacenamiento.

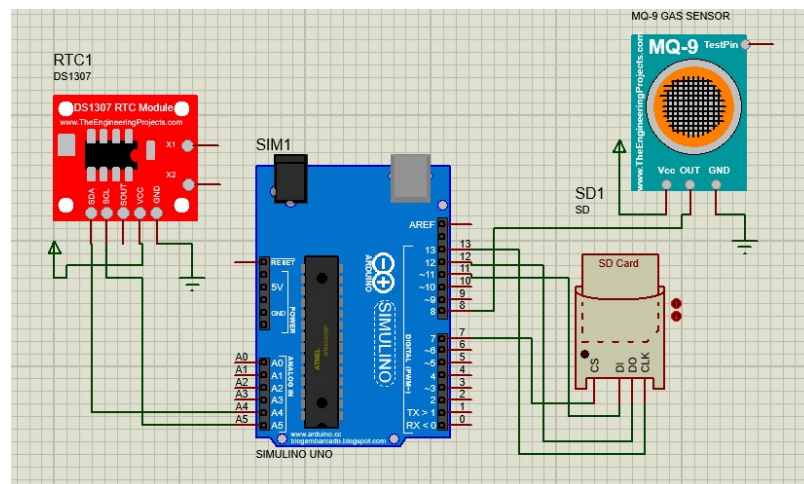
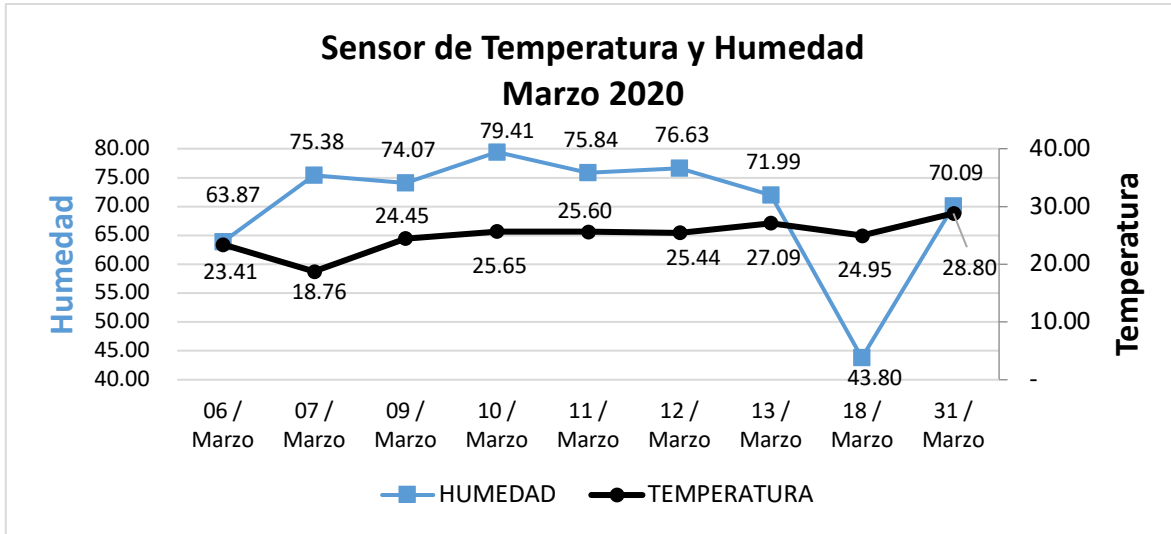
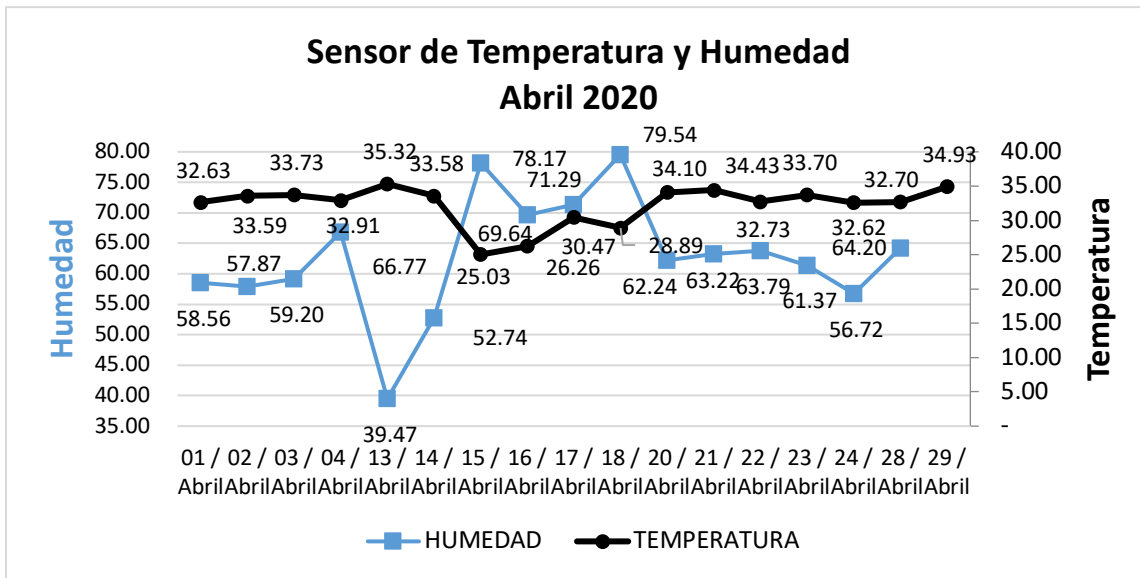


Figura 22. Diagrama de funcionamiento de los sensores con el programa PROTEUS. Fuente: Elaboración propia.

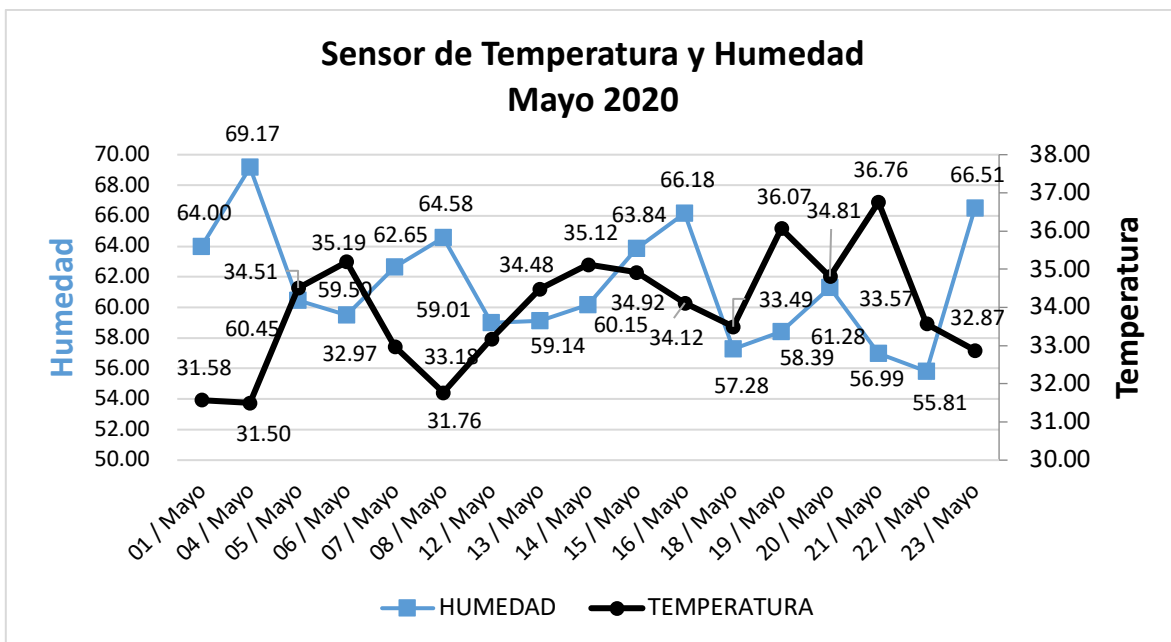
Se realizó un censo en el área de trabajo del tostado de café desde el mes de Marzo 2020 hasta el mes de Mayo 2020, para medir los parámetros y condiciones a los que están expuestos los trabajadores, el censo se efectúa con una frecuencia de intervalo de 5 minutos. En las gráficas siguientes se muestran los datos promedio de cada mes.



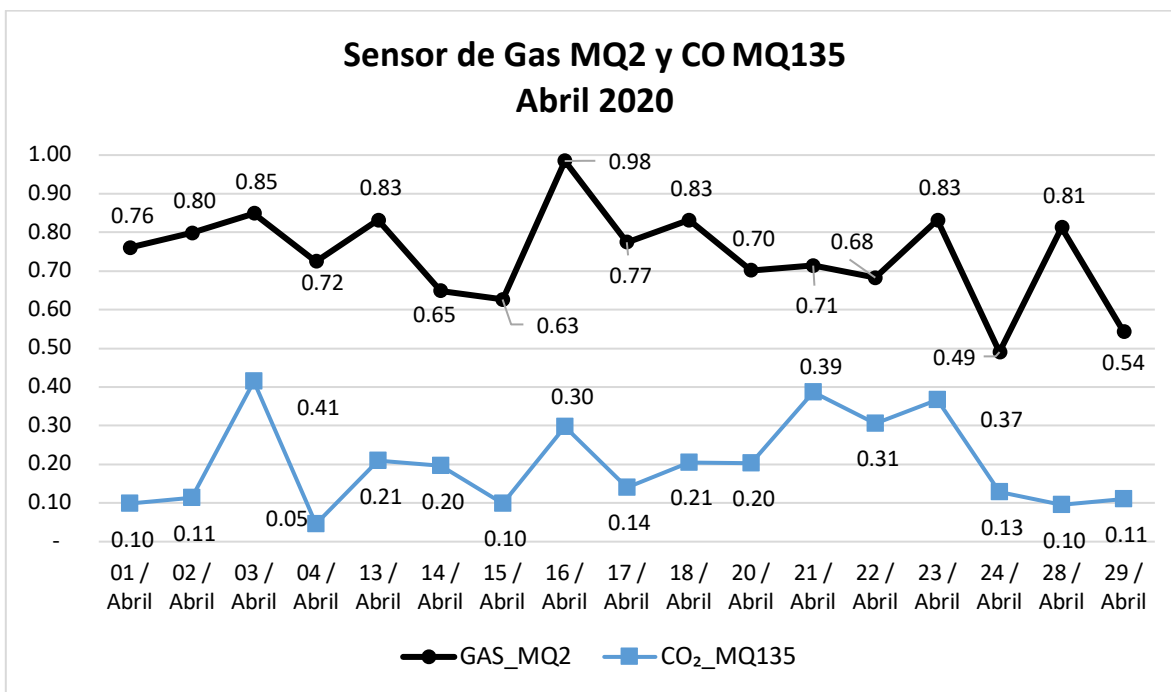
Gráfica 1. Censo de temperatura y humedad del mes de Marzo 2020. Fuente: Elaboración propia.



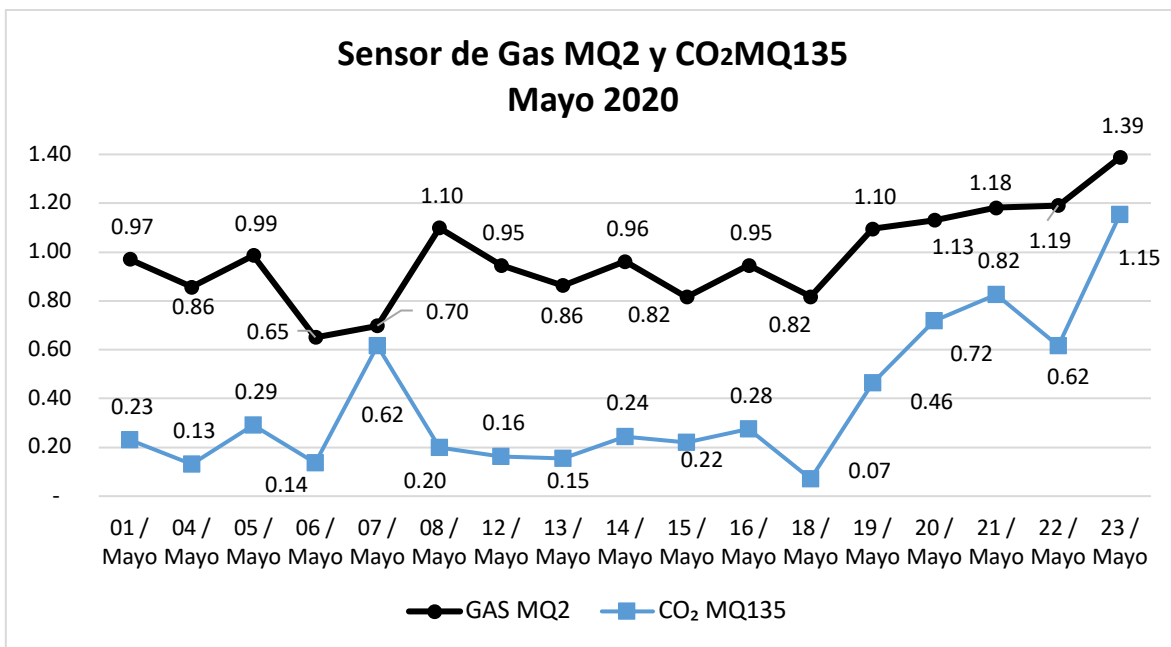
Gráfica 2. Censo de temperatura y humedad del mes de Abril 2020. Fuente: Elaboración propia.



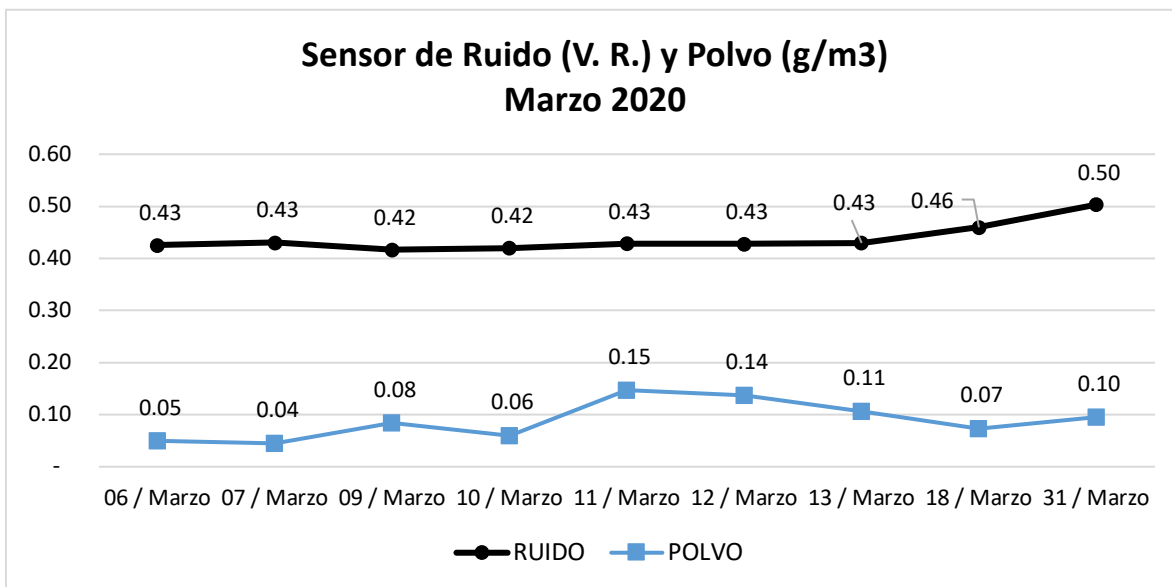
Gráfica 3. Censo de temperatura y humedad del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.



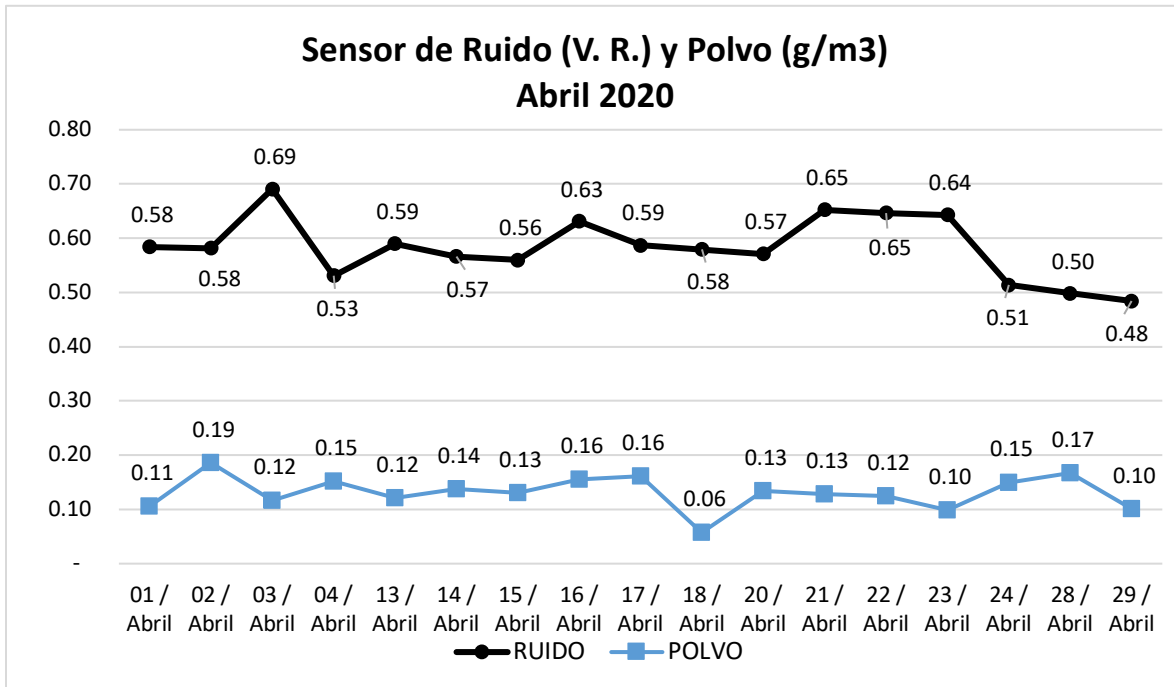
Gráfica 4. Censo del gas MQ2 y MQ135 del mes de Abril 2020. Fuente: Elaboración propia.



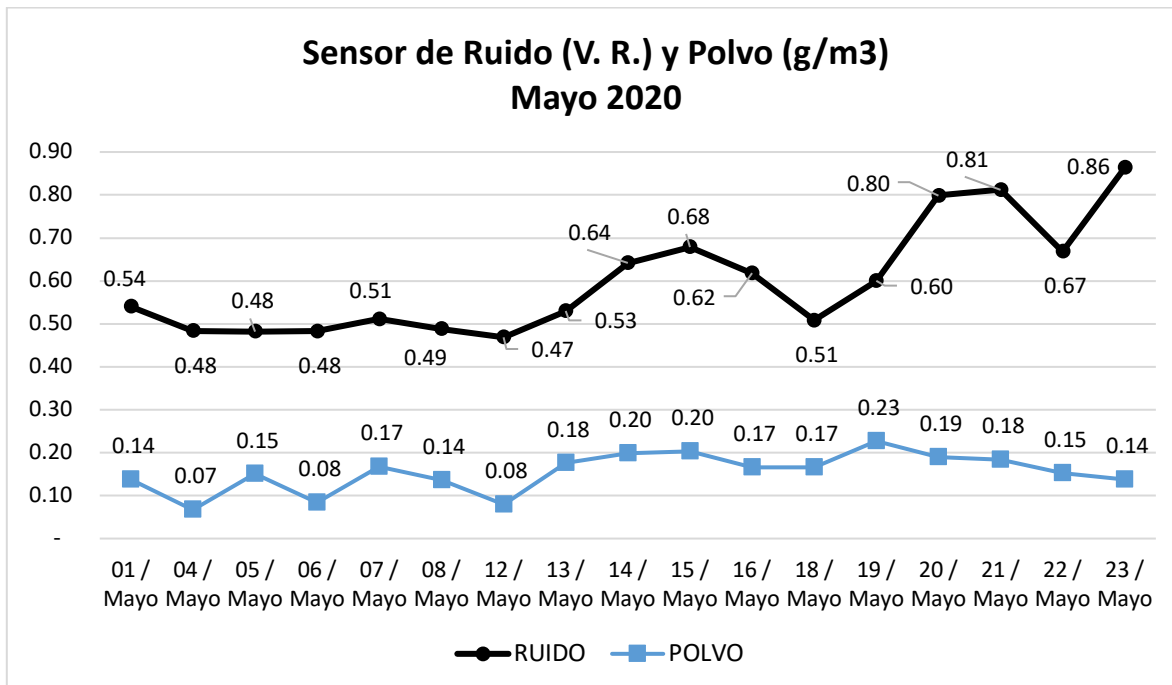
Gráfica 5. Censo de gas MQ2 y MQ135 del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6. Censo de polvo y ruido del mes de Marzo 2020. Fuente: Elaboración propia.

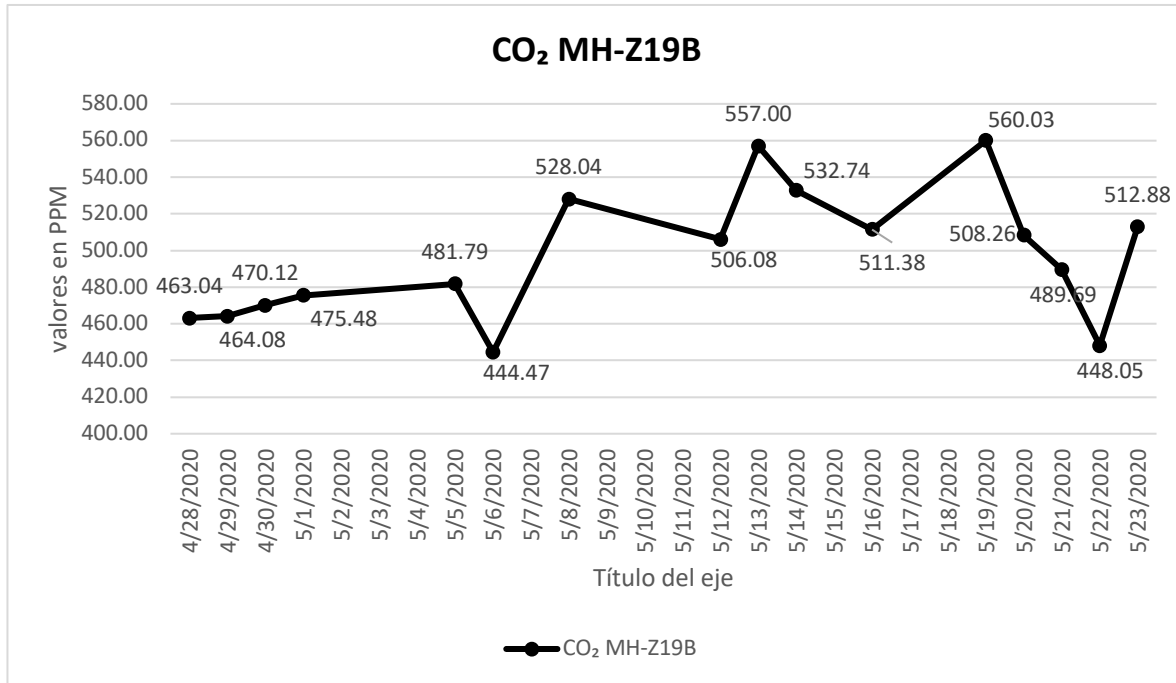


Gráfica 7. Censo de polvo y ruido del mes de Abril 2020. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 8. Censo de polvo y ruido del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.

Los censos que se manejaron para el sensor de dióxido de carbono, se realizaron solo en el mes de Mayo, estos valores están representados en la Gráfica 9 respectivamente, donde se observa los índices altos y bajos de CO₂ en ppm del área de tostado, donde existe mayor exposición a estos gases.



Gráfica 9. Censo de dióxido de carbono con el sensor MH-Z19B del mes de Mayo 2020. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El Análisis del Ciclo de Vida del proceso de café en la microempresa “Café del Hogar” reveló las emisiones que genera el sistema de proceso desde el tostado de café hasta su distribución, mediante el balanceo de materia en el área de tostado. Se obtuvo que, de las 1.200 toneladas que entran al proceso, tiende a perder el 16 % de humedad y desde 10 hasta 11 kg de basura (tamo o cascarilla) por unidad funcional en dos días, es decir que a la semana se genera 22.500 kg de basura que no tienen un destino adecuado, ya que es enviado a un lugar sobre la tierra.

En el estudio con los sensores mostraron niveles moderados en cuanto a la temperatura a la que están expuestos los trabajadores durante la jornada de trabajo, en promedio se detectaron temperaturas de hasta 34 ° C como máximas de 36 ° C, la NOM-015 STPS-2001 dice que la exposición máxima diaria a temperaturas menores de 34 ° C el trabajador debe estar sujeto a periodos continuos máximos de 30 minutos y después de cada exposición se debe tener un tiempo de no exposición al menos 8 veces mayor que el tiempo de exposición.

De acuerdo con los estándares nacionales de calidad del aire ambiental (NAAQS) el indicador de contaminación de CO debe cumplir con los 9 ppm en un promedio de 8 horas (Mihelcic & Zimmerman, Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño., 2011), el cual para la microempresa de tostado de café si lo cumple. Los valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas como lo marca la NOM-025-SSA-2014 cumple con el límite de 24 horas en un promedio aritmético menor o igual que 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para las PM10, de las cuáles si cumple con lo establecido.

RECOMENDACIONES

Se espera que en un futuro la microempresa cuente con mejores condiciones en su área de trabajo, empezando por cuidar mejor de la salud de sus trabajadores, protegiéndolos de las partículas y las emisiones de gases, aunque sean mínimas, ya que con el tiempo puede afectar su salud. También es recomendable que cambie el tostador de café, ya que tiene muchos años de servicio y no representa un activo para la microempresa, debido a que no tiene el mismo rendimiento.

En adelante, se espera que en el área de tostado existan al menos de dos o tres trabajadores para ejercer este sistema de producción, ya que actuamente la carga de trabajo la realiza un solo empleado, y de acuerdo con las especificaciones de la norma NOM 015-STPS-2001, en relación a las actividades realizadas en esa área debe haber más trabajadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Lasserre, D. (2015). Análisis del Ciclo de Vida. *Módulo 1. “ Conceptos y normas del análisis de ciclo de vida*, (pág. 221).
- AH, V., & Sutherland , J. (1994). *Café. Bebidas*. Boston: Springer.
doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2508-0_5
- Ambiente, I. S. (s.f.). *Análisis del Ciclo de Vida: Conceptos y Metodologías*. Obtenido de <http://www.ismedioambiente.com/programas-formativos/analisis-del-ciclo-de-vida-conceptos-y-metodologia>
- AMECAFE. (Febrero de 2012). *Plan Integral de promoción del café de México*.
- Cádenas Arévalo, J. E., & Vásquez López, J. R. (Noviembre de 2013). Análisis del ciclo de vida del procesamiento y distribución del café del beneficio ecológico en la finca Juancito y convencional en la finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras. 22. Zamorano, Honduras.
- Carro Paz Roberto, G. G. (2014). *Administración de las operaciones*. Nueva Librería.
- Cime. (2018). *Soluciones integrales para generación y ahorro de energía*. Obtenido de <http://www.cimepowersystems.com.mx/>
- Colombia, F. N. (2010). *Industrialización del café*. Obtenido de http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/industrializacion/
- Curbelo Martínez, M., Rodríguez Pérez, B., & Curbelo Martínez, D. (Diciembre de 2014). *Análisis de ciclo de vida del proceso de torrefacción de café*.
- Del Mar, F. (Enero de 2018). *SABORA Cafés tostados*. Obtenido de <https://cafesabora.com/es/%C2%BFc%C3%B3mo-es-el-proceso-del-tostado-artesanal-del-caf%C3%A9>
- Electronics, H. (2020). *Datos técnicos MQ2*. Obtenido de <http://www.datasheet.es/PDF/622943/MQ-2-pdf.html>

- Escamilla, L. M. (2017). *Programa Internacional del Café*. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, México. Recuperado el Marzo de 2019, de https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/09/Panorama_Internaciona_Caf%C3%A9_2017.pdf
- Factory, G. (Octubre de 2018). *Datasheet de DHT11 Sensor de temperatura y humedad relativa*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/download/hoja-de-datos-o-datasheet-de-dht11-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa/>
- FIRA. (2016). *Panorama Agroalimentario*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200636/Panorama_Agroalimentario_Caf_2016.pdf
- Food Mexico and me. (20 de Junio de 2016). *El proceso de fabricación del café, desde la semilla hasta tu taza*. Obtenido de <https://foodmexicoyyo.com/proceso-de-fabricacion-del-cafe/>
- GreenHouse Gas Potocol. (2020). *GHG Protocol*. Obtenido de <https://ghgprotocol.org/>
- Gurram, R., Al-Shannag, M., Knapp, S., Dass, T., Singsaas, E., & Alkasrawi, M. (2015). Technical possibilities of bioethanol production from coffee pulp: a renewable feedstock. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 269-278.
- Herández Sampieri, D., Fernández Collado, D., & Baptista Lucio, D. d. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta ed.). México D.F.: McGRAW-Hill.
- Humbert, S. e. (2009). Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso). *Elsevier Ltd*, 1-8. doi:10.1016/j.jclepro.2009.04.011
- Ibañez. (25 de Noviembre de 2012). *¿Qué emite más CO₂, gasolina o diésel?* Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/que-emite-mas-co-un-coche-de-gasolina-o-un-coche-diesel>
- ISO, S. C. (15 de Septiembre de 2015). *Norma Internacional ISO 14001*. Ginebra.
- Jiménez, E. R. (2014). *Café I (G. Coffea)*. *Reduca*, 132.

- JOY-IT. (junio de 2017). *KY-038 Microphone sound sensor module*. Obtenido de <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1402048/Joy-IT/KY-038/1>
- Lázaro, P. L. (2001). *El mercado del café en México*. D.F.: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas.
- Leiva, E. H. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. Obtenido de <https://www.eoi.es/es/file/66611/download?token=BTXaL249>
- Leiva, E. H. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. Creative commons.
- López López, V. M. (2008). *Sustentabilidad y Desarrollo Sustentable* (Primera ed.). México: Trillas.
- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2011). *Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. (Primera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2011). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, diseño*. (Primera ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- Munguia, N., Valera, A., Esquer, J., & Velazquez Contreras, L. E. (2017). Fostering corporate sustainability in the Mexican coffee industry. *PSU Research Review*, 51-62.
- Murcia Castro, A. C., & Rodriguez Velázquez, C. A. (Diciembre de 2017). EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. CASO DE ESTUDIO: BOGOTÁ. Bogotá.
- Phrommarat, B. (2018). Life Cycle Assessment of Ground Coffee and Comparison of Different Brewing Methods: A Case Study of Organic Arabica Coffee in Northern Thailand. *Environment and Natural Resources Journal* 2019, 96-108. doi:10.32526/enrj.17.2.2019.16
- Plattform, I. O. (2006). ISO 14040: 2006 Gestión Ambiental. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

- Riaño Luna, C. E. (s.f.). Tecnología del Café. *Curso de Tecnología del Café*, 19-237. Obtenido de http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/213956_2-9-1-13.pdf
- SHARP. (Enero de 2018). *Especificaciones de Sensor de polvo modelo GP2Y1010AU0F*.
- Soto, C. (2010). *Guía técnica para el beneficiado de café protegido bajo una indicación geográfica ó denominación de origen*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Guatemala.
- Torruella, J. (2014). *Cafés Balanzo: Empaquetado del café*. Obtenido de <http://cafesbalanzo.com/quienes-somos/elaboracion-de-cafe/envasado-y-empaquetado/>
- U.S. DOE. (2020). *Estimating Appliance and Home Electronic Energy Use*. Obtenido de <https://www.energy.gov/energysaver/save-electricity-and-fuel/appliances-and-electronics/estimating-appliance-and-home>
- Varela Sortillón, M. A. (Febrero de 2015). Análisis del ciclo de vida de los impactos ambientales: caso de estudio Caffenio. 53. Hermisillo, Sonora.
- Zhengzhou Wnsen Electronics Technology Co. (2016). *Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH-Z19B)*. Obtenido de www.winsen-sensor.com