



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Secretaría de Investigación y Posgrado

**Centro Interdisciplinario de Investigaciones y
Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo
(CIEMAD)**

**ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO Y
CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LA MASA
DE NIXTAMAL PRODUCIDA EN MOLINOS
UBICADOS EN LA ZMVM BAJO EL
MODELO GTG**

Tesis que presenta:

María Eugenia Sánchez Femat

Para obtener el grado de

***Maestría en Ciencias en Estudios
Ambientales y de la Sustentabilidad***

Director de tesis

Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez



Ciudad de México

2016



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 13:00 horas del día 11 del mes de octubre del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIEMAD para examinar la tesis titulada:

Análisis de la huella de carbono y contenido de nutrientes de la masa de nixtamal producida en molinos ubicados en la ZMVM bajo el modelo GTG.

Presentada por la alumna:

<u>SÁNCHEZ</u>	<u>FEMAT</u>	<u>MARÍA EUGENIA</u>							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
		Con registro: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">B</td> <td style="padding: 2px 5px;">1</td> <td style="padding: 2px 5px;">4</td> <td style="padding: 2px 5px;">1</td> <td style="padding: 2px 5px;">0</td> <td style="padding: 2px 5px;">4</td> <td style="padding: 2px 5px;">5</td> </tr> </table>	B	1	4	1	0	4	5
B	1	4	1	0	4	5			

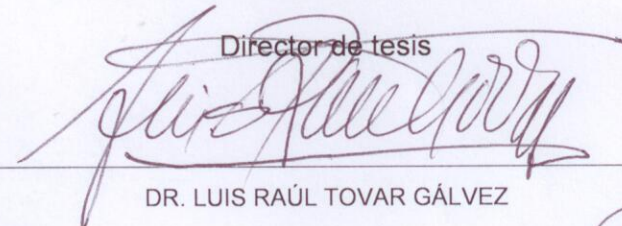
aspirante de:

Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

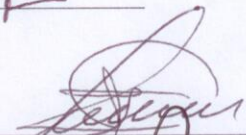
Director de tesis



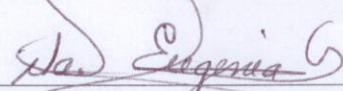
DR. LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ



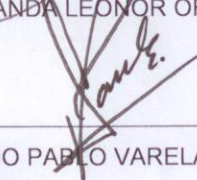
DRA. LUZ ARCELIA GARCÍA SERRANO



DRA. MARÍA YOLANDA LEONOR ORDAZ GUILLÉN



DRA. MARÍA EUGENIA GUTIÉRREZ CASTILLO



DR. LUCIANO PABLO VARELA CORONEL

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DR. VÍCTOR FLORENCIO SANTES HERNÁNDEZ





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 10 del mes de octubre del año 2016, la que suscribe **María Eugenia Sánchez Femat** alumna del Programa de **Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad**, con número de registro **B141045**, adscrita al **Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo**, manifiesto que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez** y cede los derechos del trabajo titulado **Análisis de la huella de carbono y contenido de nutrientes de la masa de nixtamal producida en molinos ubicados en la ZMVM bajo el modelo GTG**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones **esfemat@gmail.com** y **lrtovar@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



María Eugenia Sánchez Femat

CRÉDITOS

El trabajo de investigación que sustenta esta tesis de Maestría fue realizado en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, bajo la dirección del Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez, con el apoyo financiero de la Beca CONACYT Nacional del periodo agosto 2014 a julio 2016 y del proyecto de investigación del CIEMAD-IPN No. 20151544.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional, al Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo por darme la oportunidad de formarme profesionalmente y poder realizar esta investigación.

A mi familia por su apoyo incondicional, a mi papá por ser mi guía, heredarme su conocimiento y acompañarme en este camino al igual que mi querida mamá por su amor y paciencia, y a mi leal hermano por sus contribuciones.

Al Dr. Luis Raúl Tovar Gálvez por su admirable compromiso, dirección y experiencia.

A mi comité tutorial: Dra. Luz Arcelia García Serrano, Dra. María Yolanda Leonor Ordaz Guillén, Dr. Luciano Pablo Varela Coronel y la Dra. María Eugenia Gutiérrez Castillo por el tiempo invertido y sus valiosas aportaciones.

A los industriales de la masa y la tortilla por brindarme su apoyo, compartirme su conocimiento y permitir el acceso a sus establecimientos.

Maestra Claudia y al Ing. Evanivaldo por su colaboración y enseñanza.

A mis estimados compañeros maestría: Ana, Carla, Daniel, Paty, Gaby, Karen, Sara, Yes, Lina, Carmen, Magda, Mercedes, Navi, Julia, Brenda Francisco, Mario y Jesús.

A todas las personas que colaboraron directa e indirectamente en el desarrollo de esta investigación.

Agradezco a la SECITI el apoyo al proyecto de la convocatoria 2016: Manejo integral de residuos urbanos para la obtención de biocombustibles y otros productos de valor agregado en el marco del programa "Programa basura cero" de la Ciudad de México que fue presentado por el CMPL y el CIEMAD ambos del IPN.

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
I.1 HUELLA DE CARBONO DEL PRODUCTO	8
I.1.1 Antecedentes	8
I.1.2 Definición de la HC del producto	14
I.1.2.1 Ciclo de vida del producto	15
I.1.3 Utilidad de la HC del producto	18
I.2 ORIGEN DEL MAÍZ	22
I.3 PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN	26
I.3.2 Industria de la molienda de nixtamal	33
I.3.1.1 Competencia directa de la Industria de la molienda de nixtamal	37
II. JUSTIFICACIÓN	41
III. MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	45
3.2 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA MASA DE NIXTAMAL	50
3.2.1 HC y evaluación de la tecnología	53
3.2.1 HC y costos de operación	58
3.3 CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES: CALCIO, HIERRO Y ZINC	59
3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD	61
3.5 PRUEBA DE GERMINACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1 HUELLA DE CARBONO	63
HIPÓTESIS 2	68
Valoración de la tecnología	68
HIPÓTESIS 3	72
4.2 CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES: CALCIO, HIERRO Y ZINC	75
HIPÓTESIS 1	78
4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD	80
4.4 PRUEBA DE GERMINACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ	81

V. CONCLUSIONES83

VI. RECOMENDACIONES:.....85

VII. REFERENCIAS87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencial de calentamiento mundial directo.	14
Tabla 2. Estudios relevantes del cálculo de la HC de la industria alimentaria.	21
Tabla 3. Evolución de la política pública en la producción de tortillas.	29
Tabla 4. Normatividad mexicana referente a la industria del nixtamal, publicada en el DOF.	35
Tabla 5. Evidencia de tecnologías desarrolladas para la industria de la molienda de nixtamal.	36
Tabla 6. Estudios sobre el contenido de Ca, Fe y Zinc en tortillas con diversas características.	39
Tabla 7. Principales Entidades Federativas proveedores de maíz de la ZMVM.	43
Tabla 8. Principales países proveedores de maíz de la ZMVM.	43
Tabla 9. Distribución de los molinos visitados.	46
Tabla 10. Factores de emisión de CO ₂ e.	53
Tabla 11. Tarifas eléctricas promedio año 2015, zona centro.	58
Tabla 12. Datos obtenidos del consumo promedio mensual de combustible.	65
Tabla 13. Datos obtenidos del consumo promedio mensual de energía eléctrica.	66
Tabla 14. HC promedio de una tonelada de masa de nixtamal.	66
Tabla 15. Valores obtenidos en la valoración por puntos.	69
Tabla 16. Costo promedio 2015 de producción por tonelada de masa de nixtamal.	73
Tabla 17. Contenido promedio de Ca, Fe y Zn en masa de nixtamal y harinas.	75
Tabla 18. Pruebas estadísticas aplicadas.	76
Tabla 19. Resultados de la prueba de Tukey.	77
Tabla 20. Contenido de humedad del grano de maíz, del nixtamal y de la masa.	81
Tabla 21. Resultados del crecimiento de la radícula del grano de maíz germinado.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concentraciones de GEI en la atmósfera a nivel mundial.	10
Figura 2. Modelos del análisis del ciclo de vida de la cadena maíz-tortilla.	17
Figura 3. Teocintle colectado en el Cerro de la Estrella, Ciudad de México.	22
Figura 4. Dios del maíz encontrado en Mayapán, Yucatán CONACULTA-INAH.	23
Figura 5. Estructura del grano de maíz.	28
Figura 6. Comportamiento del consumo <i>per capita</i> y el precio de tortillas ZMVM.	32
Figura 7. Fotografías del proceso de nixtamalización.	33
Figura 8. Proceso de nixtamalización.	34
Figura 9. Proceso de producción de la harina de maíz nixtamalizado.	38
Figura 10. Cuatro fases de la evaluación del análisis de ciclo de vida del producto.	42
Figura 11. Distribución de molinos de nixtamal en la ZMVM.	45
Figura 12. Fotografías de algunos molinos visitados.	47
Figura 13. Distribución de los molinos visitados.	47
Figura 14. Metodología utilizada, tomando como unidad experimental los molinos estudiados.	49
Figura 15. Metodología de la HC de la masa de nixtamal.	50
Figura 16. Modelos GTG (análisis de ciclo de vida).	52
Figura 17. Fotografías del proceso de producción en los distintos molinos.	52
Figura 18. Valoración por puntos de tecnología de los molinos de nixtamal.	54
Figura 19. Componentes del banco de molienda para el proceso de nixtamalización.	55
Figura 20. Piedras de molienda.	56
Figura 21. Banco de molienda.	56
Figura 22. Componentes de la caldera para el proceso de nixtamalización.	57
Figura 23. Costo promedio anual del gas LP en la Ciudad de México.	58
Figura 24. Fotografías tomadas durante la experimentación.	60
Figura 25. Fotografías de la termobalanza y muestras.	61
Figura 26. Fotografías de las semillas secas y germinadas.	62
Figura 27. Diagrama de flujo de molino de nixtamal.	64
Figura 28. HC promedio de una tonelada de masa de nixtamal.	67
Figura 29. Comparación de la HC y la evaluación de tecnología de cada molino.	69
Figura 30. Instalaciones de los molinos más eficientes.	70
Figura 31. Instalaciones de molinos con mayor HC.	71
Figura 32. Costos variables para la producción de masa de nixtamal.	73
Figura 33. HC y costo de la masa de nixtamal de cada molino.	74
Figura 34. Contenido de Ca, Fe y Zn de la masa de nixtamal proveniente de cada molino.	77
Figura 35. HC y contenido de Ca de la masa de nixtamal por molino.	78
Figura 36. HC y contenido de Fe de la masa de nixtamal por molino.	79
Figura 37. HC y contenido de Zn de la masa de nixtamal por molino.	79
Figura 38. Agua utilizada en el procesamiento de maíz.	80
Figura 39. Tamaño de la radícula y cantidad de semillas de maíz germinadas.	82

ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

btu	British Thermal Unit (cantidad de energía) 1 btu=0.2519957611 kcal
Ca	Calcio
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente
Fe	Hierro
GEI	Gases de efecto invernadero
GTG	Modelo Gate to Gate (de la puerta a la puerta)
HC	Huella de carbono
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kWh	Kilo Watt hora
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
O ₃	Ozono
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
RENE	Registro Nacional de Emisiones
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
t	Tonelada
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
Zn	Zinc

RESUMEN

La tortilla de maíz es uno de los alimentos básicos en México; su alta demanda en el territorio, ha generado desde hace décadas la integración de la Industria Molinera de nixtamal, principalmente en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que aproximadamente cuenta con el 22% de los negocios de este ramo a nivel nacional. Para su elaboración se requiere procesar el maíz a través de la nixtamalización, herencia de las culturas mesoamericanas.

La nixtamalización es un proceso que requiere la mezcla de ingredientes específicos (grano de maíz seco, cal y agua), y la aplicación de energía (combustibles para calentar el agua y energía para la molienda); todo ello con la finalidad de que el maíz absorba parte del agua y la cal (cocción alcalina), para que después el nixtamal sea molido e hidratado nuevamente, y se produzca la masa para la elaboración de tortillas. La industria ha adoptado este proceso para satisfacer la demanda de sus consumidores; no obstante, el impacto ambiental está presente, por la generación de residuos (principalmente nejayote), y emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), que se pueden cuantificar con la herramienta: huella de carbono (HC); la cual permite evaluar la cadena de suministro de un producto y conocer sus puntos críticos.

En esta investigación se visitaron diez molinos de nixtamal distribuidos en la ZMVM, con la información y muestras recabadas se determinó y analizó la HC y el contenido de los nutrientes Ca, Fe y Zn de la masa de nixtamal, con base en la norma ISO:14067:2013 y se aplicó el modelo Gate to Gate; se obtuvo como resultado 43.38 kg de CO₂ equivalente por tonelada de masa de nixtamal procesada, y se correlacionó con la calidad nutricional de dicho producto mediante el contenido de Ca, Fe y Zn, se probó estadísticamente que no existe relación entre dichas variables. Asimismo, se realizó una evaluación por puntos de la tecnología e instalaciones implementadas en cada uno de los molinos, con el objetivo de conocer su impacto en la HC de la masa de nixtamal, se aplicó la prueba de Spearman y los resultados fueron $P < 0.05$, con un coeficiente de correlación de -0.842. Finalmente, otra de las aportaciones fue probar si la HC del producto estudiado tiene relación con los costos de operación, lo cual se aceptó con los siguientes resultados $R^2 = 0.77$, $P < 0.001$ y $F = 26.841$.

Palabras clave: nixtamal, huella de carbono (HC), Gases Efecto Invernadero (GEI).

ABSTRACT

The corn tortilla is one of the staple foods in Mexico and it is considered an essential part of the Mexican diet. Its high demand in the territory has generated for decades the integration of the Nixtamal Milling Industry, mainly in Mexico City, where approximately 22 % of the businesses have been established. The tortilla production requires a modification of the maize, by a process known as nixtamalización, which is considered an inheritance of the Mesoamerican cultures.

Nixtamalization is a process that requires the mix of certain ingredients (dry maize grain, lime and water) and the use of energy (fuels for heating water and electricity for milling the nixtamal); all this done with the intention of getting the maize to absorb the water and lime thru alkaline processing; after which the nixtamal can be grinded and rehydrated to produce the dough to make tortillas. The industry has adopted this process to meet consumer demand; however, the environmental impact is always present due to the waste production (mainly nejayote) and the Greenhouse Gas (GHG) emissions which can be measured with the carbon footprint (CFP) tool and allows the evaluation of a product supply chain in terms of its impact towards climate change and identify the principal trouble spots as well.

Ten nixtamal mills around Mexico City were visited for this research and with the information and samples collected, we calculated and analysed the Carbon Foot Print (CFP) effect and were also able to determine the Ca, Fe and Zn nutrients of the nixtamal dough based on ISO: 14067: 2013 using the Gate to Gate model. The obtained results were 43.38 kg CO₂e per ton of processed nixtamal dough, in correlation with the nutritional quality of the product by the content of Ca, Fe and Zn, statistically proved that there is no relationship between these variables. Likewise, another evaluation was made to grade each mill on their facilities and main implemented technological points to assess the carbon footprint impact on the nixtamal dough. For this appraisal the Spearman test was used and the results were $P < 0.05$ with a correlation coefficient of -0.879. Lastly, another important contribution of this research was to prove if the carbon footprint of the studied item had a direct impact to its production costs and concluded the following $R^2 = 0.809$, $P < 0.001$ y $F = 33.791$.

Keywords: Nixtamal, carbon footprint (CFP) and greenhouse gases (GEI)

I. INTRODUCCIÓN

I.1 HUELLA DE CARBONO DEL PRODUCTO

I.1.1 Antecedentes

El modelo de desarrollo industrial que se manifiesta desde el siglo XVIII, nos ha llevado a consumir irracionalmente y abusar de los recursos que nos ofrece la naturaleza; las actividades productivas y las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera han ido incrementando, dichas emisiones son mayores en comparación con el efecto invernadero que se manifiesta en forma natural, lo que ha generado un calentamiento adicional de la superficie y la atmósfera de la Tierra que afecta directamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad. Un claro ejemplo son los resultados de estudios realizados por el Intergovernmental Panel on Climate Change (2014), ellos argumentan que de 1970 al 2000 las emisiones antropogénicas anuales de GEI aumentaron alrededor de 1.3 % sin embargo, después de esa fecha en tan sólo 10 años han aumentado 2.2 % anual tomando como base el año 2000, lo que en promedio equivale a 1.0 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente en el mismo periodo.

Se dice que el cambio climático no afecta únicamente al ambiente sino también a la sociedad que depende de él, no obstante, puede ser retomado como una oportunidad para renovar las formas de producción y consumo, con la finalidad de garantizar un futuro sustentable y al mismo tiempo economías más competitivas.

El Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono firmado en 1985, fue justificado por las investigaciones que reportaron daños en la capa de Ozono y sirvieron como un exhorto a los países, se derivó de la declaración de Naciones Unidas sobre el medio humano que menciona que las naciones son libres de explotar sus recursos, pero con la condición de no perjudicar al resto de los territorios.

En ese tenor en 1988, se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (en inglés Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban los resultados de sus investigaciones (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). En él se afirmaba que existía un sobrecalentamiento atmosférico de la Tierra por tal

motivo se pedía a la comunidad internacional tomar medidas para evitar dicho impacto. Las conclusiones del IPCC alentaron a algunos gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que hasta 1992 tuvo lugar mediante la famosa Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en Brasil, en donde se generó la Declaración de Río que contiene 27 principios universalmente aplicables con el objetivo de servir como guía en las acciones internacionales basándose en la responsabilidad ambiental y económica.

Cinco años más tarde, en 1997 se firmó el Protocolo de Kioto, que estuvo en vigor hasta el 16 de febrero de 2005, el protocolo es un acuerdo internacional que se enfocó en el problema del cambio climático mediante la reducción de los principales GEI con el objetivo de estabilizar las concentraciones atmosféricas de los mismos a un nivel que impida interferencias peligrosas en el sistema climático.

A continuación, se enlistan los seis principales GEI establecidos por el protocolo de Kioto (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008):

1. Dióxido de carbono (CO₂)
2. Metano (CH₄)
3. Óxido nitroso (N₂O)
4. Hidrofluorocarbonos (HFC)
5. Perfluorocarbonos (PFC)
6. Hexafluoruro de azufre (SF₆)
- Agua (H₂O) y Ozono (O₃)¹

El IPCC cuenta con el respaldo de diversas instituciones, entre ellas el Earth System Research Laboratory que también afirma que las concentraciones de GEI han ido en aumento, dicha aseveración la justifican con la información obtenida de mediciones de partes por millón, billón o trillón (dependiendo), de las concentraciones en la atmósfera en distintas partes del mundo, como se observa en la Figura 1.

¹ La norma HO14067:2013 Huella de Carbono publicada por International Organization for Standardization (ISO, 2013:13) menciona que “el Agua (H₂O) y el Ozono (O₃) son antropogénicos, pero no están incluidos como GEI reconocidos debido a dificultades para aislar el componente de inducción humana del calentamiento global atribuible a su presencia en la atmósfera”.

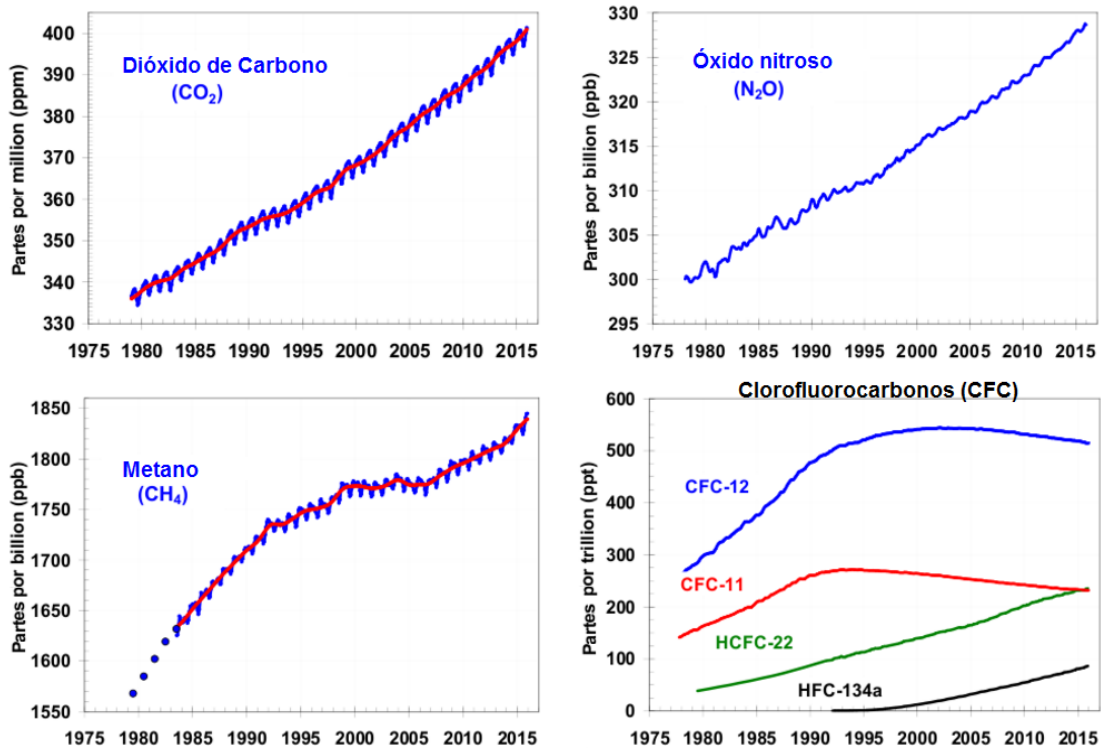


Figura 1. Concentraciones de GEI en la atmósfera a nivel mundial.

Fuente: Modificado de Earth System Research Laboratory www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (2005) determinaron que los clorofluorocarbonos (CFC), halones e Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) contribuyen al agotamiento del ozono y al cambio climático, mientras que los HFC y los PFC contribuyen solamente al cambio climático y se cuentan entre las sustancias no perjudiciales para el ozono.

Posteriormente en el año 1998 fue lanzado el Protocolo GEI creado por una alianza multipartita de 170 empresas internacionales; con la misión de desarrollar estándares para que las empresas pudiesen inventariar sus emisiones de GEI, calcular su huella de carbono y elaborar informes voluntarios (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2005). El protocolo de Kioto fue un parteaguas para que diversos sectores de la sociedad dirigieran sus esfuerzos no sólo a favor del desarrollo económico, sino también tomando en cuenta la protección del Medio Ambiente.

Es importante mencionar que la principal diferencia entre la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo es, que mientras que la primera estimula a

los países industrializados a estabilizar sus emisiones de GEI, el Protocolo los compromete a hacerlo.

Dentro del Protocolo de Kioto (ONU, 1998) México está considerado como un país en vías de desarrollo, por esa razón México no tiene la obligación de asumir los compromisos establecidos para los países desarrollados sin embargo, en su artículo 12 menciona un punto que se considera relevante que son los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) en los cuales establece que los países desarrollados deberán apoyar la realización de proyectos que reduzcan emisiones de GEI en países menos favorecidos, a cambio de Reducciones Certificadas de Emisiones (uno de los tres tipos de bonos de carbono).

En México la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente LGEEPA (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2015) expone en el artículo 109 BIS que el gobierno debe integrar un registro de emisiones y transferencia de contaminantes (RETC) al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos de su competencia, así como de aquellas sustancias que determine la autoridad correspondiente. La información del registro se integrará con los datos y documentos en materia ambiental que se tramiten ante la SEMARNAT, o autoridad competente. Este tipo de instrumentos ya eran aplicados en otros países, sus homólogos en América del Norte son: el TRI (Toxics Release Inventory) en Estados Unidos y el National Pollutant Release Inventory (NPRI) en Canadá.

Otro mecanismo que el gobierno ha implementado, específicamente para la prevención y el control de la contaminación del aire, es el Registro Nacional de Emisiones (RENE) que se integra con la información relativa a las Emisiones, Directas e Indirectas de GEI generadas por los Establecimientos Sujetos a Reporte, establecido en el artículo 10 del Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del RENE (DOF, 2014).

Lo anterior emanó de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) reformada en mayo 2015 de observancia en todo el territorio nacional; en el artículo 2° menciona que uno de los objetos de esta ley es regular las emisiones de GEI considerando lo previsto por el artículo 2° de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma.

Por esto mismo en México se creó el Programa GEI para dar cumplimiento a los compromisos que le atañen al país, es un programa nacional voluntario de contabilidad y reporte de GEI y

promoción de proyectos de reducción de emisiones GEI. El programa se enfocó inicialmente a desarrollar capacidad técnica para la cuantificación de emisiones de GEI. La SEMARNAT (2010) menciona que conociendo las fuentes de emisión y estimando las emisiones de GEI, es posible identificar las áreas de oportunidad para desarrollar proyectos que mejoren los consumos energéticos y por ende, logren reducir las emisiones de GEI. Se considera que el programa GEI es un primer acercamiento del gobierno mexicano para el cumplimiento de los MDL, pero al realizar un análisis del mismo se detectan deficiencias; desafortunadamente no hay información en la sección “Evolución del Programa”, en su página web, únicamente se encontró el registro de empresas que participaron en el año 2012. Por lo tanto, se considera que es un programa elaborado con información obsoleta, sin trazabilidad y seguimiento, además se detectan limitantes en cuanto a la cuantificación de las emisiones de GEI que se presentan a través de un reporte anual generado por las mismas empresas y no es evaluado por otra institución para verificar o certificar su validez. En ese sentido se recomienda implementar una herramienta actualizada, eficaz y estandarizada para medir las emisiones de GEI, como la huella de carbono, con la finalidad de cumplir con las políticas internacionales a favor del desarrollo sustentable del país.

La SEMARNAT (2014) generó un documento titulado “Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de GEI”, en el cual describe la metodología para generar el inventario de emisiones de GEI, que sirve como base para esta investigación, ya que después de tener el inventario de GEI se procede a realizar la conversión a CO₂ equivalente para el cálculo de la huella de carbono.

Uno de los esfuerzos actuales más destacados en este ámbito fue la COP21 en 2015, también conocida como la Conferencia sobre el Clima de París 2015, con la finalidad de lograr un acuerdo vinculante y universal sobre el clima, para no rebasar el calentamiento global (proyectado) de 2°C producido principalmente por los países desarrollados, conforme a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Este evento estuvo lleno de expectativas debido a que se esperaba concretar negociaciones sólidas entre todos los países interesados, cabe señalar que se caracterizó por la amplia participación de patrocinadores como compañías de la industria energética, automotriz, aeronáutica y de alimentos por mencionar algunos. Finalmente se generó un documento titulado “Aprobación del Acuerdo de París. Propuesta del Presidente” (2015) dicho documento expone objetivos,

medidas preventivas e incentivos para disminuir el impacto antropogénico en el cambio climático, en conclusión, propone nuevamente que las naciones se enfoquen y propicien la reducción de sus emisiones de GEI.

De la misma manera otras organizaciones han manifestado su preocupación, algunos de los escritos más comentados fueron “Clean Power Plan” y el “Laudato Sí”. El primero un plan emitido por el gobierno de Estados Unidos que establece normas y planes para reducir las emisiones de CO₂; y el Laudato Sí (Francisco, 2015) pronunciado por la iglesia católica en el cual acepta las investigaciones científicas sobre los fenómenos del cambio climático y los problemas sociales que trae consigo, y un punto importante es que retoma las ideas presentadas previamente por Naciones Unidas como que el clima es un bien común del cual todos somos responsables y debemos fortalecer.

La contextualización anterior estaría incompleta si se omite el concepto de desarrollo sustentable descrito en el Informe Brundtland (ONU, 1987), que ha tenido como objetivo satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer las propias; procura alcanzar un equilibrio entre tres dimensiones: ambiental, social y económica (Vanclay, 2004).

Una de las opciones con bastante aceptación en el sector académico e industrial para medir el desarrollo sustentable ha sido la Huella de Carbono (HC) (Hoesly et al. 2012). Sanyé-Mengual et al. (2014) manifiestan que la aplicación de la HC tiene el respaldo internacional en la investigación para la cuantificación de las cargas ambientales de los productos. Lo que permite que la HC no sea exclusivamente una herramienta para que las industrias disminuyan sus emisiones de GEI; también puede ser utilizada en el ámbito de la investigación, y en los últimos años se han publicado diversos estudios de HC, dado que sus características permiten obtener datos objetivos con un enfoque holístico.

I.1.2 Definición de la HC del producto

La HC se define como una medida de la cantidad total de las emisiones de GEI generados directa o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto, y se expresa como dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) (Carbon Trust, 2012).

En el Reino Unido se desarrolló el PAS 2050 por BSI Standards Solutions, el cual es un estándar que calcula la HC de los productos. Particularmente definida como la cantidad de emisiones de GEI, en lugar de la cantidad de emisiones de CO₂. Pero ello no se opone a la primera definición porque el dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) es la unidad de medida que compara la fuerza de radiación de un GEI con la del CO₂ (International Organization for Standardization [ISO], 2013). Las emisiones de CO_{2e} se calculan multiplicando las emisiones de cada uno de los seis GEI en sus 100 años de potencial de calentamiento global (Carbon Trust, 2012). La LGCC (2016) indica que el potencial de calentamiento global (PCG) es una medida relativa que compara un GEI con el dióxido de carbono como el gas de referencia, durante un período de 100 (el más común), 20 o 500 años todo depende de la fuente, básicamente este factor lo calcularon a partir de la absorción infrarroja y la vida atmosférica de cada GEI. En la Tabla 1 se muestra el potencial de calentamiento global establecido por el IPCC (2007).

Tabla 1. Potencial de calentamiento mundial directo.

Denominación industrial o nombre común	Fórmula química	PCG de 100 años horizonte temporal
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido nitroso	N ₂ O	298

Fuente: IPCC (2007)

Carbon Trust (2012) señala que existen tres principales tipos de HC aplicados en las organizaciones, y son los siguientes:

1. Organizacional: Las emisiones de todas las actividades que se generan en una organización, incluyendo el uso energético de los edificios, procesos industriales y vehículos de la empresa.

2. Cadena de valor: Incluye las emisiones que están fuera de las operaciones propias de la organización. Esto representa las emisiones procedentes de los proveedores y consumidores, incluyendo el uso y fin de la vida útil del producto.
3. Producto: Emisiones de GEI generadas durante toda la vida de un producto o servicio, desde la extracción de materias primas y la fabricación, hasta su uso y reutilización final, reciclado o eliminación.

Para esta investigación se adoptará el concepto de HC del producto que la norma ISO 14067:2013 (2013) define como:

“la suma de las emisiones de GEI y remociones² en un sistema de producto, expresadas como CO₂ equivalente y con base en un análisis de ciclo de vida utilizando una sola categoría de impacto la de cambio climático”

La HC es utilizada como una medida central de impacto ambiental en las cadenas de suministro (Čučeka et al., 2012). Las cadenas de suministro destacan las partes involucradas, ya sea de manera directa o indirecta, en la producción, pero la HC no sólo se rige por ese enfoque. Rööös et al. (2014) dicen que el cálculo de la HC requiere un enfoque interdisciplinario para tener éxito; por lo tanto la cuantificación de la HC implica mantener una concepción holística de la realidad con la finalidad de comprender y resolver problemas donde interactúan las ciencias exactas, naturales, sociales y la tecnología.

1.1.2.1 Ciclo de vida del producto

El enfoque de la HC del producto se ha desarrollado bajo las directrices del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). El ACV toma en cuenta los impactos que se producen durante todas las etapas de la vida de un producto desde la producción de la materia prima hasta la disposición final del producto.

Álvarez y Rubio (2015) mencionan que existen dos métodos generales para cuantificar las emisiones del ciclo de vida. El análisis en cual se evalúan procesos específicos dentro de las

² Remoción de GEI: Masa de GEI removida de la atmósfera (ISO, 2013).

operaciones de ciclo de vida; y el análisis entradas-salidas (en inglés input-output). Los métodos antes mencionados permiten al investigador realizar trabajos centrados y delimitados.

Para esta investigación se decidió implementar el ciclo de vida del producto basado en el análisis de sus procesos, porque es un método de abajo hacia arriba, por lo tanto, muestra los impactos ambientales de un proceso desde la recepción de la materia prima hasta la entrega del producto.

Para desarrollar el ciclo de vida de un producto Puettmann et al. (2010) propusieron tres modelos:

1. De la cuna a la cuna (en inglés cradle to cradle CTC). Este modelo estudia el ciclo completo de un producto, se basa en el principio del ciclo biológico, los residuos del proceso son reutilizados para llevar a cabo otros procesos. Desde que se genera la materia prima hasta que se desintegran totalmente todos sus elementos.
2. De la cuna a la tumba (en inglés cradle to grave CTG). Estudia desde la extracción de materias primas, su procesamiento para generar productos; el uso del producto y su gestión final (residuos). El transporte, almacenaje, distribución y otras actividades intermedias entre las fases del ciclo de vida también se incluyen cuando tienen la relevancia suficiente.
3. De la cuna a la puerta (en inglés cradle to gate CTG). El alcance del sistema se limita a las entradas y salidas desde que se obtienen las materias primas hasta que el producto sale al mercado.
4. De la puerta a la puerta (en inglés gate to gate GTG). El modelo sólo toma en cuenta las entradas y salidas del sistema productivo.

La ventaja del análisis de ciclo de vida es que es un concepto que puede ser aplicado en cualquier tipo de producto, lo que varía es la profundidad del análisis. En la Figura 2 se pueden apreciar la cadena de valor, en la cual aparecen los tres sectores de la producción de la cadena maíz-tortilla.

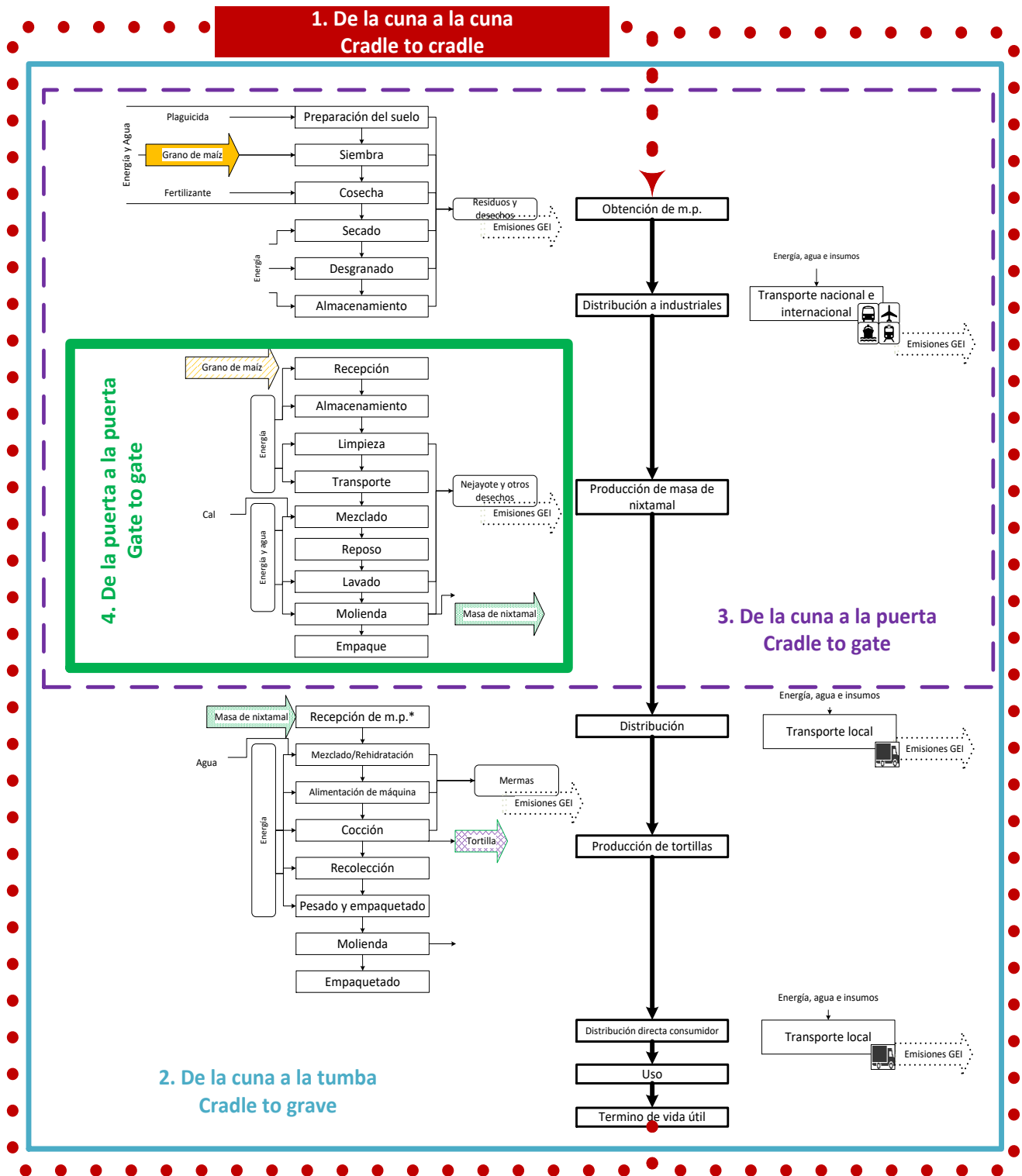


Figura 2. Modelos del análisis del ciclo de vida de la cadena maíz-tortilla.
Fuente: Elaboración propia.

Para esta investigación se ha decidido utilizar el modelo de la puerta a la puerta GTC ya que presenta los elementos principales de la producción: materia prima, proceso de fabricación y producto terminado. Los datos de entrada considerados estarán representados por el consumo de materias primas, energéticos y mano de obra para la producción del producto final; y los datos de salida son representados por el producto final, las emisiones de GEI, los residuos industriales y el producto terminado.

I.1.3 Utilidad de la HC del producto

La importancia de implementar la HC se centra en la reducción de emisiones de GEI que favorece a la sociedad, sector industrial y al ambiente, creando mejores vínculos entre ellos por la dependencia que presentan.

La HC es una herramienta de comunicación conocida y fundamentalmente comprensible, no sólo de las empresas a los consumidores, sino también entre la empresa y el gobierno; lo cual es una de sus principales fortalezas. Según Sanyé-Mengual et al. (2014) porque las partes interesadas (empresas, gobierno y consumidores) tienen la oportunidad de conocer la presencia de las emisiones de carbono y el impacto de los productos en el calentamiento global.

En consecuencia, esto influye positivamente en la imagen de la organización, tanto externamente como internamente; ya que no sólo impactará en los consumidores, también a instituciones gubernamentales, inversionistas, socios potenciales y en especial a la sociedad. En sentido estricto al ser una medida voluntaria que actúa a favor del ambiente, la HC funge como elemento diferenciador siendo una ventaja competitiva, que la comunidad en la actualidad está considerando al tomar sus decisiones de consumo e impulsa el posicionamiento de la organización como líder en el mercado, es decir es una herramienta de marketing.

La HC promueve una cultura ambiental que disminuye el riesgo de negligencia ambiental y por consecuencia conflictos de índole legal, ya que al realizar el cálculo de la HC es posible detectar los puntos críticos de los procesos de producción; facilita la cooperación con el

gobierno federal y local, y a su vez permite gozar de programas públicos nacionales e internacionales para invertir.

Otro beneficio que se ha detectado es que al realizar el análisis del ciclo de vida del producto se obtiene información necesaria que permite conocer con exactitud las actividades clave del proceso productivo y detecta oportunidades de mejora sobre la utilización de los recursos lo que permitirá crear estrategias para reducir costos de operación y mejores condiciones.

La HC es una herramienta que permite detectar los problemas y desperdicios vinculados a los procesos para finalmente seleccionar las técnicas de manufactura esbelta para disminuir mermas y desperdicios.

Aunado a lo anterior cabe mencionar que la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) siguiendo la tendencia internacional ha comenzado sus pinitos en materia ambiental, y como resultado ha generado un índice de sustentabilidad ambiental en el que se evalúa el desempeño de las firmas comprometidas con el ambiente; en la nota metodológica de este índice (BMV, 2015) se menciona que uno de los objetivos es concientizar a emisores e inversionistas para que tengan claro que las empresas sustentables lo que buscan es su permanencia en el largo plazo.

El artículo 90 de la LGCC (2016) establece que “las disposiciones reglamentarias de dicha Ley definirán los procedimientos y reglas para llevar a cabo el monitoreo, reporte y verificación y, en su caso, certificación de las reducciones de emisiones obtenidas en proyectos inscritos en el Registro, a través de organismos acreditados de acuerdo a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y autorizados por la SEMARNAT o por los organismos internacionales de México sean parte”. La certificación de las reducciones de emisiones se traduce a bonos de carbono, los cuales podrían ser un ingreso extra para las organizaciones, por ahora es poco incierto, pero se puede lograr en un futuro.

A través del Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI) se pueden canalizar proyectos para comercializar bonos de carbono u obtener mediante la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) los certificados de industria limpia o calidad ambiental; aunado a ello en el artículo 80 de la LGCC (2016) se menciona la creación del Fondo para el Cambio Climático cuyo objeto es apoyar la implementación de acciones para enfrentar el cambio climático.

Cabe mencionar que en el artículo 4° del Reglamento de la LGCC en Materia del RENE (2014) establece que la industria de la molienda de granos y de semillas está considerada dentro del subsector industria de alimentos y bebidas que forman parte de los establecimientos sujetos a reporte. En el artículo 12 se establece que la presentación del reporte de GEI ante el Registro se realizará a través de la Cédula de Operación Anual a partir marzo de 2015.

Se realizó una revisión bibliográfica para conocer con mayor precisión los trabajos que se han hecho utilizando como base la HC del producto. Hay evidencias de estudios sobre la huella de carbono de la producción de maíz, como el que realizaron Kim et al. (2014) en Estados Unidos; sin embargo, está enfocado al maíz utilizado como materia prima para la producción de etanol, y por lo tanto las características son distintas al maíz de consumo humano.

En la Tabla 2 se agrupan estudios actuales relacionados con el cálculo de las emisiones de GEI, se decidió presentar únicamente los que pertenecieran a la industria alimentaria, como resultado se identificó la metodología, modelos y las etapas críticas más frecuentes. En la columna de “Etapas críticas” se retomó lo que los autores describieron en sus publicaciones con respecto a los procesos que presentan una alta cantidad de emisiones de GEI durante todo el ciclo de vida del producto; se puede apreciar que la mayoría reportaron que el uso de fertilizantes y agroquímicos como la fase de mayor impacto en el ambiente. En cuanto a la metodología se detectó que la mayoría optó por implementar la norma ISO 14040:2006 Ciclo de Vida del Producto.

En la revisión de las investigaciones se detectaron algunos inconvenientes, como ciertas imprecisiones en algunos datos comparativos, que algunos datos son estimaciones sin ser comparadas para calcular un índice de error; otro aspecto que es pertinente de resaltar es que no se encontró un estudio sobre la tortilla de maíz o masa de nixtamal. Asimismo, en los estudios presentados no se realizó una comparación entre su impacto ambiental y el aporte nutricional de los alimentos.

Tabla 2. Estudios relevantes del cálculo de la HC de la industria alimentaria.

Producto	Método	Factores evaluados	Etapas críticas	País	Autores
Pan de centeno	ISO 14044:2006 cradle-to-grave	Desde la semilla hasta la mesa del consumidor.	Materia prima (producción agrícola), el procesamiento, la distribución y la etapa de gestión.	Dinamarca	Jensen, J. K., & Arlbjørn, J. S. (2014)
Azúcar	Ciclo de vida del producto ISO 14040:2006	Producción de caña de azúcar, transporte y proceso industrial. Modelado por Monte Carlo.	Fertilizantes, quema de bagazo, combustible, transporte.	México	García et al. (2016)
Arroz	Ciclo de vida del producto ISO 14040:2006	Materia prima, cultivo y cosecha.	Fertilizantes y pesticidas, transporte.	China	Xiaoming Xu et al. (2013)
Vid	International Wine Carbon Protocol, World Resources Institute	Poda, cosecha, y el metabolismo humano de los trabajadores.	Combustible, manejo de residuos, fertilizantes.	Italia	Marras et al. (2013)
Seis productos alternativos de café	PAS 2050: 2011 cradle-to-grave	Producción y exportación de granos verdes de café, transporte, tostado, molido, preparación, distribución, insumo, el envasado y la eliminación de residuos.	Insumos, empaque, producción de grano de café.	Japón	Hassard et al. (2014)
Mora azul	ISO 14040:2006 y PAS 2050-1	Producción agrícola, empaque y distribución.	Fertilizantes, energía eléctrica y combustibles.	Chile	Cordes et al. (2016)
Miel	ISO 14040:2006	Construcción y administración del panal, proceso de extracción de miel, transporte.	Administración del panal, procesamiento de la miel y distribución.	Argentina	Mujica et al. (2016)
Leche	ISO 14040:2006 and ISO 14044:2006 cradle-to-farmer gate	Alimento concentrado, ensilado, energía, fertilizantes, transporte y combustibles.	CH4 ganado, combustión de combustibles fósiles.	Brasil	De Léis et al. (2015)

Fuente: Autores citados en la Tabla.

I.2 ORIGEN DEL MAÍZ

Los pueblos mesoamericanos basaron su economía en la agricultura intensiva basada en el maíz, principalmente México representa la cultura del maíz debido a su destacada tradición por el consumo de dicho cereal que se ha convertido imprescindible en la dieta de los pobladores desde hace siglos.

Xelhuantzi-López y Alvarado (2009) mencionan que el ancestro del maíz tiene más de diez mil años de existencia, en la Figura 3 se puede apreciar una imagen actual del teocintle o también llamado tezintle. Se considera que el teocintle es el ancestro silvestre del maíz, esta especie se ha encontrado en diversas entidades federativas en su mayoría en zonas rurales. Cabe mencionar que a Richard Stockton MacNeish, arqueólogo estadounidense, se le atribuye el descubrimiento del antepasado del maíz moderno localizado en cuevas de Tehuacán, Puebla con aproximadamente 7000 años de antigüedad (Zeitlin, 2001), el cual es uno de los sitios más antiguos donde se han localizado abundantes restos de mazorcas, pero ello no quiere decir que sea el único lugar donde se cultivaba, ya que su distribución fue en toda la región de Mesoamérica. Esto se puede justificar en parte por lo que Guzmán et al. (2008) investigaron sobre las propiedades biológicas del maíz, ellos afirman que a pesar de que el polen del maíz es uno de los de mayor tamaño y peso dentro de las plantas anemófilas (requieren del viento para que se realice la polinización), se transporta fácilmente a largas distancias generando una alta producción, otra característica notable es que la milpa permite la autosuficiencia, pues la obtención de semillas en cada cosecha garantiza que habrá alimento y trabajo para el siguiente ciclo agrícola (Barros, 2005), de esta forma los campesinos seleccionan las semillas con mejor calidad en cada cosecha para las futuras siembras.



Figura 3. Teocintle colectado en el Cerro de la Estrella, Ciudad de México.

Fuente: Modificado de Xelhuantzi-López y Alvarado (2009)

A pesar de que la milpa varía de acuerdo con la región, se cuenta con suficiente evidencia para afirmar que es una planta que ha sido domesticada a través de los siglos por las culturas mesoamericanas, asimismo se cuenta con registros históricos que permiten conocer más sobre la importancia cultural del maíz. El maíz es la única planta que se considera que tiene alma en la concepción mesoamericana (Villasana-Benítez, 1998), porque según esta visión el hombre está hecho de la misma materia, en especial en la cultura maya y azteca se pueden apreciar evidencias.

En la cultura maya, el maíz es considerado sagrado porque es la planta que representa la vida, el Popol Vuh, uno de los textos mayas más importantes, cuenta que los dioses decidieron crear a los hombres con distintos elementos como barro o madera pero no satisfacían sus expectativas porque no tenían alma ni entendimiento, hasta que utilizaron granos de maíz molido para crear al ser perfecto y el resultado fue el esperado, existen ritos dirigidos al dios del maíz Nal (Pérez-Suárez, 1993) que gracias a su masa creó la humanidad maya; generalmente la mazorca mexicana puede observarse en diversas esculturas de cabezas juveniles del período Clásico (Taube, 1985). La Figura 4 es una representación del dios maya del maíz encontrada en Yucatán y actualmente se encuentra resguardada en el “Gran Museo del Mundo Maya”.



Figura 4. Dios del maíz encontrado en Mayapán, Yucatán CONACULTA-INAH.

Fuente: Archivo de la autora.

En el Altiplano Central los aztecas escribieron la “Leyenda de los Soles” que representa la concepción náhuatl del universo, la cual habla sobre la destrucción de los cuatros soles y la creación del quinto sol que dio origen al astro que conocemos como Sol, asimismo menciona que Quetzalcóatl se convirtió en hormiga para robar del monte el maíz blanco, morado, amarillo y rojo de los Tlaloques así como los frijoles y la chía, es decir, los alimentos más importantes (Broda de Casas, 1971) para entregarlo a los humanos y que estos se pudiesen alimentar, eso ocasionó que los humanos se volvieran dependientes de la agricultura y sedentarios, por lo tanto establecieron civilizaciones. A partir de ello surge la costumbre en los aztecas de venerar a Chicomecoatl la diosa de la fertilidad y la responsable del crecimiento del maíz, digna de diversas ceremonias para que las cosechas fueran prósperas. Asimismo, en los códices aztecas se aprecia la figura de Centéotl la deidad masculina que provee a los hombres de grano y protege la siembra.

Después de la caída de los grandes imperios mesoamericanos comienza otra época con la conquista de México la cual fue un parteaguas en el desarrollo cultural e indica otra etapa de la evolución del maíz, principalmente por la dispersión que tuvo este cereal en esa época. Román et al. (2013) indican que los ingredientes de la comida prehispánica se vieron modificados, más no eliminados, comenzando por el ganado y el cultivo de trigo, arroz, caña de azúcar y especias (principalmente); y se da inicio a la cocina novohispana.

A principios del siglo XVI el maíz fue introducido en Europa, recién llegada esta planta exótica Vargas (2014) comenta que se pensó que provenía de Turquía porque era considerada una tierra extraña y en la actualidad en algunas localidades en su mayoría italianas se le conoce como “grano turco”. Se dice que uno de los principales países propagadores del maíz fue Portugal, principalmente al llevarlo al mercado asiático y africano y convirtiéndose en un alimento primario o secundario dependiendo la región y el estrato social. Por sus características de productividad y adaptabilidad se convirtió rápidamente en un factor clave de la alimentación humana y animal en todo el mundo (ILSI Argentina, 2006).

Durante la independencia de México, la cocina mexicana se ve influenciada por diversas corrientes internacionales (Román et al., 2013), aunque la dieta de la clase popular se mantuvo con algunas variantes mínimas.

En los inicios del porfiriato, Francisco Bulnes, un periodista y político mexicano conservador de la época, desarrolló una supuesta teoría dietética de la raza o de las clases, la cual sostenía

que la inferioridad de los pueblos indios de México era resultado del alto consumo de maíz (España, 1988). Esto claramente refleja menosprecio por la cultura mexicana e ignorancia con respecto al aporte nutricional del maíz en nuestra dieta, y por obvias razones pudo propiciar un descenso en el consumo por su prestigio.

Andrés Molina Enríquez, un excepcional visionario mexicano, plasmó en su libro “Los grandes problemas nacionales” (1908) una crítica a la política de la época, enfatizando a lo largo del escrito la importancia del maíz para México con respecto a la alimentación y la producción. Un par de años más tarde comienza la revolución mexicana que en sus inicios pretendió formalizar la reforma agraria (como sugería Molina en su momento) pero desafortunadamente no se concretó impulsar al campo para el desarrollo nacional, el hecho de no formalizar la reforma agraria fomentó el éxodo de los pobladores de zonas rurales a las ciudades para su empleo en fábricas disminuyendo la producción primaria.

Bertran-Vilà (2010) menciona que Manuel Gamio fue un impulsor de políticas alimentarias hacia la población indígena en la primera mitad del siglo XX dentro de sus trabajos propuso “la liberación de la esclavitud del maíz” sustituyéndolo por soya por sus supuestas ventajas económicas y nutricionales, pero afortunadamente no fue aceptado por toda la población objetivo. Es importante mencionar que el maíz ha sido aprovechado en su totalidad como menciona Cristina Barros (2005) desde que el maíz esta tierno se pueden obtener productos comestibles como guías, flores, vainas y hojas; después cuando la planta madura se consume la mazorca, sus hojas y hasta los finos “cabellos” de maíz (utilizado comúnmente en infusiones) y finalmente si no se aprovecha en esa etapa es posible consumir el huitlacoche o cuitlacoche que es un parásito (hongo) que tiene un valor culinario.

En Europa se hizo notoria la enfermedad asociada al consumo de maíz llamada pelagra en los siglos XVIII y XIX, posteriormente a comienzos del siglo XX, predominó en el sur de E.E. U.U., Egipto y zonas de África sudoriental (Departamento de Agricultura, 2002) a pesar de que en algunas regiones del planeta sufrieron por la pelagra el consumo de maíz persiste; Laguna & Carpenter (1951) mencionan que aparentemente la pelagra se debe al desbalance de los aminoácidos esenciales del maíz, que incrementa los requerimientos de niacina por parte del organismo, concluyen que la nixtamalización destruye el efecto pelagrógeno, por dicha razón las culturas mesoamericanas evitaron esta enfermedad; Paredes López et al. (2009) con estudios más recientes afirman lo anterior.

La palabra nixtamalización proviene del náhuatl *nixtli* que significa cenizas y *tamalli* que significa masa, es un proceso que se ha transmitido de generación en generación; autores como Vargas (2007) o Méndez-Martínez (2011) señalan que el proceso de nixtamalización es de gran importancia en la alimentación de las culturas mesoamericanas, porque al procesar el grano en nixtamal se le hace más digerible, a través de ese proceso el maíz proporcionaba cerca de 80 % de las calorías (Long Towell, 2010).

I.3 PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN

La nixtamalización consiste en mezclar los granos de maíz secos con una porción de cal³, según Vargas (2014) ha sido sustituida por ceniza o conchas molidas de moluscos, y se le añade agua caliente, después se deja reposar por un periodo aproximado de 8 a 12 horas. Transcurrido el reposo, el maíz absorbe parte del agua y la cal, y se le denomina nixtamal, después éste es molido en un metate de piedra volcánica o molino para producir masa, de la cual se forma el testal (una pequeña porción de masa) que se aplana para convertirlos en discos que son acomodados delicadamente en comales de barro para su cocimiento, finalizado este laborioso proceso se obtiene como resultado el *tlaxcalli* (que a la llegada de los españoles fue nombrado *tortilla*) (Paredes-López et al., 2006). Lo anterior confirma el control del fuego y el uso de tecnología para la elaboración de utensilios, pero el elemento que se destaca de la producción de *tortilla* es el descubrimiento del efecto de la cal en el maíz (Cuevas Sánchez et

³ Como se mencionó con anterioridad el maíz es básico para realizar el proceso de nixtamalización, pero requiere de otro insumo indispensable hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) comúnmente llamado cal que es un sólido de color blanco, generalmente su presentación es en polvo empacada en costales, se obtiene por calcinación del carbonato cálcico, se considera que su proceso de producción es altamente contaminante por las emisiones de CO_2 que genera. Para la obtención de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se requiere extraer de las minas de piedra caliza, compuesta por carbonato de calcio (CaCO_3), las piedras pasan a ser trituradas con la finalidad de disminuir su tamaño; después se transportan a los hornos para ser calcinadas y generar óxido de calcio (CaO), dicho proceso es considerado el más contaminante debido a las emisiones de GEI y asimismo las cantidades de emisiones dependen del tipo de maquinaria utilizada. El CaO , al ser un compuesto altamente hidrófilo se deja enfriar (“cal viva”) y posteriormente se hidrata, y con ello se “apaga”, para que finalmente se empaque y distribuya la cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

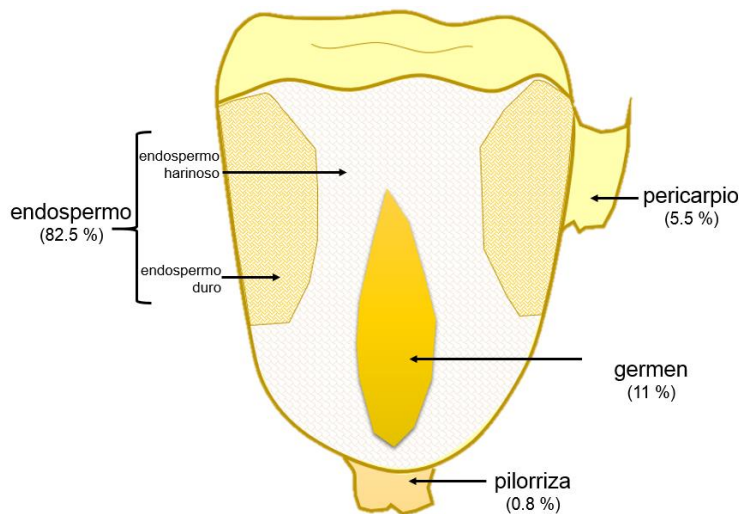
En México la industrialización de la piedra caliza se realiza en todo el país, destacando por su producción, Coahuila, Nuevo León y Puebla, tanto en el ámbito de minería como en la fabricación de productos de cal. Es un material que tiene altos costos ambientales para producirlo principalmente por su alta cantidad emisiones de CO_2e ; asimismo datos del INEGI (2011) muestran que 40 % de los costos de producción de cal corresponden al pago de combustibles y energía eléctrica; sin embargo, las cantidades utilizadas para la nixtamalización son mínimas.

al., 2003). Méndez-Martínez (2011) dice que toda tecnología es conocimiento y, consecuentemente, la nixtamalización requiere de un conocimiento de los tiempos de cocción, de discernimiento en los instrumentos de molienda, de establecimiento de las relaciones (maíz, cal y agua), así como el descubrimiento mismo de la cocción. No se sabe con exactitud quien o quienes fueron los creadores de este proceso sin embargo, Long Towell (2010) afirma que la nixtamalización es resultado del ingenio femenino. Aunque en la actualidad en muchas zonas urbanas del país el proceso ya no es realizado por las mujeres en sus hogares, se ha optado por el consumo de tortillas de masa de nixtamal elaborado a través de un proceso industrializado que permite producir de forma masiva para satisfacer la demanda.

Mondragón (2004) menciona que el proceso de nixtamalización modifica el grano porque facilita la pérdida de pericarpio durante la cocción y el remojo, la cal mantiene el pH alcalino necesario para hidrolizar la hemicelulosa del pericarpio convirtiéndola en gomas solubles que tienen un fuerte efecto en las características mecánicas de la masa.

Resultados de análisis químicos elaborados por Paredes-López et al. (2008) muestran que el proceso de nixtamalización hace que la tortilla tenga mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo, con respecto a los macronutrientes se detecta un aumento de proteínas y micronutrientes siendo el calcio uno de los principales el calcio.

Como se puede observar en la Figura 5 el pericarpio, la envoltura del endospermo, está compuesto en su mayoría por fibra y generalmente durante la nixtamalización se remueve. El endospermo es aproximadamente 80 % del grano y la mayoría de él se compone del almidón que será clave en el rendimiento del maíz convertido en nixtamal.



Estructura	Distribución de peso (%)	Composición química		
		Proteína (%)	Fibra (%)	Almidón (%)
Pericarpio	5-6	3.7	86.7	7.3
Endospermo	80-85	8.0	2.7	87.6
Germen	10-12	18.4	8.8	8.3

Figura 5. Estructura del grano de maíz.

Fuente: Modificado de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016)

Si bien la nixtamalización ofrece beneficios, también tiene una desventaja, la generación del residuo llamado nejayote; para esta investigación el nejayote será considerado el desecho o desperdicio del proceso de nixtamalización que es la suma de materia orgánica y agua residual (incluyendo el agua de lavado). El nejayote tiene un pH alcalino (12-14) y se considera contaminante; porque también contiene elevadas concentraciones de materia orgánica en solución y suspensión, entre los sólidos presentes en el nejayote, se encuentra el pericarpio de maíz.

La nixtamalización en apariencia es un proceso sencillo y su esencia no se ha modificado desde hace siglos, en la actualidad a diferencia de épocas pasadas la producción del nixtamal ha ido aumentando (debido al crecimiento de la demanda) por lo tanto optimizar el tiempo y los recursos es fundamental para tal producción, por ello se han incorporado tecnologías (tinajas de mezclado, bancos de molienda, paneles solares de calentamiento de agua, etc.) que permiten hacerlo más eficiente y reducir costos de operación.

El principal producto de la nixtamalización es la tortilla al ser un elemento de gran importancia en la alimentación popular ha sido parte de la política pública del gobierno mexicano con el fin de asegurar el consumo de este fundamental alimento por su aporte de calcio a los

consumidores de la región. En la Tabla 3 se muestra la evolución de las intervenciones del estado mexicano en la cadena maíz-tortilla desde 1943 hasta 1995.

Tabla 3. Evolución de la política pública en la producción de tortillas.

PERÍODO	ACONTECIMIENTO
1943	<ul style="list-style-type: none"> Maximiliano-Martínez et al. (2010) mencionan que en este año se crea un consorcio formado por el Banco Nacional de Crédito Agrícola, el Banco de Crédito Ejidal, el Comité de Aforos y la mencionada Nacional Distribuidora y Reguladora. Se fundó Instituto Nacional de Nutriología con el objetivo de conocer la alimentación de la población mexicana y, siguiendo las tendencias de la época, de analizar los alimentos mexicanos (Bourges-Rodríguez, 2013), es importante mencionar que el instituto ha modificado su nombre y ampliado sus funciones a lo largo del tiempo, actualmente esta registrado como Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.
1965	<ul style="list-style-type: none"> Se constituye la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO) como una entidad pública u organismo público descentralizado, que lanza un programa de bajo precio a nivel nacional de la tortilla (Maximiliano-Martínez et al., 2010).
A comienzos de la década de los ochenta	<ul style="list-style-type: none"> El gobierno mexicano comienza a modificar su estrategia de desarrollo económico mediante sus reformas estructurales basadas en la liberalización comercial y la apertura a la competencia internacional, la desregulación y privatización de su economía por "recomendación" del Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional (Santos-Baca, 2012). MICONSA produce 48 % del maíz para tortillas (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2010).
1982	<ul style="list-style-type: none"> Crisis económica y financiera en México por la caída de los precios del petróleo y de políticas de endeudamiento y desequilibrio presupuestal irresponsables (Correa, 2010).
1984	<ul style="list-style-type: none"> Se implementó el programa de venta de tortilla con subsidio directo al consumo con el objetivo de beneficiar a los grupos marginales (Fernández Mendoza, 1996).
1986	<ul style="list-style-type: none"> Se sustituyó el programa anterior y se decidió poner en operación la distribución de cupones selectivos para la adquisición de tortilla (Fernández Mendoza, 1996).
1991	<ul style="list-style-type: none"> Bajo el programa "Solidaridad" se otorga una tarjeta plástica a las familias para que tengan acceso gratis a un kilogramo de tortillas diario (Fernández Mendoza, 1996).
1992	<ul style="list-style-type: none"> La CONASUPO suministró a los molineros únicamente 1.3 de los cinco millones de maíz subsidiado anualmente (Mitastein, 1996).
1995	<ul style="list-style-type: none"> Ferrer-Pujol (1996) resalta que en este año el precio de la tortilla tenía una diferencia de 64 % en el poder adquisitivo de tortillas, el precio oficial era inequitativo a lo largo del territorio mexicano otorgando mayores beneficios a la Ciudad de México y a la Zona Metropolitana y descuidando al resto del país con menores ingresos. Román et al. (2013) mencionan que la apertura comercial de México con el Tratado de Libre Comercio incremento en la morbilidad y mortalidad asociadas a la obesidad y las enfermedades crónicas.

Fuente: Autores citados en la Tabla.

Como se aprecia en la Tabla 3 el abastecimiento de tortillas es básico en la política de los gobiernos, pero la apertura comercial de México añadió variables que hicieron más compleja la seguridad alimentaria. México ocupó el 4° lugar en superficie cosechada de maíz aportando únicamente 5 % del total mundial, empero es un consumidor del mismo, y su producción no cubre su demanda total, por lo tanto tiene un déficit y recurre a las importaciones del grano, lo cual lo torna vulnerable ante cualquier alteración de la oferta mundial (considerando que es un

alimento que cotiza en el Chicago Mercantile Exchange); esta situación afecta negativamente en la estructura productiva nacional por la eminente dependencia alimentaria, en especial de Estados Unidos y Sudáfrica. Es importante recalcar que existen estudios que dicen que el maíz importado, por lo general, está contaminado con aflatoxinas y pesticidas, en especial los que provienen de las regiones cálidas y húmedas de África, la India y algunos otros países asiáticos (Méndez Albores y Moreno Martínez, 2007).

Quist y Chapela (2001) afirman que encontraron construcciones de ADN transgénicos en una variedad de maíz tradicional en México. Por consiguiente ¿quién podría asegurar que el maíz que se consume en el país no está modificado genéticamente?, al hacer una revisión en la norma sobre maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado NMX-FF-034/1-SCFI-2002; el apartado de material genéticamente modificado (productos biotecnológicos) no es claro porque únicamente menciona que: *“el uso de maíz genéticamente modificado mediante técnicas de la biotecnología recombinante, estará sujeto a las disposiciones aplicables”*; lo que deja al consumidor sin respaldo; sin embargo, con respecto al tema de los productos transgénicos existen corrientes a favor y en contra. Lo importante es evitar la dependencia de los agricultores con las compañías que comercializan las semillas, no solo por su abastecimiento, sino también por el uso agroquímicos que se requieren, ya que consecuentemente estos aumentarán las problemáticas de contaminación en el ambiente y se traducirán en riesgos sanitarios.

En México existen algunas leyes estatales que defienden al maíz criollo como las de los estados de Morelos, Tlaxcala o Michoacán (Estado de Tlaxcala, 2010; Estado de Michoacán de Ocampo, 2011; Estado de Morelos, 2015), principalmente fomentan la productividad del maíz nativo y favorecen al sector agrícola con *“apoyos estatales”* para asegurar el abasto de este indispensable cereal en todas sus regiones; asimismo se menciona la creación de Centros de Abasto y Fondos de Semillas de Maíz.

En febrero de 2008 la Bolsa de Chicago, considerada como la mayor bolsa de materias primas responsable de la variación de precios de alimentos en el mundo, experimentó un incremento en la cotización del maíz, dicho evento fue considerado como emergencia alimentaria por los altos costos del grano. Por ello en el 2011 a través del Programa para Impulsar la Competitividad de los Sectores Industriales (PROIND) se creó el Programa de Apoyo a la Industria Molinera de nixtamal (PROMASA), con el objetivo de asegurar la producción de masa

de nixtamal y mitigar el incremento de precios de materias primas e insumos, sin embargo, concluyó abruptamente en 2013. En la actualidad no se cuenta con un programa federal que apoye a esta industria en específico, lo cual permite apreciar que para el gobierno no es una actividad prioritaria.

Aunado a ello Shamah-Levy et al. (2003) indican que la tortilla continúa siendo un producto base de los habitantes de las zonas urbanas más pobres del país, que sin duda apoya de manera importante a la nutrición y alimentación de los mexicanos. A pesar de ello no hay estándares de precios y estos continúan aumentando, lo que obstaculiza el consumo y la calidad de la tortilla. Asimismo, Duana-Avila y Benítez-Martinez (2010) mencionan que los grupos con más bajos ingresos son los que se benefician en mayor medida de los programas sociales de apoyo a la alimentación por la vía de los precios subsidiados.

Retes Mantilla et al.(2013) mencionan que el consumo de tortilla es segmentado dependiendo el nivel de ingresos, y también el consumo a nivel general ha disminuido, probablemente se debe principalmente al aumento de precios de la tortilla y la gama de productos “sustitutos” (como el pan). La demanda de tortillas en zonas rurales es mayor que en las zonas urbanas; esto se fundamenta en el informe emitido por Consejo Nacional de Evaluación de la Política (CONEVAL, 2012) sobre la composición de la canasta alimentaria que indica las estimaciones del consumo de tortilla de la siguiente manera: 217.9 gramos en zonas rurales y 155.4 gramos en zonas urbanas. Cabe mencionar que el consumo de tortilla no es homogéneo en toda la nación, debido a la gran diversidad cultural, por lo que con base en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades se extrajeron datos sobre la distribución de la ubicación de los establecimientos activos de elaboración de tortillas de maíz y molienda de nixtamal en el territorio nacional, con base en el censo del año 2013 y se determinó que el consumo de tortillas de maíz se concentra principalmente en la zona centro y sur del país.

El consumo de maíz en América ha determinado el tipo de desarrollo y la calidad de vida en términos de salud de su población, por ello es que es uno de los alimentos de mayor importancia en gran parte del continente.

En la Figura 6 se puede observar la tendencia del precio de la tortilla, es una curva con pendiente positiva con valor 2, el precio de la tortilla se duplicó en tan solo 10 años y actualmente sigue aumentando, notas periodísticas han reportado fluctuaciones en el precio de la tortilla entre los meses de enero y febrero de 2016 que van desde \$24.00 el kilogramo

hasta \$18.00 en algunas regiones del Bajío. Sin embargo, los industriales justifican el alza debido a que el costo de producción también se elevó por el costo del maíz y energéticos principalmente. Dentro de este contexto en la misma figura es evidente que el consumo de tortilla ha disminuido paulatinamente y el precio a la inversa ha aumentado hasta duplicar su precio en diez años. Dentro de este contexto en la misma figura es evidente que el consumo de tortilla ha disminuido paulatinamente, y una de las variables que se considera es debido a lo que se mencionó anteriormente, el alto precio.

De acuerdo a una encuesta realizada por el INEGI (2013), dentro de los principales productos de consumo cotidiano el gasto promedio anual que cada hogar destina a la compra de tortillas de maíz es de \$2,735 representando 11.5 % del salario mínimo (área geográfica A \$ 64.74 en el año 2013).

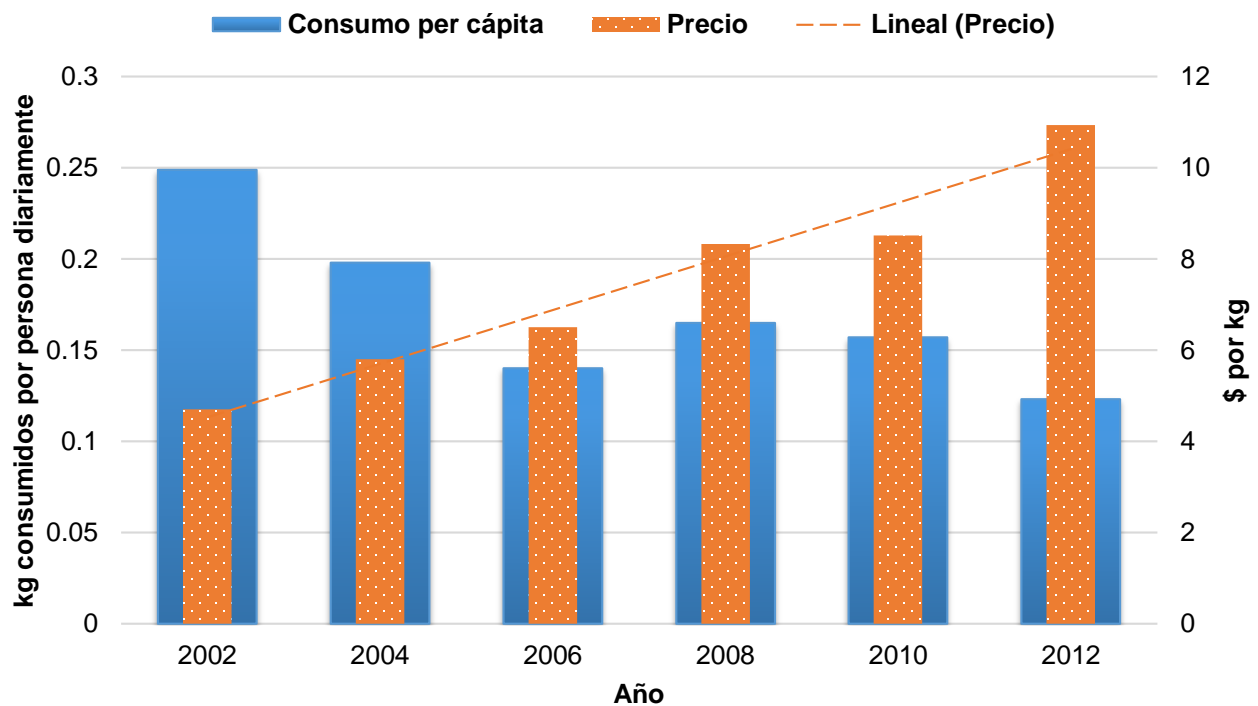


Figura 6. Comportamiento del consumo *per capita* y el precio de tortillas ZMVM.

Fuente: Elaborada con datos de Secretaría de Economía (2015)

I.3.2 Industria de la molienda de nixtamal

La industria de la nixtamalización enfrenta diversos problemas, específicamente dos: los residuos que genera la producción de nixtamal y el alto consumo de energéticos.

A continuación, se muestra un diagrama de procesos que facilita la comprensión del proceso de molienda de nixtamal, con las cantidades utilizadas de materia y energía. El proceso inicia con la entrada de materia prima, el maíz pasa a través de la cernidora para ser limpiado; después el maíz es transportado con la ayuda de un tornillo sin fin para ser depositado en las tinas. En las tinas el maíz se mezcla con cal al 1 % y agua a 80°C, y se deja reposar en las tinas un promedio de 8 h, al final de ello se obtiene nixtamal listo para ser molido y conseguir una masa de maíz nixtamalizado, es decir que de 750 kg de maíz se obtienen 1350 kg de masa. No obstante, también se generan residuos de este proceso, que son aproximadamente 3000 litros de agua que se utilizan para la preparación del nixtamal y lavado del maíz, en la Figura 7 se muestran las fotografías que ilustran el proceso y en la Figura 8 se ve representado en un diagrama lo descrito con anteriormente.



Figura 7. Fotografías del proceso de nixtamalización.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante el trabajo de campo.

ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO Y CONTENIDO DE NUTRIENTES DE LA MASA DE NIXTAMAL PRODUCIDA EN MOLINOS UBICADOS EN LA ZMMV BAJO EL MODELO GTG

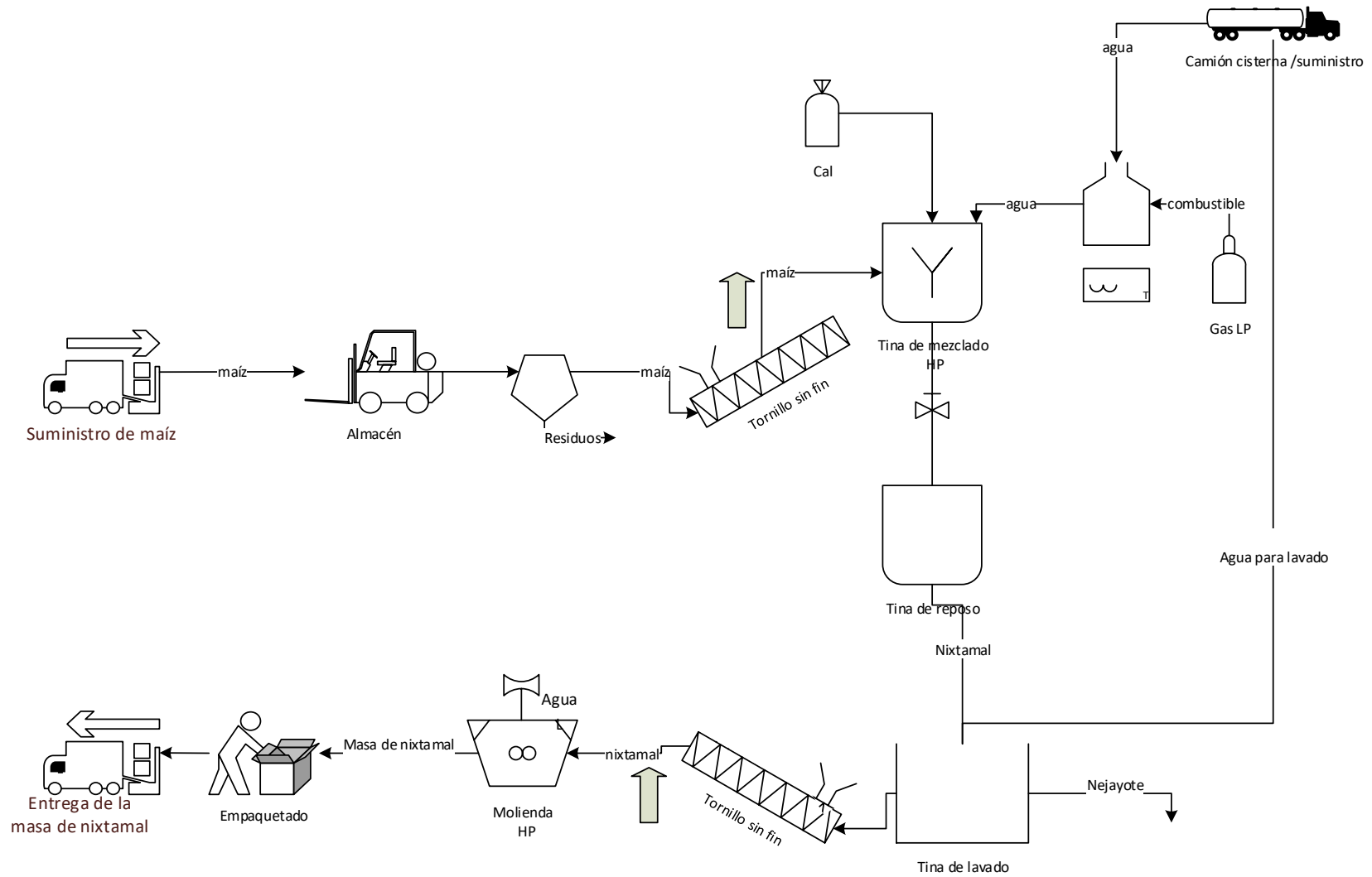


Figura 8. Proceso de nixtamalización.

Fuente: Elaborado con información del trabajo de campo.

Cabe resaltar que el gobierno mexicano ha generado diversas normas (Tabla 4) para determinar los estándares mínimos que esta industria debe cumplir, y también normas voluntarias que ofrecen sugerencias principalmente para evaluar la calidad de la materia prima y el producto final.

Tabla 4. Normatividad mexicana referente a la industria del nixtamal, publicada en el DOF

NORMA	OBJETIVO	CONTENIDO DE INTERÉS
NORMA OFICIAL MEXICANA		
NOM-019-ENER-2009 Eficiencia térmica y eléctrica de máquinas tortilladoras mecanizadas. Límites, método de prueba y marcado.	Establece los consumos máximos de energía eléctrica y combustible, y el método de prueba que debe aplicarse para verificar dichos consumos, así como los tiempos de cocción, los kilogramos de tortillas por hora y los requisitos de marcado, para las máquinas tortilladoras mecanizadas que se utilizan en la elaboración de tortillas de maíz.	Clasificación Especificaciones Muestreo Criterios de aceptación Método de prueba Marcado Vigilancia
NOM-247-SSA1-2008 Productos y servicios. Cereales y sus productos (...)	Disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplir el transporte y almacenamiento de cereales destinados para consumo humano, así como el proceso de las harinas de cereales.	Especificaciones sanitarias Etiquetado Envase y embalaje Concordancia con normas internacionales **aditivos para alimentos
NOM-187-SSA1/SCFI-2002 Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan (...)	Establecer las especificaciones sanitarias que deben cumplir la masa, tortillas, tostadas, harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Asimismo, establece la información comercial que debe figurar en las etiquetas de los productos.	Prácticas de higiene y sanidad Control del proceso Personal Instalaciones físicas Instalaciones sanitarias Proceso Materia prima Transporte
NORMA MEXICANA		
NMX-FF-034/1-SCFI-2002 Productos alimenticios no industrializados para consumo humano (...) maíz blanco para proceso alcalino para tortillas y productos de maíz nixtamalizado (...)	Establece las características de calidad comercial que debe reunir el maíz blanco de consumo humano, para la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado.	Métodos de prueba: Olor Impurezas y granos quebrados Humedad, densidad Clasificación del maíz (color y daños) Parámetros de nixtamalización
NMX-F-046-S-1980 Harina de maíz nixtamalizado norma mexicana (<i>cancela NMX-F-046-1976</i>)	Establece las especificaciones que debe cumplir el producto denominado harina de maíz nixtamalizado.	Especificaciones: Sensoriales Físicas, químicas y microbiológicas Contaminantes químicos Materia extraña objetable

Fuente: Normas citadas en la Tabla.

Las normas citadas fueron creadas bajo un esquema de colaboración entre las partes interesadas como cámaras industriales, harineras, fábricas de máquinas tortilladoras, universidades, panificadoras (por mencionar algunas entidades). Actualmente no hay evidencia de estudios que avalen el integro cumplimiento de la normatividad en todos los

establecimientos que ofrecen como productos masa de nixtamal, harina de nixtamal y/o tortillas.

Asimismo, se realizó una consulta de patentes en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial y United States Patent and Trademark Office para conocer el grado de interés para los innovadores e inversores en este sector. La Tabla 5 presenta las invenciones registradas más recientes en la industria de la molienda de nixtamal.

Tabla 5. Evidencia de tecnologías desarrolladas para la industria de la molienda de nixtamal.

Inventor	Descripción
Castro et al., (2012)	<p>El maíz es lavado y después se coloca en el reactor para su cocción se añade agua a 60° C (que proviene de un calentador solar) y cal para ser mezclados; finalmente el nixtamal es enfriado. Los beneficios que exponen los inventores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de 40 % a 50 % de combustible. • Reducir la cantidad de agua residual. • Mejores propiedades nutricionales.
Nussbaumer, et al. (2015)	<p>A diferencia de los métodos tradicionales la propuesta consiste en realizar tratamientos al maíz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El maíz se humedece • Tratamiento hidrotérmico se añade cal • Etapa de enfriamiento • Molienda
Eckhoff, et al. (2010)	<p>Se limpia el maíz separando contaminantes, después pasa por un desgerminador y rodillos para obtener sémola que es aspirada y tamizada con la finalidad de obtener una harina fina.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se obtienen subproductos (aceite, sémola). • Alto contenido de fibra.
Wallens, et al. (2012)	<p>El método consiste en producir masa eliminando las etapas de cocción y de reposo del proceso tradicional; en sustitución propone mezclar en seco maíz con un agente de gelatinización (base de calcio), después se hidrata con agua caliente, y la mezcla se lleva a un extrusor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el consumo de agua y no emite aguas residuales. • La calidad de la tortilla tradicional se conserva.
Rivero-Jiménez et al. (2011)	<p>Es un método similar al anterior debido a que pretende eliminar las etapas de cocción y reposo; implementa los procesos de trituración, homogeneización, hidratación, cocción y enfriamiento continuo usando rodillos de refrigeración para detener la gelatinización.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuye el consumo de agua. • Elimina la producción de agua alcalina (nejayote).

Fuente: Normas citadas en la Tabla.

La mayoría de las patentes están enfocadas principalmente a modificar el proceso de masa de nixtamal y de harina mediante la reducción del tamaño del grano por métodos de quebrado, aplicación de microondas, vapor de agua a presión, extrusión, etc., mismos que en general no

han funcionado porque el sabor y consistencia del producto final no es igual o parecido al actual. En otros estudios se ha tratado de dar uso alimenticio o industrial al nejayote, lo cual también ha fracasado.

Como se puede observar durante las últimas décadas, diversos estudios se han enfocado en generar propuestas para mejorar o eliminar el método de nixtamalización actual utilizado por los molinos de nixtamal, con la finalidad de reducir la cantidad de agua en el proceso y los consumos de energía; desgraciadamente, en su mayoría las diferentes invenciones no han sido implementadas (se especula que eso se debe a que no son económicamente rentables o ambientalmente amigables).

1.3.1.1 Competencia directa de la Industria de la molienda de nixtamal

Las barreras de entrada para la industria de la masa de nixtamal y la tortilla se consideran bajas, pues se requiere una inversión con un riesgo bajo y trámites mínimos para comenzar operaciones, pero como la mayoría de los productos, la masa de nixtamal lucha contra una competencia directa, que en este caso son las productoras de harina nixtamalizada, siendo las siguientes las principales firmas:

- Grupo MINSA, S.A.B. de C.V. fue constituido conforme a las leyes mexicanas el 13 de octubre de 1993, para adquirir y operar ciertos activos de MICONSA, que fue una empresa productora de harina de maíz nixtamalizado propiedad del Gobierno Federal (Grupo MINSA, 2013).
- Grupo Industrial MASECA, S.A.B. de C.V. (GRUMA) es una sociedad anónima bursátil de capital variable, constituida en Monterrey, Nuevo León; se conoce comercialmente también como GIMSA y MASECA. Inició operaciones en 1949, cuando Roberto González Barrera comenzó a producir y vender harina de maíz nixtamalizado en el noreste de México como una materia prima alternativa para producir tortillas. En la actualidad su producto principal es la harina de maíz blanca estandarizada que se convierte en masa al añadirle agua y es utilizada en la preparación de tortillas y otros productos relacionados. Cuenta con subsidiarias que se encuentran en México, Estados Unidos, Europa, Centroamérica y Venezuela (Grupo Industrial MASECA, 2013).

- Agroindustrias Integradas del Norte (Monterrey) fue fundada en 1956 y en abril de 1990, reorganiza su administración como empresa privada con capital 100 % mexicano (Agroindustrias Integradas del Norte, 2015).

Para fabricar la harina se deshidrata la masa y muele hasta llegar a la harina de maíz para después ser envasada y distribuida. En la producción de tortillas cuando se utiliza solamente harina de nixtamal es importante destacar que un paso clave para la consistencia adecuada de las tortillas es la técnica y el tiempo de amasado (Obregón Hernández, 2004). Bello-Pérez et al. (2002) demostraron que la harina de nixtamal puede dar como resultado masa con mayor adhesividad lo cual dificulta su manejo durante la elaboración de las tortillas.

La mayor ventaja de la harina de nixtamal con respecto a la masa, es que su duración en anaquel es más prolongada y su transporte es más práctico, porque la masa fresca se fermenta y pierde humedad rápidamente.

Sin embargo, si se toman en cuenta otros factores podemos tener más elementos para determinar al mejor proveedor; en la Figura 8 se mostró un diagrama del proceso que se lleva a cabo en los molinos visitados que producen masa fresca de nixtamal, pero en la Figura 9 se puede observar que para producir la harina específicamente fabricada por GRUMA, son necesarios al menos dos procesos posteriores a la producción de la masa de nixtamal fresca; por ejemplo: secado, molido, tamizado y empaque que lógicamente requieren energía adicional y por lo tanto mayores emisiones de GEI en comparación con el proceso tradicional.

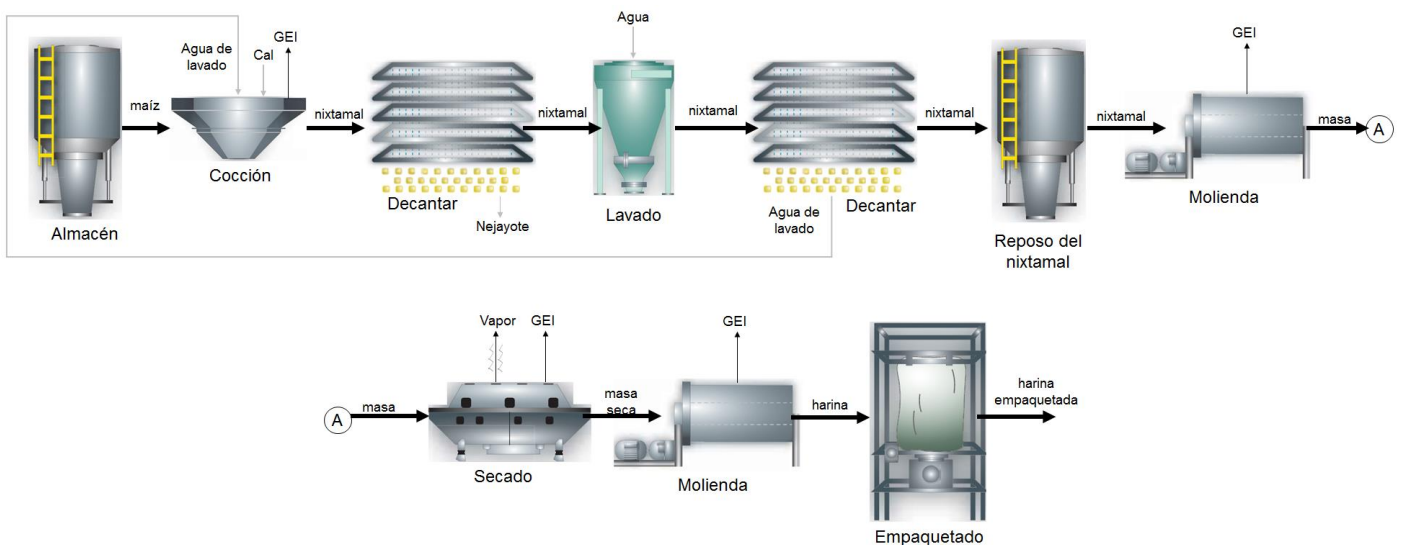


Figura 9. Proceso de producción de la harina de maíz nixtamalizado.

Fuente: Modificado del Informe de sustentabilidad GRUMA (2010)

En el diagrama anterior se puede observar que GRUMA reporta la reutilización de agua de lavado en el proceso de cocción; sin embargo, es importante resaltar que se considera necesario purificarla debido a que se distingue por ser un agua alcalina (alta dureza) lo que dificulta lograr una temperatura mayor a 60°C.

La masa de nixtamal o harina son productos intermedios, que son fundamentales para producir el producto final “la tortilla” que como se ha mencionado es un alimento básico en la dieta mexicana, tiene por objetivo proporcionar al organismo elementos para su nutrición y su principal aporte de nutrientes son el calcio y carbohidratos.

El calcio es uno de los principales minerales que conforma el tejido óseo, de ahí que sea indispensable suministrarlo en cantidades apropiadas en todas las etapas de la vida, el consumo recomendado varía dependiendo la edad, la ingesta diaria recomendada de calcio es de 900 mg, pero debe ser mayor cuando las mujeres están en la etapa de embarazo o periodo de lactancia

En este sentido la harina de nixtamal presenta inconvenientes en comparación con el método tradicional; Rosado et al. (2005) realizaron un estudio para conocer la absorción de calcio a partir de tortilla de maíz en mujeres mexicanas, en el cual compararon tortillas preparadas con harina de maíz comercial y tortillas preparadas con el tratamiento de cal tradicional. En sus resultados presentan que el método tradicional para la producción de tortillas demostró ser más eficaz porque aumenta la cantidad de calcio disponible para la absorción. En la Tabla 6 se puede apreciar los resultados de distintas investigaciones en las cuales se midió el contenido de Ca, Fe y Zinc.

Tabla 6. Estudios sobre el contenido de Ca, Fe y Zinc en tortillas con diversas características.

Autor	Especificaciones de la unidad de prueba	Ca (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Rosado et al. (2005)	<i>Tortillas elaboradas método tradicional</i>	1815.6		
	Tortillas elaboradas harina no nixtamalizada	47.2		
	Tortillas elaboradas harina nixtamalizada	1042.2		
Hambidge et al. (2005)	<i>Tortilla elaboradas método tradicional</i>	3000.0		
	Tortilla prueba	1560.0		
Tovar y Larios-Saldaña (2004)	<i>Tortillas elaboradas método tradicional</i>	3100.0	32.0	24.0
	Tortilla fortificada	3150.0	61.0	82.0
Sernas et al. (1992)	<i>Tortilla sin suplemento</i>	1380.0	39.4	35.9
	Tortilla con suplemento	6740.0	53.2	45.4

Fuente: Autores citados en la Tabla.

Se puede observar que los resultados de Ca son muy variables, presentan un coeficiente de variación de 37 % con un promedio de 2324 mg/kg, eso se puede atribuir a los diferentes objetivos propuestos en cada estudio, a las metodologías utilizadas y a la antigüedad de la publicación; sin embargo, a pesar de las variaciones sirve de marco de referencia para esta investigación.

Otros elementos imprescindibles en la alimentación para las funciones orgánicas son el hierro y el zinc, por norma en las harinas se debe adicionar una cantidad mínima de 40mg/kg de cada uno de los elementos. En México la anemia ha sido uno de los principales problemas nutricionales, su prevalencia en niños (de uno a cuatro años) en el año 2012 fue de 23.3 % en los de 1 a 4 años, en mujeres adolescentes de 7.7 % y en hombres de 3.6 %; se asocia con la ingesta limitada de hierro (componente de la hemoglobina) y zinc, la cantidad recomendada de ingesta diaria de dichos nutrimentos son 17 mg de hierro y 10 mg de zinc.

II. JUSTIFICACIÓN

La HC es un indicador que tiene como principal objetivo identificar las fuentes de emisión de dióxido de carbono y con ello generar una línea base de medición que a través de un plan de trabajo que logre disminuir o controlar dichas emisiones, esto puede ser visto como una ventaja competitiva frente a organizaciones que a la fecha no la han implementado.

Por lo tanto, para esta investigación se postularon las siguientes hipótesis:

1. La HC de la masa de nixtamal producida en molinos tiene relación con el contenido de nutrientes (Ca, Fe y Zn).
2. La HC de la masa de nixtamal se reduce conforme se aplican tecnologías en los procesos.
3. La HC de la masa de nixtamal producida en molinos tiene relación con los costos de operación, es decir a mayor HC mayor costo.

Asimismo, se establecieron los siguientes objetivos:

Objetivo General: Determinar y analizar la huella de carbono y el contenido de los nutrientes Ca, Fe y Zn de la masa de nixtamal producida en molinos de la ZMVM.

Objetivos específicos:

1. Analizar el ciclo de vida de la masa de nixtamal (modelo GTG).
2. Identificar los puntos críticos ambientales en el ciclo de vida de la masa de nixtamal.
3. Determinar la HC de la masa de nixtamal.
4. Determinar la cantidad de nutrientes Ca, Fe y Zn de la masa de nixtamal.
5. Determinar los costos energéticos del proceso de nixtamalización (combustible y electricidad).
6. Evaluar la tecnología implementada en los molinos visitados.
7. Correlacionar la HC y los costos energéticos del proceso de nixtamalización.
8. Analizar la relación entre HC y cantidad de nutrientes en la masa de nixtamal.

La norma ISO 14067:2013 establece que todo estudio que cuantifique la HC del producto debe contener cuatro fases de la evaluación del análisis de ciclo de vida del producto como muestra la Figura 10.

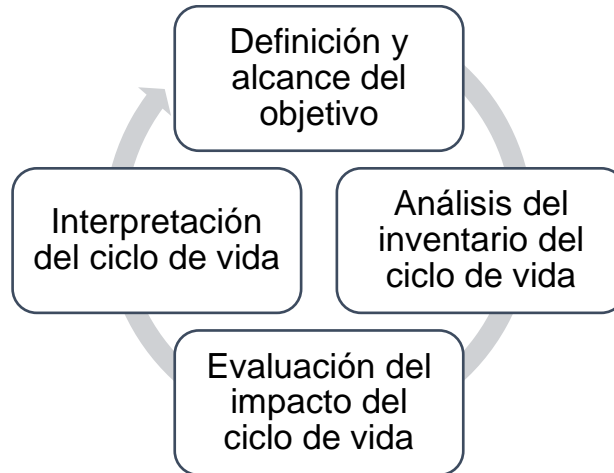


Figura 10. Cuatro fases de la evaluación del análisis de ciclo de vida del producto.

Fuente: Elaborado con información de ISO, 2013

Cabe destacar, en los antecedentes de la sección de análisis de ciclo de vida del producto se especificó que el modelo base será GTG “de la puerta a la puerta” con la finalidad de delimitar esta investigación; se aplicó el modelo de la puerta a la puerta que únicamente abarca el proceso productivo desde que llega la materia prima al almacén, se procesa y se genera el producto terminado denominado “masa de nixtamal” (en este caso el producto de la nixtamalización).

Se determinó utilizar el modelo de la “puerta a la puerta” GTG debido a que el resto de los modelos toman en cuenta la obtención de la materia prima (maíz seco) al almacén del molino de nixtamal, sin embargo, para determinar la procedencia del maíz se requiere tomar en cuenta si este es producido en México o es importado, y por supuesto era necesario conocer las siguientes variables: fertilizantes, pesticidas, agua, energía eléctrica, combustibles, empaque, transporte, entre otros, de los que en el caso de materiales importados es difícil conocer los datos de dichas variables, en este momento.

La Tabla 7 muestra los principales estados proveedores de la ZMVM como idea general del origen de la principal materia prima de los molinos de nixtamal. La mayoría de los proveedores de maíz se encuentra a una distancia considerable por lo tanto es necesario utilizar transporte

de carga para distribuirlo, es común el uso de camiones que en promedio transportan 26 toneladas de grano, con un consumo de diésel de 0.5 L/km a una velocidad de 75km/h.

Tabla 7. Principales Entidades Federativas proveedores de maíz de la ZMVM

Entidades Federativas	Temporada cosecha	Producción anual (millones de t)	Distancia aproximada a la ZMVM (km)	Estimación de la HC generada (kg CO ₂ e)*
Sinaloa	Otoño-invierno	3.7	2 000	5410
Jalisco	Primavera-verano	3.2	550	1490
Michoacán	Primavera-verano	1.8	450	1220
Estado de México	Primavera-verano	1.6	150	410

Fuente: SIAP, 2013 <http://www.siap.gob.mx/siembras-y-cosechas/>

Nota. *Equivalente a un viaje redondo

Cabe mencionar que durante las entrevistas realizadas a los propietarios de los molinos del presente estudio comentaron que generalmente tienen “asegurado” el abastecimiento del maíz con sus proveedores a lo largo del año; pero desde finales del 2015 aumentó considerablemente el precio del maíz por lo tanto muchos han tenido que buscar otras opciones para solventarlo. Actualmente se importan aproximadamente 10 millones de toneladas de maíz anuales para abastecer la demanda nacional, la Tabla 8 muestra los principales países que proveen a México.

Tabla 8. Principales países proveedores de maíz de la ZMVM

Países	Maíz importado (t/año)	Distancia aproximada a la ZMVM (km)
Estados Unidos	9 millones	3 500
Brasil	750 mil	9 000
Sudáfrica	250 mil	20 000

Fuente: SIAP, 2013 <http://www.siap.gob.mx/siembras-y-cosechas/>

En el 2012 el sector de transporte en México emitió 35.7 toneladas de CO₂e aproximadamente⁴, lo anterior se toma como referencia del impacto que tiene la movilización de productos a nivel nacional únicamente, por lo tanto si se cuantifica el impacto que tienen las importaciones tomando en cuenta las distancias y los transportes (terrestre, marítimo y/o aéreo) utilizados en el trayecto será evidente que la HC final aumentará significativamente.

Si bien el maíz es la fuente básica de la nixtamalización, para realizar el análisis del ciclo de vida de la masa de nixtamal también se tendría que tomar en cuenta el origen de la cal, el agua y combustibles haciendo más extensa la investigación requiriendo mayores recursos para su

⁴ Sin tomar en cuenta los bunkers marítimos y la aviación internacional (Banco Mundial, 2016).

realización; obviamente las huellas de carbono parciales (materia prima) pueden sumarse siempre y cuando sea realizado de acuerdo a la misma metodología (ISO, 2013) pero es necesario un rastreo específico tomando en cuenta todas las variables mencionadas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas del INEGI (2015) menciona que existen más de 70 mil molinos legalmente instalados a lo largo del territorio mexicano, se decidió tomar como población los molinos establecidos en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) por ser un área que concentra una población con elevado consumo de tortilla y una gran cantidad de molinos que satisfacen dicha demanda; la referencia anterior menciona que cerca del 22 % de los molinos se encuentran en esta zona del país. La Figura 11 muestra la distribución de los molinos en los municipios y delegaciones que pertenecen a la ZMVM con mayor número de molinos de nixtamal.

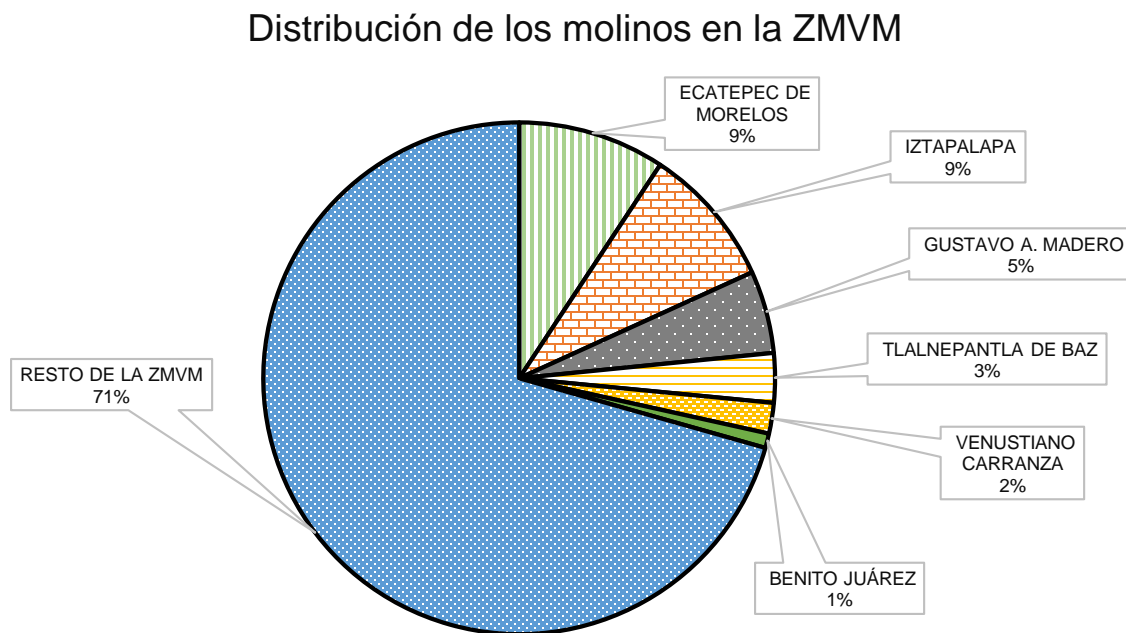


Figura 11. Distribución de molinos de nixtamal en la ZMVM.

Fuente: Elaborada con información del INEGI (2015)

El municipio de Ecatepec y la delegación Iztapalapa son las zonas que presentan mayor cantidad de molinos registrados, entre ambas suman alrededor de 2800 establecimientos aproximadamente. Son regiones con densidad de población alta y muchas de las colonias se consideran como zonas marginales.

Las restricciones para delimitar la muestra fueron:

- Molinos afiliados a una organización civil o empresa integradora.
- Molinos establecidos legalmente (pagan impuestos).
- Con uno y dos bancos de molienda.

Al inicio había 12 molineros interesados en participar en este estudio, con los cuales se tuvo una sesión para explicar la metodología que se iba a utilizar y el beneficio de la investigación, sin embargo, al finalizar se tuvo acceso a 10 molinos distribuidos en su mayoría, al oriente de la Ciudad de México.

En la Tabla 9 se puede apreciar la localización (municipio o delegación) en la ZMVM de los molinos visitados, ordenados con base en la cantidad de toneladas de maíz procesado al mes.

Tabla 9. Distribución de los molinos visitados.

ID	Municipio o delegación	No. banco de molienda	T de maíz procesado/mes *
1M	Ecatepec	1	38
2M	Ecatepec	1	85
8M	G. A. Madero	1	90
5M	Iztapalapa	1	60
10M	Iztapalapa	1	98
4M	Benito Juárez	2	135
6M	Iztapalapa	2	180
9M	Iztapalapa	2	136
3M	V. Carranza	2	112
7M	Tlalnepantla de Baz	2	105

Nota. *Promedio

La Figura 12 muestra los bancos de molienda de tres molinos diferentes, se tomó como referencia la cantidad de bancos de molienda debido a que es un indicador de su capacidad de producción.



Figura 12. Fotografías de algunos molinos visitados.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante el trabajo de campo.

La Figura 13 permite ubicar la localización de los molinos con los que se trabajó, la mayoría están localizados en la zona oriente y centro de la ZMVM; tres de ellos se encuentran en el Estado de México.

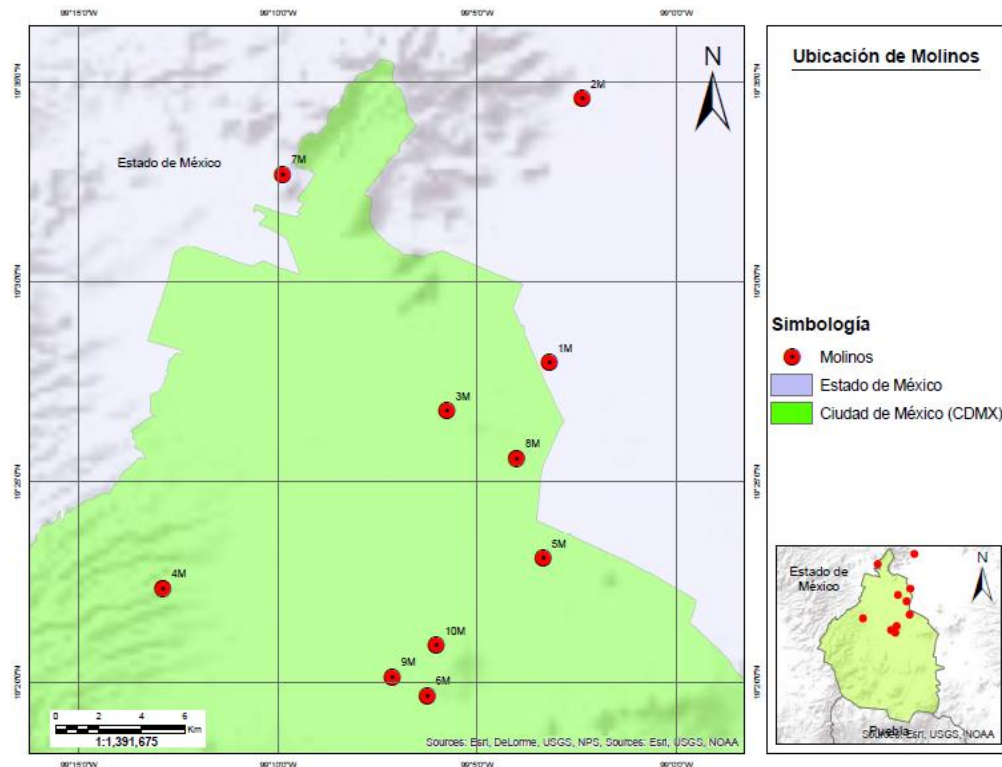


Figura 13. Distribución de los molinos visitados.

Fuente: Elaborado con información de trabajo de campo

Para asegurar la confidencialidad de la información de los participantes se les hizo entrega de un documento en el cual los autores de la presente investigación se comprometen a resguardar la información de forma confidencial tal y como lo establecen las leyes de protección de datos personales.

En la Figura 14, se puede observar de forma general la metodología utilizada, y en las páginas siguientes se describirá detalladamente cada sección. También se puede observar que el proceso desarrollado está dividido en dos partes: 1) las fuentes de información y 2) las pruebas que se aplicaron para obtener los resultados esperados.

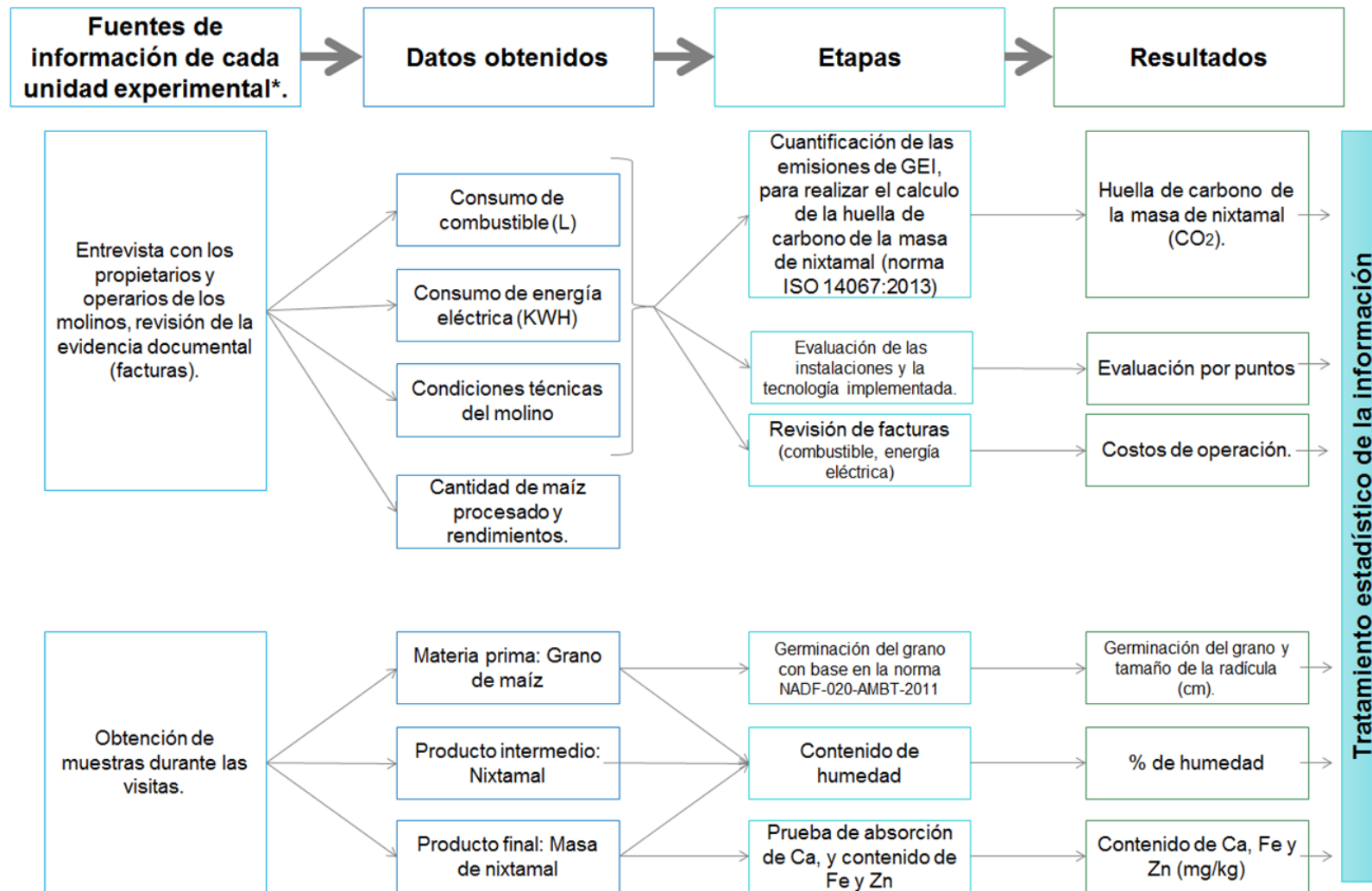


Figura 14. Metodología utilizada, tomando como unidad experimental los molinos estudiados.

Fuente: Elaborado con base en la norma ISO 14067:2013.

3.2 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA MASA DE NIXTAMAL

En la Figura 15 se observa la metodología seguida para el cálculo de la HC, la cual está basada en la norma ISO 14067:2013.

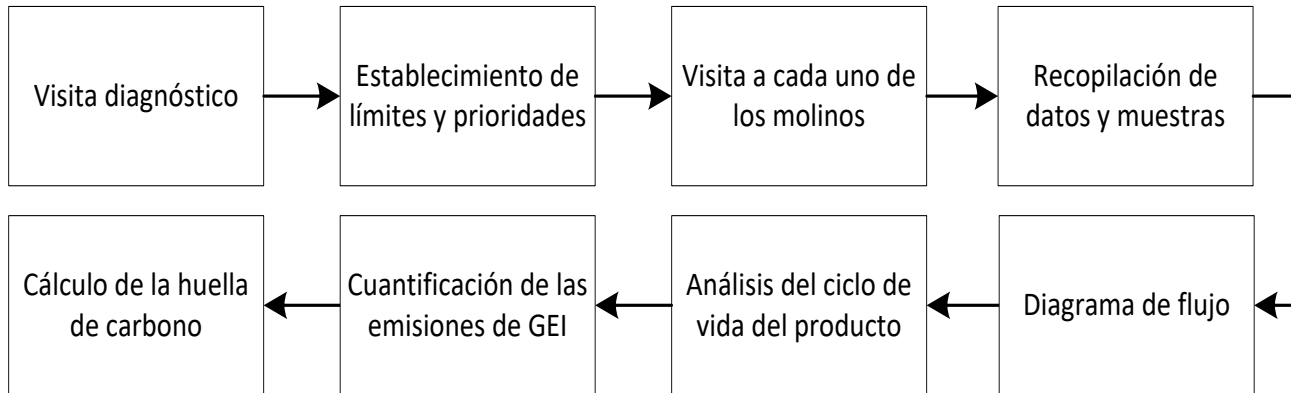
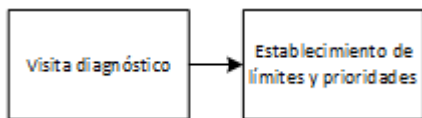


Figura 15. Metodología de la HC de la masa de nixtamal

Fuente: Elaborado con base en la norma ISO 14067:2013

Fase 1.



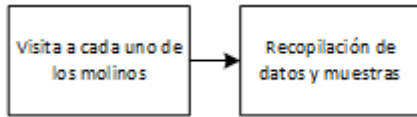
Primero, se realizó una visita preliminar a 3 molinos, lo que permitió generar una lista de verificación y un cuestionario tomando en cuenta los factores claves para el análisis del

proceso e identificación de fuentes de emisión; los cuales fueron:

- Datos generales del molino
- Información sobre el proceso de producción
- Características de la materia prima y energéticos
- Características del producto final (masa de nixtamal)
- Estructura de costos y fluctuación de precios
- Características de las instalaciones y tecnologías implementadas

Se determinó que el modelo a emplear es GTG, tomando en cuenta desde el ingreso del maíz al almacén hasta la obtención de la masa de nixtamal, dentro de los molinos de nixtamal, debido a las limitaciones del estudio previamente descritas.

Fase 2.



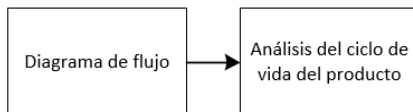
Se acudió a los 10 molinos descritos anteriormente en los meses de junio, julio y agosto 2015, durante las visitas se recopilaban datos mediante entrevistas y se cotejó la información de las facturas de consumo de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y combustible (gas LP o Natural, según sea el caso); a las que se le dio seguimiento durante todo el año 2015.

Con respecto a las facturas de energía eléctrica de CFE, se tomó en cuenta:

- Tipo de tarifa
- Consumo energético mensual kWh
- Demanda máxima de KW, en su caso
- Importe mensual por energía consumida

De los tres últimos puntos mencionados se calculó el coeficiente de variación de cada uno de los molinos durante los 12 meses de 2015.

Fase 3.



Se determinaron las actividades que componen el proceso con la información de cada uno de los molinos participantes; se realizó un inventario de las entradas y salidas de recursos (materiales y energéticos), como muestra la Figura 16 complementado con las fotografías presentadas en la Figura 17 tomadas en distintos molinos.

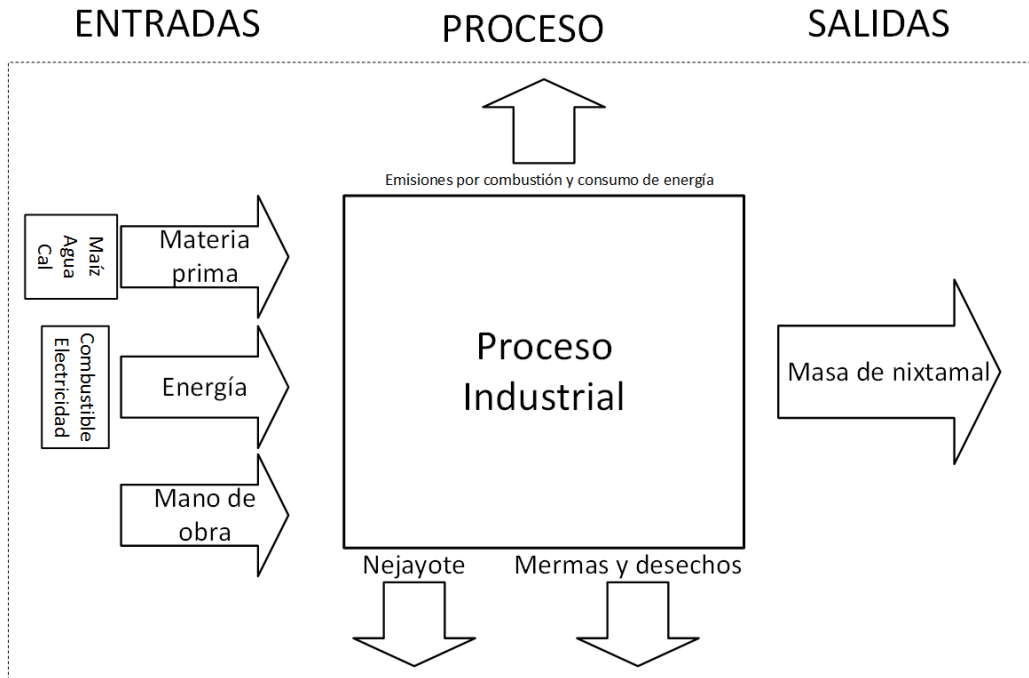


Figura 16. Modelos GTG (análisis de ciclo de vida).

Fuente: Elaborado con información del trabajo de campo.



Figura 17. Fotografías del proceso de producción en los distintos molinos.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante el trabajo de campo.

Fase 4.



Se calcularon las emisiones de GEI con base en el consumo de combustible (L de gas) y energía eléctrica (kWh), tomando en cuenta el promedio mensual de la producción de un año.

Con base en los factores de emisión de CO₂e emitidos por la SEMARNAT (2016) versión 4.0 actualizada en 29 de junio de 2016, presentados en la Tabla 10, se realizaron los cálculos de la HC emitida por tonelada de masa de nixtamal producida.

Tabla 10. Factores de emisión de CO₂e.

Fuente de emisión	Unidad	t CO ₂ e
Energía eléctrica	kWh	0.00045800
Gas LP	L	0.00163818
Gas natural (promedio asociado y no asociado) ⁵	m ³	0.00230924
Diésel	L	0.00270469
Gasolina	L	0.00232345

Fuente: SEMARNAT (2016)

3.2.1 HC y evaluación de la tecnología

La tecnología es considerada como el resultado de la materialización del conocimiento. Para evaluar la aplicación de tecnologías, se realizó una evaluación por puntos.

La tecnología se dividió en dos rubros principales y a su vez en subcategorías, los asociados al consumo de energía eléctrica y consumo de combustible; se utilizó una escala ordinal, y se ponderó de la siguiente manera:

0. No instalado o inexistente.
1. Sin mantenimiento
2. Convencional
3. Básico
4. Regular o calidad media
5. Eficiente

⁵ Asociado con el petróleo crudo o en forma independiente en pozos de gas no asociado.

ID	Molino	Motor de alta eficiencia	Banco de capacitores	Arrancador de tensión reducida	Iluminación eficiente	Tarifa industrial	Instalaciones	TOTAL	CALIFICACIÓN
1M									
2M									
3M									
4M									
5M									
6M									
7M									
8M									
9M									
10M									

ID	Molino	Paneles termicos	Tipo gas	Aislamiento en tanque	Caldera eficiente	Aislamiento de caldera	Encendido electrónico de quemador	Quemador eficiente	Aprovechamiento de fuentes de calor	Turbina	Antigüedad del equipo	Cubierta de tinas	Instalación	TOTAL	CALIFICACIÓN
1M															
2M															
3M															
4M															
5M															
6M															
7M															
8M															
9M															
10M															

Figura 18. Valoración por puntos de tecnología de los molinos de nixtamal.
 Fuente: Elaborado con información del trabajo de campo.

Se evaluaron las instalaciones, equipos y maquinaria ocupada, con especial atención en la tecnología para calentar y conservar el agua caliente y los sistemas eléctricos asociados a la molienda, tomando en cuenta el estado de sus componentes como se muestra en las Figuras 19 y 22.

En la Figura 19 se muestra el banco de molienda de piedras volcánicas; cuenta con un motor eléctrico que se encuentra ubicado en la parte inferior y que transmite la fuerza de rotación a las piedras por medio de bandas de transmisión, como se observa en la Figura 21, las capacidades del motor varían dependiendo de las características del banco de molienda, los motores de los molinos visitados tenían una capacidad de 30 y 40 HP.

En la tolva del molino (fabricada de acero inoxidable 304-L) se deposita el nixtamal lavado, que es forzado por un tornillo sinfín a pasar a través del orificio alimentador hacia las piedras que lo muelen.

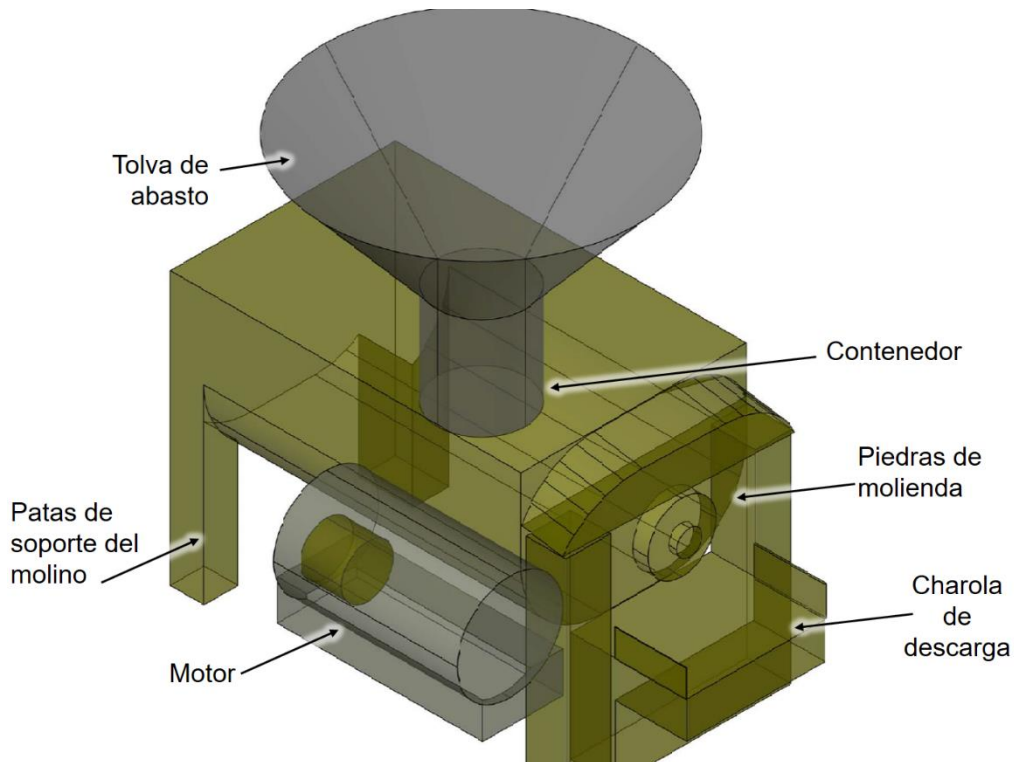


Figura 19. Componentes del banco de molienda para el proceso de nixtamalización.

Fuente: Elaborado por Alejandro Sánchez Femat con información obtenida en el trabajo de campo

Se puede observar en la Figura 20 las piedras del molino, su función es la de moler o triturar el nixtamal mediante fricción, la calidad de la masa depende del diámetro y rayado de las piedras. Una de las piedras está fija a la estructura del banco de molienda y la otra es móvil por la acción de la transmisión de fuerza por las bandas acopladas al motor, ambas piedras pueden acercarse entre sí para hacer mayor o menor presión por medio del volante que tiene el banco de molienda en uno de sus extremos y con el cual se puede ajustar la presión de las piedras para obtener la calidad de masa deseada (a mayor presión la masa será más fina); ambas piedras “están rayadas” como se muestra en las fotografías, en algunos molinos se realiza el rayado con cincel y en otros con un disco metálico acoplado a una pulidora manual; generalmente las piedras se desmontan diario para lavarlas y rayarlas, debido a que la calidad del rayado afecta la textura de la masa.



Figura 20. Piedras de molienda.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante el trabajo de campo.

El tamaño de las piedras es variable y se mide en pulgadas, los molinos pequeños utilizan piedras hasta de ocho pulgadas y los industriales que visitamos hasta 14 pulgadas.



Charola de descarga



Motor

Figura 21. Banco de molienda.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante el trabajo de campo.

Después de que el nixtamal es molido por las piedras, se convierte en masa y es depositada en la charola de descarga Figura 21, para que el operario pese la masa y se empaque en “maletas” de 50 kg.

Con respecto a la tecnología para calentar y conservar el agua caliente, se evaluaron las calderas utilizadas en los molinos, la mayoría tienen una capacidad de 1100 L, calentando el agua a una temperatura que va desde 80-95°C. Como se observa en la Figura 22, las calderas son alimentadas con gas LP o natural a través de tuberías. Cada combustible tiene propiedades distintas sin embargo, una de las más importantes es el poder calorífico, el gas LP tiene un poder calorífico promedio de 92,200 btu/m³ y el gas natural 35,500 btu/m³, siendo este 2.6 veces mayor al gas natural (GPIT, S.A. DE C.V.); por lo que para calentar la misma

cantidad de agua se requerirá mayor cantidad de gas natural que de gas LP; pero al compararlo con la HC emitida y los costos energéticos el gas natural es más eficiente. Además, para conservar el calor del agua almacenada (que proviene ya sea de calderas, calentadores de agua o sistemas solares), es indispensable el uso de tanques revestidos de fibra de vidrio y lona. La función del aislamiento térmico es minimizar la transferencia de calor del agua al ambiente.

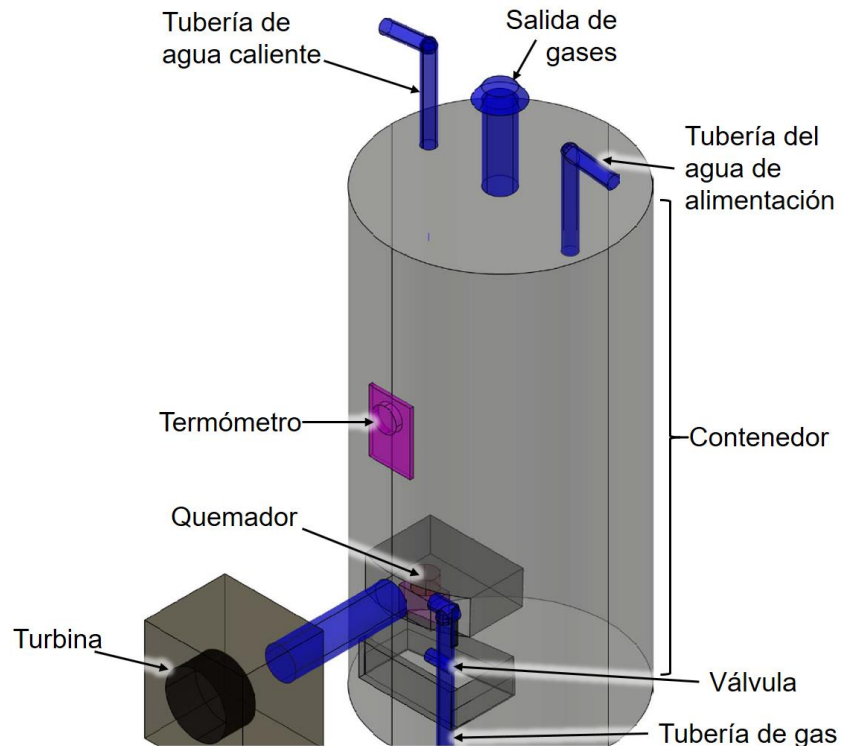


Figura 22. Componentes de la caldera para el proceso de nixtamalización.

Fuente: Elaborado por Alejandro Sánchez Femat con información obtenida en el trabajo de campo.

Para reducir las emisiones de GEI deben verificarse en el sistema de combustión tres componentes:

1. Quemador eficiente, debe ser electrónico y con inyección de aire
2. Evitar incrustaciones de minerales en el interior del tanque de agua
3. Presión constante del gas utilizado

Asimismo, se requiere colocar aislamiento térmico al tanque para conservar en la medida de lo posible la temperatura del agua.

3.2.1 HC y costos de operación

Para determinar los costos de operación, se tomaron en cuenta los costos del combustible y de la energía eléctrica. El costo de la HC se determinó con el consumo y costo promedio del año 2015 de cada molino.

Para este estudio se tomó como base el año 2015, con un costo promedio de \$7.64/L de gas LP. La Figura 23 muestra el costo promedio anual del gas LP en la Ciudad de México en los últimos años, se puede apreciar que la línea de tendencia tiene pendiente positiva, lo que indica que el precio tiende a aumentar en forma constante.

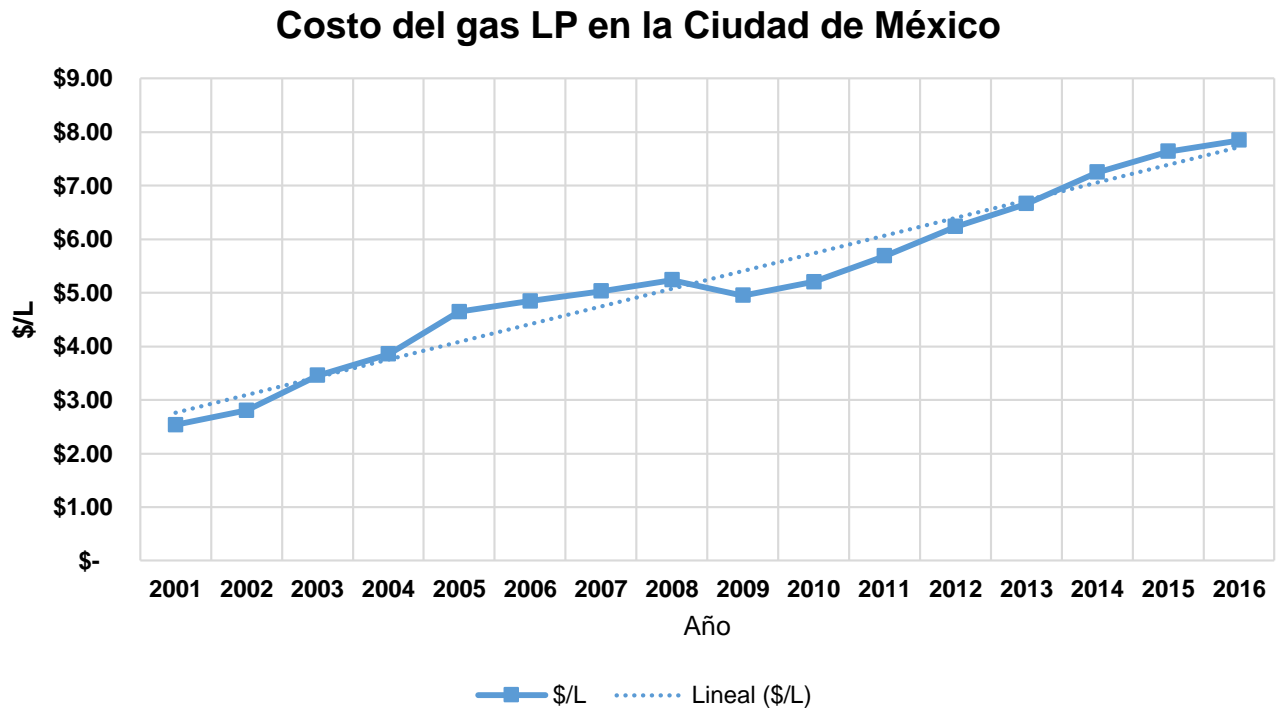


Figura 23. Costo promedio anual del gas LP en la Ciudad de México

Fuente: Elaborado con información del DOF, 2016

Los molinos visitados tenían instaladas diferentes tarifas conforme a sus necesidades, la más comunes fueron: T2 y T3; sin embargo, uno de ellos contaba con tarifa HM. La Tabla 11, muestra el promedio del año 2015 del costo y su desviación estándar por tarifa, y las características generales.

Tabla 11. Tarifas eléctricas promedio año 2015, zona centro.

Región:		Central		Año:		2015	
Tipo de tarifa	Tipo	Cuota mensual autorizada CFE (\$/kWh)		Observaciones			
2	Comercial	\$ 55.30	±1.2	Cargo fijo.			
		\$ 2.07	±0.1	Por cada uno de los primeros 50 kWh.			
		\$ 2.49	±0.1	Por cada uno de los siguientes 50 kWh.			
		\$ 2.75	±0.1	Por cada kWh adicional a los anteriores.			
3	Industria ligera	\$251.10	±5.4	Demanda máxima medida		No requiere transformador. Cargo por kWh y demanda máxima.	
		\$ 1.42	±0.1	Energía consumida kWh.			
OM (Ordinaria Media Tensión)	Industrial	\$173.16	±3.7	Demanda máxima medida.		Requiere transformador, pero no subestación.	
		\$ 1.13	±0.1	kWh energía consumida.			
H-M (Horaria Media Tensión)	Industrial	\$188.75	±4.2	Demanda facturable.		Requiere transformador y subestación.	
		\$ 1.88	±0.1	kWh Punta.			
		\$ 0.92	±0.1	KWh Intermedia.			
		\$ 0.77	±0.1	kWh Base.		Consumo mayor a 100kWh	

Fuente: CFE, 2015

3.3 CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES: CALCIO, HIERRO Y ZINC

Se analizaron tres de los elementos esenciales en la nutrición humana y que se encuentran en la masa de nixtamal, debido a que los problemas de salud por cuadros de anemia en la población mexicana se presentan principalmente por deficiencias en estos elementos (Instituto Nacional de Salud Pública, 2001).

Para la realización de esta prueba la metodología que se uso fue la siguiente:

1. Se hicieron visitas por separado a los diferentes molinos y se recolectaron muestras de masa de nixtamal por triplicado de cada uno de ellos.

2. Para el traslado de las muestras, de los molinos al laboratorio, se guardaron en bolsas selladas e identificadas en una hielera, para conservar sus características hasta las pruebas de laboratorio.
3. Como se muestra en la Figura 24, las muestras de masa se secaron en una mufla a 60°C, y después se pulverizaron en un mortero para generar harina deshidratada.
4. Se adquirieron 2 paquetes de harina de nixtamal de la marca MINSA Lote: 131503143, 131505111 y 2 paquetes más de la marca MASECA Lote: I20452, I 22253.
5. Se pesó 1 g de harina por triplicado, de cada una de las muestras de masa proveniente de los 10 diferentes molinos y también de la harina de MINSA y MASECA (se realizó el muestreo por el método de cuarteo, para asegurar una muestra representativa y homogénea).



Secado de muestras en mufla



Digestiones ácidas en placa



Filtración de digestiones

Figura 24. Fotografías tomadas durante la experimentación.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante la experimentación.

6. Se realizó una digestión ácida en planchas de calentamiento, con una temperatura promedio de 60° C durante 5 horas aproximadamente, se puede observar en la Figura 24, y se utilizaron:
 - 1 ml de ácido nítrico (HNO_3) Ultrex Marca: J.T. Baker
 - 3 ml de ácido clorhídrico (HCl) Ultrex
 - 15 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) 32 % Marca: J.T. Baker
7. Las muestras digeridas se filtraron utilizando papel filtro Whatman No. 41 y aforadas en 25 ml, como muestra la Figura 24.

8. Se envasaron y mantuvieron a una temperatura de 4° C para su preservación, previo al ser analizadas en el equipo de absorción atómica por aspiración directa en flama aire - acetílico, con estándares de calcio, hierro y zinc.

Estándar certificado

Concentración 1000 Mg/ml 10000 ppm

- Elemento: Fe
- Elemento: Zn
- Elemento: Ca

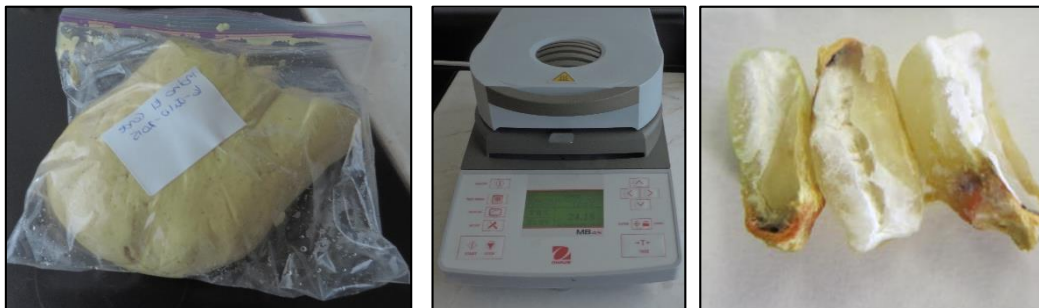
Marca: High-Purity

Presentación: 100 ml

- Lote: 1316132
- Lote: 1502616
- Lote: 1219107

3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se utilizó una termobalanza marca Ohaus MB45, se pesó 1 g por triplicado de maíz seco, nixtamal y masa nixtamalizada de cada una de las muestras de los molinos visitados, y se calculó la media y la desviación estándar del peso de las muestras, como muestran las fotografías de la Figura 25.



Muestra de masa fresca

Termobalanza

Nixtamal

Figura 25. Fotografías de la termobalanza y muestras.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante la experimentación.

3.5 PRUEBA DE GERMINACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ

La calidad de la semilla abarca la suma de todas las propiedades, una de ellas es la viabilidad del embrión, factor indispensable para la germinación, sí el embrión es viable la semilla germinará, este factor indica si una semilla está metabólicamente activa y su grado de deterioro. El método utilizado para esta prueba se basó en la norma ambiental para el Distrito Federal, NADF-020-AMBT-2011 (Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2012).

Se utilizaron 30 granos de maíz provenientes de los diferentes molinos, se tomaron de forma aleatoria sin discriminar por color, tamaño u otra característica.

1. Se colocaron filtros Whatman No. 40 dentro de las cajas Petri.
2. Como se observa en la Figura 26, se distribuyeron 10 semillas de maíz en las cajas Petri.
3. Después se distribuyeron 4 ml de agua desionizada en cada caja Petri con las semillas.
4. Se dejaron las cajas a temperatura ambiente durante 7 días y posteriormente se determinó el Índice de Germinación (IG).



Granos de maíz

Figura 26. Fotografías de las semillas secas y germinadas.

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante la experimentación.

5. Se contaron las semillas que germinaron en cada caja.
6. Finalmente se midió el largo de la radícula de las semillas que germinaron y se determinó el crecimiento promedio de la radícula.
7. Las mediciones fueron realizadas con un vernier digital.

Las mediciones se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como promedios y desviación estándar.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de datos está investigación se utilizó estadística descriptiva; los resultados se consideraron significativos si $p < 0.05$ y se utilizó el software estadístico SIGMAPLOT 12.0.

4.1 HUELLA DE CARBONO

En la Figura 27 se presenta el diagrama de flujo del proceso de producción de masa de nixtamal, en el cual se detectaron los puntos críticos ambientales en las operaciones identificadas como O-3 y O-6.

1. Se recibe la materia prima, generalmente el abastecimiento es cada semana.
2. Se verifica que la materia prima cumpla con los requisitos (limpieza, grano quebrado, tamaño), y de ser así, es aceptada y almacenada.
3. Se deposita el maíz en el cernidor, para su limpieza de piedras y basura.
4. A través del elevador de cangilones o tornillo sin fin, el maíz se deposita en las tinas de mezclado (que normalmente están instaladas en un piso/nivel superior), con la finalidad de utilizar la gravedad en las posteriores operaciones.
5. En la tina de mezclado, se agrega la cal (generalmente 1 %) y el agua caliente (80 °C) con cantidades estandarizadas en los procesos individuales de cada molino.
6. La mezcla se distribuye en las tinas de reposo para que el maíz absorba agua y cal, el tiempo de reposo es de 6 a 8 horas a temperatura ambiente, durante ese periodo se remueve (manual o automáticamente) la mezcla para que sea más homogénea.
7. Una vez obtenido el nixtamal, este debe ser lavado con agua a chorro para quitar el exceso de cal y fracción orgánica, dicho residuo se denomina nejayote.
8. A través de tubería y por acción de la gravedad el nixtamal cae en las tolvas del banco de molienda, el operario tiene el control del flujo que cae a través de una válvula de paso y también del control del agua necesaria en el momento de moler, según se requiera.
9. Las piedras volcánicas previamente preparadas (rayadas e instaladas) procesan el maíz para molerlo y generar la masa con la calidad de molienda requerida.
10. El maletero recibe la masa en la charola de descarga del banco de molienda, la pesa (50 kg por maleta), la empaca y la deposita en el mostrador para su envío a las tortillerías.

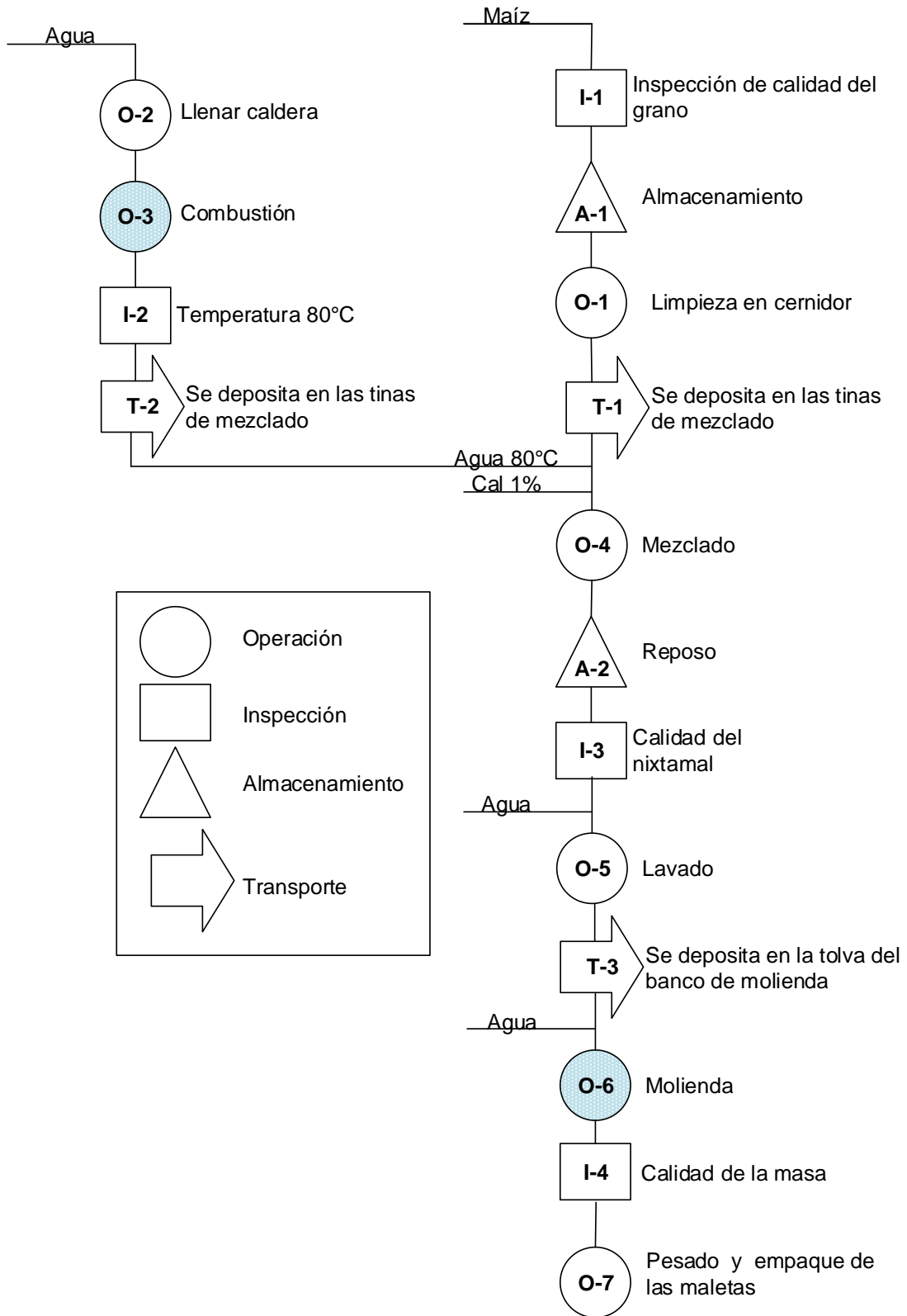


Figura 27. Diagrama de flujo de molino de nixtamal.
 Fuente: Elaborado con información del trabajo de campo.

Se proyectó la producción de masa de nixtamal y consumo (maíz, combustible y energía eléctrica) de un año de cada molino, y después se realizó el cálculo del promedio de los mismos.

En la Tabla 12, se pueden observar los datos base para el cálculo de la HC del consumo de combustible, cabe mencionar que la mayoría de los molinos utiliza gas LP (L) a excepción del molino 4M que utiliza gas natural (m³), y se aplicaron los factores de la SEMARNAT (2016) para gas LP 0.00163818 t CO₂e/L y para gas natural 0.00230924t CO₂e/m³.

Tabla 12. Datos obtenidos del consumo promedio mensual de combustible.

Propietario	Capacidad caldera (L)	Antigüedad de la caldera (Años)	Temperatura agua (°C)	Tipo de gas	T de masa de nixtamal/ mes	Consumo mensual (L)	L de Gas/T masa
1M	1100	5	90	LP	68	1350	20
2M	5000	3	93	LP	151	1950	13
3M	2200	5	95	LP	205	4800	23
4M	2200	5	90	NATURAL	263	2397.5	9 ^a
5M	1100	3	90	LP	111	1600	14
6M	2200	5	95	LP	315	7500	24
7M	1100	2	95	LP	197	3327	17
8M	1100	5	90	LP	162	4200	26
9M	1100	2	90	LP	262	4600	18
10M	1100	6	90	LP	189	4150	22
Promedio					192.39	3587.45	19.62
Desviación Estándar					74.31	1874.28	4.50
Valor Máximo					315.00	7500.00	25.93
Valor Mínimo					68.40	1350.00	12.89

Nota. ^a Unidad distinta (m³), no se tomó en cuenta en el cálculo de promedio, desviación estándar y valores máximo y mínimo.

La Tabla 13 muestra los datos base para el cálculo de la HC del consumo de energía eléctrica, con el factor 0.00045800 t CO₂e/kWh (SEMARNAT, 2016).

Tabla 13. Datos obtenidos del consumo promedio mensual de energía eléctrica.

ID	No. bancos Molienda	Capacidad bancos (HP)	Tamaño de la piedra	Tarifa eléctrica	No. de arranques al día	Masa de nixtamal t/ mes	Consumo Mensual kWh	kWh/T masa
1M	1	40	12	2	4	68	2100	31
2M	1	40	14	2	6	151	4500	30
3M	2	40	14	2	4	205	5500	27
4M	2	30	13	H-M	6	263	4762	18
5M	1	40	13	3	5	111	3800	34
6M	2	40 y 30	14	3	2	315	7050	22
7M	2	30	14	3	5	197	4800	24
8M	1	40	14	3	3	162	4673	29
9M	2	30	13	3	4	262	7750	30
10M	1	40	13	3	5	189	4683	25
Promedio						192.39	4961.80	26.96
Desviación Estándar						74.31	1577.78	4.67
Valor Máximo						315.00	7750.00	34.23
Valor Mínimo						68.40	2100.00	18.08

De los datos mostrados anteriormente se calculó la HC total emitida por la producción de una tonelada de masa de nixtamal.

Tabla 14. HC promedio de una tonelada de masa de nixtamal.

ID	T de masa de nixtamal/ mes	HC Consumo eléctrico	HC Consumo gas	TOTAL CO ₂ e/T masa	
1M	68	14.06	32.33	46.39	
2M	151	13.62	21.11	34.74	
3M	205	12.29	38.36	50.66	
4M	263	8.28	21.02	29.30	
5M	111	15.68	23.61	39.29	
6M	315	10.25	39.00	49.25	
7M	197	11.14	27.61	38.75	
8M	162	13.21	42.47	55.68	
9M	262	13.56	28.78	42.34	
10M	189	11.37	36.04	47.41	
Promedio		192.39	12.35	31.04	43.38
Desviación Estándar		74.31	2.14	7.78	8.00
Valor Máximo		315.00	15.68	42.47	55.68
Valor Mínimo		68.40	8.28	21.02	29.30

La HC promedio de una tonelada de masa nixtamal producida, de los diez molinos visitados, fue de 43.38 (expresada en kg CO₂e); si únicamente se considera un molino promedio con una

producción 63 toneladas de masa de nixtamal mensual, teóricamente emitiría 32.8 toneladas CO₂e durante un año. Si se evalúa de esta manera, las emisiones de un sólo molino podrían ser despreciables si se compara con otro tipo de industrias que superan las 25 mil toneladas anuales, sin embargo, cuando se toman en cuenta todos los molinos existentes en el país, el efecto de toda esta industria es muy importante.

$$70,000 \text{ molinos} \times 32.8 \text{ t CO}_2\text{e promedio anual} = 2,295,670 \text{ t CO}_2\text{e promedio anual}$$

Para el año 2018, las industrias que generen 25,000 t CO₂e estarán obligadas a realizar dictamen de verificación, conforme al Reglamento de la LGCC (2014), sin embargo, la legislación está dirigida a empresas individuales y no grupos, pero es importante que los legisladores tengan contemplado estas microindustrias y su impacto al ambiente.

La Figura 28 muestra gráficamente los resultados obtenidos al calcular la HC (expresada en kg CO₂e) de una tonelada de masa de nixtamal.

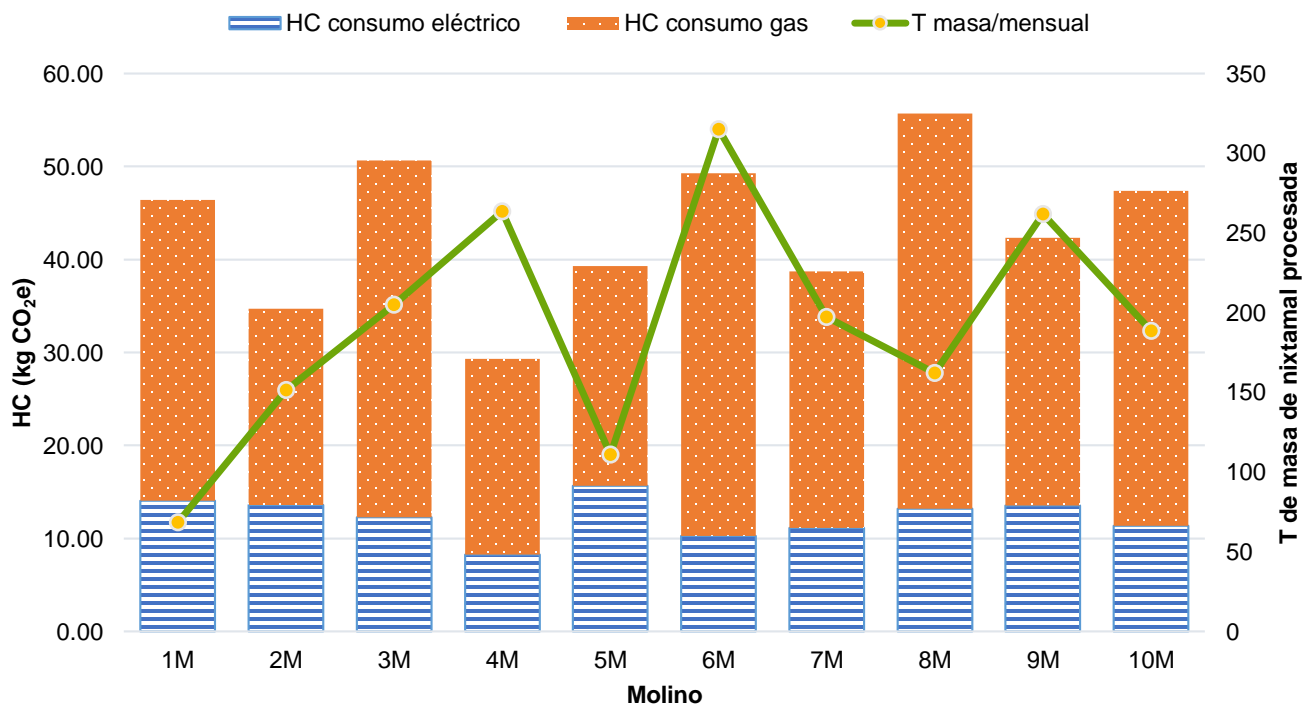


Figura 28. HC promedio de una tonelada de masa de nixtamal.

La HC de la masa de nixtamal se ve afectada directamente por dos variables principales: el consumo de energía eléctrica y de combustibles en el proceso productivo de los molinos. Con respecto al consumo de energía se tomaron en cuenta los kWh por tonelada de masa de

nixtamal procesada, el impacto promedio de esta variable en la HC dio como resultado 29 %, y 71 % restante se le atribuye al consumo de combustible que se midió en L de gas LP o m³ de gas natural (dependiendo el molino) por tonelada procesada de maíz. Lo anterior se debe a que la energía calorífica es indispensable en este proceso de transformación.

Por el formato de la tesis se comenzará a exponer los resultados de las hipótesis 2 y 3, y se finalizará con la hipótesis 1 que será expuesta en la sección 4.2

HIPÓTESIS 2

Es notorio que la HC es distinta en cada uno de los molinos, por lo tanto, se realizó la prueba de la hipótesis 2 postulada en esta investigación: *“La HC de la masa de nixtamal se reduce conforme se aplican tecnologías en los procesos”*.

Con base en las determinaciones anteriores se decidió aplicar la siguiente ecuación, que consideraban el impacto en la HC de cada variable:

$$IT = (PTE * 0.29) + (PTC * 0.71)$$

IT: Impacto de la tecnología

PTE: Puntaje de la Tecnología enfocada en Eficiencia Energética

PTC: Puntaje de la Tecnología enfocada en Eficiencia de Combustibles

Valoración de la tecnología

En la Tabla 15, se muestran los resultados del cálculo de la valoración por puntos de la tecnología implementada en cada molino.

Tabla 15. Valores obtenidos en la valoración por puntos.

ID	Puntuación electricidad	Puntuación combustible	Puntuación tecnología A*	Puntuación tecnología B**	Puntaje
1M	23	21	0.767	0.389	49.84
2M	18	51	0.600	0.944	84.46
3M	20	23	0.667	0.426	49.57
4M	30	41	1.000	0.759	82.91
5M	23	39	0.767	0.722	73.51
6M	25	34	0.833	0.630	68.87
7M	26	45	0.867	0.833	84.30
8M	24	25	0.800	0.463	56.07
9M	24	44	0.800	0.815	81.05
10M	23	26	0.767	0.481	56.42

Nota. A** Energía eléctrica B**Combustible

La Figura 29, muestra los resultados promedios de la HC de la masa de nixtamal proveniente de cada uno de los molinos comparada con la puntuación asignada de inversión tecnológica en sus instalaciones.

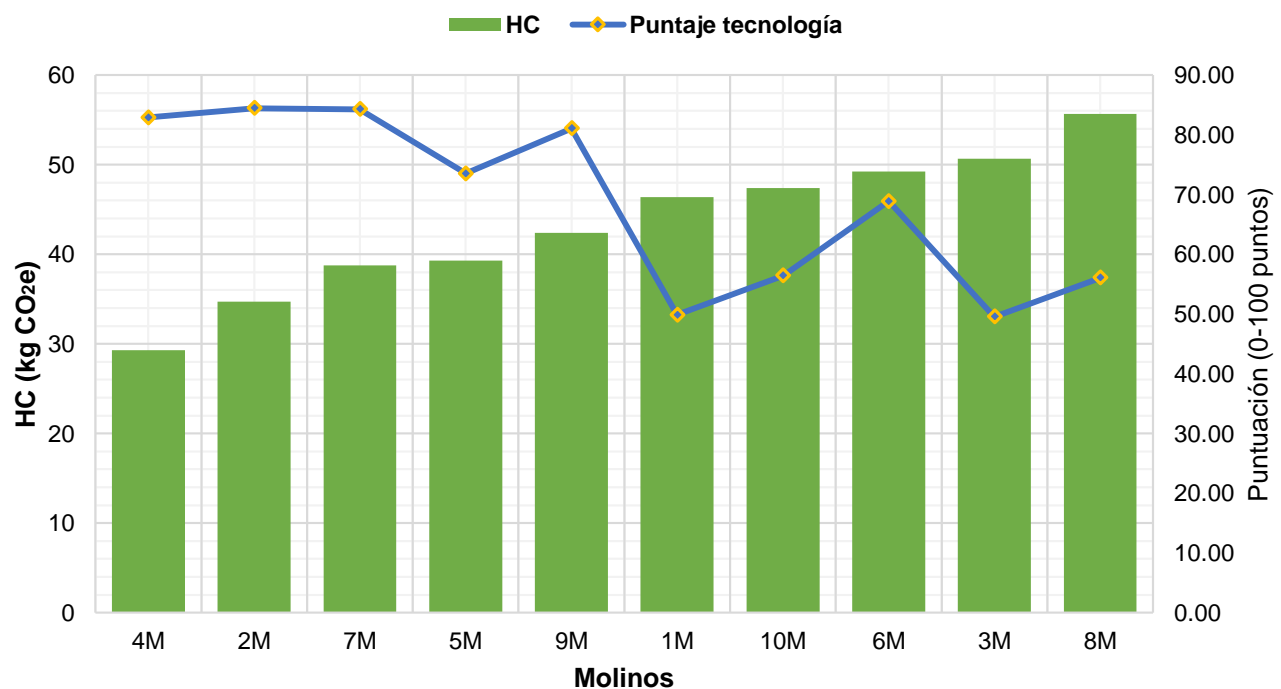


Figura 29. Comparación de la HC y la evaluación de tecnología de cada molino.

Se evaluó la existencia de dependencia entre la variable HC (cuantitativa) y las tecnologías (cualitativa); para el tratamiento de estos datos se utilizó la prueba de Spearman, a pesar de que esta prueba se considera de menor poder, se aplicó debido a que una de las variables (tecnologías) era no paramétrica. Los resultados fueron $P < 0.05$, con un coeficiente de correlación de -0.842 , lo que indica que estadísticamente las variables sí tienen relación; debido a que el coeficiente de correlación es negativo indica que una variable tiende a disminuir mientras que la otra aumenta. Por lo tanto, se tienen los elementos estadísticos para aceptar la hipótesis 2 postulada “La HC de la masa de nixtamal se reduce conforme se aplican tecnologías en los procesos”.

Los molinos con menor HC y mejor puntuación en tecnología eléctrica tienen un menor consumo de energía eléctrica y se caracterizan por utilizar motores de alta eficiencia, arrancador de tensión reducida, banco de capacitores y la realización de mantenimiento continuo en sus instalaciones, como se muestra en la Figura 30. Con respecto al consumo de combustibles la instalación de equipos recientes, paneles de calentamiento solar, aislamiento en tanque de agua caliente, calderas eficientes, quemadores cerámicos con encendido electrónico, utilización de inyección de aire por medio de turbina y mantenimiento de calor dentro de las tinas de reposo con sellado hermético.



Figura 30. Instalaciones de los molinos más eficientes.

Las principales diferencias individuales con el resto de los molinos son:

- Molino 4M. Tarifa eléctrica contratada H-M y uso de gas natural.
- Molino 2M. Paneles solares térmicos y tanque de aislamiento de alta eficiencia, aprovechamiento de fuentes de calor.
- Molino 7M. Aprovechamiento de fuentes de calor y paneles solares térmicos.

A diferencia, en los molinos con mayor HC se detectaron las características que se pueden observar en la Figura 31 algunos ejemplos de las instalaciones:



Calderas y turbinas



Paneles solares (tubos evacuados)



Tanque de gas



Motor del banco



Tinas sin recubrimiento



Caldera y tanque sin revestimiento

Figura 31. Instalaciones de molinos con mayor HC

Fuente: Archivo de la autora, tomadas durante el trabajo de campo.

- Molinos 8M y 3M. Cuentan con paneles solares térmicos de tubos evacuados, sin embargo, estos se encuentran en mal estado (muchos tubos estaban rotos en ambos casos), lo que indica que no sólo es importante invertir en tecnología, también es necesario considerar en la inversión el mantenimiento constante a las instalaciones. Los quemadores estaban en mal estado, las flamas eran color rojo por una mala combustión del gas (por la presencia de partículas de óxido nitroso) y las turbinas eran obsoletas o sin mantenimiento.
- Molino 6M. Es uno de los molinos con mayor productividad, se caracteriza por tener pocos arranques durante el día ya que su producción es continua; cuenta con paneles

solares térmicos instalados sin embargo, requieren de mantenimiento al igual que toda la instalación; y con ello podría disminuir considerablemente sus emisiones de HC.

- Molino 1M. Tarifa eléctrica 2, no cuenta con paneles solares ni tanques revestidos, requiere mayor inversión en tecnología.

Finalmente, los resultados de los molinos con calificación intermedia:

- Molino 5M. El propietario del molino está comenzando a invertir en la mejora de su proceso e instalaciones, y es muy probable que en futuras mediciones la HC sea menor.
- Molino 9M. Es un molino que cuenta con paneles solares térmicos, sin embargo, el resto de las instalaciones son antiguas y requiere un mayor mantenimiento preventivo.
- Molino 10M. Es un molino de producción media, sus instalaciones son regulares. La inversión en tecnología es deficiente.

HIPÓTESIS 3

La hipótesis 3 postulada en esta investigación: *“La HC de la masa de nixtamal producida en molinos tiene relación con los costos de operación, es decir a mayor HC mayor costo”*.

Como se mencionó en el marco teórico la HC tiene múltiples beneficios como herramienta técnica, siendo su objetivo principal evaluar el impacto ambiental (emisiones de GEI), sin embargo, otro de los grandes beneficios es la aportación de información sobre los costos inherentes a los procesos que integra la manufactura de un producto, es decir los costos de operación. En general, la mayor parte del costo de la masa de nixtamal se concentra en los insumos, especialmente en insumo principal que es el maíz. Figura 32, muestra la proporción aproximada de los costos variables para la fabricación de la masa de nixtamal, cabe mencionar que en esta grafica no se consideraron los costos fijos.

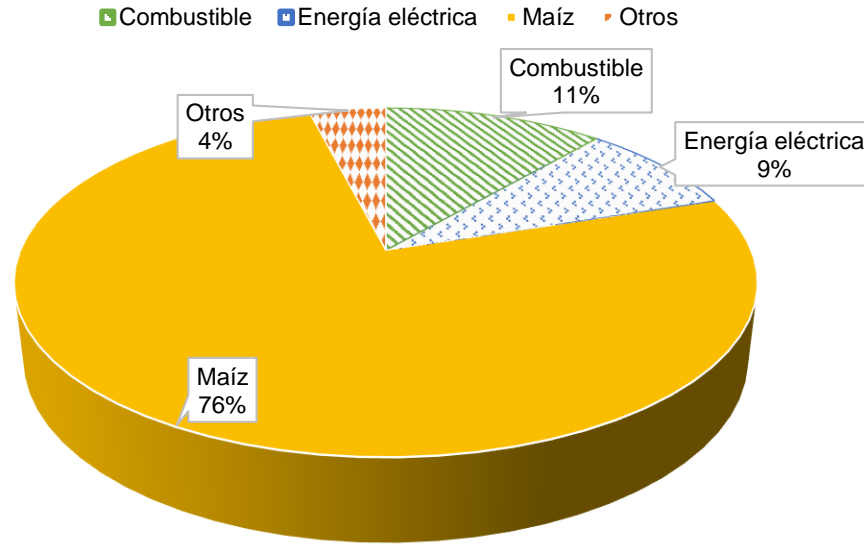


Figura 32. Costos variables para la producción de masa de nixtamal.

Fuente: Elaborado con información de trabajo de campo.

En la Tabla 16 se pueden observar los cálculos de los costos promedio del año 2015 para producir una tonelada de masa de nixtamal, que aproximadamente representan 20 % del costo de producción de una tonelada de masa de nixtamal.

Tabla 16. Costo promedio 2015 de producción por tonelada de masa de nixtamal.

ID	Tarifa eléctrica	Costo electricidad (\$)	Costo combustible (\$)	Total (\$)	Costo eléctrico (%)	Costo combustible (%)	TOTAL CO ₂ e/T masa
1M	T2	107.79	152.80	260.59	0.41	0.59	46.39
2M	T2	104.34	98.72	203.06	0.51	0.49	34.74
3M	T2	94.13	179.52	273.65	0.34	0.66	50.66
4M	HM	39.06	50.10	89.16	0.44	0.56	29.30
5M	T3	139.39	111.50	250.89	0.56	0.44	39.29
6M	T3	90.28	183.36	273.64	0.33	0.67	49.25
7M	T3	123.53	130.04	253.57	0.49	0.51	38.75
8M	T3	111.27	199.49	310.76	0.36	0.64	55.68
9M	T3	111.21	134.94	246.15	0.45	0.55	42.34
10M	T3	103.05	166.69	269.74	0.38	0.62	47.41
Promedio				243.12	0.43	0.57	43.38
Desviación Estándar				60.50	0.08	0.08	8.00
Valor Máximo				310.76	0.56	0.67	55.68
Valor Mínimo				89.16	0.33	0.44	29.30

La Figura 33 es un reflejo de ello, se ordenaron los molinos con base en el costo que representa el consumo de energía eléctrica y combustibles para el proceso de producción de una tonelada de masa de nixtamal, tomando como base el promedio anual.

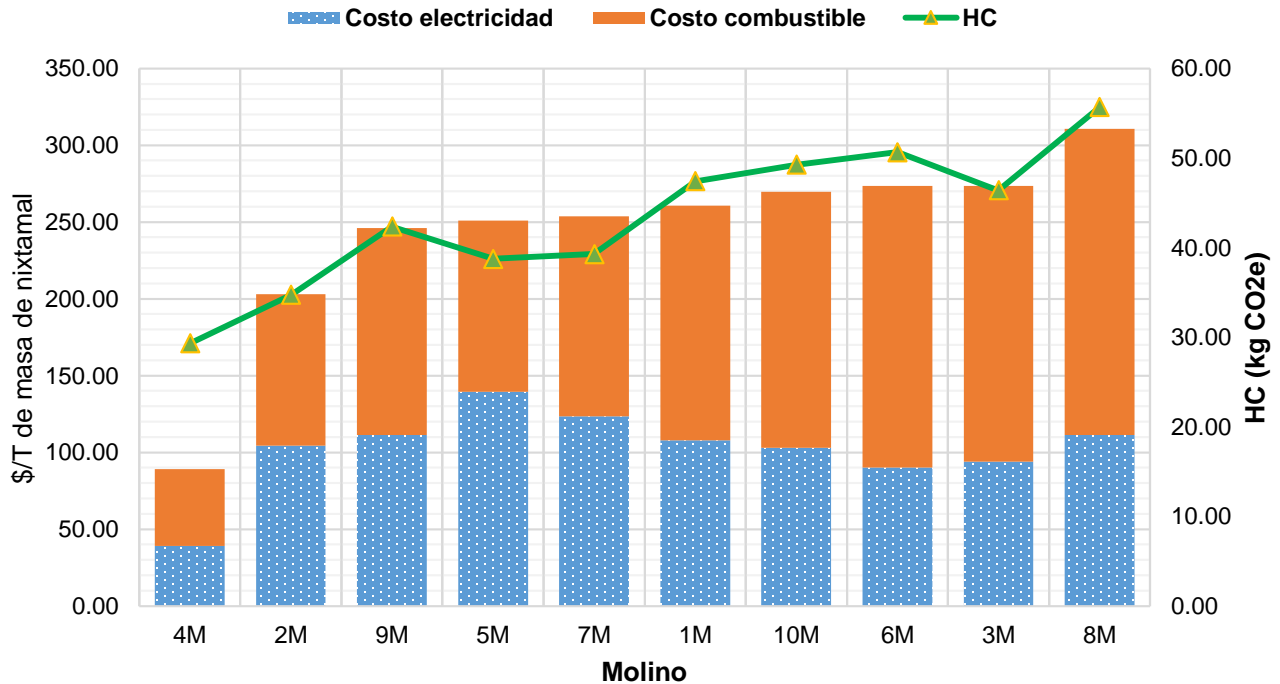


Figura 33. HC y costo de la masa de nixtamal de cada molino.

El “Costo de la electricidad” se calculó con base en el costo promedio anual de kWh, y se determinó por el procesamiento promedio de una tonelada de masa de nixtamal. Conforme a los resultados, la tarifa más recomendable económicamente para esta industria es la H-M (Horaria Media Tensión) cuando se tiene una demanda máxima superior a los 100 KW; la cual se rige por zonas y horario, en consecuencia, se sugiere la integración de molinos por zonas comerciales. La tarifa 3 se considera la más costosa porque la CFE toma de base la transformación de la energía de Media Tensión a Baja Tensión, en la cual se cobra una cuota establecida por cada por cada KW consumido más los kWh, con un costo único sin importar el horario, siendo este el más elevado del tabulador de costos de la CFE.

Con respecto al “Costo de combustible”, se tomó en cuenta el costo por L de gas de LP o m³ de gas natural (según sea el caso); se determinaron los L o m³ consumidos por tonelada de masa de nixtamal procesada y se calculó el costo total. Es evidente que los molinos que tienen

instalados paneles solares térmicos disminuyen el consumo de L de gas, lo que se ve reflejado directamente en los costos de operación. Por decreto presidencial el costo del gas se mantuvo estable durante el año 2015, sin embargo, en comparación con el año 2010 el costo de dicho combustible se ha incrementado en 34 % y tiende a incrementar de forma considerable.

Al final se realizó una Correlación lineal entre las variables Costo y HC por tonelada procesada de masa de nixtamal, en cada uno de los molinos; teniendo como resultado una $R^2=0.77$, $P<0.001$ y $F=26.841$; por lo tanto, se cuenta con evidencia para poder aceptar la “Hipótesis 3: La HC de la masa de nixtamal producida en molinos tiene relación con los costos de operación, es decir a mayor HC mayor costo”.

4.2 CONTENIDO DE MICRONUTRIENTES: CALCIO, HIERRO Y ZINC

Los resultados sobre el contenido de nutrientes se pueden ver en la Tabla 17:

Tabla 17. Contenido promedio de Ca, Fe y Zn en masa de nixtamal y harinas.

Identificación	R e s u l t a d o s mg / Kg					
Molino	Ca		Fe		Zn	
1	3763.630	± 44.367	24.189	± 4.439	20.84	± 0.822
2	3046.730	± 52.917	24.185	± 4.417	23.17	± 1.824
3	7680.140	± 482.740	28.112	± 0.975	19.21	± 0.752
4	7392.230	± 117.785	25.919	± 2.845	18.65	± 2.806
5	6440.050	± 583.560	18.887	± 1.813	15.05	± 0.820
6	5883.930	± 352.122	23.818	± 5.805	19.55	± 1.021
7	7881.350	± 261.728	26.767	± 2.446	22.48	± 4.902
8	7947.540	± 347.511	25.870	± 1.629	18.88	± 0.551
9	7732.280	± 1568.842	25.076	± 3.921	16.80	± 1.309
10	8355.300	± 735.459	37.048	± 5.377	18.13	± 2.506
Promedio ^a	6612.318	± 454.703	25.987	± 3.367	19.276	± 1.731
Valor Máximo ^a	8355.300		37.048		23.169	
Valor Mínimo ^a	3046.730		18.887		15.048	
MINSA	5787.310	± 36.673	32.240	± 3.726	34.14	± 7.912
MASECA	1523.570	± 164.764	43.855	± 1.928	49.49	± 0.381
Promedio ^b	3655.440	± 100.719	38.048	± 2.827	41.812	± 4.147

Nota. ^a Promedio de las masas de nixtamal ^b Promedio de las harinas procesadas de nixtamal

Se puede observar en la Tabla 17 que el contenido promedio de Ca es de 6,612 mg/kg, sin embargo, la harina proveniente de MASECA presenta un contenido por debajo de la media y del

valor que presenta la masa de nixtamal. Cabe mencionar que esta prueba a pesar de haberla corrido por triplicado las muestras del molino 9 tiene un coeficiente de variación de 20% lo que indica que hubo un error en la determinación de Ca y por lo tanto estos datos no fueron considerados en los cálculos estadísticos.

Los datos obtenidos del contenido de los micronutrientes calcio, hierro y zinc en la masa de nixtamal se ajustaron a una distribución normal con la prueba de bondad de ajuste Shapiro-Wilk y cumplieron el supuesto de homocedasticidad, se aplicó la prueba paramétrica Análisis de Variancia de una vía, el factor fue la variable molino con 3 niveles que representan la cantidad muestras obtenidas. El análisis de datos mostró que existe diferencia significativa en cada una de las pruebas:

Tabla 18. Pruebas estadísticas aplicadas.

Pruebas	Ca (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Distribución normal	P = 0.654	P=0.427	P=0.140
Homocedasticidad	P = 0.175	P=0.666	P=0.318
Distribución Fisher	F= 71.578 (9,16)	F=4.252 (9,20)	F=3.859 (9,18)
Probabilidad	P<0.001	P=0.004	P=0.006

En la Figura 34, se puede observar gráficamente el contenido de los nutrientes en la masa de nixtamal producida en cada molino. Para una mejor lectura la tabulación del eje vertical izquierdo aplica a Fe y Zn, y el lado derecho a Calcio.

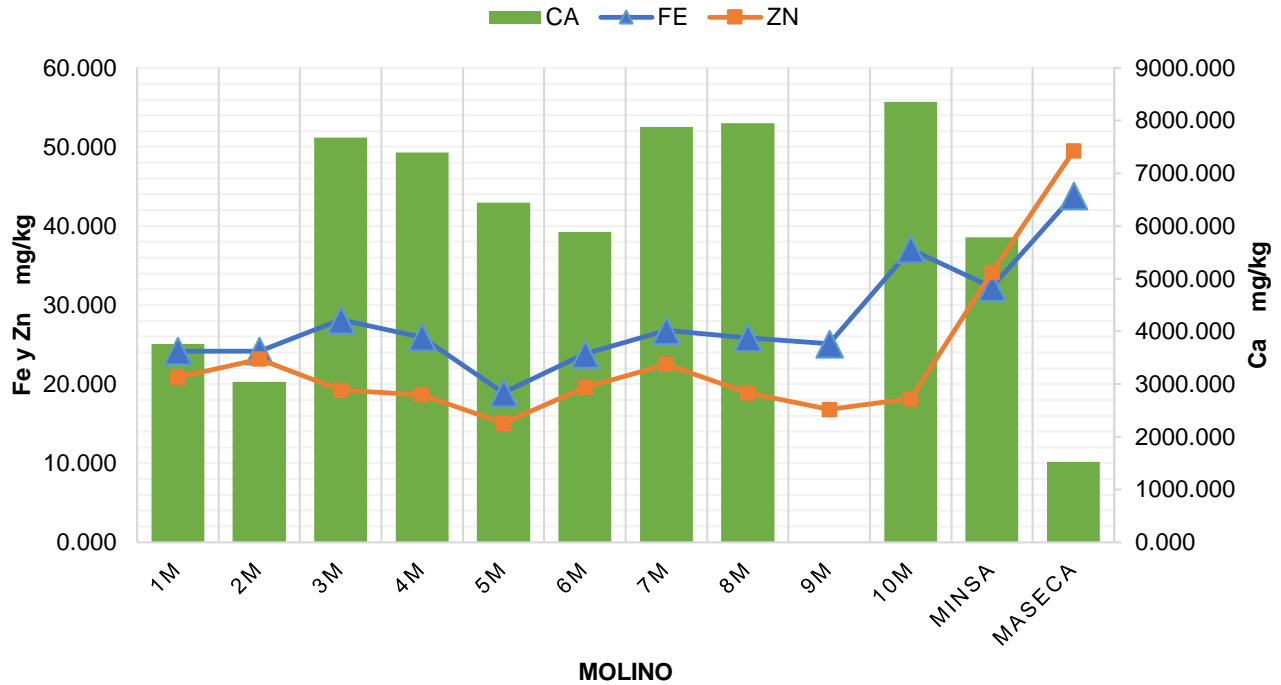


Figura 34. Contenido de Ca, Fe y Zn de la masa de nixtamal proveniente de cada molino.

Se aplicó el test Tukey, y se encontró diferencia significativa, como se muestra en la siguiente Tabla 19, los resultados del análisis de varianza aplicando la prueba Tukey entre las muestras obtenidas de los diferentes molinos.

Tabla 19. Resultados de la prueba de Tukey.

Factores comparados	Zn P<0.05	Fe P<0.05
Molino 2 vs Molino 5	0.05	
Molino 2 vs Molino 9	0.043	
Molino 10 vs Molino 5		<0.001
Molino 10 vs Molino 6		0.015
Molino 10 vs Molino 2		0.019
Molino 10 vs Molino 9		0.033

Nota. Pruebas que resultaron con significancia.

Los resultados de Calcio en la prueba estadística ANOVA muestran que hay diferencia significativa $P < 0.05$ entre todos los molinos. Los molinos 1M, 2M, 5M, 6M son los que presentan menor contenido de Ca en el orden mencionado y en combinación con el grupo de mayor contenido de Ca en el orden mencionado 10M, 3M, 4M, 5M; es evidente que para esta

prueba estadística de Ca no se consideraron los datos provenientes del molino 9 debido a que como se mencionó anteriormente se rechazaron por su alto coeficiente de variación.

HIPÓTESIS 1

Las Figuras 35, 36 y 37 son las representaciones graficas de las regresiones de la variable HC con cada uno de los nutrientes evaluados: Ca, Fe y Zn, respectivamente. En todas se puede visualizar que existe dispersión en los datos y al correr las pruebas estadísticas podemos corroborar numéricamente los resultados: HC y Ca ($R^2 = 0.0649$ y $P=0.508$), HC y Fe ($R^2=0.0634$ y $P=0.483$), HC y Zn ($R^2=0.0177$ y $P=0.714$) demuestra que las regresiones no son significativas, por lo tanto, no existe relación entre las variables.

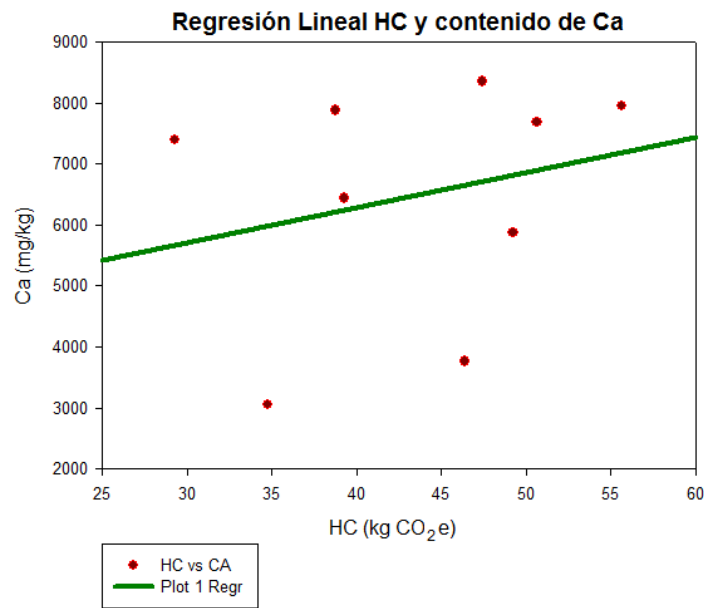


Figura 35. HC y contenido de Ca de la masa de nixtamal por molino.

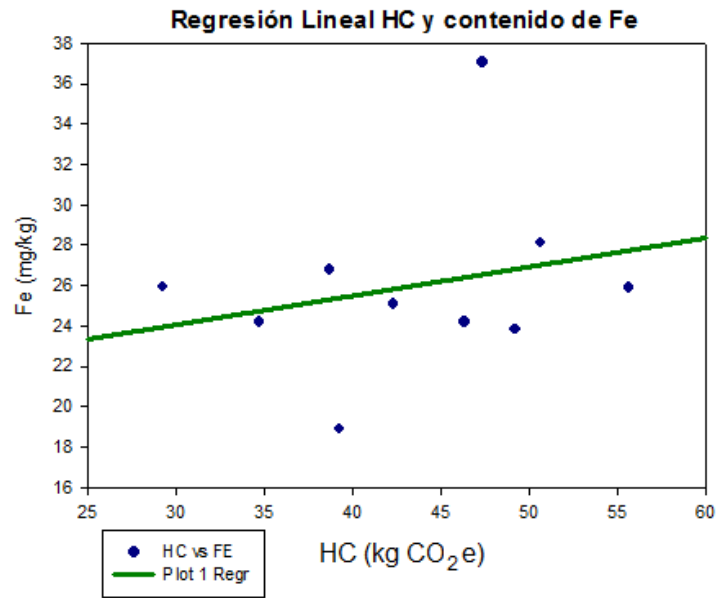


Figura 36. HC y contenido de Fe de la masa de nixtamal por molino.

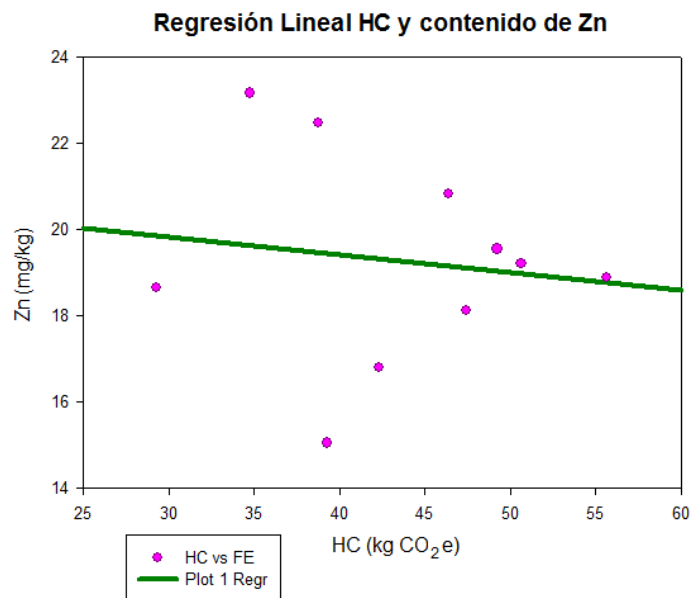


Figura 37. HC y contenido de Zn de la masa de nixtamal por molino.

4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

Otro efecto importante que ocurre en el maíz para convertirse en nixtamal, es la absorción de agua necesaria para obtener una masa de nixtamal húmeda para producir una tortilla de fácil manejo en las máquinas para tal fin.

Con respecto al consumo de agua, elemento básico para el proceso, se puede apreciar en la Figura 38 los consumos que cada molino utiliza por tonelada de maíz procesado; es notorio que no necesariamente la cantidad de agua depende de las toneladas procesadas de maíz, es una cuestión particular de cada molino. Durante las entrevistas y cotejándolo con las visitas, el mayor desperdicio de agua se centra en el lavado de nixtamal, en el cual se pretende eliminar la mayor cantidad de nejayote, para evitar tener una masa de menor calidad.

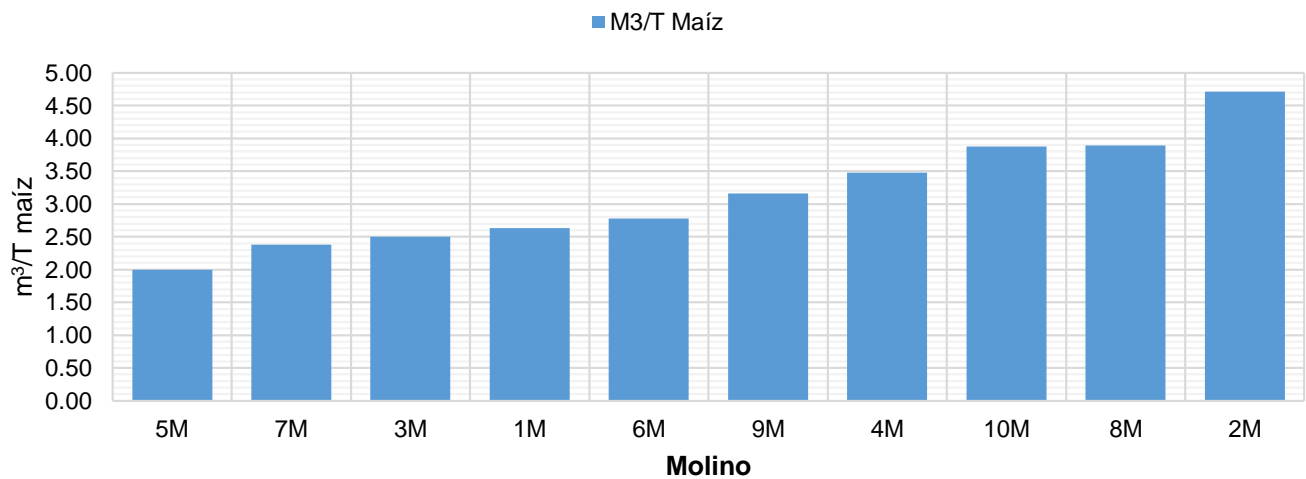


Figura 38. Agua utilizada en el procesamiento de maíz.

En este contexto, también se midió el porcentaje de humedad del grano de maíz seco, del nixtamal y de la masa de nixtamal fresca, para conocer la cantidad de agua absorbida durante el proceso que cada molino aplica. Los resultados se aprecian en la Tabla 20.

Tabla 20. Contenido de humedad del grano de maíz, del nixtamal y de la masa.

ID	R e s u l t a d o s % de humedad		
	Grano maíz	Nixtamal	Masa
1M	0.33 ± 0.05	30.26 ± 1.84	50.91 ± 0.89
2M	0.36 ± 0.04	30.59 ± 1.26	51.72 ± 0.37
3M	0.40 ± 0.09	44.05 ± 0.90	56.37 ± 1.69
4M	0.29 ± 0.06	49.97 ± 0.31	50.74 ± 0.05
5M	0.21 ± 0.06	47.65 ± 0.56	49.59 ± 0.80
6M	0.17 ± 0.01	44.23 ± 1.37	54.86 ± 1.12
7M	0.32 ± 0.05	48.41 ± 1.47	51.58 ± 0.30
8M	0.27 ± 0.06	45.07 ± 1.65	50.12 ± 0.46
9M	0.34 ± 0.06	43.99 ± 1.11	55.20 ± 0.53
10M	0.25 ± 0.04	37.43 ± 0.72	57.06 ± 0.27
Promedio	0.29	42.17	52.82
Desviación Estándar	0.070	7.052	2.767
Valor Máximo	0.40	49.97	57.06
Valor Mínimo	0.17	30.26	49.59

Se realizó la prueba de T-Pareada debido a que se deseaba conocer la dependencia de los datos cuantitativos, se corrió la prueba de normalidad Shapiro-Wilk ($P = 0.195$) y cumplió, como resultado final se obtuvo $t = -4.291$ con 9 grados de libertad, de lo que se concluye que hay diferencia significativa ($P = 0.002$) por lo tanto los datos son dependientes.

Asimismo, se determinó que la harina de nixtamal comercial presenta 7.82 % de humedad promedio, con una desviación estándar de 0.26; pero es necesario resaltar que a pesar del bajo contenido de agua que tiene el producto es necesario añadir agua para convertirla en masa.

En ambos procesos se forman los testales y se aplanan para ser cocidos, y nuevamente perderá humedad para que pueda ser consumido como tortilla.

4.4 PRUEBA DE GERMINACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ

Finalmente se realizó una evaluación básica al grano de maíz seco, para conocer su calidad general; en el momento en que se realizó el estudio la mayoría de los molinos trabajaban con maíz proveniente de Sinaloa cosecha 2015, excepto el molino 3M que mencionó que su maíz era proveniente de Michoacán cosecha 2015. Se puede apreciar en la Tabla 21 los resultados, en su mayoría son homogéneos y es notoria la diferencia del maíz del molino 3M.

Tabla 21. Resultados del crecimiento de la radícula del grano de maíz germinado.

MOLINO	1M	2M	3M	4M	5M	6M	7M	8M	9M	10M	PROMEDIO GENERAL
TP (cm)	4.89	5.79	4.09	6.12	7.60	6.39	8.29	7.36	5.53	5.57	6.16
Desviación E.	2.69	3.38	3.01	3.03	3.27	2.99	3.76	3.00	2.20	2.21	2.95
Germinadas	27.00	30.00	19.00	27.00	25.00	29.00	25.00	25.00	27.00	29.00	26.30

Nota. TP (cm): Tamaño promedio de las radículas. Tamaño de la muestra: 30 semillas de maíz.

Se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov, los datos son normales $P > 0.156$, un resultado esperado debido a que los molinos determinan a su proveedor de maíz dependiendo la temporada del año, para este estudio la mayoría del maíz provenía del estado de Sinaloa (cosecha 2015), por lo tanto, se puede deducir que la calidad del maíz que los establecimientos visitados utilizaron durante el estudio era homogénea.

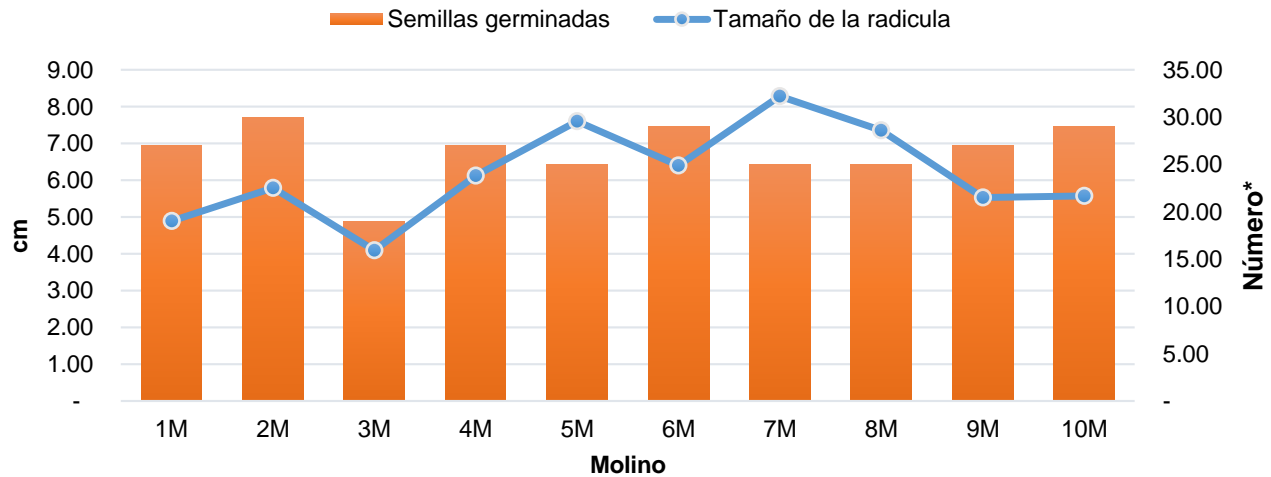


Figura 39. Tamaño de la radícula y cantidad de semillas de maíz germinadas.

* Cantidad de semillas germinadas (n/30)

Con excepción del maíz proveniente del molino 3 el cual era originario de Michoacán donde únicamente germinaron 63 % de las semillas y el tamaño promedio de la radícula fue menor a la media, cabe mencionar que el propietario mencionó que está acostumbrado a utilizar maíz de calidad media y a pesar de ello siempre busca optimizarlo para mantener su eficiencia en la producción.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo es una visión del estado actual de la industria de la molienda de nixtamal, la investigación descrita se enfocó en el cumplimiento del objetivo principal que fue determinar y analizar la huella de carbono y el contenido de los nutrientes Ca, Fe y Zn de la masa de nixtamal producida en molinos de la ZMVM, y probar las hipótesis postuladas:

Hipótesis	Descripción	Resultado	Conclusión
1	<i>“La HC de la masa de nixtamal producida en molinos tiene relación con el contenido de nutrientes (Ca, Fe y Zn).”</i>	HC y Ca: $R^2 = 0.0649$ y $P=0.508$ HC y Fe: $R^2 = 0.0634$ y $P=0.483$ HC y Zn: $R^2 = 0.0177$ y $P=0.714$	Se rechaza la hipótesis.
2	<i>“La HC de la masa de nixtamal se reduce conforme se aplican tecnologías en los procesos.”</i>	$P<0.05$ Coeficiente de correlación de -0.842	Se acepta la hipótesis.
3	<i>“La HC de la masa de nixtamal producida en molinos tiene relación con los costos de operación, es decir a mayor HC mayor costo.”</i>	$R^2=0.77$, $P<0.001$ y $F=33.791$	Se acepta la hipótesis.

La HC es un indicador ambiental que nos permite evaluar el impacto de nuestras acciones, incluyendo el costo económico; como se ha mencionado, aproximadamente 20 % del costo de la tortilla depende del consumo de energía eléctrica y combustibles; por lo tanto, si el proceso es eficiente se disminuirán el consumo de energéticos y por ende las emisiones de GEI; lo que les permitirá ser más competitivos y mantener el precio de este producto tan indispensable.

En resumen:

1. No se comprobó la existencia de relación entre las variables HC y contenido de los nutrientes Fe, Zn y Ca en la masa de nixtamal.

2. Las variables del proceso que afectan a los nutrientes son: calidad del maíz (dureza), cantidad de cal adicionada al maíz durante el proceso, el tiempo de reposo de la mezcla y la adición de cal complementaria en la molienda.
3. La implementación de tecnologías tiene relación directa con la HC debido a que el uso de nuevas máquinas, equipos y productos en procesos productivos están relacionados con menores consumos energéticos y mayor eficiencia.
4. Durante la investigación se observa que a pesar de que algunos molinos han implementado tecnología, esta no se ve reflejada en una menor HC, debido a que no se utilizó correctamente o su mantenimiento ha sido deficiente.
5. Se observó durante la investigación que la tecnología de paneles térmicos puede ser sustituida por el uso de Gas Natural, es decir invertir en paneles o instalación de Gas Natural es muy similar. Por lo que ambas inversiones en un mismo molino, no son recomendables.
6. El molino 4M se caracteriza por tener una menor HC con respecto a la muestra en estudio, por lo tanto, es conveniente tomarlo como modelo para posteriores mejoras contra sus pares, las características que le permiten tener el valor de HC de 29.30, son: tarifa eléctrica H-M, gas natural, tinas cubiertas, motores eficientes, arrancadores de tensión reducida, bancos de capacitores, proceso estandarizado, tanques de caldera revestidos, quemadores electrónicos en calderas, inyección de aire en quemadores, piedras grabadas adecuadamente, maíz de buena calidad, control de tiempos de reposo, control de adición de cal.
7. El molino que presentó mayor HC fue el 8M, emitiendo 55.68 kg CO₂e por tonelada de masa de nixtamal producida, conforme a las correlaciones que se realizaron se puede deducir que es debido al deficiente mantenimiento de las instalaciones y a la incorrecta implementación de tecnología.
8. El mantenimiento de la maquinaria y equipo en los molinos de nixtamal, con o sin tecnología implementada es crítico para reducir o incrementar la HC.

9. La estandarización de los procesos también tiene relación con la HC, la diversidad de formas de operar y de uso de los materiales impactan en los consumos energéticos y la calidad del producto.
10. Las inversiones requeridas en tecnología son recuperables en la mayoría de los casos en un Periodo de Recuperación Simple de 3 a 6 meses en función de la cantidad de producto obtenido.
11. Los costos de operación si tienen relación directa con la HC, debido a que un mayor consumo de energéticos implica mayor costo de operación y en consecuencia más emisiones de GEI.

VI. RECOMENDACIONES:

1. Para comenzar a mitigar las emisiones de GEI, los industriales deberán hacer una valoración de sus instalaciones, es decir un diagnóstico energético. Con la finalidad de analizar las diversas tecnologías utilizadas y las aplicaciones que se pueden implementar en cada caso.
2. Adicionalmente se deben elaborar los balances energéticos, diagramas de flujo, análisis de métodos de trabajo, los costos de cada proceso y el mapeo de los mismos son requeridos para extraer la información necesaria para su análisis.
3. Las sugerencias de implementación de nuevas tecnologías deberán ser evaluadas técnica y económicamente por cada inmueble.
4. Analizar en conjunto con las organizaciones el cierre de molinos pequeños y la apertura de molinos de mayor capacidad para reducir costos de operación y abastecer a los mismos clientes.
5. Realizar el estudio completo de HC bajo el modelo Cradle to Cradle (CTC), refiriéndonos al estudio completo del sistema o cadena maíz-tortilla por la relevancia que tiene dicho alimento en nuestro país, esto servirá para conocer y mejorar la calidad del maíz, la masa de nixtamal y el producto final que es la tortilla.

6. Trazar la línea base de la HC de este sector industrial.
7. Apoyar a los industriales del nixtamal a profesionalizar esta actividad económica con la aplicación de herramientas tecnológicas, de ingeniería, investigación, etc.
8. Utilizar la HC como medio de evaluación de los molinos con fines de apoyo económico gubernamental.

VII. REFERENCIAS

- Agroindustrias Integradas del Norte. (2015). Agroinsa. Recuperado en abril de 2015: <http://www.agroinsa.com/productos.html>
- Álvarez, S., & Rubio, A. (2015). Compound method based on financial accounts versus process-based analysis in product carbon footprint: A comparison using wood pallets. *Ecological Indicators*, 49, 88-94.
- Banco Mundial. (2016). Grupo del Banco Mundial. Obtenido de Emisiones de CO₂ originadas por el transporte (% del total de la quema de combustible): Recuperado en enero de 2016: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.TRAN.ZS>
- Barros, C. (2005). Justificación: argumentación técnica. En C. N. Artes, *Pueblo del Maíz: La cocina ancestral de México* (Vol. 10, págs. 31-107). México: CONACULTA.
- Bello-Pérez, L., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Núñez-Santiago, C., & Paredes-López, O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia* (36), 319-328.
- Bertran-Vilà, M. (2010). Acercamiento antropológico de la alimentación y salud en México. *Revista de Saúde Coletiva*, 20 (2), 387-411.
- Bolsa Mexicana de Valores. (2015). Nota Metodológica del IPC Sustentable. México: BMV.
- Bourges-Rodríguez, H. (2013). Historia del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. México: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.
- Broda de Casas, J. (1971). Las fiestas aztecas de los dioses de la lluvia. *Revista Española de Antropología Americana*, 6, 245-338.
- Carbon Trust. (marzo de 2012). Carbon footprinting guide. Reino Unido: Carbon Trust.
- Castro et al. (2012). EEUUAA Patente nº 9,060,638.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política. (2012). Construcción de las Líneas de Bienestar. México: CONEVAL.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2010). Informe de evolución histórica de la situación nutricional de la población y los programas de alimentación, nutrición y abasto en México. México: CONEVAL.
- Convención Marco sobre el Cambio Climático. (2015). Aprobación del Acuerdo de París. Propuesta del Presidente. París: Naciones Unidas.
- Cordes, H., Iriarte, A., & Villalobos, P. (2016). Evaluating the carbon footprint of Chilean organic blueberry production. *Int J Life Cycle Assess*, 21, 281–292.
- Correa, E. (2010). México, crisis económica y financiera. *Análisis* (6), 86-107.
- Čučeka, L., Klemeša, J. J., & Kravanjab, Z. (2012). A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 34, 9-20.
- Cuevas Sánchez, J., Miranda Colín, S., & Sahagún Castellanos, J. (2003). Evaluación experimental de la manufactura y calidad de tortillas elaboradas con frutos de teocintle y maíz. (U. N. México, Ed.) *Etnobiología*(3), 42-45.
- De Léis, C. M., Cherubini, E., & Favarini Ruviano, C. (2015). Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. *Int J Life Cycle Assess*, 20, 46-60.
- Departamento de Agricultura. (2002). Pelagra. En M. C. Latham, *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Diario Oficial de la Federación. (4 de noviembre de 1980). NMX-F-46-S-1980. México.
- Diario Oficial de la Federación. (22 de mayo de 2002). NMX-FF-034/1-SCFI-2002. (15), Tomo: DLXXXIV, 47-47. México.
- Diario Oficial de la Federación. (2 de Julio de 2009). NOM-019-ENER-2009. Eficiencia térmica y eléctrica de máquinas tortilladoras mecanizadas. Límites, método de prueba y marcado. (2), Tomo: DCLXX, 33-43. México.

- Diario Oficial de la Federación. (22 de enero de 2010). NOM-247-SSA1-2008. Productos y servicios. Cereales y sus productos. (...) especificaciones sanitarias y nutrimentales. (17), Edición Tomo: DCLXXVI, 7-7. México.
- Diario Oficial de la Federación. (3 de enero de 2013). NOM-187-SSA1/SCFI-2002. Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos (...) Métodos de prueba. (3), Tomo: DCCXII, 51-52. México.
- Diario Oficial de la Federación. (28 de noviembre de 2014 b). Lista de combustibles (...) equivalentes de petróleo. (19), Tomo: DCCXXXIV, 42-47. México.
- Diario Oficial de la Federación. (28 de octubre de 2014). Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones. (22), Tomo: DCCXXXIII, 6-20. México.
- Diario Oficial de la Federación. (28 de Julio de 2016). Decreto... gas licuado del petróleo a precios...|. (22), Tomo: DCCLIV, 21. México.
- Diario Oficial de la Federación. (1 de junio de 2016). Ley General de Cambio Climático. (1), Tomo: DCCLIII, 37-42. México.
- Diario Oficial de la Federación. (13 de mayo de 2016). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (10), Tomo: DCCLII, 29-30.
- Duana-Ávila, D., & Benítez-Martínez, E. G. (2010). Situación actual de los alimentos en México. Observatorio de la Economía Latinoamericana (127), 1-15.
- Earth System Research Laboratory. (s.f.). Recuperado el 12 de mayo de 2016, de www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi
- Eckhoff, et al. (2010). EEUUAA Patente nº 7,740,895.
- España, A. (1988). La alimentación y la nutrición. La antropología en México: Panorama.
- Estado de Michoacán de Ocampo. (2011). Ley de Fomento y Protección del Maíz Criollo como Patrimonio Alimentario del Estado de Michoacán de Ocampo. Morelia.
- Estado de Morelos. (2015). Ley de Protección y Conservación del Maíz Criollo en su Estado Genético para el Estado de Morelos. Cuernavaca.
- Estado de Tlaxcala. (2011). Ley de Fomento y Protección al Maíz como Patrimonio Originario, en Diversificación Constante y Alimentario, para el Estado de Tlaxcala. Tlaxcala.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Maize in human nutrition. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado en marzo de 2016: [http://www.fao.org/docrep/t0395e/T0395E02.htm#World production](http://www.fao.org/docrep/t0395e/T0395E02.htm#World%20production)
- Fernández Mendoza, C. (1996). Objetivos, alcances y problemática de instrumentación de la política de subsidio a la tortilla en México. En F. Torres, E. Moreno, I. Chong, J. Quintanilla, F. Torres, E. Moreno, I. Chong, & J. Quintanilla (Edits.), La industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y tecnología. (págs. 29-38). México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ferrer-Pujol, J. (1996). Racionalización de subsidios y liberación de precios del sector. En F. Torres, E. Moreno, I. Chong, & J. Quintanilla, La industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y tecnología. (págs. 39-48). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Francisco. (2015). Carta Encíclica Laudato si sobre el ciudadano de la casa común. Roma.
- García, C. A., García-Trevino, E. S., & Aguilar-Rivera, N. (2016). Carbon footprint of sugar production in Mexico. Journal of Cleaner Production, 112(4), 2632-2641.
- GPIT, S.A. DE C.V. (s.f.). Formulario. Recuperado el 14 de junio de 2016, de <http://www.gpit.com.mx/media/pdf/Formulario%20Gpit%200.pdf>
- Gruma, S.A.B. de C.V. (2010). Informe de sustentabilidad GRUMA. México: GRUMA. Recuperado el 29 de enero de 2016
- Grupo Industrial Maseca. (2013). Reporte anual que se presenta de acuerdo con las disposiciones de carácter general aplicables a las emisoras de valores y a otros participantes del mercado de valores por el año terminado el 31 de diciembre de 2013. México: Grupo Industrial Maseca, S.A.B. de C.V.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica. (2005). La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial. IPCC.

- Grupo Minsa. (2013). Reporte anual que se presenta de acuerdo con las disposiciones de carácter general aplicables a las emisoras de valores y a otros participantes del mercado por el año terminado el 31 de diciembre de 2013. México: Grupo Minsa, S.A.B. de C.V.
- Guzmán, M., San Vicente, F., & Díaz, D. (2008). Flujo de polen entre híbridos tropicales de Maíz de diferente color de endospermo. *Bioagro*, 20(3), 159-166.
- Hambidge, M. K., Krebs, N. F., & Westcoot, J. L. (2005). Calcium absorption from tortilla meals prepared from low-phytate maize. *The American Journal of Clinical Nutrition*(82), 84-87.
- Hassard, H., Couch, M., & Techa-erawan, T. (2014). Product carbon footprint and energy analysis of alternative coffee products in Japan. *Journal of Cleaner Production*, 73, 310-321.
- Hoesly, R., Blackhurst, M., Matthews, H., Miller, J., Maples, A., Pettit, M., . . . Fischbeck, P. (2012). Historical carbon footprinting and implications for sustainability planning: A case study of the pittsburgh region. *Environmental Science and Technology*, 46(8), 4283-4290.
- ILSI Argentina. (2006). Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. ILSI Argentina. Buenos Aires: Serie de Informes Especiales. Recuperado el 2015
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2011). La industria minera ampliada. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). Encuesta Nacional de Gastos de los Hogares 2013. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. Recuperado el 12 de enero de 2015, de Molinos de nixtamal: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Nacional de Salud Pública. (2001). Encuesta Nacional de Nutrición 1999. Estado nutricional de niños y mujeres en México. México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Informe del Grupo de Trabajo I - Base de las Ciencias Físicas. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- International Organization for Standardization. (2013). ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases- Carbon footprint of products. Ginebra: ISO.
- Jensen, J. K., & Arlbjørn, J. S. (2014). Product carbon footprint of rye bread. *Journal of Cleaner Production*, 82, 45-57.
- Kim, S., Dale, B. E., & Keck, P. (2014). Energy Requirements and Greenhouse Gas Emissions of Maize Production in the USA. *BioEnergy Research*, 7, 753-764.
- Laguna, J., & Carpenter, K. (1951). Raw versus processed corn in niacin-deficient diets. 21-28.
- Long Towell, J. (2010). Invenciones e innovaciones. La evolución de la tecnología alimentaria mesoamericana. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 46, 4-9.
- Marras, S., Masiaa, S., & Ducec, P. (2015). Carbon footprint assessment on a mature vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214-215, 350-356.
- Maximiliano-Martínez, G., Rivera-Herrejón, M. G., Franco-Malvaíz, A. L., & Soria-Ruiz, J. (2010). La comercialización de maíz después de Conasupo en dos comunidades del norte del Estado de México. *Economía, sociedad y territorio*, 11(35), 197-224.
- Méndez Albores, A., & Moreno Martínez, E. (2007). Aflatoxinas en las tortillas de maíz. *Ciencia y desarrollo*, 33(210), 14-19.
- Méndez-Martínez, J. L. (2011). Tesis: Caos-nixtamal material y energía de una técnica alimentaria Mesoamericana. Perspectivas de la antropología energética y la historia material. México: CIESAS.
- Mitastein, M. (1996). Las dos caras de la tortilla: de lo urbano a lo rural. En F. Torres, E. Moreno, I. Chong, & J. Quintanilla, La industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y tecnología. (págs. 49-62). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Molina Enríquez, A. (1908). Los grandes problemas nacionales. México: Era.

- Mondragón, M. (2004). Tesis: Estudio comparativo de cambios estructurales funcionales en almidones de maíz nixtamalizado. México: CICATA.
- Moreno-Sáenz, L. I. (2014). Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. Tijuana, México: El Colegio de la Frontera Norte.
- Mujica, M., Blanco, G., & Santalla, E. (2016). Carbon footprint of honey produced in Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 116, 50-60.
- Nussbaumer, et al. (2015). EEUUAA Patente nº 9,113,651.
- Obregón Hernández, O. (2004). El uso de harina minsa en sustitución del maíz. Boca del Río: Universidad Veracruzana.
- Organización de las Naciones Unidas. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oslo: Organización de las Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). Maize in human nutrition. Recuperado el marzo de 2016, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: [http://www.fao.org/docrep/t0395e/T0395E02.htm#World production](http://www.fao.org/docrep/t0395e/T0395E02.htm#World%20production)
- Paredes López, O., Guevara Lara, F., & Bello Pérez, L. A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencia UNAM*, 60-70.
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F., & Bello Pérez, L. A. (2008). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias UNAM*, 60-70.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Velázquez, D. (2013). Revisiting energy efficiency fundamentals. *Energy Efficiency*, 6, 239–254.
- Pérez-Suárez, T. (1993). Los dioses mayas. *Arqueología Mexicana* (88), 57-65.
- Puettmann, M., Bergman, R., Hubbard, S., Johnson, L., Lippke, B., Oneil, E., & Wagner, F. (2010). Cradle-to-gate life-cycle inventory of us wood products production: Corrim phase I and phase II products. *Wood and Fiber Science*, 42(Special Issue), 15-28.
- Quist, D., & Chapela, I. H. (2001). Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 414(6863), 541-543.
- Retes Mantilla, R. F., Torres Sanabria, G., & Garrido Roldán, S. (2013). Un modelo econométrico de la demanda de tortilla de maíz en México, 1996-2008. *Estudios sociales*, 22(43), 1-21.
- Rivero-Jimenez et al. (2011). EEUUAA Patente nº 7,939,121.
- Román, S., Ojeda-Granados, C., & Panduro, A. (2013). Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Revista de Endocrinología y Nutrición*, 21(1), 42-51.
- Röös, E., Sundberg, C., & Hansson, P.-A. (2014). Carbon Footprint of Food Products. En S. S. Muthu, & S. S. Muthu (Ed.), *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors* (Vol. I, págs. 85-112). Singapore: Springer Singapore.
- Rosado, J. L., Díaz, M., Rosas, A., Griffit, I., & García, O. P. (2005). Calcium absorption from corn tortilla is relatively high and is dependent upon calcium content and liming in Mexican women. *Human Nutrition and Metabolism*, 11(135), 2578-2581.
- Santos-Baca, A. (2012). Efectos de la apertura comercial de la economía mexicana en el consumo de alimentos de los hogares urbano-populares, 1992-2010. México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México.
- Sanyé-Mengual, E., García Lozano, R., Ramon, F., Oliver-Solà, J., Gasol, C., & Rieradevall, J. (2014). Introduction to the Eco-Design Methodology and the Role of Product Carbon Footprint. En S. S. Muthu, & S. S. Muthu (Ed.), *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors* (Vol. I, págs. 1-24). Singapore: Springer Singapore.
- Secretaría de Economía. (2012). Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. México: Secretaría de Economía.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2005). Protocolo de Gases Efecto Invernadero. México: Dirección General Adjunta para Proyectos de Cambio Climático SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). Programa GEI México. Recuperado el abril de 2015, de Acerca del programa: <http://www.geimexico.org/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). Teoría y conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero. México: SEMARNAT.
- Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Registro Nacional de Emisiones. Recuperado el 10 de junio de 2016, de Factores de emisión: Versión 4.0: <http://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. (30 de noviembre de 2012). NADF-020-AMBT-2011. Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Dist. México, Distrito Federal.
- Serna, S., Rooney, L., & Greene, L. (1992). Effects of Lime Treatment on the Bioavailability of Calcium in Diets of Tortillas and beans: Rat Growth and balance studies. *American Association of Cereal Chemists, Inc.*, 68(6), 565-570.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2013). Siembras y cosechas de maíz blanco. Recuperado el 18 de noviembre de 2015, de <http://www.siap.gob.mx/siembras-y-cosechas/>
- Shamah-Levy, T., Avila Curiel, A., Cuevas Nasu, L., Chávez Villasana, A., Avila Arcos, M. A., & Fernández Mendo, C. (2003). El subsidio a la tortilla en México: ¿un programa nutricional o económico? *SciELO*, 53(1), 5-13.
- Taube, K. (1985). Una reevaluación del dios del maíz del período Clásico maya. *Publicaciones electrónicas de PARI*, 7, 1-24.
- Tovar, L. R., & Larios-Saldaña, A. (2004). Iron and zinc fortification of corn tortilla made either at the household or at industrial scale. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 75(2), 142-148.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2008). Kyoto protocol Reference manual. Bonn, Alemania: Climate Change Secretariat.
- Vanclay, F. (2004). The triple bottom line and impact assessment: How do TBL, EIA, SIA, SEA and EMS relate to each other? (A. University of Tasmania, Ed.) *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 6(3), 1-28.
- Vargas, L. A. (2007). El alimento básico en las cocinas de la humanidad. El caso de Mesoamérica. *Itinerarios* (6), 9-53.
- Vargas, L. A. (2014). El maíz, viajero sin equipaje. *Anales de antropología*, 48(1), 123-139.
- Véles-Medina, J. J. (2004). Tesis: Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Querétaro: CICATA.
- Villasana-Benítez, S. (1998). Mitos y creencias entre los zoques de Chiapas. *Anuario 1997 del Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica*, 456-476.
- Wallens, et al. (2012). EEUUAA Patente nº 8,110,239.
- Xelhuantzi-López, M. S., & Alvarado, J. L. (2009). Teozintli actual en el Cerro de la Estrella. *Diario de campo*, 52, 18-25.
- Xiaoming Xu, Bo Zhang, & Yong Liu. (2013). Carbon footprints of rice production in five typical rice districts in China. *Acta Ecologica Sinica*, 33(4), 227-232.
- Zeitlin, R. N. (2001). Richard Stockton MacNeish (1918-2001). *Journal de la société des américanistes* (87), 393-395.