



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

“Huella ambiental de la valorización de material residual en bloques constructivos de tierra comprimida”

TESIS
para obtener el grado de
MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presenta
LUISA MARÍA MORALES FÉLIX
Arquitecta e ingeniera en energías renovables

Directora de tesis:
DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES

Co-Director de tesis:
DR. ING. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

Morelia, Michoacán, agosto de 2024

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme finalizar esta etapa de mi vida.

A mis Papas, Hermana y Tía por siempre apoyarme en mis proyectos.

A mi asesora: la Dra. Liliana, a mi co-asesor: el Dr. Wilfrido y a mis sinodales: Dra. Elia, Dr. Hugo y Dr. Juan Manuel por sus correcciones, su orientación y apoyo en este proyecto.

A los encargados del laboratorio de materiales.

A mis profesores por sus enseñanzas.

A esta máxima casa de estudios, UMSNH.

Y a CONAHCYT por el apoyo económico otorgado para llevar a cabo este posgrado.



ÍNDICE

RESUMEN	VII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Proceso de obtención de bebidas destiladas del agave.....	2
1.1.1. Mezcal.....	2
1.1.2. Otros.....	4
1.1.2.1. Tequila.....	5
1.2. Agave.....	7
1.2.1. Tipos de agave.....	8
1.2.2. Bagazo de agave.....	9
1.2.2.1. Propiedades físicas y químicas del bagazo de agave.....	10
1.2.2.1.1. Celulosa.....	11
1.2.2.1.2. Hemicelulosa.....	11
1.2.2.1.3. Lignina.....	11
1.2.2.2. Problemática ambiental del bagazo de agave.....	12
1.2.3. Vinazas.....	14
1.2.3.1. Propiedades físico químicas.....	14
1.2.3.2. Problemática ambiental de las vinazas.....	14
1.3. Materiales cerámicos.....	15
1.3.1. Materiales convencionales.....	15
1.3.1.1. Ladrillos.....	15
1.3.1.1.1. Proceso de fabricación del ladrillo.....	16
1.3.1.1.2. Problemática ambiental de las ladrilleras artesanales.....	17
1.3.1.2. Bloques de cemento Portland.....	18
1.3.1.2.1. Proceso de fabricación de los bloques de cemento Portland.....	19
1.3.1.2.2. Problemática ambiental de los bloques de cemento.....	19
1.3.2. Materiales amigables con el medio ambiente.....	19
1.3.2.1. Bloques de tierra comprimida (BTC).....	20
1.3.2.1.1. Valorización de residuos.....	20
1.3.2.1.1.1. Papel.....	21
1.3.2.1.1.2. Resina.....	21
1.3.2.1.2. Proceso de fabricación de los BTC.....	22
1.4. Pruebas según normativa en México para ladrillos y bloques.....	22
1.4.1. Propiedades físicas y mecánicas en ladrillos, bloques de concreto y BTC.....	25
1.4.1.1. Concepto de esfuerzo.....	25
1.4.1.2. Resistencia a la compresión.....	25
1.4.1.3. Resistencia a la flexión.....	25
1.4.1.4. Absorción volumétrica.....	26
ANTECEDENTES.....	27
1.5. Uso de fibras naturales en la fabricación de adobes.....	27
1.6. Estudio de impacto ambiental de los BTC.....	29
CAPÍTULO 2	31
CONCEPTUALIZACIÓN.....	31
2.1. Problema de investigación.....	31
2.2. Pregunta de investigación.....	31
2.3. Justificación.....	31
2.4. Hipótesis.....	33
2.5. Objetivos.....	33
2.5.1. General.....	33
2.5.2. Específicos.....	33



CAPÍTULO 3	34
PLAN GENERAL DE TRABAJO	34
DESARROLLO METODOLÓGICO	35
3.1. Estudios de laboratorio	35
3.1.1. Caracterización del suelo	35
3.1.1.1. Granulometría	35
3.1.1.2. Límites de consistencia y contracción	37
3.1.1.2.1. Límite líquido (LL)	37
3.1.1.2.2. Límite plástico (LP)	38
3.1.1.2.3. Índice plástico (IP)	38
3.1.1.2.4. Contracción lineal	38
3.1.1.2.5. Contracción volumétrica	39
3.1.1.3. Peso específico	40
3.1.1.4. Compactación de suelo, prueba PROCTOR	41
3.1.1.5. Prueba compresión simple	42
3.1.1.6. Prueba triaxial rápida	43
3.1.2. Caracterización de los BTC	44
3.1.2.1. Dimensionamiento de ladrillos	44
3.1.2.2. Resistencia a la compresión	45
3.1.2.3. Absorción volumétrica	46
3.1.2.4. Especificaciones y métodos de ensayo	47
3.1.2.5. Resistencia a la erosión	49
3.1.2.6. Resistividad eléctrica	50
3.1.2.7. Intemperismo	50
CAPÍTULO 4	51
RESULTADOS LABORATORIO DE LA CARACTERIZACIÓN DE SUELO Y BTC (PRELIMINARES)	51
4.1. Caracterización del suelo	51
4.1.1. Granulometría	51
4.1.2. Límites de consistencia y contracción	52
4.1.2.1. Límite líquido (LL)	52
4.1.2.2. Límite plástico (LP)	52
4.1.2.3. Índice plástico (IP)	52
4.1.2.4. Contracción lineal	53
4.1.2.5. Contracción volumétrica	53
4.1.3. Densidad relativa	54
4.1.4. Compresión simple	54
4.1.5. Compresión triaxial	55
4.2. Caracterización BTC	56
4.2.1. BTC a la intemperie	58
CAPÍTULO 5	60
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CON ENFOQUE DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	60
5.1. Análisis de ciclo de vida (ACV)	60
5.1.1. Fase definición del objetivo y alcance	60
5.1.2. Fase análisis del inventario del ciclo de vida	60
5.1.3. Fase evaluación del impacto del ciclo de vida	61
5.1.4. Fase interpretación de resultados	62
CAPÍTULO 6	63
CASOS DE ESTUDIO: Análisis ciclo de vida (ACV) de los BTC con bagazo de agave y de los BPC	63
6.1. FASE DE DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE	64
6.1.1. Definición del objetivo de ACV	64
6.1.2. Alcance	64
6.1.3. Unidad funcional	65



6.1.4.	Límites del sistema	66
6.1.5.	Metodología de impacto	68
6.1.6.	Calidad de los datos	68
6.2.	FASE DE ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)	70
6.2.1.	Evaluación del inventario de ciclo de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).....	70
6.2.1.1.	Obtención de materias primas	71
6.2.1.2.	Proceso de Producción del Bloques de Tierra Comprimida	72
6.2.1.3.	Proceso de Construcción del muro de Bloque de Tierra Comprimida	73
6.2.1.4.	Mantenimiento	73
6.2.1.5.	Fin de vida del muro	74
6.2.2.	Evaluación del inventario de ciclo de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)	75
6.2.2.1.	Obtención de materias primas para el Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	75
6.2.2.2.	Proceso de Producción del Bloque Prefabricado de Concreto	76
6.2.2.3.	Proceso de Construcción del Bloque Prefabricado de Concreto	76
6.2.2.4.	Proceso de Mantenimiento del muro del Bloque Prefabricado de Concreto	77
6.2.2.5.	Fin de vida del muro	77
6.3.	Fase de evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV) del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)	79
6.3.1.	Evaluación de la cuna a la puerta.....	79
6.3.2.	Evaluación de la cuna a la tumba.....	83
6.3.2.1.	Comparativa global de ciclo de vida del BTC y BPC.....	83
6.3.2.2.	Análisis Comparativo de la Obtención Materia Prima	85
6.3.2.3.	Análisis comparativo del proceso de Producción	88
6.3.2.4.	Análisis comparativo del proceso de Construcción	90
6.3.2.5.	Análisis comparativo del proceso de Mantenimiento	93
6.3.2.6.	Análisis comparativo del Fin de vida	94
6.4.	Fase de interpretación de resultados del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	97
CAPÍTULO 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
CAPÍTULO 8	VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.....	101
CAPÍTULO 9	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	102
REFERENCIAS	REFERENCIAS	103
ANEXO	ANEXO	110



Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de agaves.....	8
Tabla 2. Residuos sólidos de bagazo de agave en el proceso de elaboración de mezcal.	9
Tabla 3. Composición química del bagazo de agave seco.	10
Tabla 4. Componentes del ladrillo.....	15
Tabla 5. Fórmula para fabricación de bloques de cemento Portland.....	18
Tabla 6. Normas a utilizar	23
Tabla 7. Valores de resistencia.....	24
Tabla 8. Valores de absorción.	24
Tabla 9. Pruebas Químicas y Físicas	28
Tabla 10. Pruebas caracterización del suelo.	35
Tabla 11. Número de malla y abertura.....	35
Tabla 12. Valores de resistencia.....	48
Tabla 13. Valores de absorción.	48
Tabla 14. Parámetros resistencia normalizada a compresión. (NMX-C-508-ONNCCE, 2015))	49
Tabla 15. Criterios de aceptación o rechazo.....	49
Tabla 16. Resultados de granulometría del SSMA.	51
Tabla 17. Resultados del límite líquido del SSMA.	52
Tabla 18. Resultados del límite plástico del SSMA.....	52
Tabla 19. Resultado contracción lineal del SSMA.	53
Tabla 20. Resultado contracción volumétrica del SSMA.	53
Tabla 21. Tabla concentradora límites de consistencia y contracción del SSMA.	53
Tabla 22. Resultado peso específico.	54
Tabla 23. Recopilación de resultados promedio y desviación estándar.....	56
Tabla 24. Tabla concentradora pruebas de laboratorio BTC	56
Tabla 25. Diferencia de pesos de BTC a la intemperie.....	59
Tabla 26. Representación de la relación entre categorías de impacto punto medio y las de punto final.	61
Tabla 27. Unidad Funcional de los Bloques.....	65
Tabla 28. Categorías de impacto de medio punto.	68
Tabla 29. Ubicación y distancias de los materiales para la fabricación, construcción y fin de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).	71
Tabla 30. Materias primas para la unidad funcional Bloque Tierra Comprimida (BTC)	72
Tabla 31. Producción de Bloque Tierra Comprimida (BTC).....	72
Tabla 32. Construcción del muro Bloque Tierra Comprimida (BTC).....	73
Tabla 33. Mantenimiento del muro Bloque Tierra Comprimida (BTC).	74
Tabla 34. Traslado del escombro al relleno sanitario Bloque de Tierra Comprimida (BTC).	74
Tabla 35. Ubicación y distancias de los materiales para la fabricación, construcción y fin de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	75
Tabla 36. Obtención materia prima para unidad funcional del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	76
Tabla 37. Producción del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	76
Tabla 38. Construcción del muro del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	76
Tabla 39. Mantenimiento del muro del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	77
Tabla 40. Fin de ciclo de vida del muro de Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	78
Tabla 41. Porcentajes de los impactos en los procesos de Materia Prima y Producción de cada Bloque	81
Tabla 42. Comparación de cargas al ambiente del BTC y BPC por producto y proceso.	82
Tabla 43. Interpretación de impactos al ambiente de cada etapa.....	83
Tabla 44. Comparación de huella de carbono de otros tipos de bloques.	98



Índice de figuras

Figura 1. Municipios con Denominación de Origen del Mezcal	3
Figura 2. Diagrama producción mezcal.	4
Figura 3. Municipios Denominación de Origen del Tequila (INEGI, 2019)	6
Figura 4. Diagrama producción tequila.....	7
Figura 5. Composición del bagazo. (Quintana Vega, 2012)	11
Figura 6. Producción total: Tequila y Tequila 100%. (CRT, 2021).....	12
Figura 7. Consumo de Agave para Tequila y Tequila 100% de Agave. (CRT, 2021).....	13
Figura 8. Diagrama elaboración de ladrillo.	17
Figura 9. Diagrama metodología prueba granulométrica.	36
Figura 10. Diagrama metodología Límite Líquido (LL).	37
Figura 11. Diagrama metodología Límite Plástico (LP).	38
Figura 12. Diagrama metodología Contracción Lineal (CL).....	39
Figura 13. Diagrama metodología Contracción Volumétrica (CV).	39
Figura 14. Diagrama metodología peso específico	40
Figura 15. Diagrama metodología compactación Próctor.....	42
Figura 16. Diagrama metodología compresión simple.	43
Figura 17. Diagrama metodología prueba triaxial.....	44
Figura 18. Ejemplo de equipo de medición (NMX-C-038-ONNCCE-2013, 2014).....	44
Figura 19. Determinación de las dimensiones externas (NMX-C-038-ONNCCE-2013, 2014).	45
Figura 20. Placas de distribución de carga en ensayo a compresión (NMX-C-036-ONNCCE-2013, 2013).....	45
Figura 21. Diagrama metodología compresión.....	46
Figura 22. Diagrama metodología absorción.....	47
Figura 23. Tolerancia de forma. (NMX-C-404-ONNCCE-2012, 2012).....	47
Figura 24. Equipo utilizado en ensayo de erosión	49
Figura 25. Curva de clasificación granulométrica SSMA.....	52
Figura 26. Carta de plasticidad para el SSMA.....	54
Figura 27. Gráfica promedio de compresión simple SSMA con desviación estándar.....	55
Figura 28. Circulo de Mohr.	55
Figura 29. Gráfica erosión acelerada	57
Figura 30. Gráfica absorción capilar.....	58
Figura 31. Bloque de Tierra Comprimida (BTC) a la intemperie día 1.....	58
Figura 32. Bloque de Tierra Comprimida (BTC) a la intemperie a los 6 meses.....	58
Figura 33. Panorama del Marco de Referencia del ISO ACV.....	63
Figura 34. Diagrama de límites del sistema para Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	66
Figura 35. Diagrama límites del sistema para Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	67
Figura 36. Normalización comparación Materia Prima y Producción Bloque de Tierra Comprimida	80
Figura 37. Normalización Comparación Materia Prima y Producción Bloque Prefabricado de Concreto	80
Figura 38. Grafica normalizada del ciclo de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).	84
Figura 39. Grafica normalizada del ciclo de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	85
Figura 40. Normalización de la comparación de las etapas de obtención de materia prima del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	86
Figura 41. Normalización Análisis Materia Prima del Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	87
Figura 42. Normalización Análisis Materia Prima del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	88
Figura 43. Normalización comparación etapa de producción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).....	89
Figura 44. Normalización del análisis de la etapa de producción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).....	89
Figura 45. Normalización análisis etapa producción del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)	90



Figura 46. Normalización comparación etapa de construcción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	91
Figura 47. Normalización análisis etapa de construcción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).	92
Figura 48. Normalización análisis etapa de construcción del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	92
Figura 49. Normalización comparación etapa de mantenimiento del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	93
Figura 50. Normalización análisis etapa de mantenimiento del Bloque de Tierra Comprimida (BTC)..	94
Figura 51. Normalización análisis etapa de mantenimiento del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	94
Figura 52. Normalización comparación etapa Fin de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	95
Figura 53. Normalización análisis etapa Fin de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	96
Figura 54. Normalización análisis etapa Fin de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).	96



RESUMEN

El bagazo de agave es un residuo de la agroindustria mezcalera, que se obtiene después de pasar por el proceso de fermentación. El bagazo no cuenta con un tratamiento o una disposición final adecuada y termina siendo desechado en el campo. El objetivo fue probar el uso de bagazo de agave como material de refuerzo para la elaboración de bloques de tierra comprimida (BTC). En la fabricación de estos BTC se hizo una mezcla utilizando el bagazo de agave espadín (*Agave angustifolia* Haw) y la arcilla del banco de material de la región de Santa María de Atzompa, Oaxaca, la cual se caracterizó para saber si esta era apta para la fabricación de los bloques. Por otro lado, los BTC se sometieron a pruebas físico-mecánicas para su caracterización, las cuales se llevaron a cabo conforme a las normas mexicanas NMX del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). También se llevó a cabo el análisis de ciclo de vida “de la cuna a la tumba” de este BTC, para saber el impacto ambiental comparado con los bloques tradicionales, en este caso se eligió el bloque prefabricado de concreto (BPC) para su análisis.

Palabras clave: *Durabilidad; Fibras vegetales; Material de construcción; Residuos; Análisis de ciclo de vida.*



ABSTRACT

Agave bagasse is a residue of the mezcal agroindustry, which is obtained after going through the fermentation processes. Bagasse does not have an adequate treatment or final disposal and ends up being discarded in the field. The objective was to test the use of agave bagasse as reinforcement material for the production of compressed earth blocks (CEB). In the manufacture of these CEB a mixture was made using the bagasse of the agave espadín (*Agave angustifolia* Haw) and the clay of the material bank of the region of Santa María de Atzompa, Oaxaca; this clay was characterized to determine whether it was suitable for manufacturing blocks. On the other hand, the CEBS were subjected to physical-mechanical tests for their characterization, which were carried out according to the Mexican standards of the National Organization for Standardization and Certification of Construction and Building (ONNCCE) by its acronym in Spanish. A life cycle analysis “Cradle-to-grave” of this CEB was also carried out to determine the environmental impact compared to traditional blocks, in this case, the prefabricated concrete block (PCB) was chosen for the analysis.

Keywords: *Durability; Vegetal fibers; Construction materials; Waste; Life cycle analysis.*



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es un proyecto sobre bloques de tierra comprimida (BTC) fabricados con residuos de la industria mezcalera, el bagazo de agave y las vinazas, ya que esta industria genera grandes volúmenes de este residuo, esto ha ido en aumento los últimos años al crecer la popularidad de estas bebidas y aumentar la demanda. Se busca reutilizar este desecho por el impacto ambiental que tiene en el suelo y en cuerpos de agua.

Por otro lado, en la industria ladrillera existe el problema de que cuando se produce el ladrillo se generan gases tóxicos como monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de sulfuro, dióxido de carbono y dioxinas, al momento de su horneado, afectando la salud tanto de trabajadores como de personas que viven cerca de estas ladrilleras, es importante recalcar que el ladrillo es el material de construcción más comúnmente usado.

Este proyecto tiene como objetivo hacer de los BTC fabricados con bagazo de agave un material que sea adecuado para el uso en la construcción, demostrar que es resistente como el ladrillo tradicional, esto por medio de pruebas (físicas y mecánicas) y con base a las normas de materiales aprobadas para México.



MARCO TEÓRICO

1.1. Proceso de obtención de bebidas destiladas del agave

1.1.1. Mezcal

Bebida alcohólica destilada mexicana, 100 % de maguey o agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de magueyes o agaves cocidos, cosechados en el territorio comprendido.

Es un líquido de aroma y sabor derivado de la especie de maguey o agave empleado, así como del proceso de elaboración; diversificando sus cualidades por el tipo de suelo, topografía, clima, agua, productor autorizado, maestro mezcalero, graduación alcohólica, microorganismos, entre otros factores que definen el carácter y las sensaciones organolépticas producidas por cada Mezcal.

El mezcal puede ser añadido de edulcorantes, colorantes, aromatizantes y/o saborizantes permitidos por el Acuerdo correspondiente de la Secretaría de Salud (SCFI, 2016)

En el caso de la producción del mezcal, 963 municipios tienen la Denominación de Origen, estos se ubican en nueve estados, los cuales son Durango, Guerrero, San Luis Potosí, Zacatecas, Oaxaca, Guanajuato, Michoacán, Tamaulipas y Puebla. En la **Figura 1** se puede observar esta distribución.

963 municipios tienen la Denominación de Origen del Mezcal



Fuente: Diario Oficial de la Federación.

Figura 1. Municipios con Denominación de Origen del Mezcal

El siguiente diagrama es sobre el proceso general de obtención del mezcal, en este se muestra las fases donde se generan los residuos del bagazo y las vinazas.

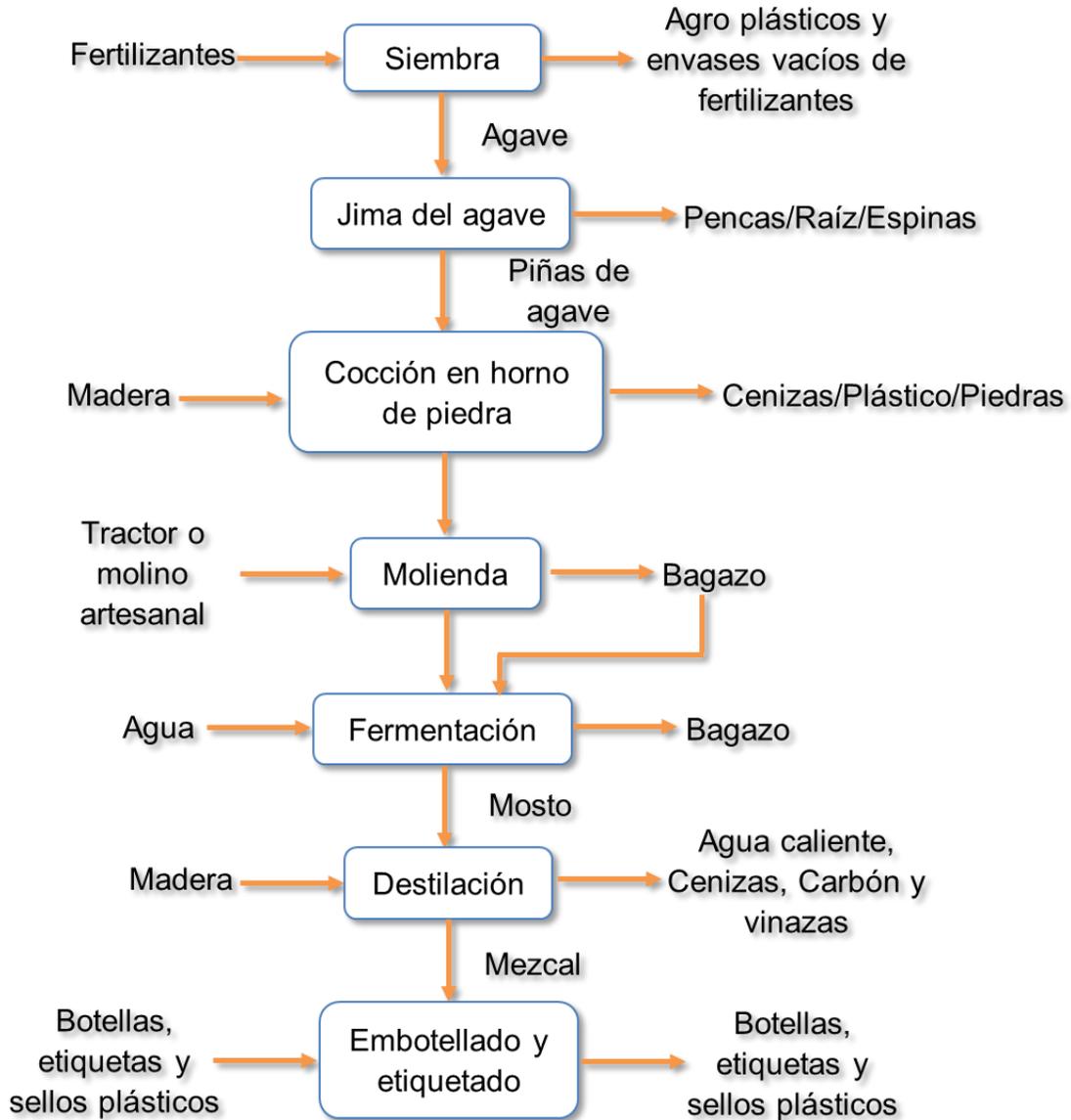


Figura 2. Diagrama producción mezcal.

En su informe estadístico, el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal (2023) menciona que la producción a nivel nacional de mezcal en 2022, referido a 45% Alc. Vol., equivale a 14,165,505 litros. Oaxaca tiene el primer lugar con el 91.31%, como estado productor.

1.1.2. Otros

Así como el mezcal, existen diferentes bebidas destiladas de diferentes especies de agave, dependiendo de la región, una de las más conocidas mundialmente es el tequila, pero otras de estas bebidas son la raicilla la cual tiene



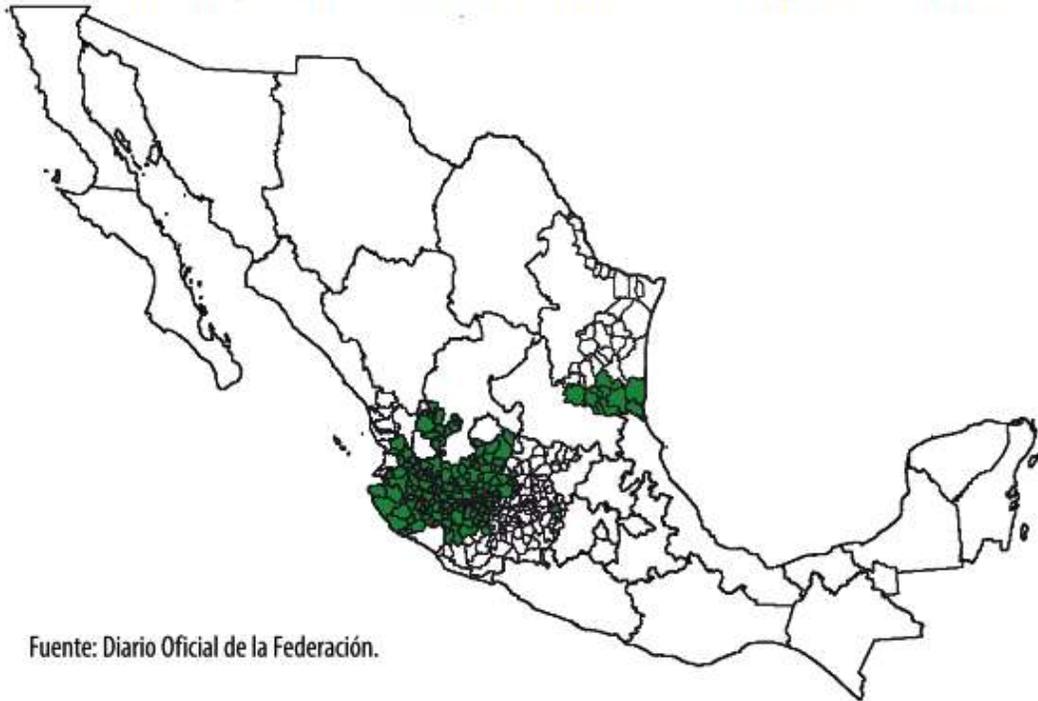
como base el agave *lechuguilla* y *maximiliana*; el sotol y el bacanora, las cuales son bebidas de Durango y de Sonora respectivamente.

1.1.2.1. Tequila

El tequila es una bebida alcohólica regional obtenida por destilación de mostos, preparados directa y originalmente del material extraído, en las instalaciones de la fábrica de un Productor Autorizado la cual debe estar ubicada en el territorio comprendido en la Declaración, derivados de las cabezas de Agave de la especie *tequilana weber variedad azul*, previa o posteriormente hidrolizadas o cocidas, y sometidos a fermentación alcohólica con levaduras, cultivadas o no, siendo susceptibles los mostos de ser enriquecidos y mezclados conjuntamente en la formulación con otros azúcares hasta en una proporción no mayor de 49% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa, en los términos establecidos en la presente norma y en la inteligencia que no están permitidas las mezclas en frío. El tequila es un líquido que puede tener color, cuando sea madurado, abocado, o añadido de un color específico (SCFI., 2012).

Para la producción del tequila solo 181 municipios tienen el sello de la Denominación de Origen del Tequila, estos municipios se encuentran en los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Nayarit y Tamaulipas (INEGI, 2019), como se puede observar en la **Figura 3**.

181 municipios que tienen la Denominación de Origen del Tequila



Fuente: Diario Oficial de la Federación.

Figura 3. Municipios Denominación de Origen del Tequila (INEGI, 2019)

El siguiente diagrama, se hizo en base a lo descrito en el Manual del Técnico Tequilero (CRT, 2019), aquí se muestra el procedimiento de obtención del tequila y la etapa donde se produce el bagazo.

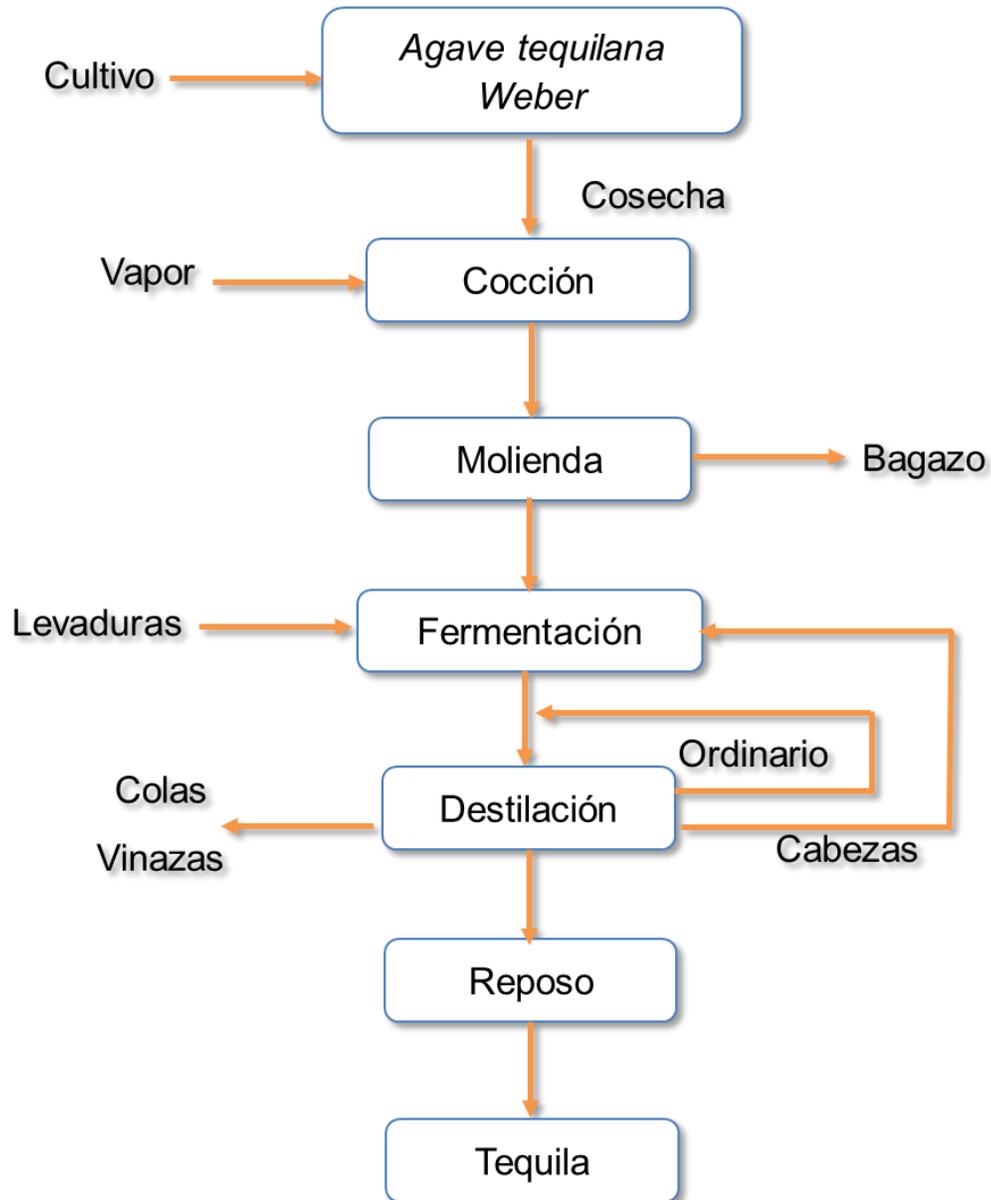


Figura 4. Diagrama producción tequila.

1.2. Agave

Los agaves también conocidos como magueyes, son uno de los cultivos más famosos, ya que de ellos se producen los mezcales y el tequila, principalmente. México es un país privilegiado ya que posee una gran diversidad de especies de magueyes, de un total de 210 especies, en México se encuentran 159.

Se tienen registros en México del uso del agave, que datan de más de 10 mil años, este se ha utilizado como fuente de alimento, bebida, medicinal, material para elaboración de casas y fibras. (CONABIO, 2020)

1.2.1. Tipos de agave

Para la producción de mezcal se emplean solo 14 especies de las 210 que existen y para la producción de tequila solo una de esas 14 especies, que es *el agave tequilana*.

En la **Tabla 1** se muestran las 14 especies de agave, que son utilizadas para el proceso del mezcal y tequila, y también los estados donde son usadas.

Tabla 1. Tipos de agaves.

Forma	Nombre	Zona de distribución	Forma	Nombre	Zona de distribución
	<i>Agave angustifolia.</i>	Sonora Durango Jalisco Guerrero Puebla Oaxaca		<i>Agave inaequidens.</i>	Michoacán
	<i>Agave salmiana subsp. crassispin.</i>	San Luis Potosí Zacatecas Puebla Chiapas		<i>Agave marmorata.</i>	Puebla Oaxaca
	<i>Agave rhodacantha.</i>	Sonora Jalisco Oaxaca		<i>Agave cupreata.</i>	Michoacán Guerrero
	<i>Agave maximiliana.</i>	Durango Jalisco		<i>Agave potatorum.</i>	Puebla Oaxaca
	<i>Agave univittata.</i>	Tamaulipas		<i>Agave americana.</i>	Oaxaca Chiapas
	<i>Agave durangensis.</i>	Durango		<i>Agave americana var. Oaxacensis.</i>	Oaxaca
	<i>Agave tequilana.</i>	Zacatecas Jalisco Michoacán		<i>Agave karwinskii.</i>	Oaxaca

Fuente: (CONABIO, 2006) (Todo Mezcal)

El *agave angustifolia* es el que más se utiliza ya que es el agave de mayor distribución geográfica.

1.2.2. Bagazo de agave

El bagazo de agave es un residuo que se genera en la etapa de molienda en la que se extraen los jugos de la piña de agave cocida. El bagazo está compuesto de azúcar, celulosa, lignina y hemicelulosa, lo que lo convierte en un material difícil de degradar y puede tardar hasta 4 años en descomponerse de manera natural (Gurrola, 2016).

Este residuo de agave es rico en celulosa lo que lo hace de interés biotecnológico, su composición química es alrededor de 40% celulosa, 15% lignina y 19% de hemicelulosa (AGARED, 2017). Para reducir el problema de este residuo en la producción de mezcal, se han realizado investigaciones para utilizar el bagazo como materia prima para baldosas, para la producción de biocombustibles a través del tratamiento del bagazo y para la formulación de adobes con fibra de agaves (Martínez et al., 2020).

En la **Tabla 2** se muestra lo que se produce de bagazo dependiendo del tipo de agave.

Tabla 2. Residuos sólidos de bagazo de agave en el proceso de elaboración de mezcal.

Coeficiente	Unidad	Especies			
		<i>Agave angustifolia</i>	<i>Agave karwinskii</i>	<i>Agave potatorum</i>	<i>Agave marmorata</i>
A: ag:bg (bh)	%	75.06±23.63	75.89±7.69	38.41±21.35	61.71±3.23
B: ag:bg (bs)	%	44.82±13.98	49.03±22.74	42.45±6.45	42.45±22.06
C: mzc:ag (bh)	L/kg	0.135±0.01 a	0.122±0.01 a	0.043±0 b	0.058±.03 b
D: mzc:ag (bs)	L/kg	2.63±0.45	3.5±1.46	5.09±2.05	3.74±1.67
E: ag:mzc (bs)	kg/L	7.41±0.61	8.22±0.68	23.39±1.4	20.49±11.64
F: bg:mzc (bh)	kg/L	5.63±2.21	6.21±0.46	8.85±4.46	12.83±7.84

A y B= ag:bg= porcentaje de agave que se transforma en bagazo; C y D: mzc:ag= litros de mezcal obtenidos; por 1 kg de agave; E=ag:mzc: kg de agave necesarios para producir 1 L de mezcal; F=bg:mzc= kg producidos de bagazo por 1 L de mezcal; bh= base húmeda; bs= base seca. Fuente: (Flores-Ríos, 2020)

1.2.2.1. Propiedades físicas y químicas del bagazo de agave

A continuación, se muestran algunas de las características químicas del bagazo de agave (**Tabla 3**) según las dos especies más usadas en esta industria.

Tabla 3. Composición química del bagazo de agave seco.

Componentes	% de materia	
	<i>Agave tequilana</i> (5% de humedad)	<i>Agave angustifolia</i> (base seca. Tiempo de apilado 0 – 90 días)
Celulosa	43	41.09 – 44.85
Lignina	15	10.68 – 13.06
Hemicelulosa	19	28.32 – 8.83
Nitrógeno total	3	0.38 – 0.56
Pectinas	1	-
Grasas	1	-
Azúcares reductores	5	-
Cenizas	6	10.24 – 7.05
Otros	2	-

Fuente: (Hidalgo Reyes, 2019) (CRT, 2019) (Martínez Gutiérrez, 2013)

Como características físicas tiene una textura poco rígida, un color café – amarillo, el largo de la fibra es de 5 a 10 cm, su diámetro va de 0.3 a 0.4 mm y la absorción de agua es de 6 ml/g. (CRT, 2019)

Uno de los principales componentes químicos que se ven implicados en el comportamiento mecánico y estructural del bagazo de agave, es el material lignocelulósico, el cual está constituido de celulosa, hemicelulosa y lignina (**Figura 5**) (Quintana Vega, 2012).

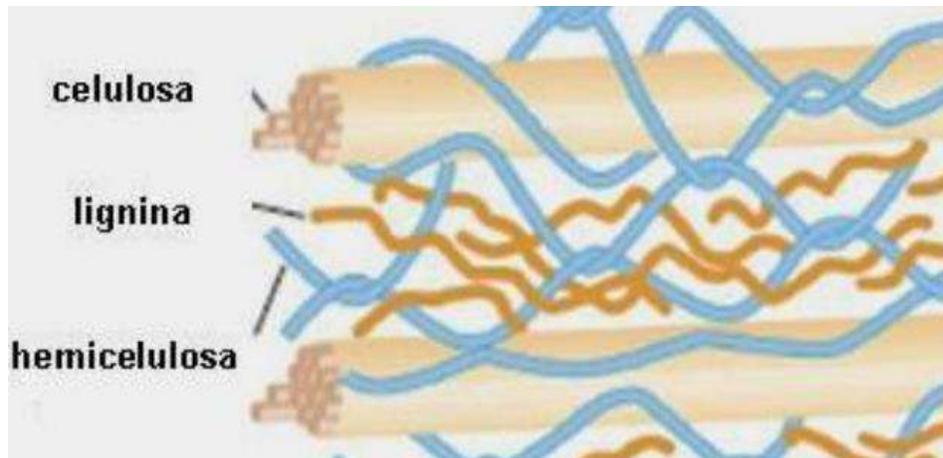


Figura 5. Composición del bagazo. (Quintana Vega, 2012)

1.2.2.1.1. Celulosa

La celulosa es una fibra resistente, insoluble en agua, que se encuentra en las paredes celulares de las plantas particularmente en los tallos, troncos y todas las partes leñosas de los tejidos vegetales (Quintana Vega, 2012). Además, es el polímero mayoritario del planeta, tiene una estructura fibrosa, es blanca, muy estable y resistente al ataque químico y también a la tracción mecánica (Barroso Casillas, 2010).

1.2.2.1.2. Hemicelulosa

Mezcla de polímeros de diferentes polisacáridos neutros y ácidos. Estos se adhieren a la superficie de las microfibrillas de celulosa por puentes de hidrógeno a través de los grupos hidroxilo (OH^{-1}) de los azúcares y mejoran la resistencia de la pared celular. Por ser altamente ramificada y poseer tantos grupos polares en los diversos azúcares, la hemicelulosa es fácilmente soluble en agua (Segura, 2007).

1.2.2.1.3. Lignina

Polímero que se diferencia notablemente de las otras macromoléculas constituyentes de la pared celular; es un polímero aromático tridimensional que rodea a las microfibrillas de celulosa y a la hemicelulosa, con algunas uniones covalentes con la hemicelulosa. Es poco sensible al agua; es una red polimérica heterogénea, amorfa, ópticamente inactiva y altamente ramificada (Segura, 2007).

1.2.2.2. Problemática ambiental del bagazo de agave

La industria tequilera está catalogada como una de las más contaminantes (Gallardo Valdez, s.f.), ya que en la producción de esta bebida se generan grandes volúmenes de residuos, entre ellos el bagazo.

En el Manual del Técnico Tequilero (CRT, 2019) dice que para producir un litro de tequila se generan 1.5 kg de bagazo en base húmeda.

En las siguientes graficas se muestra el aumento en la producción de tequila (**Figura 6**) que ha tenido la industria tequilera en los últimos tres años 2019, 2020 y 2021, y el consumo de agave (**Figura 7**) en los mismos años.

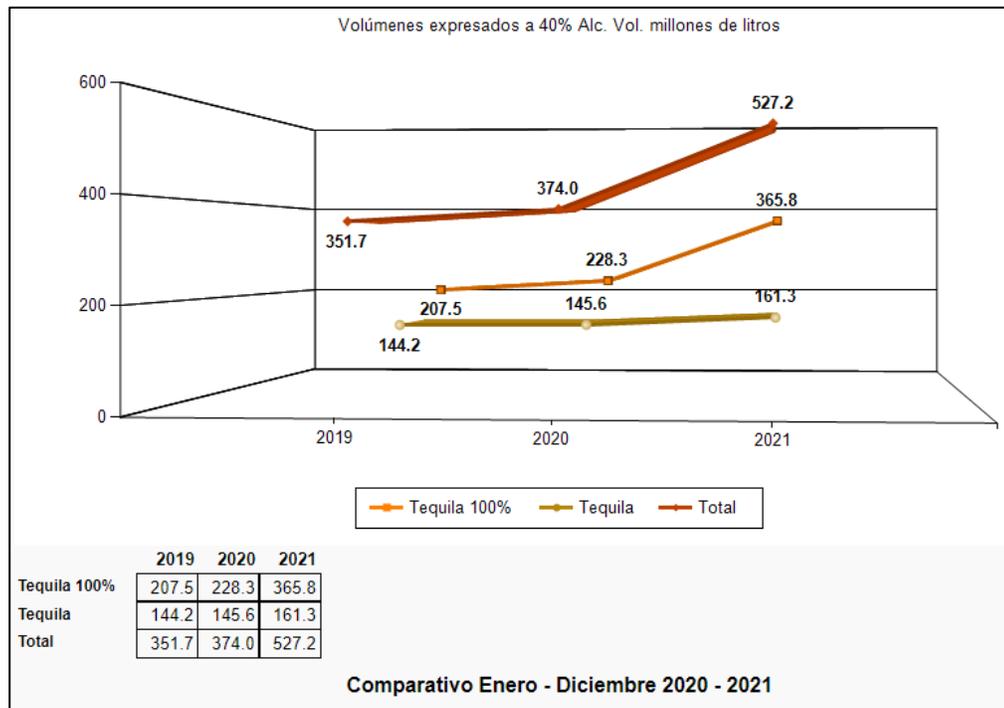


Figura 6.Producción total: Tequila y Tequila 100%. (CRT, 2021)

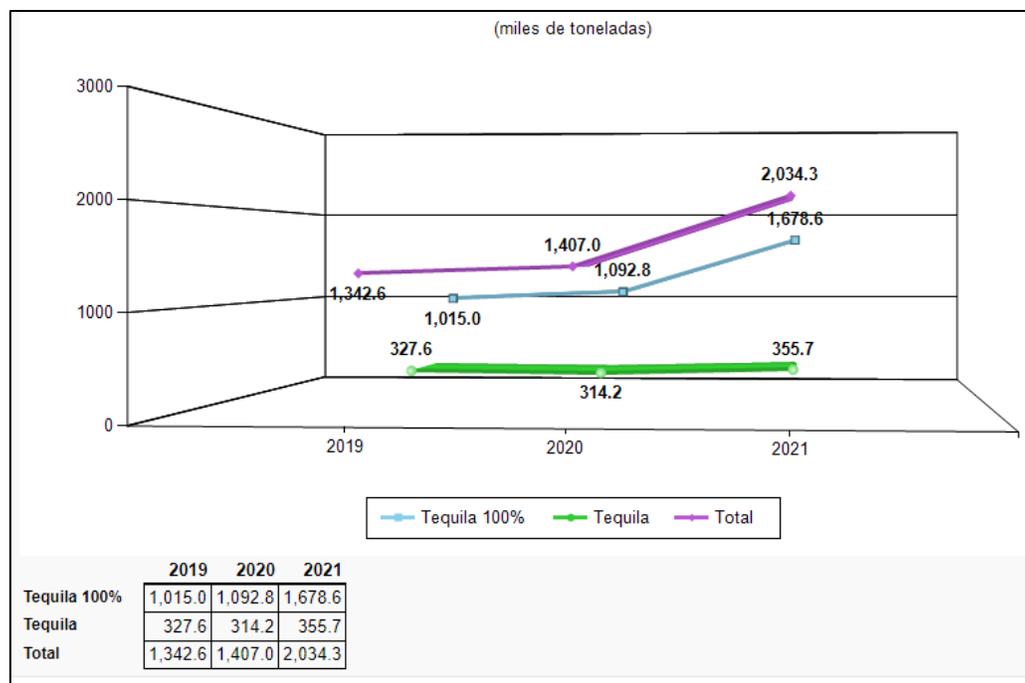


Figura 7. Consumo de Agave para Tequila y Tequila 100% de Agave. (CRT, 2021)

Se puede observar como la producción aumentó en el año 2021 y si se considera que cerca del 40 % del total del peso del agave consumido por la industria corresponde a bagazo residual (CRT, 2019), eso quiere decir que en este año se generaron cerca de 813 mil toneladas de bagazo, por lo que se generan importantes volúmenes, convirtiéndose en un problema ambiental.

Por otro lado, la industria mezcalera también está en crecimiento, su principal productor es el estado de Oaxaca, en 2019, se produjo 90.1% del mezcal certificado producido a nivel nacional (Flores-Ríos, 2020), eso sin tomar en cuenta la cantidad del mezcal que se produce sin estar certificado y el que se produce en otros estados del país.

En la actualidad estos residuos son principalmente subutilizados, sólo una pequeña fracción del bagazo de agave generado se utiliza para el compostaje, remediación de suelos e incineración controlada. (Pérez Pimienta, 2015).

En la mayoría de los casos, el bagazo de agave, es transportado y vertido en campos a cielo abierto. Al abandonarse directamente en campo para que se degrade con el tiempo, se provoca un deterioro en el ecosistema, como lo es la corrosión en los suelos (Hoz Zavala & Nava Diguero, 2017). Si bien el bagazo, es un residuo de



origen orgánico y biodegradable, al no tener un manejo adecuado, pueden pasar periodos prolongados (al menos un año) para que de manera natural se descomponga y reintegre sus componentes al medio, en este proceso de descomposición descontrolada su principal problemática es que va a producir lixiviados que contaminan el suelo y el agua, provocando malos olores que contaminan el aire y proliferación de fauna nociva que pueden convertirse en vectores de problemas a la salud (Ramos, 2017).

La contaminación en el suelo va a afectar la fertilidad y la conservación de sus propiedades, reduciendo la capacidad de retención de nutrientes (Hoz Zavala & Nava Diguero, 2017).

1.2.3. Vinazas

Las vinazas son otro de los residuos de la industria mezcalera, este se genera en la etapa de destilación. Para producir un litro de mezcal se generan de 8 a 15 litros de vinaza. (Robles-González et al., 2012). Se estima que en 2018 se produjeron 76 millones de litros de vinaza aproximadamente (Ordaz-Diaz et al., 2019).

1.2.3.1. Propiedades físico químicas

Las vinazas son un líquido de color café, estas presentan propiedades que pueden resultar nocivas como pH ácido, alta concentración de sales, fenoles, compuestos aromáticos (Robles-González, 2018).

También contienen una variedad de sustancias orgánicas como ácidos acético y láctico, glicerol, polifenoles, melanoidinas, así como especies inorgánicas como sales de sulfatos y fosfatos (Robles-González et al., 2012)

1.2.3.2. Problemática ambiental de las vinazas

Se estima que en años anteriores México ha generado de 14 a 27 millones de litros de vinaza de mezcal. Aproximadamente el 80% de las vinazas son descargadas directamente en los cuerpos de agua (ríos, lagos y reservas), al sistema de alcantarillado municipal o al suelo sin recibir el tratamiento adecuado para su disposición. Su alto contenido en sales puede conducir a la sodicidad y salinidad en



el suelo causando el deterioro severo de su estructura, fertilidad y porosidad (RodríguezCortés & de la Cerna-Hernández, 2017).

1.3. Materiales cerámicos

Este tipo de materiales son los que proceden o que su materia prima es arcillosa y sometida a la cocción. Ente estos materiales se encuentran los ladrillos, baldosas y azulejos, losetas, bovedillas y tejas. También se encuentran los bloques de cemento Portland.

Para el presente trabajo, nos concentraremos en los ladrillos y bloques de cemento, los cuales son los más convencionales o usados para la construcción de muros.

1.3.1. Materiales convencionales

1.3.1.1. Ladrillos

El ladrillo es un bloque que está compuesto de diversos materiales, principalmente de arcilla recocida, estos se utilizan en la construcción de muros, mampostería y pavimentos, convirtiéndolos en una pieza fundamental para la construcción.

Es uno de los productos más antiguos de la historia, ya que se sabe que desde el año 9000 a.C. eran utilizados en la fabricación de las primeras viviendas puesto que era un material fácil de transportar y le daba más resistencia las construcciones dando al hombre la posibilidad de protección y permitirles construir templos y altares, algunos de los cuales aún perduran (Materiales de barro Sánchez., 2019).

El principal material de estos primeros ladrillos era la arcilla, la cual secaban al sol, que es lo que ahora conocemos como adobe. Este material ha evolucionado y hoy en día puede ser adaptado de acuerdo al tipo de construcción y al entorno donde se va a realizar (Materiales de barro Sánchez., 2019). El ladrillo tradicional, que es el de arcilla, tiene los siguientes porcentajes de componentes (**Tabla 4**).

Tabla 4. Componentes del ladrillo.

Componente	% del peso seco de los ladrillos
Sílice	50 - 60



Alúmina	20 - 30
Óxido de hierro	Menos del 7
Magnesia	Menos del 1
Cal	10 - 12
Materia orgánica	1

Fuente: (Sir, 2020) (Alam, s.f)

Algunas de las cualidades que deben de poseer los ladrillos (Arkiplus, 2018), son las siguientes:

- Deben de ser sólidos y compactos.
- Libres de grietas.
- No deben absorber más de $\frac{1}{5}$ de su propio peso de agua cuando se sumergen durante 24 horas (15 % a 20 % del peso seco).
- La resistencia a la compresión debe estar en el rango de 15 a 35 MPa.
- El porcentaje de sales solubles no debe superar el 2.5 % en los ladrillos brutos.
- No debe cambiar de volumen cuando se humedece.
- Los ladrillos no deben estar demasiado cosido (duro), ni estar poco cocido (blando).
- Generalmente, el peso por ladrillo debe ser de 2 kg, aproximadamente.
- La conductividad térmica de los ladrillos debe ser baja ya que es deseable que el edificio sea fresco en verano y cálido en invierno.
- No inflamables e incombustibles.

1.3.1.1.1. Proceso de fabricación del ladrillo

El proceso de fabricación del ladrillo o tabique rojo recocido, es principalmente un proceso artesanal. También existe la fabricación de este tipo de ladrillos en serie, de manera tecnificada, siendo un producto que también es muy utilizado en la industria de la construcción, sobre todo en grandes desarrollos habitacionales,

restringiéndose en la autoconstrucción en donde es más usado el ladrillo o tabique elaborado artesanalmente. Este proceso artesanal de elaboración tiene desventajas ya que no se tiene un control de calidad ni de la cantidad de materiales, lo que no ocurre en el ladrillo fabricado en serie. En el siguiente diagrama (**Figura 8**) se puede observar el proceso general de elaboración artesanal del ladrillo, este se hizo tomando en cuenta las fases del estudio de Rodríguez en 2020.

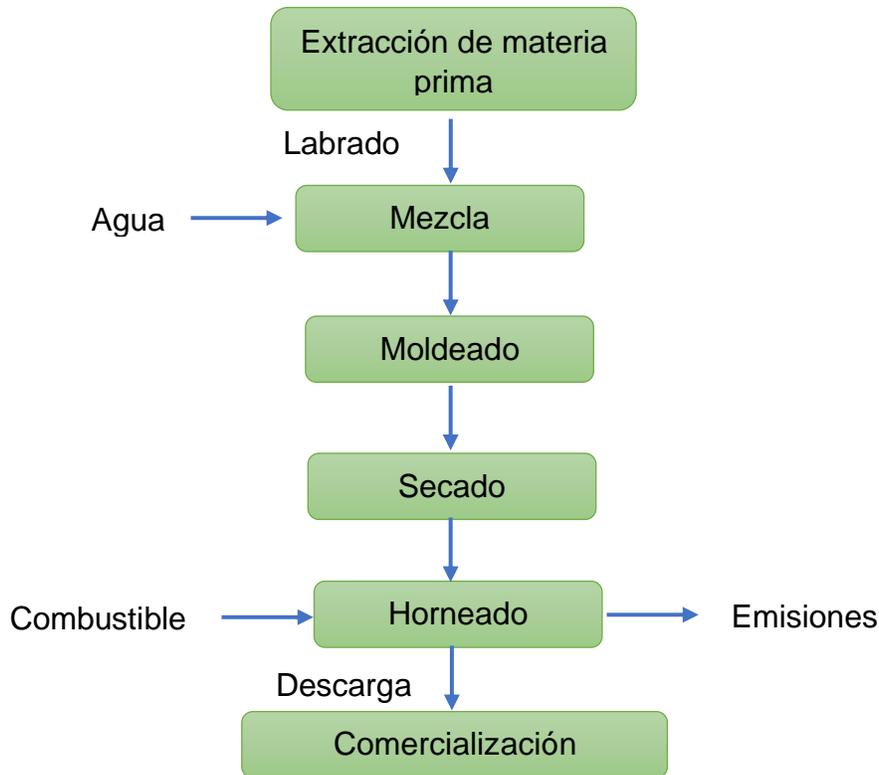


Figura 8. Diagrama elaboración de ladrillo.

1.3.1.1.2. Problemática ambiental de las ladrilleras artesanales

El problema que genera la producción de ladrillos, se da en la etapa del horneado, esto depende del horno que se utilice, la temperatura y el tiempo de cocción, así como del tipo de combustible usado; estos combustibles pueden ser leña, llantas, madera, plásticos, textiles, aceite de motor gastado, gas LP, diésel, aserrín, combustóleo, entre otros (Chavez Torres, 2016). Este es un problema ambiental puesto que se generan grandes columnas de humo negro y estas emisiones contaminan el aire y aparte ecosistemas acuáticos y terrestres, ya que al llover los contaminantes concentrados en la atmósfera caen con el agua. Al mismo tiempo es



un problema de salud pública ya que las personas como los trabajadores y las familias de las zonas colindantes a estas ladrilleras se vuelven más propensas ante enfermedades crónicas, principalmente relacionadas con el sistema respiratorio, como lo son tos crónica, asma, bronquitis y problemas cardiovasculares (Berumen-Rodríguez et al., 2020)

Las emisiones reportadas de contaminantes en las ladrilleras se relacionan con monóxido de carbono (CO), material particulado menor a 2.5 y 10 micrómetros (PM_{2.5} y PM₁₀), compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de sulfuro (SO₂), metales pesados, dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), bifenilos policlorados (BPC), dioxinas, entre otras (Berumen-Rodríguez et al., 2020).

La producción de ladrillos contribuye al deterioro de la calidad del aire ya que al momento de la cocción se liberan continuamente humos procedentes de la quema en periodos prolongados que van de 17 a 24 horas (Bahena Martínez , 2019).

1.3.1.2. Bloques de cemento Portland

Los bloques de cemento Portland son un material prefabricado, es muy utilizado en el área de la construcción de muros. Existen diferentes medidas, tipos y acabados.

Los primeros bloques eran fabricados a mano, actualmente se producen de forma automatizada, en serie, pero pueden ocasionalmente seguir elaborándose en la obra.

La materia prima de estos bloques son arena, grava, cemento Portland y agua. En la **Tabla 5** se muestran diferentes las cantidades de material usado para cierto número de bloques.

Tabla 5. Fórmula para fabricación de bloques de cemento Portland

Cantidad	Mezcla (m ³)	Agua (l)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)
60 bloques	1	40	50	150	200
120 bloques	2	80	100	300	400
240 bloques	3	160	200	600	800
480 bloques	4	320	400	1200	1600
960 bloques	5	640	800	2400	3200

Fuente: (Bloqueras, 2020)



1.3.1.2.1. Proceso de fabricación de los bloques de cemento

Portland

De forma general, su fabricación consta de 4 procesos (Franco, 2020):

- Mezcla: se pesan cantidades adecuadas de arena, grava y cemento seco, las cuales se mezclan y al final se agrega el agua.
- Moldeado: se hace en una máquina especializada y se compacta sobre los moldes de acuerdo al tamaño forma y textura.
- Curado: los bloques son ingresados a un horno a vapor para endurecerse.
- Cubicado: se apilan los bloques en cubos para ser almacenados.

1.3.1.2.2. Problemática ambiental de los bloques de cemento

El cemento Portland es el material más utilizado en la construcción a nivel mundial y es uno de los más contaminantes por su proceso de producción.

La problemática ambiental con este material es desde la obtención de la materia prima para su fabricación, ya que la producción de cemento representa un 90% de las emisiones mundiales de CO₂ de los procesos industriales (EFE, 2016).

Aparte, el manejo del cemento tiene riesgos para la salud al momento de esparcirse el polvo, las partículas contaminantes del polvo pueden producir silicosis, bronquitis y el cemento mojado puede causar dermatitis o quemaduras en la piel (Andina, 2022).

1.3.2. Materiales amigables con el medio ambiente

En la actualidad, por la problemática ambiental que existe, sobre todo en lo relacionado con el área de la construcción, es conveniente utilizar materiales que contaminen menos o que sean amigables con el medio ambiente, en sus procesos de fabricación. El adobe, es uno de los materiales que para su producción puede llegar a generar el menor impacto, y sus escombros pueden ser devueltos a la tierra dejando una huella nula (Baraya, 2023).



1.3.2.1. Bloques de tierra comprimida (BTC)

Los bloques de tierra comprimida o también conocidos como BTC son bloques a los que se les han incorporado otros materiales con la finalidad de mejorar sus características físicas y mecánicas, pero además en su proceso de fabricación se emplea maquinaria, la cual comprime el material de una manera significativa, haciendo que mejoren sus características mecánicas (Roux Gutiérrez, 2012).

Las mezclas usualmente utilizadas para producir BTC son: 60% de arcilla o suelo plástico, 40% de arena de río más la adición de productos estabilizadores como cemento, cal, emulsiones asfálticas o productos naturales, con el fin de incrementar su resistencia a la humedad. Sin embargo, en el proceso tradicional se adicionan pajas o fibras vegetales en proporción del 1.5% en masa con relación al material seco. Esta adición se realiza para evitar que existan grietas por secado y para incrementar la resistencia a la flexión de los BTC (Roux Gutiérrez, 2012).

Las características que tiene este material son (SINELCO, 2020):

- Densidad mayor que los bloques de cemento.
- Se producen con tierra cruda in situ.
- Hay dos tipos: estabilizados y no estabilizados.
- Tienen buenas prestaciones térmicas y acústicas.
- Presentan excelentes propiedades de resistencia mecánica, durabilidad e inercia térmica.

1.3.2.1.1. Valorización de residuos

Desde la antigüedad a los adobes se les han agregado residuos para su fabricación, por ejemplo, la paja o estiércol de caballo. Actualmente, a piezas cerámicas como bloques de adobe, de concreto, ladrillos, etc., se les han agregado diferentes residuos para mejorar sus propiedades; Kadir y Mohajerani (2011) mencionan que el caucho, polvo de piedra caliza, aserrín de madera, té de desecho procesado, cenizas volantes, poliestireno y lodos, son algunos de los residuos que se han adicionado a los ladrillos.



1.3.2.1.1.1. Papel

El papel es un polímero natural que consiste en celulosa de madera. La celulosa está hecha de unidades de monómero de glucosa y es insoluble en agua. La razón es la rigidez de la cadena y los enlaces de hidrógeno entre dos grupos OH en cadenas adyacentes. Se forman regiones cristalinas estables y duras que dan a las cadenas aún más estabilidad y resistencia (Sutcu et al., 2014).

Sutcu y Akkurt (2009) Usaron residuos de papel reciclado, en un ladrillo y reportaron que estos resultaron ser porosos, livianos y, por otro lado, también mejoraron su resistencia. En la producción de papel reciclado, el proceso implica una serie de pasos de filtración para mantener la fibra de celulosa tanto como sea posible. La fracción que pasa por el filtro final es considerada por los productores de papel como desecho. Este residuo contiene alrededor de un 40% de componentes orgánicos y un 60% de componentes inorgánicos como calcita y otros materiales arcillosos (Sutcu & Akkurt, 2009).

1.3.2.1.1.2. Resina

La resina de pino es un producto forestal no maderero que se ha utilizado para múltiples propósitos desde la antigüedad en todo el mundo (López-Álvarez, Zas, & Marey-Perez, 2023). La resina es un material blando cuando está en el árbol, este con el tiempo se vuelve pegajoso y desarrolla una estructura muy rígida (Bicer, 2021).

La resina se ha usado en bloques de tierra comprimida para estabilizar la tierra, como los mencionan Udawattha, De Silva, Galkanda y Halwatura (2018), los polímeros naturales se han usado desde la era prehistórica para estabilizar el suelo, en su investigación evaluaron siete polímeros naturales en bloques de tierra, llegando a la conclusión de que solo tres polímeros naturales son adecuados para estabilizar bloques de tierra y dieron resistencia a los bloques, uno de ellos fue la resina de pino.

López-Álvarez, Zas, y Pérez (2023) mencionan que la resina es una forma de defensa que tienen las plantas, como un repelente; también que uno de los usos que tenía la resina era como impermeabilizante en los barcos del siglo XV.



1.3.2.1.2. Proceso de fabricación de los BTC

El proceso de producción de los BTC, comienza apartando la tierra fértil de la superficie para que la capa de arcilla inferior se seque de manera natural bajo la acción del sol y el viento, luego ésta se pulveriza. Posteriormente se humedece y mezcla con arena, pudiéndose añadir cal (Mompó García, 2015).

Una vez mezclada, se lleva al molde, de las dimensiones de la pieza final, se le somete a una fuerza de compresión que la compacta dando origen a un bloque macizo con suficiente cohesión y resistencia como para poder ser cómodamente manipulado. Al aplicar la fuerza de compresión se mejora la resistencia mecánica de la tierra al mismo tiempo que se altera la estructura porosa del material, con lo que disminuye el volumen de los poros y aumenta la densidad aparente. Para la fabricación del BTC se puede utilizar una prensa manual (autoconstrucción) o bien diversos sistemas mecanizados más versátiles y eficientes (Maldonado, 2013).

Para producir los BTC sólo se necesita alrededor de un 1% de la energía que se requiere para fabricar un ladrillo convencional, un elevado ahorro energético, además este proceso productivo tiene emisiones de CO₂ mínimas. Otra ventaja es que las viviendas construidas con BTC mantienen una humedad relativa constante en torno al 50% necesitando menos energía para calefactarlas que en una vivienda tradicional. Los muros de arcilla son capaces de almacenar calor y energía solar que luego cesan al interior cuando la temperatura desciende. (Mompó García, 2015).

1.4. Pruebas según normativa en México para ladrillos y bloques

Los ladrillos y bloques deben de pasar por varias pruebas (físicas, mecánicas y químicas) para saber si son adecuados para usarlos en la construcción, algunas de estas pruebas son (Mahmud, 2017):

- Prueba de absorción.
- Prueba de resistencia a la compresión (Prueba de fuerza de aplastamiento).
- Prueba de eflorescencia (Presencia de sales solubles).
- Examen de dureza.

- Prueba de impacto.
- Prueba de tolerancia de dimensión.
- Forma y tamaño.
- Prueba de color.
- Prueba de solidez.
- Prueba de estructura.

Los métodos y tolerancias para determinar las características que deben cumplir estas pruebas son bajo normas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), las cuales se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Normas a utilizar

Normas	Contenido
NMX-C-036-ONNCCE-2013	Resistencia a la compresión simple
NMX-C-037-ONNCCE-2013	Absorción de agua
NMX-C-038-ONNCCE-2013	Dimensiones de tabiques
NMX-C-404-ONNCCE-2012	Especificaciones y métodos de ensayo a cumplir
NMX-C-508-ONNCCE-2015	Bloques de tierra comprimida

NMX-C-036-ONNCCE-2013

En esta norma se establece el método para la determinación de la resistencia a la compresión, en tabiques o ladrillos, bloques, tabicones, celosías y adoquines.

NMX-C-037-ONNCCE-2013

Esta norma establece el método de prueba para absorción de agua en los bloques, ladrillo o tabiques y tabicones de concreto.

NMX-C-038-ONNCCE-2013

En esta norma se establece el método de ensayo para la determinación de las dimensiones de los ladrillos.

NMX-C-404-ONNCCE-2012

En esta norma se encuentran las especificaciones y los métodos de ensayo a cumplir por los ladrillos y bloques. Las piezas deben de cumplir con los valores de resistencia mostrados en la **Tabla 7**, así como con los valores de absorción los cuales se muestran en la **Tabla 8**.

Tabla 7. Valores de resistencia.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media $\overline{f_p}$ MPa (kg/cm ²)	Resistencia mínima individual f_{pMin} MPa (kg/cm ²)
Bloque	Macizo	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)
Tabique (largo > 300 mm)	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	9 (90)	7 (70)
Tabique (largo < 300 mm)	Macizo	11 (110)	7 (70)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)

Fuente: (NMX-C-404-ONNCCE-2012, 2012)

Tabla 8. Valores de absorción.

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	Absorción total en 24 h en porcentaje (%)
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Fuente: (NMX-C-404-ONNCCE-2012, 2012)

NMX-C-508-ONNCCE-2015

Esta norma tiene por objeto establecer las especificaciones y métodos de ensayo de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal, usados en muros de carga, divisorios pudiendo o no ser aparentes y techos en bóvedas, así como los métodos de ensayo adecuados a las formas prismáticas con empatía entre ellos (Guillén, 2021).



1.4.1. Propiedades físicas y mecánicas en ladrillos, bloques de concreto y BTC

Estas propiedades definen el comportamiento del material ante fuerzas externas que tienden a alterar su equilibrio.

1.4.1.1. Concepto de esfuerzo

El esfuerzo es toda fuerza que actúa sobre la superficie de un cuerpo tendiendo a deformarlo (Polanco-Madrado, 2015).

Esfuerzo es la fuerza por unidad de área o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada y se representa con la letra griega σ (sigma). El esfuerzo en un elemento con área transversal (A) sometido a una carga axial (P) se obtiene, al dividir la magnitud P de la carga entre el área A: $\sigma=P/A$ (Olivera, 2017).

1.4.1.2. Resistencia a la compresión

Viene definida por la máxima tensión de compresión que puede soportar el material sin llegar a romperse. Los ensayos de compresión se llevan a cabo en prensas hidráulicas. Se coloca la probeta con sus bases planas y paralelas y se ajusta perfectamente entre dos platos los cuales sirven para transmitir la carga (Polanco-Madrado, 2015).

La resistencia a la compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto y se le designa con el símbolo f_c . Se puede expresar en kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm^2) o megapascuales, Newtons por milímetro cuadrado (MPa), a una edad de 28 días. Se pueden usar otras edades para las pruebas (Olivera, 2017).

Estos ensayos se llevan a cabo, cuando se desea conocer el comportamiento del material bajo deformaciones permanentes grandes (Olivera, 2017).

1.4.1.3. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión (RF) se define como el cociente del momento flexionante (M), producido por la fuerza máxima (FM) aplicada, y el momento de resistencia del material (W) (Olivera, 2017).



Esta resistencia se mide con un ensayo de flexión, el cual combina los efectos de compresión y tracción (Polanco-Madrado, 2015).

1.4.1.4. Absorción volumétrica

La absorción volumétrica es la cantidad de agua absorbida en litros por unidad de volumen aparente de la pieza en metros cúbicos (NMX-C-037-ONNCCE-2013, 2014)



ANTECEDENTES

A continuación, se analizarán algunos casos, tanto nacionales como internacionales, en los cuales se ha usado el bagazo de agave en distintos materiales de construcción, como lo son el cemento y el adobe. También se estudiarán casos de BTC y su impacto ambiental.

1.5. Uso de fibras naturales en la fabricación de adobes

Las fibras naturales en general se han usado para mejorar las propiedades de algunos materiales de construcción gracias a su resistencia a la tracción y bajo módulo de elasticidad. El bagazo de agave se ha usado como refuerzo para los adobes ya que logra un incremento en sus propiedades mecánicas, físicas, térmicas y en la densidad. Gracias a estas características, se tienen materiales que son candidatos para la arquitectura de bajo costo (Sarabia-Guarin, 2016).

Savastano (2016), menciona el uso de diferentes fibras naturales, como coco, curauá, yute o sisal en la industria de la construcción y dice que hasta ese momento era mínima su implementación, ya que la disponibilidad de un producto semiacabado duradero con calidad homogénea era un problema, pero con la investigación y el desarrollo de nuevos biomateriales se iba demostrando que estos aspectos podían mejorarse considerablemente. En otro apartado hace mención de las fibras de agave y dice que estas eran más usadas en el reforzamiento a polímeros y al cemento Portland.

Caballero (2018), estudió el efecto que tienen las fibras de agave en el adobe en su resistencia a la compresión y flexión, reportó que el adobe con fibras de bagazo de agave mejoró en su resistencia a la compresión y descubrió que esta resistencia de las muestras de adobe reforzadas mejora a medida que aumenta la concentración de las fibras de agave. Por otro lado, la resistencia a la flexión mejoró, pero sólo un poco y comenta que se seguía trabajando para mejorar ese aspecto. Esto es a tener en cuenta para la presente investigación ya que se requiere que los BTC cumplan con las resistencias normas para usarlo como un material de construcción.

Montenegro (2019), tuvo como objetivo general el de investigar si la adición de fibras naturales y artificiales podían mejorar las características físico-mecánicas del adobe, esto para ser utilizado en la rehabilitación de construcciones tradicionales en una comunidad de Ecuador, ya que los procesos constructivos de viviendas modernas originan actividades con impactos negativos hacia el medio ambiente y esto se debe tanto a los materiales utilizados como a los procesos constructivos; a diferencia del adobe que es un material cuya fabricación es amigable con el medio ambiente, pero se dejó de usar debido a la falta de reglamentos de construcción en tierra, la falta de mantenimiento de este material y el poco valor constructivo que se le ha dado, agregando a esto factores exteriores como: la humedad, el clima y las lluvias. De este trabajo se puede tomar las pruebas hechas a los adobes para tener una idea de cuales se le pueden hacer a los BTC adicionados con bagazo de agave, de esta investigación, los cuales se muestran en la **Tabla 9** (Montenegro-Echeverría, 2019).

Tabla 9. Pruebas Químicas y Físicas

Propiedad	Análisis de laboratorio
Química	
Sales, óxidos, sulfato, etc.	Ensayos químicos
Físicas	
Granulometría	Ensayo granulométrico Ensayo sedimento métrico
Plasticidad	Límites de Atterberg
Compresión/Compactación	Ensayo Próctor

Adaptado de Montenegro, 2019

Serrano-Barquín (2020), ensayó un total de 8 piezas de 4 diferentes composiciones: a) con arcilla y zacate (adobe tradicional), b) arcilla y fibras de agave, c) arcilla y bagazo, d) arcilla, fibras y bagazo, de las cuales tomaremos la características de la combinación de arcilla y bagazo, en ésta se descubrió que es un material más ligero que el adobe tradicional y presentó una mayor resistencia a la compresión, pero tiene un índice de absorción de humedad mayor, lo que significa que a largo plazo puede debilitarse. Estos datos se tomarán en cuenta para esta



investigación ya que se requiere que los BTC adicionados con bagazo de agave sean aptos para usarlos en la construcción.

Montes-Gonzales (2019), estudia cómo mejorar las propiedades de resistencia, los costos y los tiempos de ejecución en construcciones con tierra cruda, esto mediante la aplicación de los desechos del mezcal.

Se establecieron tres tipos de mezclas, los cuales son relevantes para esta investigación ya que, aparte del bagazo de agave se les adiciona la vinaza. Se comprobó que las muestras de tierra mezclada con vinaza tenían una mayor resistencia a la compresión y a la flexión, así como una menor resistencia a la abrasión (Montes-González, 2019). De ser esto predominante en los BTC con bagazo de agave, tendríamos un material al cual no sería necesario agregarle agua.

Santiago-Mateo (2021) llevó a cabo pruebas tradicionales de resistencia con piezas de adobe sin fibra de bagazo y adobes adicionados con fibra de bagazo de agave, esto lo llevo a cabo ya que no contaba con el equipo necesario para realizar las pruebas. Aun así, los resultados que obtuvo fueron que las piezas de adobe con bagazo de agave son más resistentes que los adobes que no contenían fibras, ya que estos no mostraron fracturas considerables. Esto es importante ya que, si estos adobes hechos de forma artesanal y puestos a pruebas tradicionales son resistentes, consecuentemente con los equipos necesarios podemos tener un mejor material.

1.6. Estudio de impacto ambiental de los BTC

Roux-Gutiérrez (2016), hizo un estudio para corroborar las ventajas de los BTC sobre los materiales convencionales, para demostrar que éstos pueden satisfacer las necesidades de la población en la construcción de sus viviendas dignas, mejorando la calidad de vida del usuario y produciendo un menor impacto ambiental. De este estudio nos enfocaremos en la parte del análisis de ciclo de vida, el cual va conforme a la norma NMX-SSA-14040-IMNC-2008, y utiliza diferentes softwares, dependiendo del impacto que se va medir. Así mismo nos enfocaremos en los resultados, ya que Roux-Gutiérrez (2016), reporta que las etapas que mayor impacto ambiental presentaron, principalmente fueron las materias primas y la fabricación, está por el uso de la revolvedora en el proceso de mezclado. Esto es importante a tener en



cuenta en la presente investigación ya que se puede prevenir o reducir el impacto en estas etapas.

Cabrera (2020), presenta la evaluación del impacto ambiental y la resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida (BTC). La evaluación de impacto ambiental se hace empleando una metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), propuesta por la norma IRAM – ISO 14040. En lo relacionado con los resultados obtenidos del análisis de ciclo de vida, en la mayoría de sus resultados, el consumo de agua es el que resalta más, se pensaba que esto estaba relacionado con el tipo de estabilizante que se utiliza (Cal y Cemento) pero se pudo identificar que este elevado consumo es por el tipo de suelo usado, el cual es más arenoso y para su extracción demanda más cantidad de agua. Aparte, el uso de cemento Portland como estabilizante tuvo un mayor impacto ambiental que el uso de cal. Estos resultados son para tener en cuenta en este proyecto, ya que también se usará la cal como estabilizante en la fabricación de los BTC con bagazo de agave.



CAPÍTULO 2

CONCEPTUALIZACIÓN

Analizando los casos anteriores se pudo notar que, si bien existen investigaciones de materiales de construcción, especialmente adobe, que implementan las fibras naturales, entre ellas el bagazo de agave, no se encontró alguna que analizara el ciclo de vida de este material.

Por otro lado, en las investigaciones sobre los bloques de tierra comprimida (BTC), si existen análisis sobre el ciclo de vida, pero ninguna menciona la adición de bagazo de agave.

Así se llegó al siguiente problema y pregunta de investigación.

2.1. Problema de investigación

Las propiedades físicas y mecánicas que tienen los BTC con residuos de la industria mezcalera (bagazo y vinazas) para usarlo como material de construcción y el impacto ambiental que generarían desde su fabricación hasta el final de su vida útil.

2.2. Pregunta de investigación

¿Qué efecto causa la inclusión del bagazo de agave en el BTC tanto en las propiedades del producto como en el impacto ambiental?

2.3. Justificación

Debido al aumento en la producción del mezcal se hace necesario buscar alternativas para la reutilización de los desechos que esta industria mezcalera genera, ya que al no tener un tratamiento para su disposición final estos residuos son depositados en áreas abiertas y en algunas ocasiones hasta en ríos, dañando así al medio ambiente contaminando suelos y cuerpos de agua.

La producción de estas bebidas ha alcanzado cifras históricas, por un lado, la industria mezcalera, en Oaxaca en el 2019, produjo el 90.1% del mezcal certificado producido a nivel nacional (Flores-Ríos, 2020), eso sin tomar en cuenta la cantidad



del mezcal que se produce sin estar certificado y el que se produce en otros estados del país.

Por otro lado, en el tema de la construcción, la elaboración de materiales es también un problema para el medio ambiente. Los ladrillos y los bloques en específico los de concreto son uno de los principales materiales de construcción usados, producirlos implica, en el caso de los ladrillos, cocerlo en un horno, en los cuales se usan materiales como el aserrín, aceites, plásticos y neumáticos a manera de combustible (Berumen-Rodríguez et al., 2020). Como resalta Quiroz-Carranza, Cantú-Gutiérrez y García-Martínez (2021), la contaminación debe ser tratada como una matriz ambiental (aire, suelo y agua), debido a que los contaminantes se propagan y dispersan en diferentes combinaciones y a grandes distancias de la fuente de emisión. En el caso de los bloques de concreto, simplemente desde la obtención del cemento Portland ya se está generando un gran impacto en el ambiente y en la salud de las personas que lo producen.

De ahí que, por lo antes mencionado, la intención de este proyecto es tener un material adecuado que contenga una mezcla de bagazo de agave, para ser usado en la construcción, basado en las normas mexicanas NMX del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación (ONNCCE); el cual no tenga que pasar por un proceso de horneado o extracción de material, para evitar que se generen más problemas ambientales, buscando ofrecer la alternativa de un material de construcción que tenga la ventaja de poder reciclar el bagazo de agave, adicionándolo al bloque de tierra.

De ser este proyecto viable, se alinearía con algunos de los objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (ODS), por ejemplo, con el tercer objetivo de Salud y bienestar, debido a que este material evitaría generar más contaminantes a la atmósfera, ni generaría dispersión de partículas que afecten la salud de las personas; también se alinearía con el sexto objetivo de agua limpia y saneamiento, esto por la utilización del bagazo de agave evitando así el vertimiento de este residuo en cuerpos de agua; así mismo se relaciona con el objetivo doce, de producción y consumo responsable, ya que para los BTC adicionados con bagazo de agave, se



evaluará su huella ecológica, a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para conocer el impacto ambiental de este material. Por otro lado, este proyecto se alinea con el primer objetivo del Programa Nacional de Vivienda 2019-2024; en caso de ser factible este material, podría servir para la construcción de viviendas adecuadas en zonas de bajos recursos.

2.4. Hipótesis

La inclusión del bagazo de agave en los BTC mejorará sus propiedades físicas y reducirá el impacto en el medio ambiente

2.5. Objetivos

2.5.1. General

Determinar el efecto que causa la inclusión del bagazo de agave en el BTC tanto en las propiedades del producto como en el impacto ambiental.

2.5.2. Específicos

1. Evaluar el impacto ambiental de los BTC hechos con bagazo de agave.
2. Caracterizar el tipo de suelo.
3. Realizar las pruebas físicas-mecánicas necesarias a los BTC.
4. Demostrar su uso como material de construcción.



CAPÍTULO 3

La investigación se desarrollará de acuerdo al plan de trabajo mostrado a continuación.

PLAN GENERAL DE TRABAJO

Fase 1: Etapa de conceptualización.

Actividad 1: Delimitar el tema de investigación.

Fase 2: Caracterización del suelo y de los bloques de tierra comprimida.

Actividad 1: Pruebas al suelo de granulométrica, de límites de consistencia y contracción, compactación (Próctor), peso específico, compresión simple y compresión triaxial.

Actividad 2: Pruebas a los BTC dimensionamiento, resistencia a la compresión y flexión, succión y absorción.

Fase 3: Estimación del impacto ambiental de los Bloques de tierra comprimida (BTC)

Actividad 1: Definición del objetivo y alcance.

Actividad 2: Análisis del inventario.

Actividad 3: Evaluación del impacto ambiental.

Actividad 4: Interpretación de resultados.

Fase 4: Actividades académicas adicionales.

Actividad 1: Participación de congresos y simposios.

Actividad 2: Escritura de artículos científicos.

Actividad 3: Escritura de tesis.

DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. Estudios de laboratorio

3.1.1. Caracterización del suelo

En esta etapa se caracterizó el tipo de suelo usado en la fabricación de BTC adicionado con bagazo de agave. Esta caracterización se llevó a cabo por medio de pruebas de laboratorio mostradas en la **Tabla 10** y en el orden en el que aparecen.

La clasificación de suelo se llevó a cabo de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla 10. Pruebas caracterización del suelo.

Prueba
1) Granulometría
2) Límites de consistencia y contracción
3) Peso específico
4) Compactación de suelos, prueba PROCTOR
5) Prueba de compresión simple
6) Prueba triaxial rápida

3.1.1.1. Granulometría

El objetivo de esta prueba es conocer la composición del suelo que se utiliza, esto se determina por medio de mallas (**Tabla 11**) que ayudan a la separación de los diferentes tamaños de partículas.

Tabla 11. Número de malla y abertura

Malla n°	Abertura (mm)
3"	75
2"	50
1 1/2"	37.5
1"	25
3/4"	19
1/2"	12.5
3/8"	9.5
4	4.75
10	2
20	0.84
40	0.42
60	0.25

100	0.149
200	0.074

Para la preparación de la muestra, si el material tiene una granulometría mayor a 4.75 mm se criba por las mallas de abertura mayor y se van pasando los materiales retenidos en cada malla. Por otro lado, si es un suelo fino, como en este caso, o sea que pase la malla número 4 o de 4.75 mm se criba por las mallas de menor abertura.

De la fracción que pasa la malla número 4, se tomó una porción aproximada de 200 g, la cual se colocó en un vaso metálico y se le agregaron 500 cm³ de agua, dejándose reposar por lo menos 12 horas.

Después de este tiempo se lavó la muestra a través de la malla número 200, aplicándosele un chorro de agua a baja presión, hasta que el agua decantada salió clara. El material que quedo en la malla se regresó al vaso con cuidado y se dejó secar en el horno por 24 horas. Pasado este lapso de tiempo, se acomodaron las mallas, en orden de mayor a menor abertura, comenzando con la de 2 mm hasta arriba y la de 0.074 mm abajo, se cribó y se pesó el material retenido en cada malla. Por último, se hicieron los cálculos correspondientes.

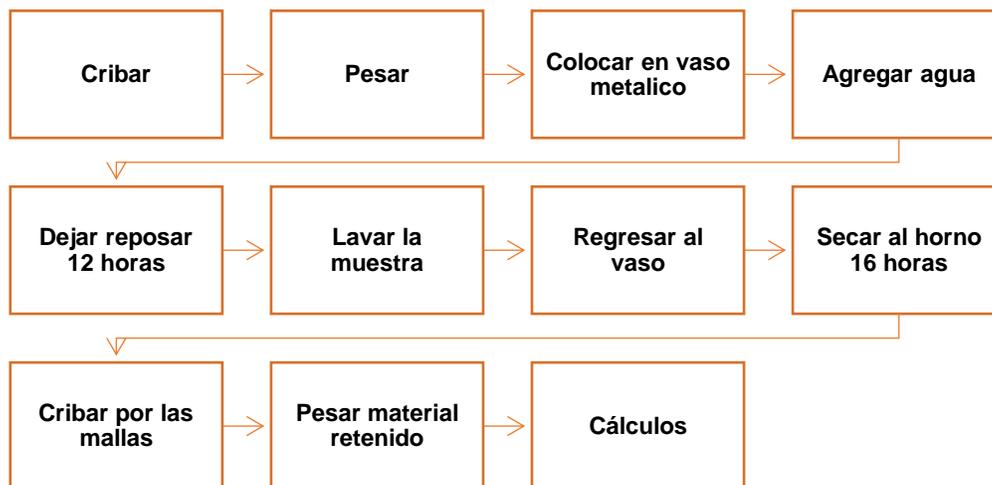


Figura 9. Diagrama metodología prueba granulométrica.

3.1.1.2. Límites de consistencia y contracción

3.1.1.2.1. Límite líquido (LL)

Esta prueba tiene como objetivo conocer las características plásticas del suelo para poder así clasificarlo. Para esto se necesita conocer el límite líquido, el cual se determinó de la siguiente manera.

Se preparó una muestra de 250 g del material previamente cribado por la malla número 40, esta muestra se colocó en un recipiente, se saturó con agua y se dejó en reposo durante 24 horas.

Se tomó una muestra de 150 g, aproximadamente, se igualó la humedad con la espátula, se colocó en la copa de Casagrande y se extendió hasta un espesor de 8 a 10 mm, a esta se le hizo una ranura en la parte central, accionando la manivela para que se efectúen los golpes se contaron los que fueron necesarios hasta que los bordes inferiores de la ranura se pusieron en contacto en una longitud de 13 mm. Logrado lo anterior se tomó una muestra aproximada de 10 g, la cual se pesó para después llevarlo a secar al horno, esto para obtener la humedad. Se repitió el procedimiento, de tal manera que se obtuvimos por lo menos 4 muestras, 2 con valores arriba y 2 por debajo de 25 golpes.

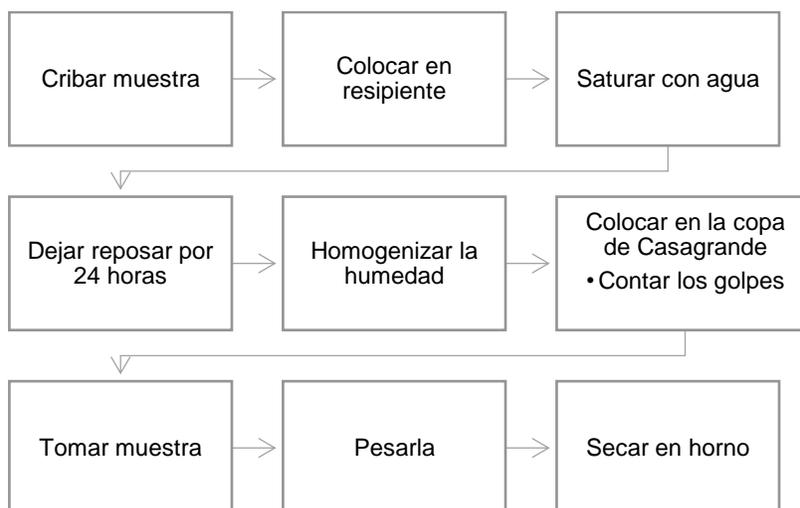


Figura 10. Diagrama metodología Límite Líquido (LL).

3.1.1.2.2. Límite plástico (LP)

Para determinar el límite plástico, se tomó una muestra del material preparado para LL, el cual se moldeó con los dedos para que perdiera un poco de humedad y poder formar los cilindros, estos se moldearon hasta que tuvieron una longitud uniforme y con un diámetro de 3 mm.

Cuando los cilindros se rompieron en varios segmentos, precisamente en el momento de alcanzar el diámetro de 3 mm, estos se colocaron en un vidrio de reloj y se efectuó la determinación del contenido de humedad.

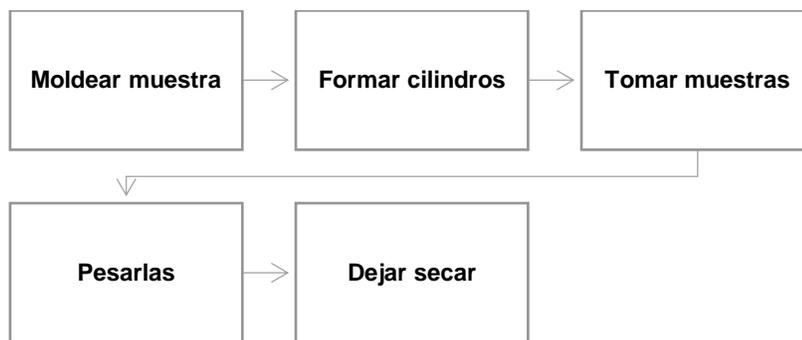


Figura 11. Diagrama metodología Límite Plástico (LP).

3.1.1.2.3. Índice plástico (IP)

Para obtener el índice plástico solo se restó el límite plástico del límite líquido.

3.1.1.2.4. Contracción lineal

Para esta prueba se aprovechó la muestra ya preparada para el LL, se llenó un molde de lámina galvanizada (n° 16) de 2 x 2 x 10 cm, en tres capas y se golpeó el molde para expulsar el aire contenido en la muestra. Se enrasó el material en el molde, se dejó orear a la sombra y después de colocó en el horno a secar aproximadamente unas 18 horas.

Pasado este lapso de tiempo se sacó del horno, dejándose enfriar, para después desmoldarlo y medir la longitud de la barra seca y la del interior del molde para saber el porcentaje de cuanto se contrajo.

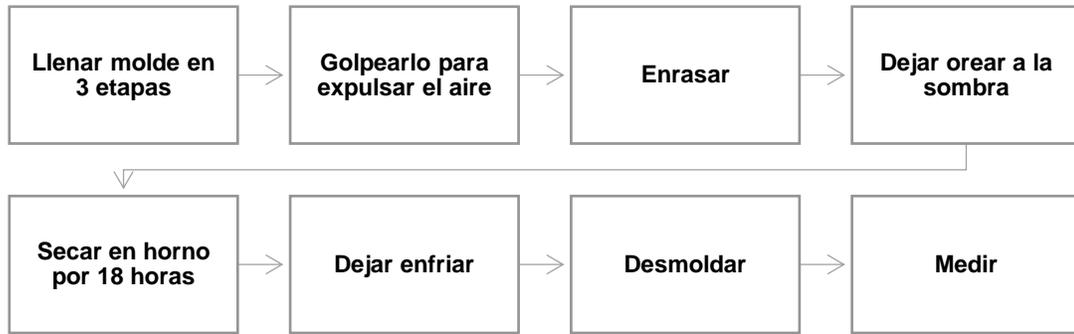


Figura 12. Diagrama metodología Contracción Lineal (CL).

3.1.1.2.5. Contracción volumétrica

En un molde cilíndrico, previamente pesado y de aproximadamente de 44 mm de diámetro y 12 mm de altura, se colocó una muestra del suelo húmedo, en tres capas y se golpeó en cada capa para sacar el exceso de aire. Llenado el molde se enrasó, se pesó y se determinó el peso del suelo húmedo.

Se dejó secar al aire y después en el horno por 24 horas. A continuación, se pesó el molde con la muestra seca y se determinó el volumen del suelo seco.

Para sacar el volumen, se llenó una taza con mercurio hasta que este desbordó, se enrasó presionando con una placa de vidrio, después se colocó la pastilla de suelo sobre la superficie del mercurio sumergiéndolo cuidadosamente con la placa de vidrio, hasta que no quedó aire atrapado bajo la pastilla de suelo ni bajo la placa de vidrio.

Se obtuvo el volumen del mercurio desplazado por la pastilla de suelo, para esto se pesó y se dividió por la densidad del mercurio ($\gamma_{Hg} = 13.55 \text{ g/cm}^3$).

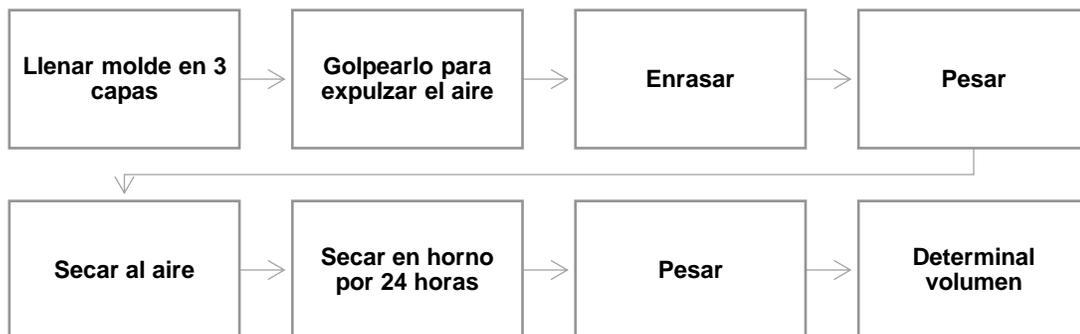


Figura 13. Diagrama metodología Contracción Volumétrica (CV).

3.1.1.3. Peso específico

Esta prueba determina las relaciones masa-volumen de los materiales respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de materiales en sus diferentes condiciones de contenidos de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros.

En este caso se usó el procedimiento para el material que pasa la malla número 4. Se tomó una porción del material que pasa la malla número 4 y se introdujo en un matraz previamente calibrado, posteriormente se llenó el matraz con agua destilada hasta la mitad de su capacidad.

A continuación, se llevó a ebullición el material, durante 10 min, sobre una estufa, esto para extraer el aire atrapado en la muestra. Después, se dejó enfriar y se adiciono el volumen de agua destilada necesaria para alcanzar la marca de aforo. Posteriormente se pesó para obtener la masa del matraz con el material y el agua.

Luego se tapó el matraz y se agito varias veces de forma cuidadosa, esto con el fin de uniformizar la temperatura, se colocó el termómetro y se registró la lectura.

Realizado lo anterior, se vertió todo el contenido del matraz a una capsula de porcelana, no dejando ninguna partícula en el matraz. Después se llevó al horno para su secado total. Por último, se volvió a pesar ya estando la muestra seca.

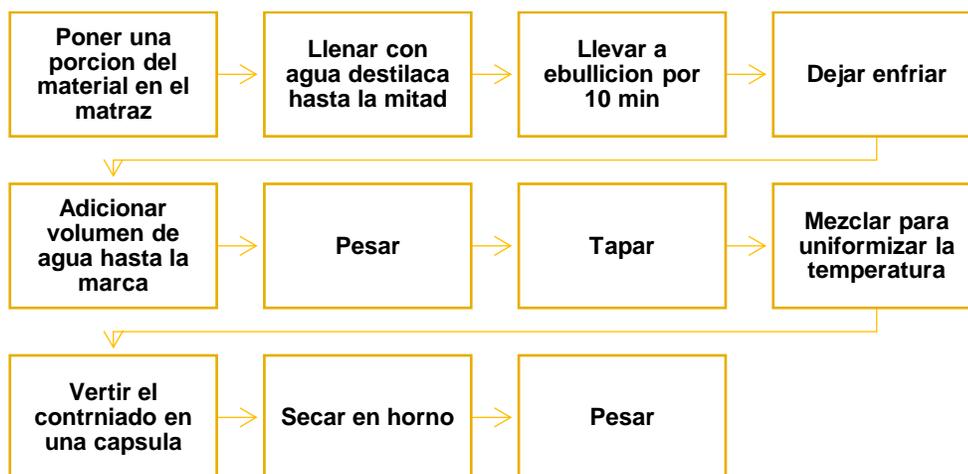


Figura 14. Diagrama metodología peso específico



3.1.1.4. Compactación de suelo, prueba PROCTOR

El objetivo de esta prueba es determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima del suelo.

La muestra se preparó de la siguiente manera, se tomó una muestra de 4 kg de suelo para la variante A, el cual se cribó a través de la malla número 4. En una charola de aluminio, previamente pesada se agregó la muestra y poco a poco se fue incorporando el agua suficiente y se uniformizó la humedad.

Se colocó una de las fracciones de material en el molde de prueba seleccionado, con su respectiva extensión, el cual se apoyó sobre el suelo para compactar el material con el pisón. Se escarificó ligeramente la superficie de la capa compactada y se repitió el procedimiento descrito para las capas subsecuentes.

Una vez terminada la compactación de todas las capas, se retiró la extensión del molde y se verificó que el material no sobresaliera en un espesor promedio de 1.5 cm como máximo, de lo contrario la prueba se repetía, en caso de no exceder dicho espesor, se enrasó el molde y se pesó.

Después se sacó el material del molde, se cortó longitudinalmente y de su parte central se obtuvo una porción representativa para determinar su contenido de humedad. Se pesó y se llevó al horno a secar por 24 horas, y después se pesó la muestra seca.

Estos pasos se repitieron para las diferentes cantidades de agua que se le adicionaron a la muestra de suelo, esto se hizo hasta que el peso del molde + suelo húmedo dio un valor igual o menor que el inmediato anterior.

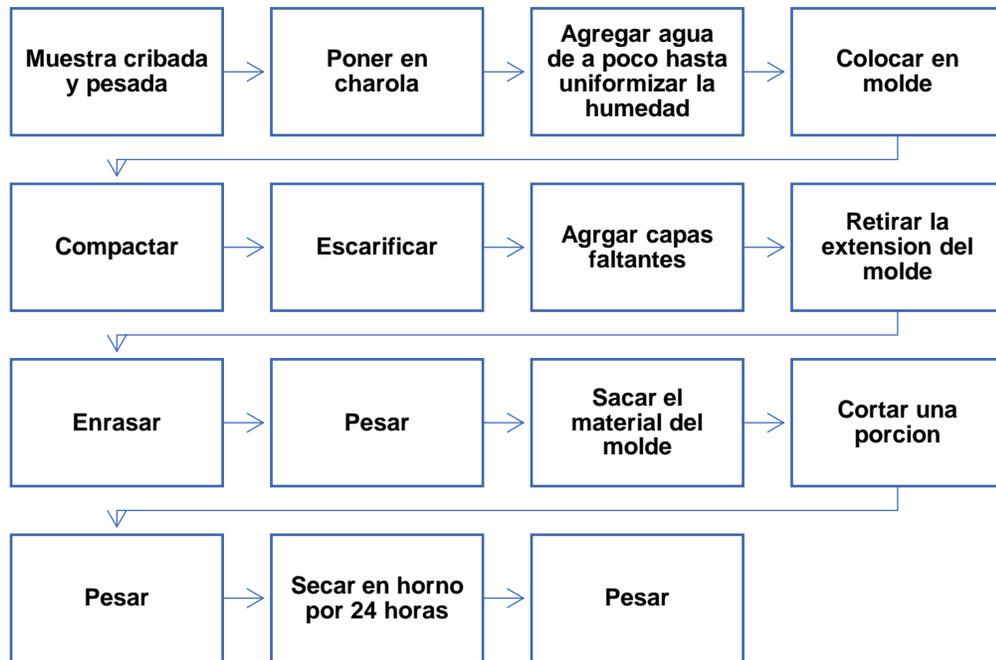


Figura 15. Diagrama metodología compactación Próctor.

3.1.1.5. Prueba compresión simple

Para esta prueba, se labraron 3 muestras, se midieron los diámetros: superior (D_s), central (D_c) e inferior (D_i). Se sacó un promedio, el cual fue multiplicado por 2.5, esto para obtener la altura del espécimen.

Después, se cortó el espécimen a la altura media calculada, se tomó la altura real del espécimen y se anotó como altura media.

Se colocó la muestra en la prensa y encima la placa de aplicación de carga. Se aplicó la carga a la muestra, tomándose las lecturas de carga y deformación correspondiente a cada 15 segundos, hasta que el espécimen falló, esto es, que se registraron 2 cargas iguales o que nos arrojó una carga menor que la inmediata anterior. Por último, se realizaron los cálculos.

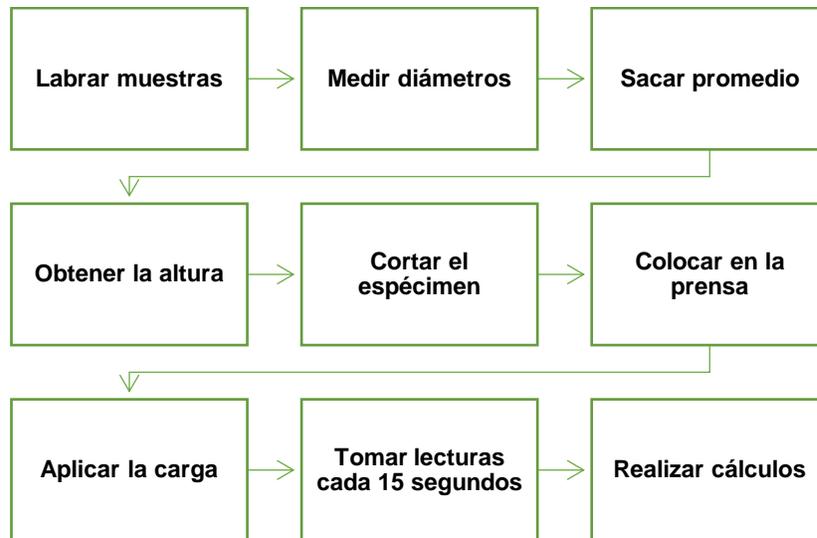


Figura 16. Diagrama metodología compresión simple.

3.1.1.6. Prueba triaxial rápida

Para esta prueba se siguieron los pasos anteriores, hasta la colocación de la muestra.

En este caso, se colocó la muestra en la base de la cámara triaxial, con el cabezal encima, se cubrió la muestra con una membrana de látex, ligada perfectamente para evitar que penetrara el agua que se utiliza para dar confinamiento al suelo.

Se sacó el vástago de carga y se colocó la cámara triaxial sobre la muestra, se ajustaron los tornillos y se bajó el vástago hasta el cabezal. Se aplicó la carga, tomándose lecturas de unidades de carga y unidades de deformación a cada 30 segundos, hasta que se registraron 2 unidades de carga iguales.

Se eliminó la presión de confinamiento y se sacó el espécimen, por último, se sometió a secado en el horno para obtener el contenido de agua.

Este procedimiento se hizo con otros 2 especímenes, solo cambiando la presión de confinamiento.

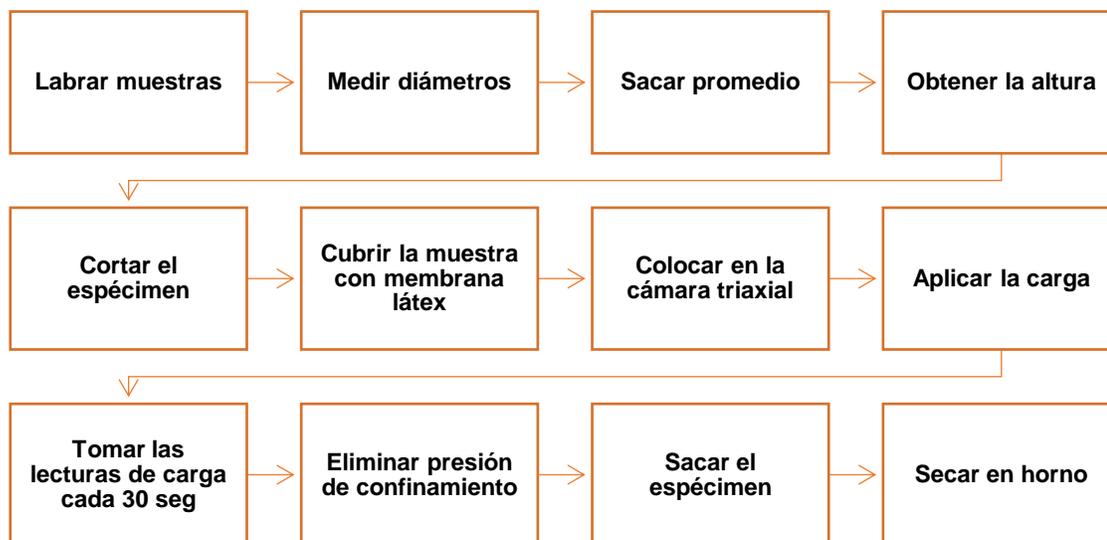


Figura 17. Diagrama metodología prueba triaxial.

3.1.2. Caracterización de los BTC

Para la caracterización de los BTC adicionados con bagazo de agave, las pruebas se llevaron a cabo en base a las normas mexicanas NMX del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE).

3.1.2.1. Dimensionamiento de ladrillos

Para la determinación del dimensionamiento de la pieza, según la norma NMX-C-038-ONNCCE-2013, se utilizó una regla rígida con las características del vernier, como se muestra en la **Figura 18**.

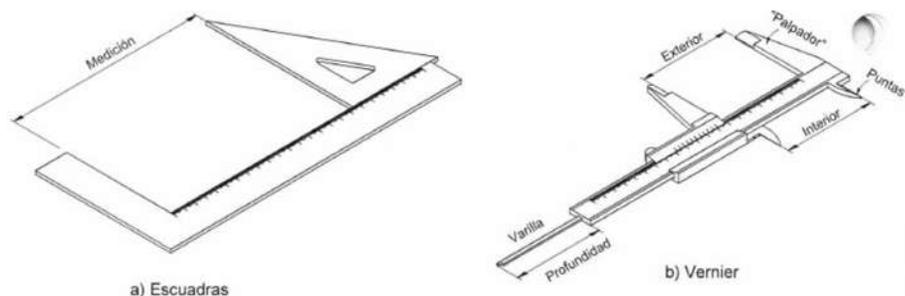


Figura 18. Ejemplo de equipo de medición (NMX-C-038-ONNCCE-2013, 2014).

El espécimen se colocó en una superficie horizontal plana y se eliminaron los residuos de material en los bordes de espécimen. En la **Figura 19** se muestra cómo se tomaron las medidas. Y por último se calcularon los promedios de las dimensiones.

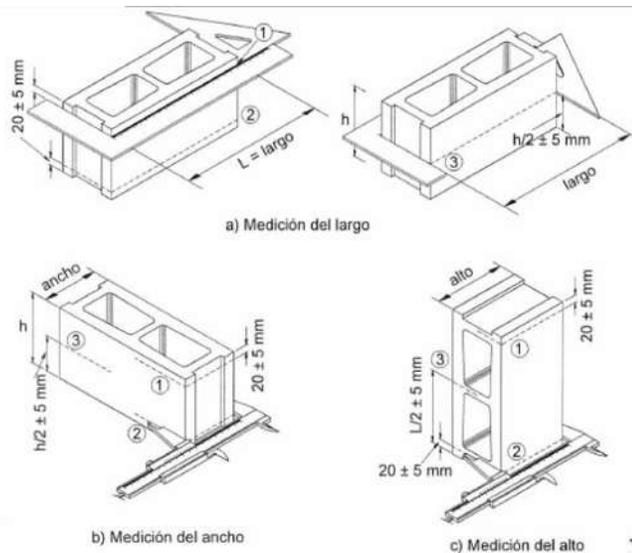


Figura 19. Determinación de las dimensiones externas (NMX-C-038-ONNCCE-2013, 2014).

3.1.2.2. Resistencia a la compresión

Conforme a la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013, el material auxiliar usado para el cabeceo de las piezas, fue el azufre y el equipo utilizado fue una máquina de ensayo como la de la **Figura 20**.

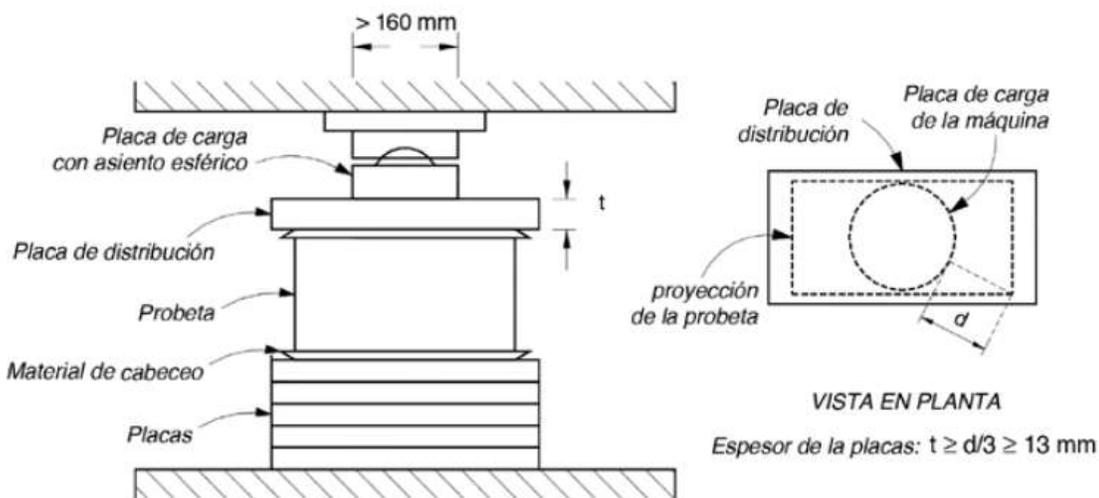


Figura 20.. Placas de distribución de carga en ensayo a compresión (NMX-C-036-ONNCCE-2013, 2013).

Para las pruebas se necesitaron 8 piezas completas, sin fallas ni fisuras. La superficie de las piezas se cabeceó y se dejó secar el tiempo necesario para alcanzar la resistencia.

El registraron las dimensiones de los especímenes a probar de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-038-ONNCCE-2004.

Las piezas se colocaron una a una en la máquina y se alinearon verticalmente con el centro de la placa de carga. Para la aplicación de la carga, se hizo con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto ni pérdida de carga.

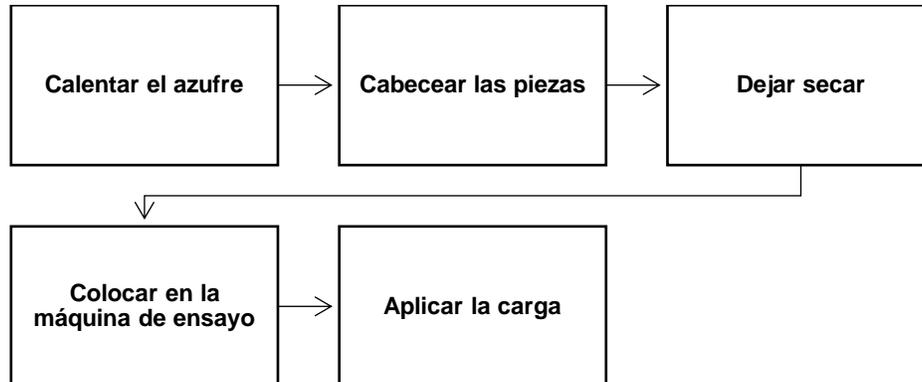


Figura 21. Diagrama metodología compresión

3.1.2.3. Absorción volumétrica

La absorción volumétrica es la cantidad de agua absorbida (litros) por unidad de volumen aparente de la pieza (m^3).

Como menciona la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013, los aparatos y equipos utilizados son una báscula y un horno con las adecuadas características.

Para esta prueba se destinaron 3 piezas. Estas se secaron en el horno a una temperatura entre 100 y 110 °C por 24 horas. Se registraron los pesos de los 3 especímenes ya secos, se sumergieron en agua a una temperatura de 17 y 23 °C por un periodo de 24 horas; posteriormente se sacaron y se eliminó el agua superficial con un papel absorbente y se volvieron a pesar para determinar su masa.

Para los cálculos se usará la siguiente fórmula:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - P_a} \times 1000$$

Donde:

A = Volumen de agua absorbida referido al volumen aparente del espécimen en dm^3 / m^3 .

M_s = Masa seca del espécimen en kg.

Msss = Masa saturada y superficialmente seca en kg.

Pa = Masa ahogada en kg.

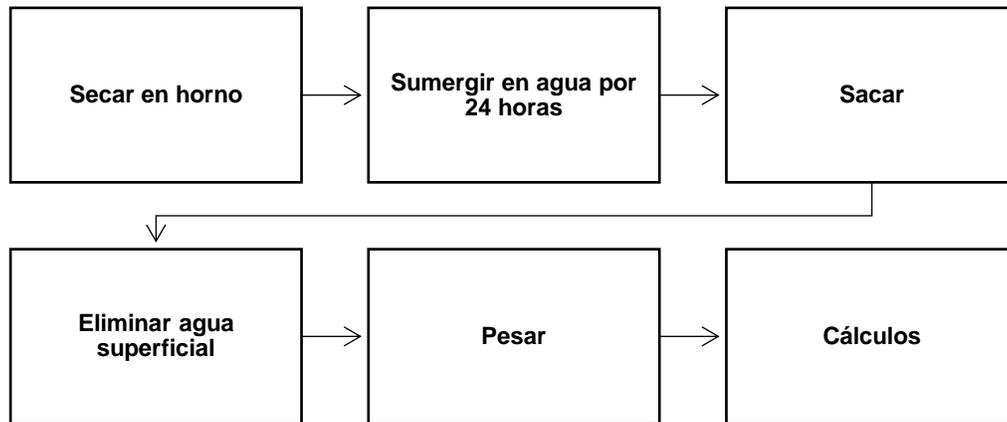


Figura 22. Diagrama metodología absorción

3.1.2.4. Especificaciones y métodos de ensayo

Según la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, las piezas se clasifican de acuerdo a su geometría, materiales y tipo de pieza. El tipo de pieza será en maciza, hueca, multiperforadora o piezas de ajuste y accesorias. Las dimensiones pueden ser las de bloques y ladrillos de arcilla o concreto.

En la tolerancia de forma, la desviación máxima de la arista de las piezas respecto a una línea recta perpendicular al lado contiguo no debe ser mayor que 3 %. La desviación (d) se calcula como el cociente de la distancia que se desvía la arista medida perpendicularmente a la línea de referencia (e) entre la distancia hasta el punto medido, como se muestra en la **Figura 23**.

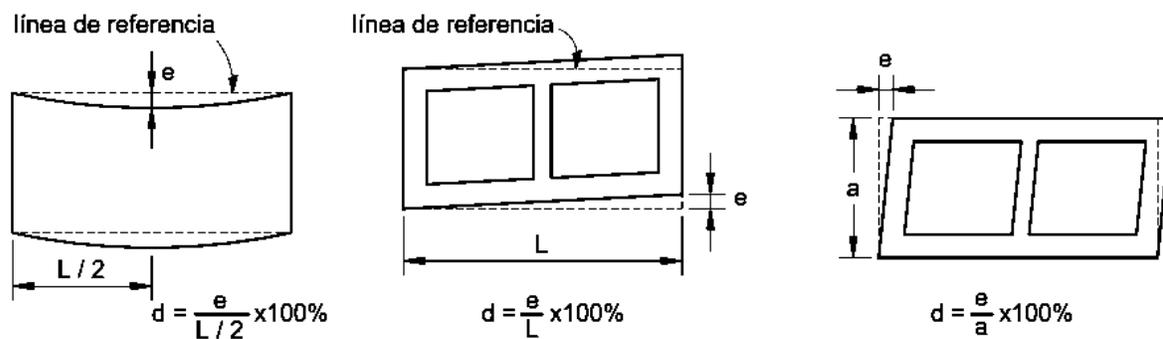


Figura 23. Tolerancia de forma. (NMX-C-404-ONNCCE-2012, 2012)

Las piezas deben de cumplir con los valores de resistencia mostrados en la **Tabla 12**, así como con los valores de absorción los cuales se muestran en la **Tabla 13**.

Tabla 12. Valores de resistencia.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media \bar{f}_p MPa (kgf/cm ²)	Resistencia mínima individual f_{pMin} MPa (N/mm ²)
Bloque	Macizo	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)
Tabique (largo > 300 mm)	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	9 (90)	7 (70)
Tabique (largo < 300 mm)	Macizo	11 (110)	7 (70)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)

Fuente: (NMX-C-404-ONNCCE-2012, 2012)

Tabla 13. Valores de absorción.

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior (g/min)	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	Absorción total en 24 h en porcentaje (%)
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Fuente: (NMX-C-404-ONNCCE-2012, 2012)

El valor máximo de contracción por secado debe ser del 0.065 %.

Los valores de la resistencia se calcularon considerando el área bruta de la pieza, de acuerdo con el método de ensayo especificado en NMX-C-036-ONNCCE.

Para los valores de absorción se deben cumplir con los que se muestran en la **Tabla 13** y se especifican de acuerdo al método de la norma NMX-C-037-ONNCCE.

En la norma NMX-C-508-ONNCCE-2015, se establecen las especificaciones y métodos de ensayo para los bloques de tierra comprimida.

Las dimensiones deben de ser de acuerdo a la NMX-C-038-ONNCCE y la resistencia de acuerdo a la NMX-C-036-ONNCCE (**Tabla 14**).

Tabla 14. Parámetros resistencia normalizada a compresión. (NMX-C-508-ONNCCE, 2015))

Bloques	BTC 3	BTC 6	BTC 9
Resistencia normalizada $f'c$, (fractil 5%), kgf/cm^2	30	60	90

También se menciona que el suelo a ocupar en la fabricación de piezas de BTC, no debe contener gravas ni materia orgánica.

3.1.2.5. Resistencia a la erosión

El ensayo de erosión acelerada se especifica en la NMX-C-036-ONNCCE. Consiste en dejar caer una corriente continua de agua sobre el bloque, durante 10 min, este bloque debe de estar inclinado a 27° respecto a la horizontal. El equipo utilizado se muestra en la **Figura 24**.



Figura 24. Equipo utilizado en ensayo de erosión

El valor de aceptación de profundidad se muestra en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Criterios de aceptación o rechazo

Propiedad	Criterio	Resultados
D, (profundidad de la oquedad generada), en mm	$0 \leq D \leq 10$	Aceptado
	$D > 10$	Rechazado



3.1.2.6. Resistividad eléctrica

Este método de ensaye viene especificado en la norma NMX-C-514-ONNCCE-2019, si bien es una prueba que se practica en concretos, esta nos puede mostrar aspectos como la porosidad del material, su grado de saturación y microestructura. Por ejemplo, cuanto mayor es la resistividad eléctrica menor es la porosidad del material y mayor será su impermeabilidad y resistencia mecánica.

3.1.2.7. Intemperismo

En el ensayo de intemperismo solo se colocaron las muestras a la intemperie por 6 meses. Estas muestras se midieron y pesaron antes y después de estos meses.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS LABORATORIO DE LA CARACTERIZACIÓN DE SUELO Y BTC (PRELIMINARES)

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos en cada prueba y análisis las cuales se llevaron a cabo en el laboratorio de materiales "Ing. Luis Silva Ruelas" de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

4.1. Caracterización del suelo

La caracterización de suelo se llevó a cabo en las muestras de suelo conseguidas del banco de tierra de la Región de Santa María de Atzompa en Oaxaca (SSMA). Para las pruebas se removió el suelo para uniformarlo.

4.1.1. Granulometría

Se hicieron dos pruebas de granulometría, con muestras del suelo de 200 gr. A continuación, se muestran los resultados promedio de esta prueba de determinación granulométrica.

Tabla 16. Resultados de granulometría del SSMA.

Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)
75	100
50	100
37.5	100
25	100
19	100
12.5	100
9.5	100
4.75	100
2	97.9
0.84	93.1
0.42	80.3
0.25	72.1
0.149	64.8
0.074	54.9

Los valores muestran el promedio de 2 muestras.

En la **Figura 25** se muestran la curva de clasificación granulométrica del SSMA, que se obtiene de los resultados anteriores.

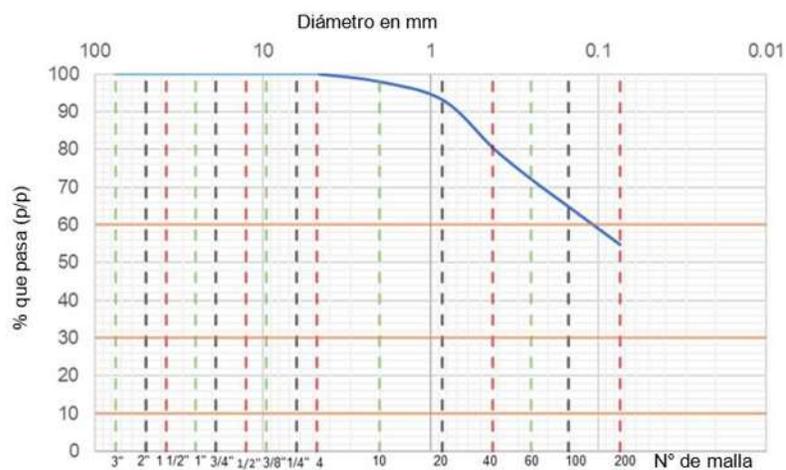


Figura 25. Curva de clasificación granulométrica SSMA.

4.1.2. Límites de consistencia y contracción

Aquí se muestran los resultados de los límites de consistencia, los cuales nos servirán para ubicar el suelo en la gráfica de plasticidad y saber el tipo de suelo con el que estamos trabajando.

4.1.2.1. Límite líquido (LL)

Tabla 17. Resultados del límite líquido del SSMA.

	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
LL %	38.9	36.8	37.9 (± 1.5)

Los resultados exponen el promedio de 2 muestras con la desviación estándar.

4.1.2.2. Límite plástico (LP)

Para la prueba del límite plástico del SSMA, se tomaron 2 muestras y a cada una se le hicieron 3 pruebas. Entre ambas muestras nos da un promedio de 16.3 % de contenido de agua.

Tabla 18. Resultados del límite plástico del SSMA.

	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
LP %	15.5	17.1	16.3 (± 1.1)

Los resultados exponen el promedio de 2 muestras con la desviación estándar.

4.1.2.3. Índice plástico (IP)

Tomando los promedios del límite líquido y del límite plástico se obtiene el siguiente valor para el índice plástico.

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 37.9 - 16.3 = 21.6 \%$$

4.1.2.4. Contracción lineal

Para la contracción lineal del SSMA se hicieron 2 pruebas.

Tabla 19. Resultado contracción lineal del SSMA.

Muestra	CL %
1	10.7
2	9.7
Promedio	10.2 (± 0.7)

Los resultados exponen el promedio de 2 muestras con la desviación estándar.

4.1.2.5. Contracción volumétrica

Se llevaron a cabo 2 pruebas para la contracción volumétrica del SSMA.

Tabla 20. Resultado contracción volumétrica del SSMA.

Muestra	CV%
1	15.1
2	13.5
Promedio	14.3 (±1.1)

Los resultados exponen el promedio de 2 muestras con la desviación estándar.

Tabla 21. Tabla concentradora límites de consistencia y contracción del SSMA.

W %	LL %	LP %	Ip %	CV %	CL%
3.5 (± 0.28)	37.9 (± 1.5)	16.3 (± 1.1)	21.6	14.3 (±1.1)	10.2 (± 0.7)

Los valores muestran el promedio y la desviación estándar de cada prueba.

A continuación (**Figura 26**), se muestra la carta de plasticidad, en donde ya se graficaron los resultados obtenidos de acuerdo al límite plástico con relación al índice de plasticidad y esto nos dio la ubicación del tipo de suelo, el cual se ubicó como una arcilla de baja plasticidad (CL).

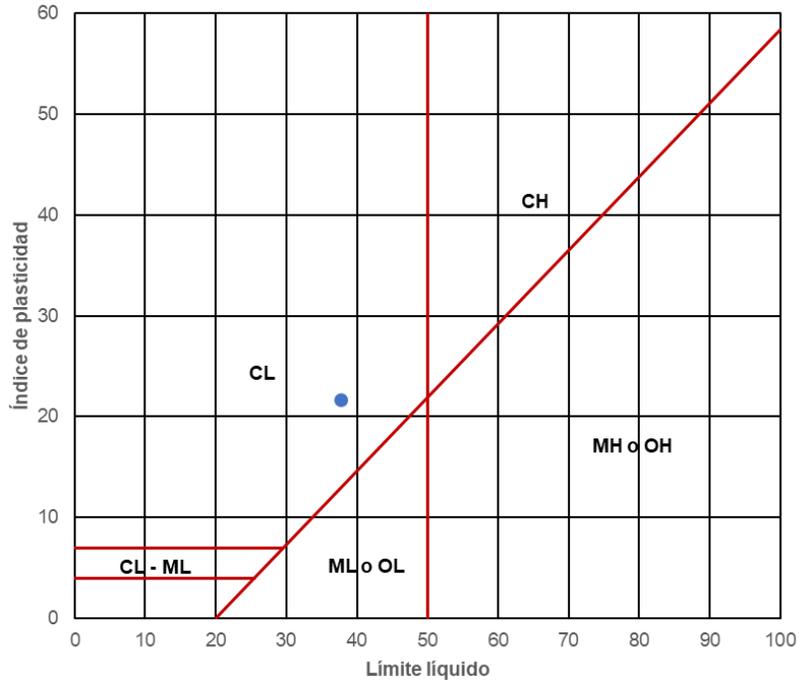


Figura 26. Carta de plasticidad para el SSMA.

4.1.3. Densidad relativa

La **Tabla 22** muestra los resultados de las 2 pruebas para obtener la densidad relativa del suelo, la cual se obtuvo con la siguiente formula.

$$S_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fsw}}$$

Tabla 22. Resultado peso específico.

Prueba No.	1	2
Densidad relativa S_s	2.61	2.61

S_s = adimensional.

4.1.4. Compresión simple

En la **Figura 27** se muestra la gráfica del promedio obtenido entre las curvas de esfuerzo-deformación de las 3 muestras labradas con el SSMA.

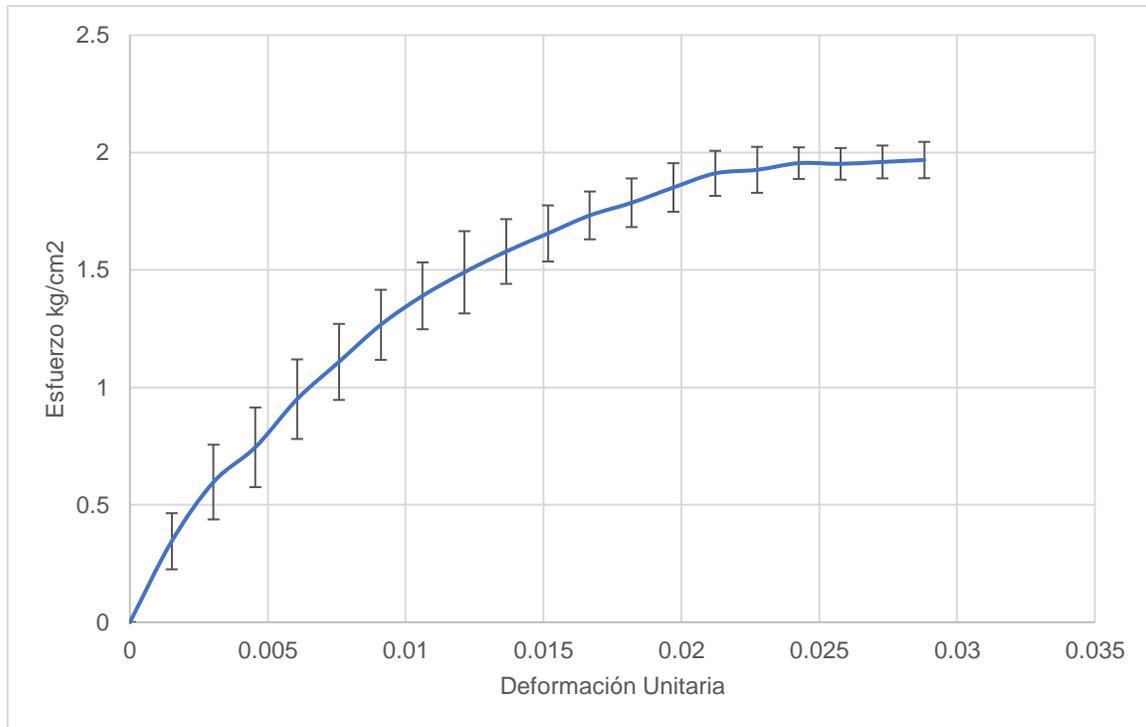


Figura 27. Gráfica promedio de compresión simple SSMA con desviación estándar.

4.1.5. Compresión triaxial

Como resultado de la prueba de compresión triaxial, se obtuvo la **Figura 28** con ayuda del círculo de Mohr, donde obtuvimos la cohesión de 0.43 kgf/cm^2 y el ángulo de fricción interna de 28° , esto de acuerdo al esfuerzo principal menor y mayor que presentaron las muestras labradas, del SSMA.

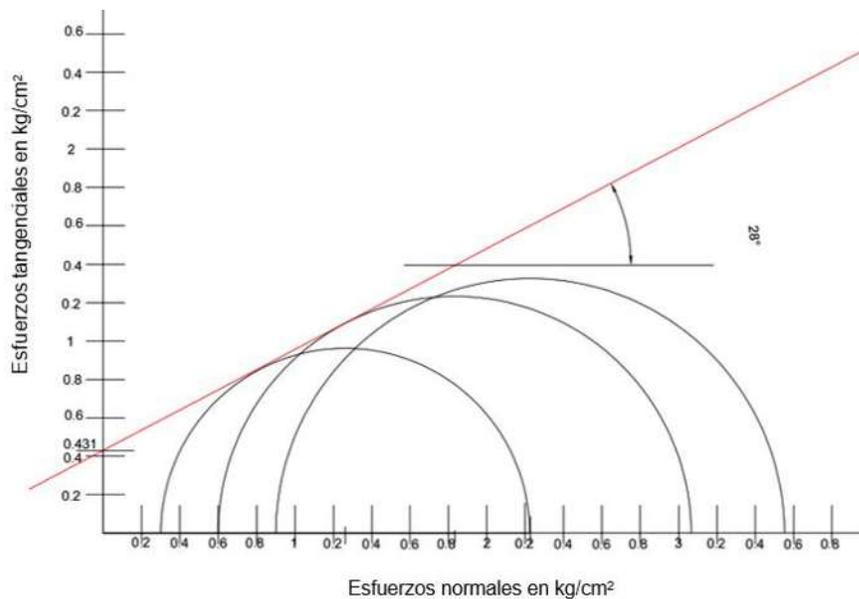


Figura 28. Círculo de Mohr.

Tabla 23. Recopilación de resultados promedio y desviación estándar

Prueba	Valor	Unidad
Granulometría	Suelo fino	-
Límites de consistencia	Humedad	3.5 (\pm 0.28)
	Límite líquido	37.9 (\pm 1.5)
	Límite plástico	16.3 (\pm 1.1)
	Índice plástico	21.6
Contracción	Lineal	10.2 (\pm 0.7)
	Volumétrica	14.3 (\pm 1.1)
Densidad	2.61	Adimensional
Contracción del suelo prueba PROCTOR	16.4	%
Compresión simple	1.98 (\pm 0.08)	kgf/cm ²
Compresión triaxial	Cohesión = 0.43 Ángulo de fricción interna = 28°	kgf/cm ²

4.2. Caracterización BTC

Para los bloques de tierra comprimida, la caracterización se hizo en 15 piezas, de acuerdo a la norma NMX-C-508-ONNCCE-2015. De estas piezas 8 fueron destinadas para las pruebas de compresión simple (de la 1 a la 8), para las pruebas de absorción se ocuparon las piezas 9,10 y 11; para resistencia a la flexión las piezas 12, 13 y 15 fueron las usadas y para el módulo de elasticidad se usaron las piezas 1, 2 y 3.

Tabla 24. Tabla concentradora pruebas de laboratorio BTC

Prueba	Valor	Unidad	Límites normativa
Compresión simple	27 (\pm 4.02)	kgf/cm ²	Resistencia normalizada BTC3 = 30 BTC6 = 60 BTC9 = 90
Absorción inicial 10 min	6.7 (\pm 2.31)	g/(cm ² * min ^{0.5})	Arcilla prensada 5 máx.
Absorción total 24 h	23 (\pm 1.53)	%	Arcilla prensada 19 máx.
Resistencia a flexión	2.6 (\pm 0.21)	kg/cm ²	-
Módulo de elasticidad	113,244 (\pm 8758.46)	kgf/cm ²	-
Resistividad eléctrica	64.4 (\pm 9.4)	k Ω *cm	-
Erosión acelerada	-	mm	0 \leq D \leq 10 ACEPTADO

			$D > 10$ RECHAZADO
--	--	--	------------------------------

Los valores muestran el promedio y la desviación estándar de cada prueba.

La **Figura 29** muestra los resultados de la prueba de erosión acelerada, hecha a 4 muestras, las cuales se dejaron saturar en diferentes plazos de tiempo. La línea roja punteada que se muestra es el límite de profundidad permitida de desgaste que marca la norma.

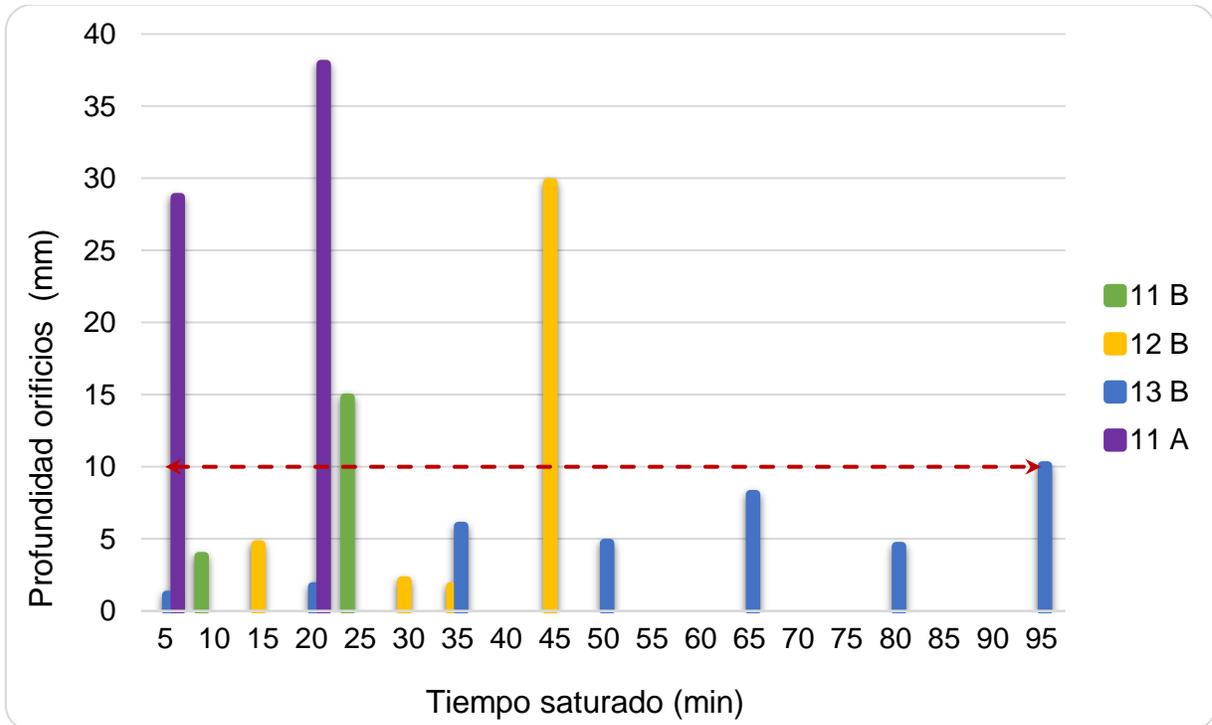


Figura 29. Gráfica erosión acelerada

En la **Figura 30** se muestran los 8 especímenes en los que se llevó a cabo la prueba de absorción capilar.

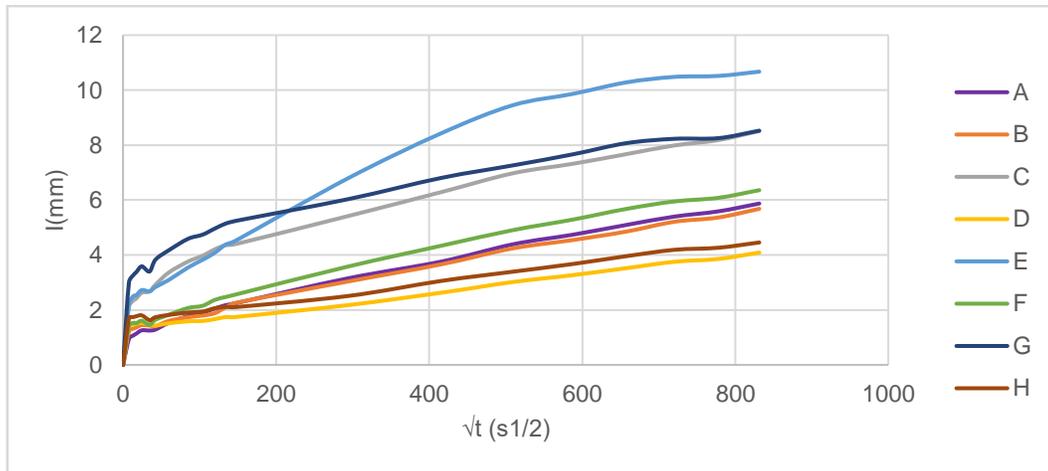


Figura 30. Gráfica absorción capilar.

4.2.1. BTC a la intemperie

Los BTC número 9 y 10 fueron cortados por la mitad y puestos a la intemperie, esto para saber si muestran algún cambio, como se muestra en las **Figura 31** y en la **Figura 32** hubo pérdida de material en los BTC.



Figura 31. Bloque de Tierra Comprimida (BTC) a la intemperie día 1.



Figura 32. Bloque de Tierra Comprimida (BTC) a la intemperie a los 6 meses.



En la **Tabla 25** se muestran los pesos del BTC antes y después de estar 6 meses a la intemperie.

Tabla 25. Diferencia de pesos de BTC a la intemperie.

Bloque	Peso (g)		
	11 de enero de 2023	4 de agosto de 2023	Diferencia
9 A	1463.2	1457.2	6
9 B	1531.2	1519.2	12
10 A	1808.2	1804.6	3.6
10 B	1679.8	1673	6.8



CAPÍTULO 5

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CON ENFOQUE DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.

5.1. Análisis de ciclo de vida (ACV)

La metodología del análisis de ciclo de vida permite evaluar los impactos ambientales de procesos o productos, esta metodología está regulada por las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, la cual permite analizar y cuantificar los impactos potenciales en cada etapa a lo largo del ciclo de vida del producto. Las etapas a analizar dependen del objetivo del trabajo, por lo general estas etapas son la adquisición de materias primas, fabricación del producto, distribución y transporte, el uso durante su vida en servicio, la gestión de residuos y su disposición final, es decir, “de la cuna a la tumba” (ISO 14040:2006, 2006).

La norma ISO nos menciona cuatro fases para llevar a cabo el análisis:

- 1º Fase de definición del objetivo y el alcance.
- 2º Fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV).
- 3º Fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV).
- 4º Fase de interpretación de resultados.

5.1.1. Fase definición del objetivo y alcance

En la primera fase, el objetivo define la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio, el público al que va dirigido y para qué serán utilizados los resultados; en el alcance del estudio se define la unidad funcional y los límites del sistema. Aquí se define que etapas son las que formaran parte del análisis, por ejemplo, la obtención de materia prima, la fabricación del producto, su uso, su disposición final o su reciclado. También se especifica la calidad de los datos, como quien los proporciona o su antigüedad.

5.1.2. Fase análisis del inventario del ciclo de vida

En la segunda fase se recopilan y se calculan los datos a usar, las entradas (consumo de recursos y materiales) y salidas (emisiones al aire, suelo, agua y

generación de residuos) las cuales puedan causar un impacto. Estos datos se ajustan de acuerdo a la unidad funcional.

5.1.3. Fase evaluación del impacto del ciclo de vida

En la tercera fase se hace la evaluación de impactos, llevando a cabo una relación de las entradas y salidas del inventario con los posibles impactos sobre el medio ambiente, la salud humana y los recursos.

En esta fase, se deben de seleccionar las categorías de impacto, para esto existen diferentes métodos y cada uno con diversos indicadores o factores. Algunos de los métodos son EC99, ReciPe, CML-IA, IPCC 2013, EDIP/UMIP 96, EPS2000, ECOPOINTS 97, TRACI, IMPACT, USEtox (Carnerero, 2019).

Para este caso de estudio se usará el método ReciPe, ya que es un método global que tiene como ventajas la solidez científica, una fácil interpretación y se puede aplicar en todo el mundo.

A diferencia de las otras metodologías, ReciPe cuenta con 18 categorías mid-point o de medio punto (**Tabla 26**), las cuales se presentan en el medio de una causa y efecto. También existen las categorías de end-point o punto final, que se refieren al daño ocasionado.

Tabla 26. Representación de la relación entre categorías de impacto punto medio y las de punto final.

Categorías (Punto medio)	Indicador	Categoría de impacto (Punto final)
1) Cambio climático	kg CO2 eq	Salud humana
2) Agotamiento del ozono	kg CFC 11 eq	
3) Formación de oxidantes fotoquímicos.	kg NMVOC	
4) Radiación ionizante	kBq U235 eq	
5) Formación de partículas	kg PM10 eq	
6) Toxicidad humana	kg 1.4 DCB eq	
7) Acidificación terrestre	kg SO2 eq	
8) Eutrofización de agua dulce	kg P eq	Ecosistemas
9) Eutrofización marina	kg N eq	
10) Ecotoxicidad terrestre	kg 1.4 DCB eq	
11) Ecotoxicidad del agua dulce		
12) Ecotoxicidad marina		
13) Transformación natural del suelo	m ²	Recursos
14) Ocupación de tierras agrícolas	m ² a	
15) Ocupación de suelo urbano	m ² a	
16) Agotamiento del agua	m ³	
17) Agotamiento del metal	kg Fe eq	
18) Agotamiento de fósiles	kg oil eq	



5.1.4. Fase interpretación de resultados

En la última fase se hace la interpretación de los resultados identificando los impactos significativos del proceso o producto, lo tiene que ser coherente con el objetivo y alcance del análisis, y se proponen posibles soluciones para mejorar las etapas. También se hace una revisión crítica, esto para saber si un ACV ha cumplido con los requisitos de la metodología y si es coherente. Generalmente se hace por una persona externa, la cual no haya participado en el ACV (Bellart-Crevillen & Mesa-Marcos, 2009).

CAPÍTULO 6

CASOS DE ESTUDIO: Análisis ciclo de vida (ACV) de los BTC con bagazo de agave y de los BPC

Para llevar a cabo el análisis de ciclo de vida de los BTC con bagazo de agave, es necesario hacer una comparación con un material similar; así que se tomó la decisión de hacer un análisis también de los bloques prefabricados de concreto (BPC), ya que es un material muy usado en la construcción y está en igualdad de condiciones al no pasar por el proceso de cocción como el ladrillo tradicional.

La evaluación del impacto ambiental de los bloques de tierra comprimida adicionados con bagazo de agave, se hará conforme a la norma ISO 14040, la cual detalla los requisitos donde se encuentran las cuatro fases para realizar un ACV, las cuales se pueden apreciar en la **Figura 33**.

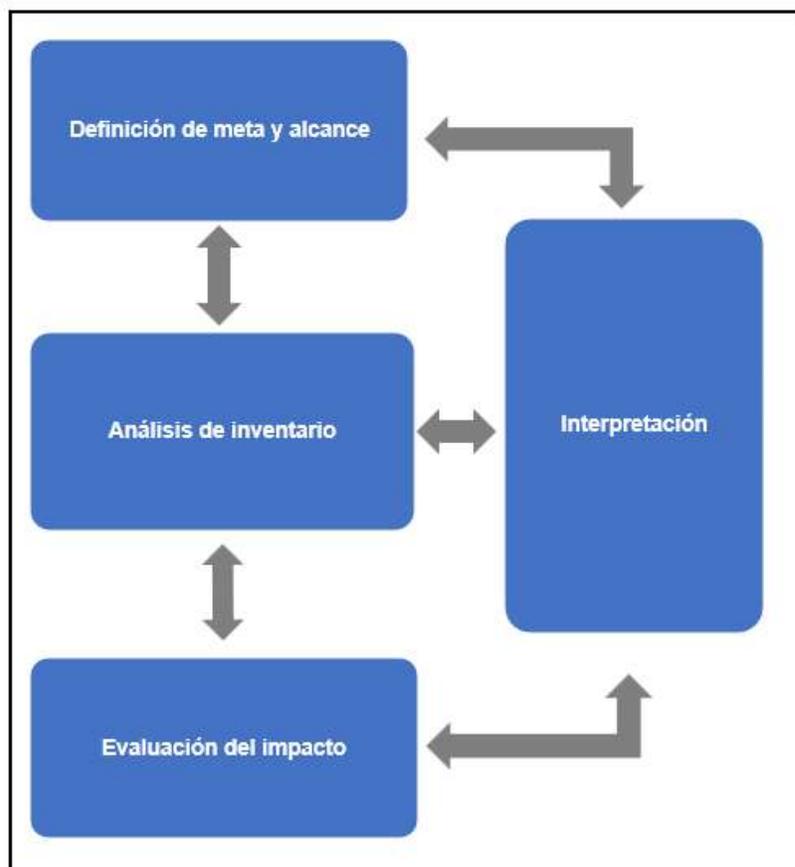
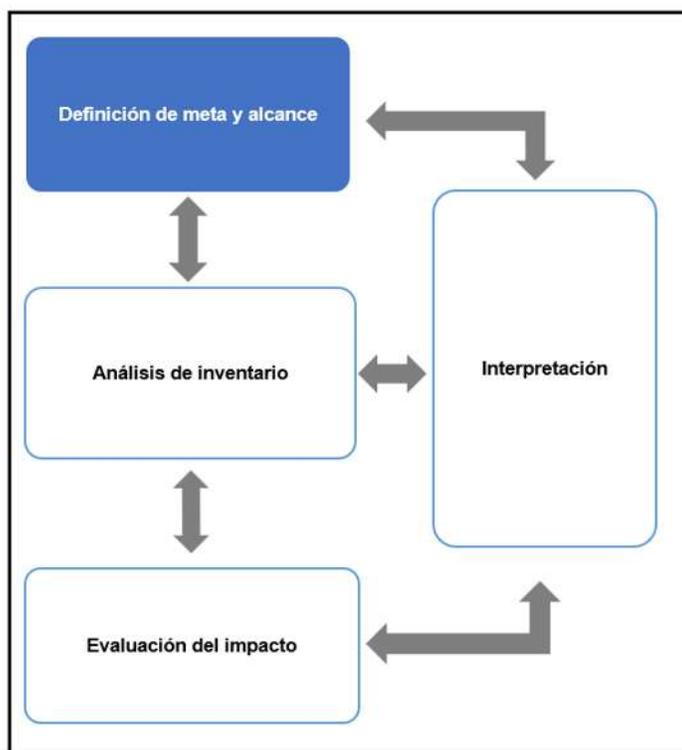


Figura 33. Panorama del Marco de Referencia del ISO ACV.

6.1. FASE DE DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE



6.1.1. Definición del objetivo de ACV

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto ambiental asociado con la producción de Bloques de tierra comprimida (BTC) adicionados con bagazo de agave, con el fin de identificar los puntos críticos y posteriormente sugerir opciones de mejora. Por otro lado, evaluar el impacto ambiental de los Bloques prefabricados de concreto (BPC), identificar los puntos críticos y posteriormente hacer la comparación con la producción de bloques de tierra comprimida adicionados con bagazo de agave.

La difusión de los resultados del estudio se presentará ante la mesa tutorial, para que puedan ser usados como base para un estudio comparativo y así seguir desarrollando materiales de construcción amigables con el medio ambiente.

6.1.2. Alcance

El estudio se desarrolla utilizando una herramienta de ACV de la cuna a la tumba, que implica la producción de los bloques, su uso y su disposición final.



Se consideran los flujos de entrada y salida de las etapas comprendidas desde la obtención de materias primas, producción de los BTC, su terminación e inserción al mercado, su uso en la construcción y su disposición final.

6.1.3. Unidad funcional

La unidad funcional para cada Bloques se muestra en la **Tabla 27**.

Tabla 27. Unidad Funcional de los Bloques

Bloques de Tierra Comprimida (BTC)	Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)
<p>➤ Producción de bloques de tierra comprimida (BTC) con bagazo de agave para construir 1 m² de muro de espesor de 13.5 cm, en Oaxaca, con una vida útil de 50 años.</p>	<p>➤ Producción de bloques prefabricados de concreto (BPC) para construir 1 m² de muro de espesor de 12 cm, en Morelia, con una vida útil de 50 años.</p>

6.1.4. Límites del sistema

En la **Figura 34** y en la **Figura 35** se muestra un diagrama con los límites del sistema. En este se pueden apreciar las entradas y salidas en cada proceso que se tomará en cuenta para el análisis de ciclo de vida de la cuna a la tumba.

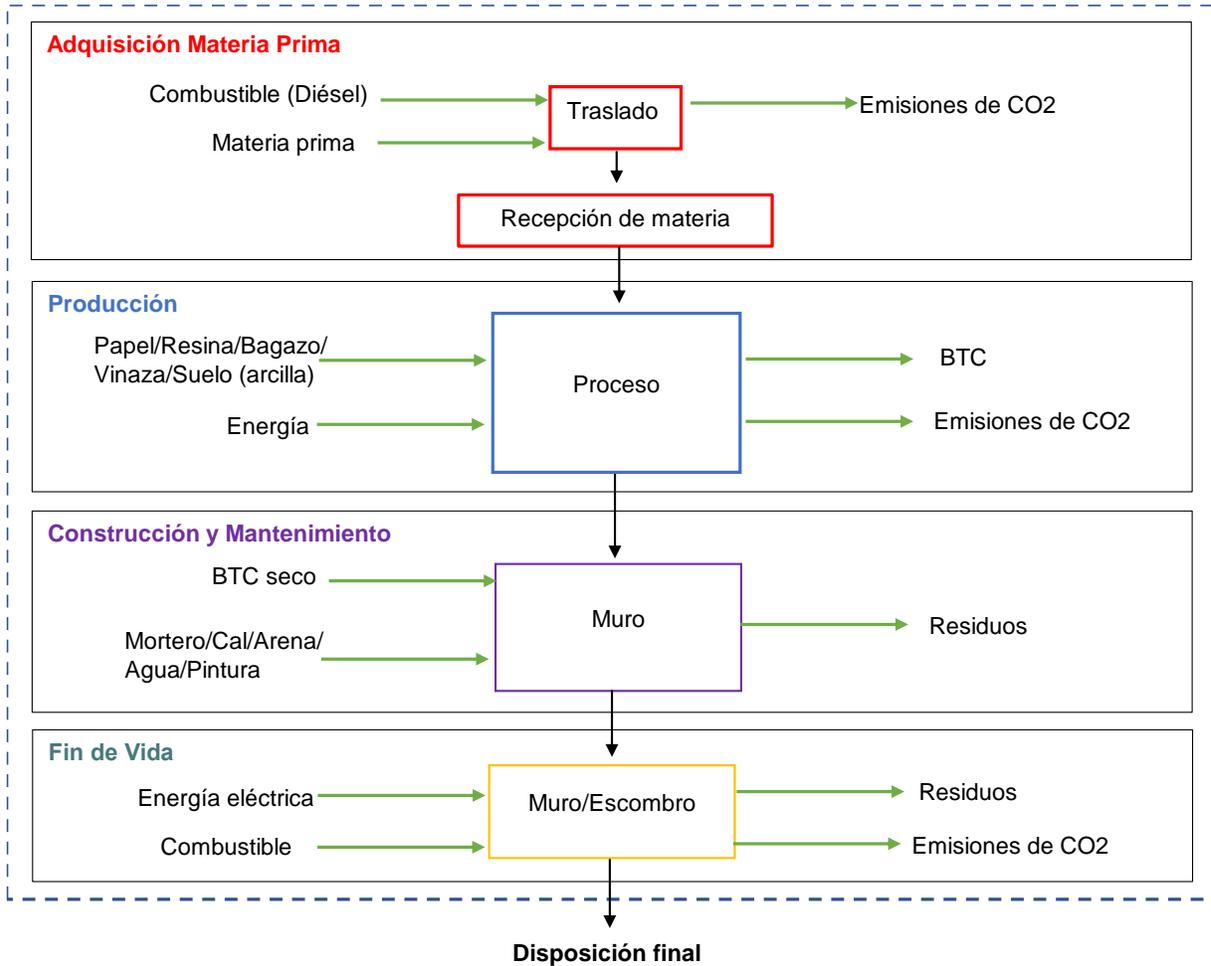


Figura 34. Diagrama de límites del sistema para Bloque de Tierra Comprimida (BTC)

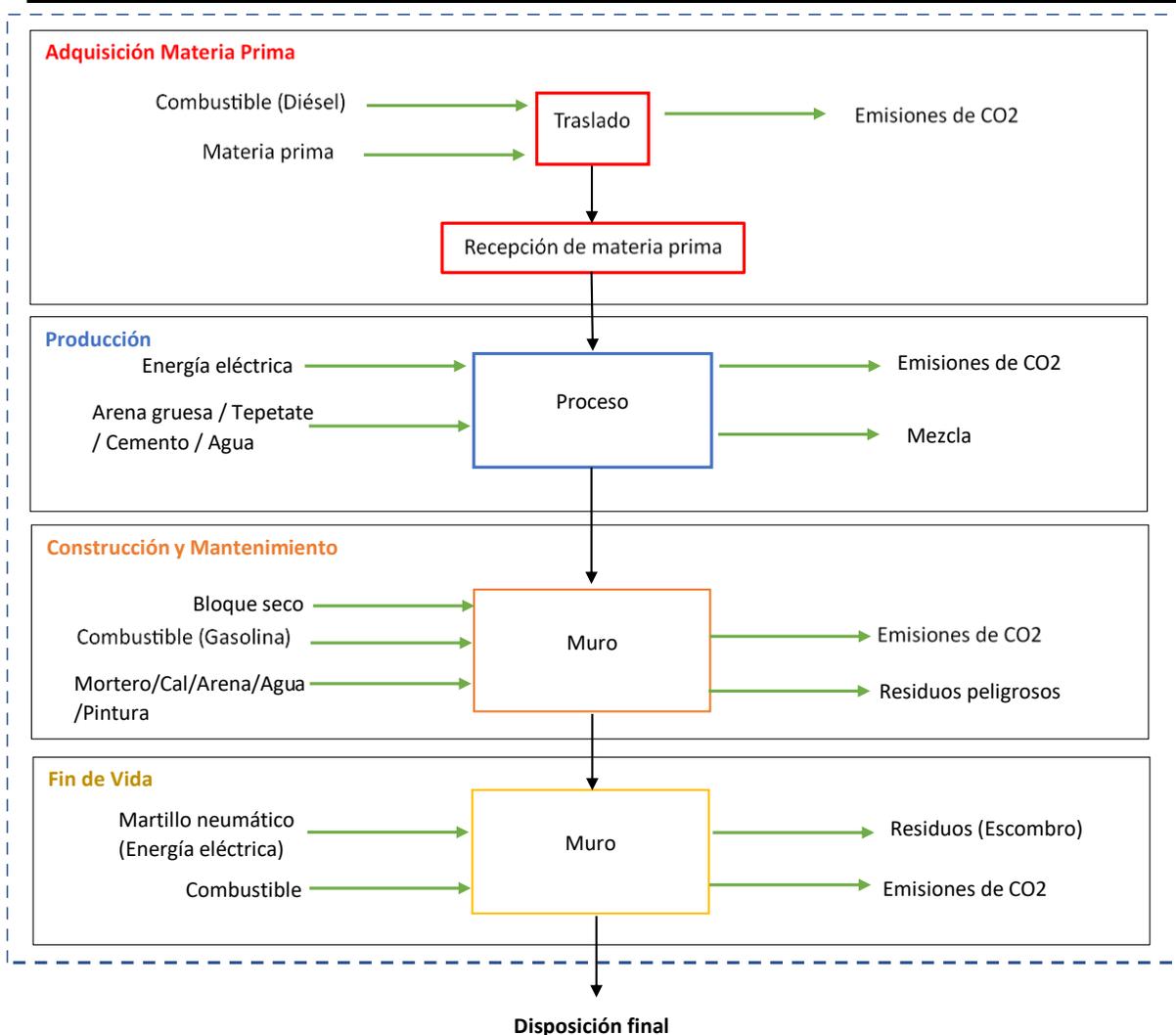


Figura 35. Diagrama límites del sistema para Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)

6.1.5. Metodología de impacto

Para este análisis de ciclo de vida la metodología que se empleó es con el “Método ReCiPe Midpoint (H) V1.13 World ReCiPe H/Normalización”, el cual se realizó con el software SimaPro 8.2.3.0. La **Tabla 28** muestra las categorías de impacto que comprende este método.

Tabla 28. Categorías de impacto de medio punto.

Categorías (Punto medio)	Unidad
1) Cambio climático	kg CO2 eq
2) Agotamiento del ozono	kg CFC 11 eq
3) Acidificación terrestre	kg SO2 eq
4) Eutrofización de agua dulce	kg P eq
5) Eutrofización marina	kg N eq
6) Toxicidad humana	kg 1.4 DCB eq
7) Formación de oxidantes fotoquímicos.	kg NMVOC
8) Formación de partículas	kg PM10 eq
9) Ecotoxicidad terrestre	kg 1.4 DCB eq
10) Ecotoxicidad del agua dulce	
11) Ecotoxicidad marina	
12) Radiación ionizante	kBq U235 eq
13) Ocupación de tierras agrícolas	m ² a
14) Ocupación de suelo urbano	m ² a
15) Transformación natural del suelo	m ²
16) Agotamiento del agua	m ³
17) Agotamiento del metal	kg Fe eq
18) Agotamiento de fósiles	kg oil eq

6.1.6. Calidad de los datos

Los datos necesarios, para cumplir con el objetivo y alcance antes mencionados, fueron obtenidos directamente de las empresas de producción de ambos bloques en el año 2022. Así mismo se usaron datos estimados para el transporte de los materiales al área de producción, construcción y relleno sanitario.



Para los BTC, los datos fueron obtenidos de primera mano, de la empresa CENIT, CONSULTORÍA & ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA, quienes se dedican a la fabricación de bloques de tierra comprimidos a base de bagazo de agave. Ubicada en calle Anáhuac # 511, Col. Netzahualcóyotl San Martín Mexicapán, Oaxaca de Juárez.

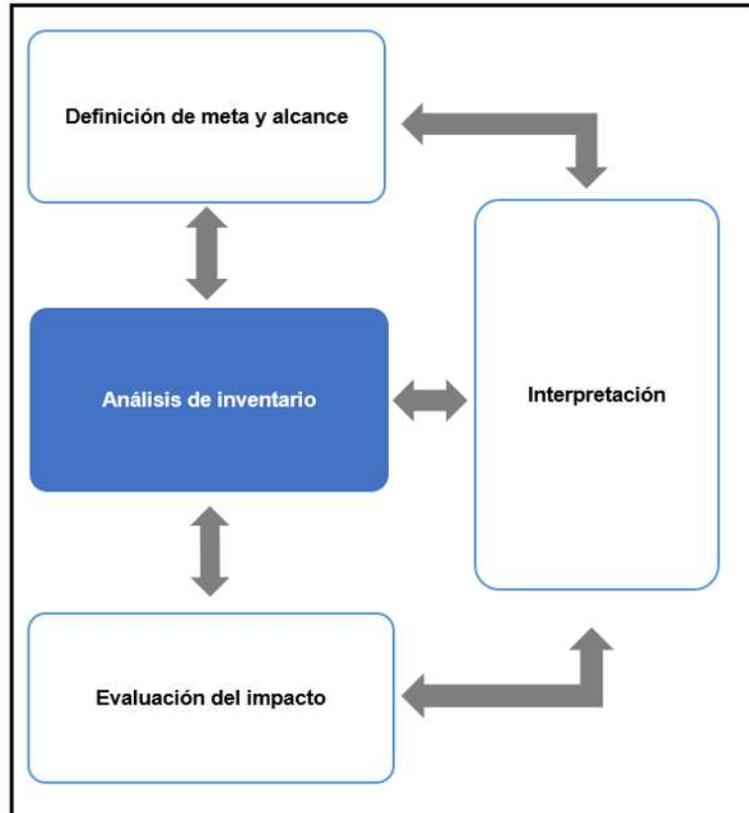
En el caso de los BPC, los datos fueron proporcionados por la empresa Tabitodo Prefabricados, la cual se encuentra en la calle Mármol 74, Los Vergeles, en la ciudad de Morelia, Michoacán.

En cuestión de todos los transportes se tomó en cuenta la ubicación de las empresas a los distintos lugares de abastecimiento y al lugar donde se va a construir el muro, con datos de Google maps.

Para medir el consumo de electricidad se revisó la ficha técnica de los motores de los equipos utilizados en la producción (picadora de forraje, revoladora, banda transportadora, máquina compactadora, etc.), así como el tiempo de uso de cada una.

6.2. FASE DE ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

Como se mencionó anteriormente en esta fase, para los datos recopilados de cada proceso se calculan las entradas y salidas de acuerdo a la unidad funcional de cada bloque (BTC y BPC).



6.2.1. Evaluación del inventario de ciclo de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC)

Los datos recopilados en el caso de los BTC son para un lote de 300 piezas que fabrica la empresa Cenit. Considerando las etapas de obtención de materia prima, producción de los BTC, construcción del muro, mantenimiento, y fin de vida.

En la **Tabla 29** se muestran las ubicaciones necesarias para la trasportación y las distancias hacia el lugar de producción del bloque, el lugar de construcción del muro y la disposición final del escombro; estos datos son necesarios para sacar el valor de las toneladas trasportadas por kilómetro recorrido para la unidad funcional.



Tabla 29. Ubicación y distancias de los materiales para la fabricación, construcción y fin de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).

Materia Prima para la Producción del BTC			
Material	Ubicación	Destino	Distancia (km)
Bagazo y vinaza	Sombra Mezcal, Cuauhtémoc	San Martín Mexicapan, Oaxaca de Juárez	102.2
Resina de pino	Carretera federal 175		48.4
Arcilla	Santa María Atzompa		12
Papel	Ambiental Reciclados, Carretera 175 Km 9, Centro		26
Cal	Materiales Azteca, Cuauhtémoc		5.4
Material para la Construcción y Mantenimiento del Muro de BTC			
Material	Ubicación	Destino	Distancia (km)
BTC	San Martín Mexicapan, Oaxaca de Juárez	Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca	5.4
Mortero	Materiales Azteca		1.4
Arena	Banco de materiales		3.5
Pintura	Pinturas Berel		1.5
Escombros de BTC			
Material	Ubicación	Destino	Distancia (km)
Escombros	Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca	Relleno sanitario	19.7

6.2.1.1. Obtención de materias primas

Las materias primas utilizadas en el proceso de elaboración de los BTC son:

- Resina de pino: fábrica de producción de resina.
- Bagazo y Vinazas: provienen del palenque Sombra Mezcal.
- Arcilla: banco de tierra de Santa María Atzompa, Oaxaca.
- Papel: se obtiene de papel reciclado de oficina.
- Cal: Tienda de materiales de construcción.

Cabe mencionar que tanto el bagazo y vinaza, así como el papel, son residuos o subproductos de un proceso. De acuerdo a la información recopilada en la empresa, se procesan lotes de 300 piezas de BTC. Las materias primas para ello se

describen en la **Tabla 30**, pero con las respectivas proporciones que corresponden a la producción de 42.1 piezas (1 m² de acuerdo a la unidad funcional). La tabla también muestra las entradas y salidas desde la naturaleza y tecnosfera seleccionadas en el software SimaPro, así como el tipo de transporte utilizado.

Tabla 30. Materias primas para la unidad funcional Bloque Tierra Comprimida (BTC)

Unidad funcional		
42.1 Piezas de BTC adicionadas con bagazo de agave para construir 1 m ² de muro		
Materia Prima		
Material	Cantidad (kg)	Entradas y salidas Naturaleza
Suelo (Arcilla)	58.9	Clay {RoW} clay pit operation Alloc Def, U
Resina	1.3	Phenolic resin {GLO} market for Alloc Def, U
Material	Cantidad (kg)	Entradas y salidas Tecnosfera
Bagazo	7.6	Bagasse, from sugarcane {RoW} cane sugar production with ethanol by-product Alloc Rec, U
Vinaza	29.5	Vinasse, from fermentation of sugarcane {GLO} market for Alloc Rec, U
Papel	12.6	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper Alloc Def, U
Cal	25.3	Lime mortar {GLO} market for Alloc Def, U
Trasporte		
Tipo	Distancia (Ton-km)	Transporte
Transporte Hilux 2009 (Bagazo)	5.0195	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U
Transporte Hilux 2009 (Vinaza)		
Transporte Hilux 2009 (Arcilla)		
Transporte Hilux 2009 (Resina)		
Transporte Hilux 2009 (Papel)		
Transporte Hilux 2009 (Cal)		

6.2.1.2. Proceso de Producción del Bloques de Tierra Comprimida

Como se observa en la **Tabla 31**, en esta etapa aparte de la materia prima (**Tabla 30**), se toman en cuenta las máquinas que se ocupan en la fabricación de estas piezas, así como el tiempo que usa cada una.

Tabla 31. Producción de Bloque Tierra Comprimida (BTC).

Unidad funcional				
42.1 Piezas de BTC adicionadas con bagazo de agave para construir 1 m ² de muro				
Energía				
Maquinaria	Potencia (kW)	Horas	Energía (kWh)	Electricidad
Picadora de forraje	5.59	1.96	14.6	Electricity, high voltage {MX} market for Alloc



Revolvedora	5.59	0.42	Def, U
Banda transportadora	1.49	0.42	
Prensa con vibrador	1.49	0.42	

6.2.1.3. Proceso de Construcción del muro de Bloque de Tierra Comprimida

En la etapa de construcción del m² de muro de BTC se toman en cuenta los materiales para el pegado del muro, el aplanado y la pintura para este, como se muestra en la **Tabla 32**, así como también las distancias de cada material mencionado al lugar de construcción del muro, en este caso se tomó la distancia a la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, como se muestra en la **Tabla 29**.

Tabla 32. Construcción del muro Bloque Tierra Comprimida (BTC)

Unidad funcional		
42.1 Piezas de BTC adicionadas con bagazo de agave para construir 1 m ² de muro		
Materia Prima para construcción del muro		
Material	Cantidad (kg)	Entradas y salidas desde la tecnosfera
BTC	135.1	-----
Cemento Mortero	29	Adhesive mortar {GLO} market for Alloc Def, U
Arena	60	Gravel, round {GLO} market for Alloc Def, U
Agua	12	Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Alloc Def, U
Pintura	1.3	Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {GLO} market for Alloc Def, S
Trasportación		
Tipo	Distancia (Ton-km)	Transporte
Transporte Hilux 2009 (BTC)	0.9818	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U
Transporte Hilux 2009 (Mortero)		
Transporte Hilux 2009(Arena)		
Transporte Hilux 2009 (Pintura)		

6.2.1.4. Mantenimiento

Al igual que para la construcción, en la **Tabla 33** se muestran los materiales usados para dar mantenimiento al muro cada 10 años en su vida útil, junto con el transporte (**Tabla 29**) de cada material.

Tabla 33. Mantenimiento del muro Bloque Tierra Comprimida (BTC).

Unidad funcional		
42.1 Piezas de BTC adicionadas con bagazo de agave para construir 1 m ² de muro		
Materia Prima para el mantenimiento del muro		
Material	Cantidad (kg)	Entradas y salidas desde la tecnosfera
Cemento Mortero	33	Adhesive mortar {GLO} market for Alloc Def, U
Agua	9.2	Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Alloc Def, U
Pintura	7	Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {GLO} market for Alloc Def, S
Trasporte		
Tipo	Distancia (Ton-km)	Transporte
Transporte Hilux 2009 (Mortero)	0.056	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U
Transporte Hilux 2009 (Pintura)		

6.2.1.5. Fin de vida del muro

La **Tabla 34** muestra la etapa final la cual consiste en la demolición del muro, en la cual se toma solo la energía eléctrica del martillo rompedor, y el traslado de los escombros del muro hacia el relleno sanitario (**Tabla 29**).

Tabla 34. Traslado del escombros al relleno sanitario Bloque de Tierra Comprimida (BTC).

Unidad funcional				
42.1 Piezas de BTC adicionadas con bagazo de agave para construir 1 m ² de muro				
Energía				
Maquinaria	Potencia (kW)	Horas	Energía (kWh)	Electricidad
Martillo rompedor	1.51	1.12	1.77	Electricity, high voltaje {MX} market for Alloc Def, U
Residuo				
Material	Cantidad (kg)		Salidas a la tecnosfera	
Escombros	265		Waste brick {CH} treatment of, collection for final disposal Alloc Def, U	
Trasporte				
Tipo	Distancia (Ton-km)		Transporte	
Volteo	4.638		Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U	

6.2.2. Evaluación del inventario de ciclo de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)

Para los BPC los datos proporcionados por la empresa son para el número de bloques que se producen en un día de trabajo, los cuales son 500 piezas y se hizo el ajuste para la unidad funcional.

En la **Tabla 35** se encuentran la ubicación y distancias de cada material usado en los diferentes procesos.

Tabla 35. Ubicación y distancias de los materiales para la fabricación, construcción y fin de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

Materia Prima para la Producción del BTC			
Material	Ubicación	Destino	Distancia (km)
Sello (Arena gruesa)	Banco de materiales de Joyitas	Los Vergeles, en la ciudad de Morelia, Michoacán	22.7
Balastre (Tepetate)	Zinapécuaro		63.5
Cemento	San Luis Potosí		353
Material para la Construcción y Mantenimiento del Muro de BTC			
Material	Ubicación	Destino	Distancia (km)
BPC	Los Vergeles, en la ciudad de Morelia, Michoacán	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	6.8
Mortero	Materiales CASE Morelia		1.7
Arena	Banco de materiales de Joyitas		2
Pintura	Pinturas Berel Cosmos		2.5
Escombros de BTC			
Material	Ubicación	Destino	Distancia (km)
Escombros	Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca	Relleno sanitario	17.3

6.2.2.1. Obtención de materias primas para el Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)

En la etapa de obtención de la materia prima se tomó en cuenta el material, o sea la cantidad de este que se necesita para hacer la mezcla, y para la transportación se necesitó el tipo de transporte que se usa y la distancia hacia el lugar de producción del bloque, para sacar el valor de las toneladas transportadas por kilómetro recorrido para la unidad funcional como se muestra en la **Tabla 36**.

Tabla 36. Obtención materia prima para unidad funcional del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

Unidad funcional		
11.21 Piezas de bloque prefabricado para construir 1 m ² de muro.		
Materia Prima		
Material	Cantidad (kg)	Entradas y salidas desde la tecnosfera
Sello (Arena gruesa)	115	Gravel, round {GLO} market for Alloc Def, U
Balastre (Tepetate)	30	Sand {GLO} market for Alloc Def, U
Cemento	10	Cement, Portland {RoW} market for Alloc Def, U
Agua	10	Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Alloc Def, U
Trasporte		
Tipo	Distancia (Ton-km)	Transporte
Volteo	8.0372	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U
Volteo		
Camión de plataforma		

6.2.2.2. Proceso de Producción del Bloque Prefabricado de Concreto

En la **Tabla 37** se muestra la cantidad de energía empleada para la producción de los bloques prefabricados para la unidad funcional.

Tabla 37. Producción del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

Unidad funcional				
11.21 piezas de bloque prefabricado para construir 1 m ² de muro.				
Energía				
Maquinaria	Potencia (kW)	Horas	Energía (kWh)	Electricidad
Revolvedora de piso	1.49	0.11	0.287	Electricity, high voltaje {MX} market for Alloc Def, U
Prensa con vibrador	1.12	0.11		

6.2.2.3. Proceso de Construcción del Bloque Prefabricado de Concreto

En esta etapa se tomó en cuenta materia prima para realizar el junteo o pegado de bloques, el repellido, el aplanado y por último la pintura para la construcción del muro. En la **Tabla 38** se muestra la cantidad de material a utilizar y la distancia de donde se consigue el material hasta el lugar de construcción.

Tabla 38. Construcción del muro del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

Unidad funcional
11.21 piezas de bloque prefabricado para construir 1 m ² de muro.



Materia Prima para la Construcción del muro		
Material	Cantidad (kg)	Entradas y salidas desde la tecnosfera
BPC	151.6	----
Cemento Mortero	16.6	Adhesive mortar {GLO} market for Alloc Def, U
Arena	15	Gravel, round {GLO} market for Alloc Def, U
Agua	5.5	Tap water {RoW} tap water production, conventional treatment Alloc Def, U
Pintura	1.3	Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {GLO} market for Alloc Def, S
Trasporte		
Tipo	Distancia (Ton-km)	Trasporte
Doble rodado Ford 350 (BPC)	1.0921	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U
Doble rodado Ford 350 (Mortero)		
Doble rodado Ford 350 (Arena)		
Doble rodado Ford 350 (Pintura)		

6.2.2.4. Proceso de Mantenimiento del muro del Bloque Prefabricado de Concreto

Para el mantenimiento de este muro se pensó en que se realice cada 10 años, lo que quiere decir que se llevó a cabo 5 veces en toda su vida útil. El material y las distancias se muestran en la **Tabla 39**.

Tabla 39. Mantenimiento del muro del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

Unidad funcional		
11.21 Piezas de bloque prefabricado para construir 1 m2 de muro.		
Materia Prima para el Mantenimiento del muro		
Material	Cantidad (kg)	Entradas y salidas desde la tecnosfera
Cemento Mortero	33.3	Adhesive mortar {GLO} market for Alloc Def, U
Agua	9.2	Water, deionised, from tap water, at user {GLO} market for Alloc Def, U
Pintura	6.5	Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {GLO} market for Alloc Def, S
Trasporte		
Tipo	Distancia (Ton-km)	Trasporte
Doble rodado Ford 350	0.0729	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U
Doble rodado Ford 350		

6.2.2.5. Fin de vida del muro

Esta etapa es la última que se tomó en cuenta para el análisis y es el fin de vida del muro, lo que abarca la demolición y el traslado del escombros del muro a su



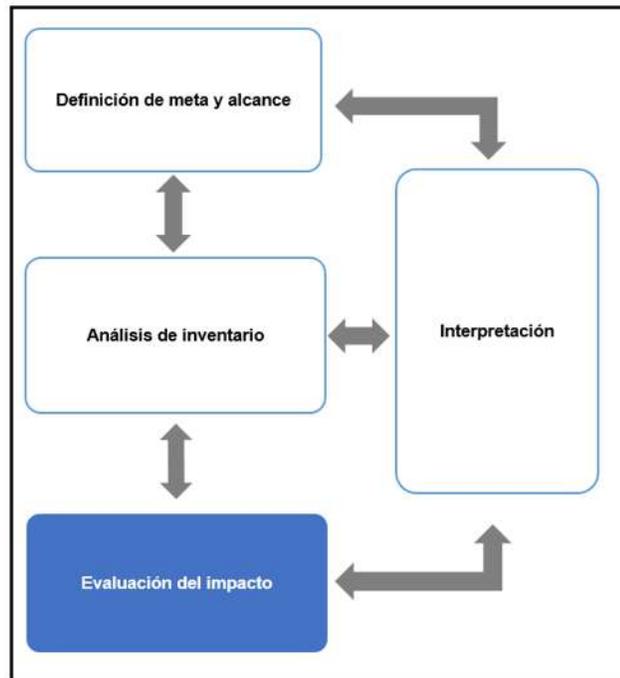
disposición final como se muestra en la **Tabla 40**, donde también se encuentra la cantidad de energía que ocupa el martillo rompedor para la demolición del muro de bloques prefabricados de concreto (BPC).

Tabla 40. Fin de ciclo de vida del muro de Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

Unidad funcional				
11.21 Piezas de bloque prefabricado para construir 1 m2 de muro.				
Energía				
Maquinaria	Potencia (kW)	Horas	Energía (kWh)	Electricidad
Martillo rompedor	1.51	1.19	1.8	Electricity, high voltaje {MX} market for Alloc Def, U
Residuo				
Material	Cantidad (kg)		Salidas a la tecnosfera	
Escombros	224		Waste brick {CH} treatment of, collection for final disposal Alloc Def, U	
Trasporte				
Tipo	Distancia (Ton-km)		Transporte	
Volteo	3.880		Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} transport, freight, lorry, all sizes, EURO3 to generic market for Alloc Def, U	

6.3. Fase de evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV) del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)

En esta fase del ciclo de vida se evaluaron los potenciales impactos ambientales derivados de cada uno de los procesos unitarios de la fabricación de 1m² de muro de BTC ecológico, así como del BPC.



La evaluación se realizó de acuerdo a los elementos obligatorios del ACV conforme a las normas ISO 14040 e ISO 14044.

Los resultados obtenidos del análisis del ICV se asocian a las categorías de impacto ambiental de punto medio, como se mencionó anteriormente en la **Tabla 28**.

6.3.1. Evaluación de la cuna a la puerta

La primera evaluación que se presenta es de la cuna a la puerta, la **Figura 36** y **Figura 37** muestra que sólo se tomaron en cuenta los procesos de Obtención de materiales y Producción de cada tipo de bloque (BTC y BPC). En lo que respecta al BTC (**Figura 36**) se observa que la mayor parte de las cargas son evitadas, esto debido a que los materiales utilizados son derivados de un proceso. La categoría con la mayor carga evitada fue Ocupación de suelo agrícola. Por otra parte, el BPC

(Figura 37) muestra cargas hacia el ambiente en su elaboración, siendo la mayor en la categoría de Ecotoxicidad marina.

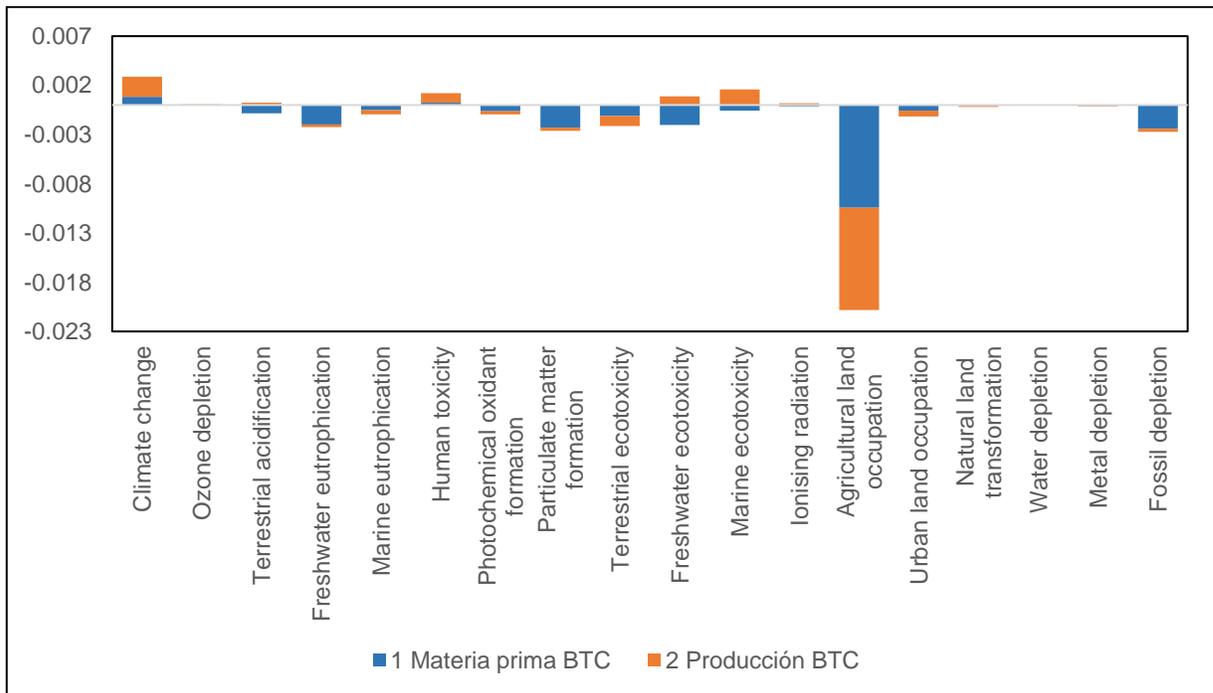


Figura 36. Normalización comparación Materia Prima y Producción Bloque de Tierra Comprimida

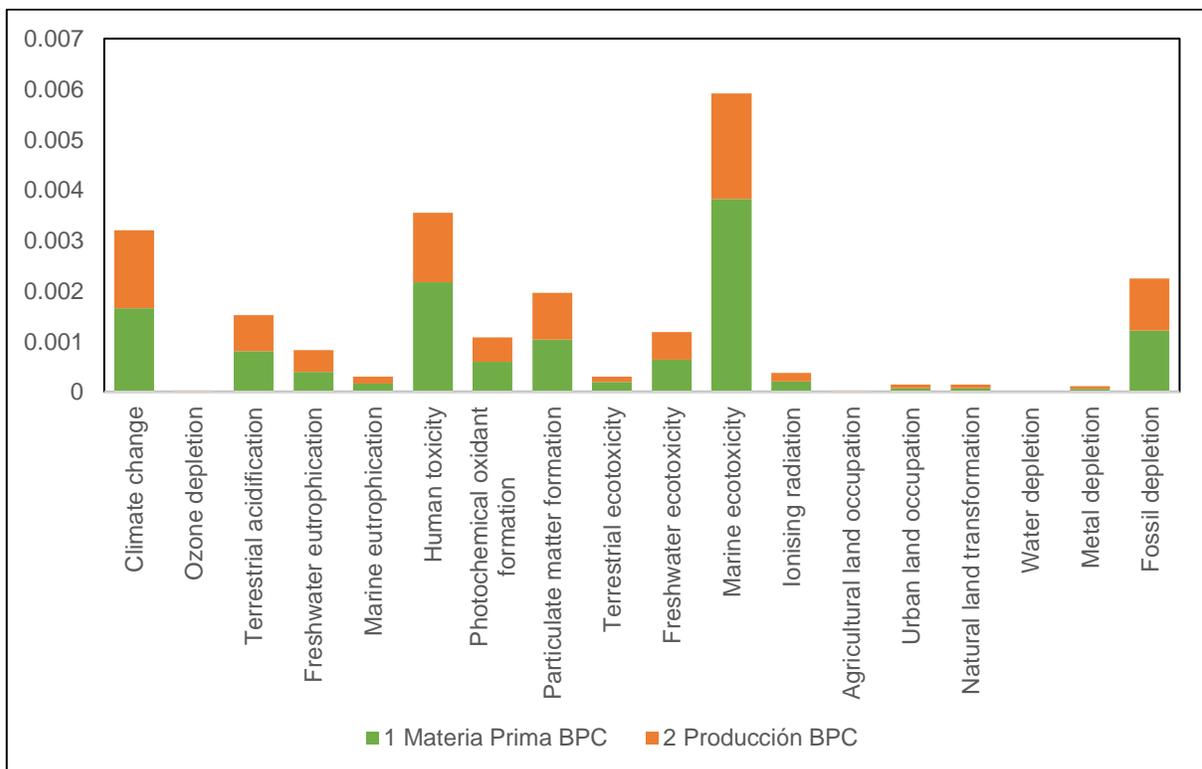


Figura 37. Normalización Comparación Materia Prima y Producción Bloque Prefabricado de Concreto

En la **Tabla 41** se encuentran los porcentajes de emisión por categoría de impacto para cada tipo de bloque (BTC y BPC) en los procesos de Materia prima y Producción. Se señalan los porcentajes mayores en cargas evitadas del BTC, las cuales son hacia las categorías de Ocupación de tierras agrícolas y Transformación natural del suelo, las cargas generadas en estas categorías son debido al uso de la cal, el transporte y la energía eléctrica. El principal impacto negativo al ambiente correspondió a la categoría de Cambio climático.

Para el BPC únicamente se identificaron cargas generadas, los porcentajes con mayores de cargas generadas correspondieron a la categoría de Ecotoxicidad marina, Toxicidad humana y Cambio climático. Sin embargo, hay que mencionar que estos porcentajes de cargas no se consideraron significativas, es decir, son menores al 70% de contribución.

Tabla 41. Porcentajes de los impactos en los procesos de Materia Prima y Producción de cada Bloque

CATEGORÍAS	BTC		BPC	
	%			
	Materia Prima	Producción	Materia Prima	Producción
Cambio climático	3.4	10.4	13	16
Agotamiento del ozono	-0.05	0.02	0	0
Acidificación terrestre	-3	1.14	6	7
Eutrofización de agua dulce	-8	-1.3	3	4
Eutrofización marina	-2	-2.1	1	1
Toxicidad humana	1	5	17	14
Formación de oxidantes fotoquímicos.	-2.5	-1.6	5	5
Formación de partículas	-9	-1.7	8	9
Ecotoxicidad terrestre	-4	-5	1	1
Ecotoxicidad del agua dulce	-8	4.6	5	6
Ecotoxicidad marina	-2	8	29	21
Radiación ionizante	-0.6	1	2	2
Ocupación de tierras	-42	-52	0	0

agrícolas				
Ocupación de suelo urbano	-2	-2.9	1	1
Transformación natural del suelo	-0.44	-0.53	1	1
Agotamiento del agua	---	---	0	0
Agotamiento del metal	-0.4	-0.34	0	1
Agotamiento de fósiles	-9.6	-1.77	9	10

En la **Tabla 42** se encuentran los materiales de los procesos de obtención de materia prima y de producción de los bloques, de acuerdo a cada tipo de material utilizado en la producción de los bloques. Estos procesos son los que presentan cargas evitadas al ambiente.

Se observa que el material que tiene la mayor contribución en las cargas evitadas es el papel, con un 50% en la obtención de materia prima y un 40 % en la producción. En tanto el bagazo como la vinaza, si bien tienen cargas evitadas, no son significativas.

Tabla 42. Comparación de cargas al ambiente del BTC y BPC por producto y proceso.

Material de los Bloques			
BTC		BPC	
%			
Obtención Materia Prima			
Bagazo	-2.87	Sello	22
Vinaza	-0.12	Balastre	6
Suelo	-0.46	Cemento	44
Papel	-50.68	Transporte	28
Resina	-16.37	---	---
Cal	25.33	---	---
Transporte	4.19	---	---
Producción			
Bagazo	-2.27	Sello	30
Vinaza	-0.09	Balastre	8
Suelo	-0.36	Cemento	59
Papel	-40	Agua	0.07
Resina	-13	Electricidad	3
Cal	20	---	---

Electricidad	24	---	---
--------------	----	-----	-----

6.3.2. Evaluación de la cuna a la tumba

A continuación, se muestra la evaluación de impactos desde la obtención de la materia prima hasta el final de vida del material.

6.3.2.1. Comparativa global de ciclo de vida del BTC y BPC

La **Tabla 43** muestra los procesos del ciclo de vida de cada bloque (BTC y BPC) y se puede observar el porcentaje de los impactos al medio ambiente y de las cargas evitadas de cada uno. Por último, se sacó el porcentaje promedio de contribución de cada proceso, siendo los de mayor impacto el Mantenimiento del muro, en ambos bloques. El BTC es el material que presenta cargas evitadas en los procesos de Obtención de materia prima y en la Producción del bloque.

Tabla 43. Interpretación de impactos al ambiente de cada etapa.

Categorías	Fases									
	Obtención Materia Prima		Producción del Bloque		Construcción del muro		Mantenimiento del muro		Fin de vida del bloque	
	BTC	BPC	BTC	BPC	BTC	BPC	BTC	BPC	BTC	BPC
Cambio climático	3%	13%	10%	16%	5%	5%	3%	3%	5%	5%
Agotamiento del ozono	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acidificación terrestre	-3%	6%	1%	7%	4%	4%	4%	4%	5%	5%
Eutrofización de agua dulce	-8%	3%	-1%	4%	4%	4%	-	5%	2%	3%
Eutrofización marina	-2%	1%	-2%	1%	1%	1%	2%	2%	1%	1%
Toxicidad humana	1%	17%	5%	14%	7%	7%	5%	6%	12%	12%
Formación de oxidantes fotoquímicos.	-2%	5%	-2%	5%	1%	2%	2%	2%	4%	4%
Formación de partículas	-9%	8%	-2%	9%	4%	5%	4%	4%	23%	23%
Ecotoxicidad terrestre	-4%	1%	-5%	1%	-	1%	1%	1%	1%	1%
Ecotoxicidad del agua dulce	-8%	5%	5%	6%	22%	22%	24%	23%	7%	7%
Ecotoxicidad marina	-2%	29%	8%	21%	40%	40%	42%	41%	28%	28%
Radiación ionizante	-1%	2%	1%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	2%
Ocupación de tierras agrícolas	-42%	-	-52%	-	-	1%	1%	1%	-	-
Ocupación de suelo urbano	-2%	1%	-3%	1%	-5%	-	-	-	-	-
Transformación natural del suelo	-	1%	-1%	1%	-	-	1%	1%	-	-
Agotamiento del agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Agotamiento del metal	-	-	-	1%	1%	1%	1%	2%	-	-
Agotamiento de fósiles	-10%	9%	-2%	10%	6%	6%	5%	5%	9%	9%
Promedio Comparación Procesos	-5%	3%	-2%	2%	37%	24%	67%	69%	2%	2%

De acuerdo al análisis comparativo realizado de las diferentes etapas del ciclo de vida del BTC con bagazo de agave, en la **Figura 38** se pueden observar que los procesos que tienen las principales emisiones al ambiente son la etapa de construcción del muro y la de mantenimiento en las categorías de ecotoxicidad marina y de agua dulce. Lo mismo pasa con el BPC, como se puede ver en la **Figura 39**.

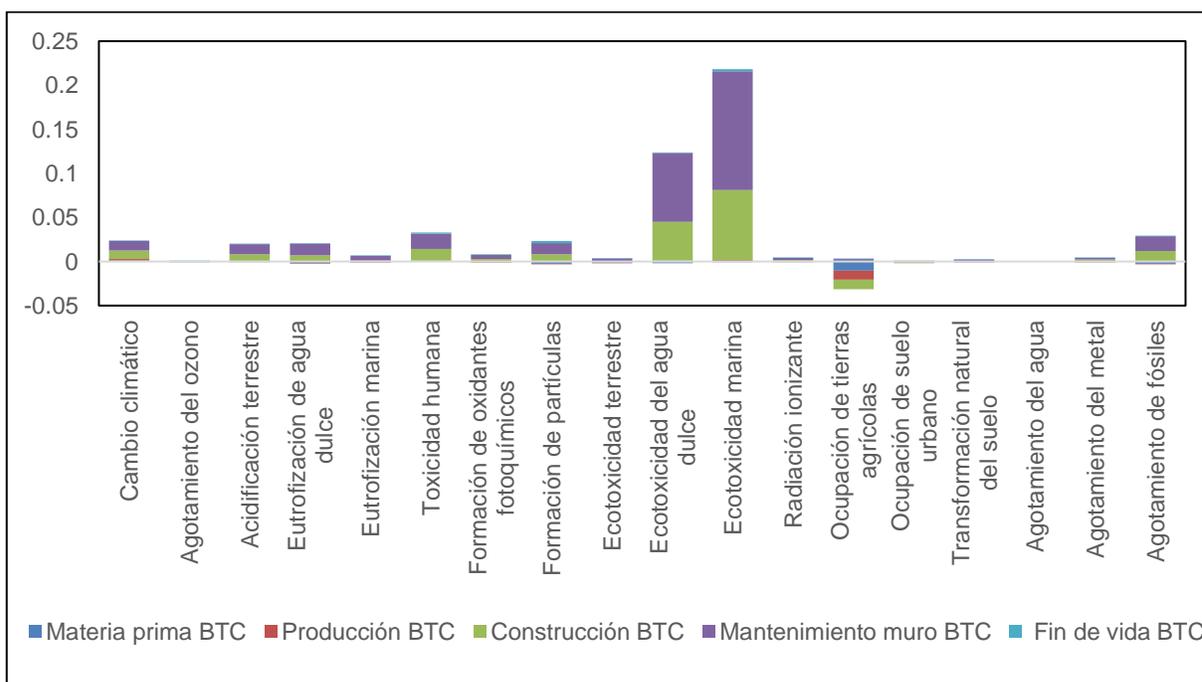


Figura 38. Grafica normalizada del ciclo de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).

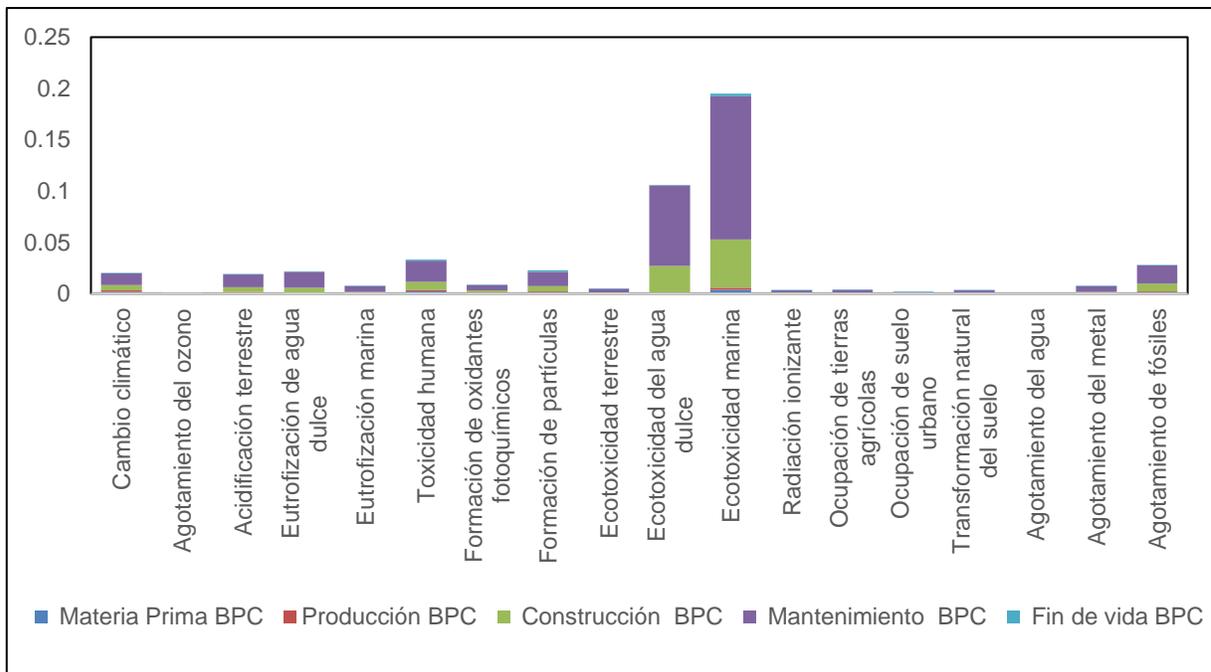


Figura 39. Grafica normalizada del ciclo de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

6.3.2.2. Análisis Comparativo de la Obtención Materia Prima

En la

Figura 40 se pueden apreciar los resultados de normalización de la comparación entre los dos tipos de bloques (BTC y BPC) en lo que se refiere a la obtención de materia prima. Se puede observar que, en esta etapa, el BTC tiene cargas evitadas al medio ambiente, sobresaliendo en la categoría de Ocupación de tierras agrícolas, así como en Formación de partículas, Ecotoxicidad y Eutrofización de agua dulce. Por el contrario, tiene un impacto sobre el ambiente en la categoría de Cambio climático, pero se puede ver que es un impacto menor que el que genera el Bloque prefabricado de concreto (BPC).

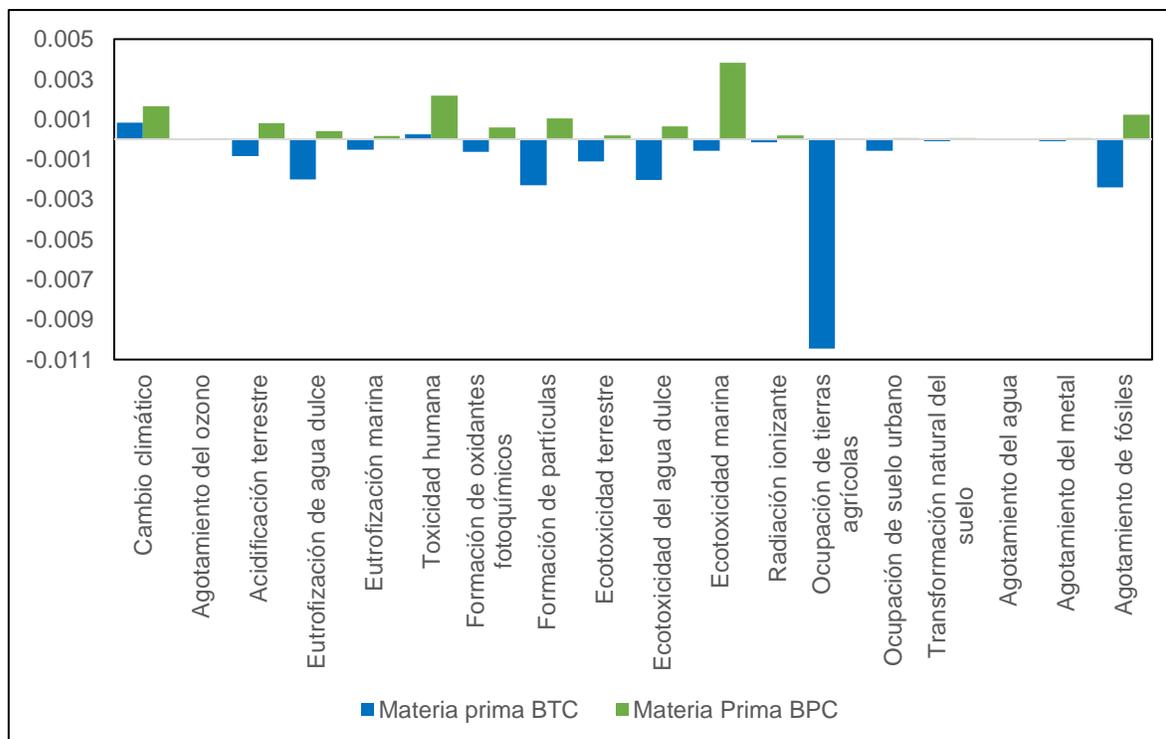


Figura 40. Normalización de la comparación de las etapas de obtención de materia prima del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

La

Figura 41 muestra que los impactos que se genera el BTC son debido al uso de la cal y el transporte de los materiales.

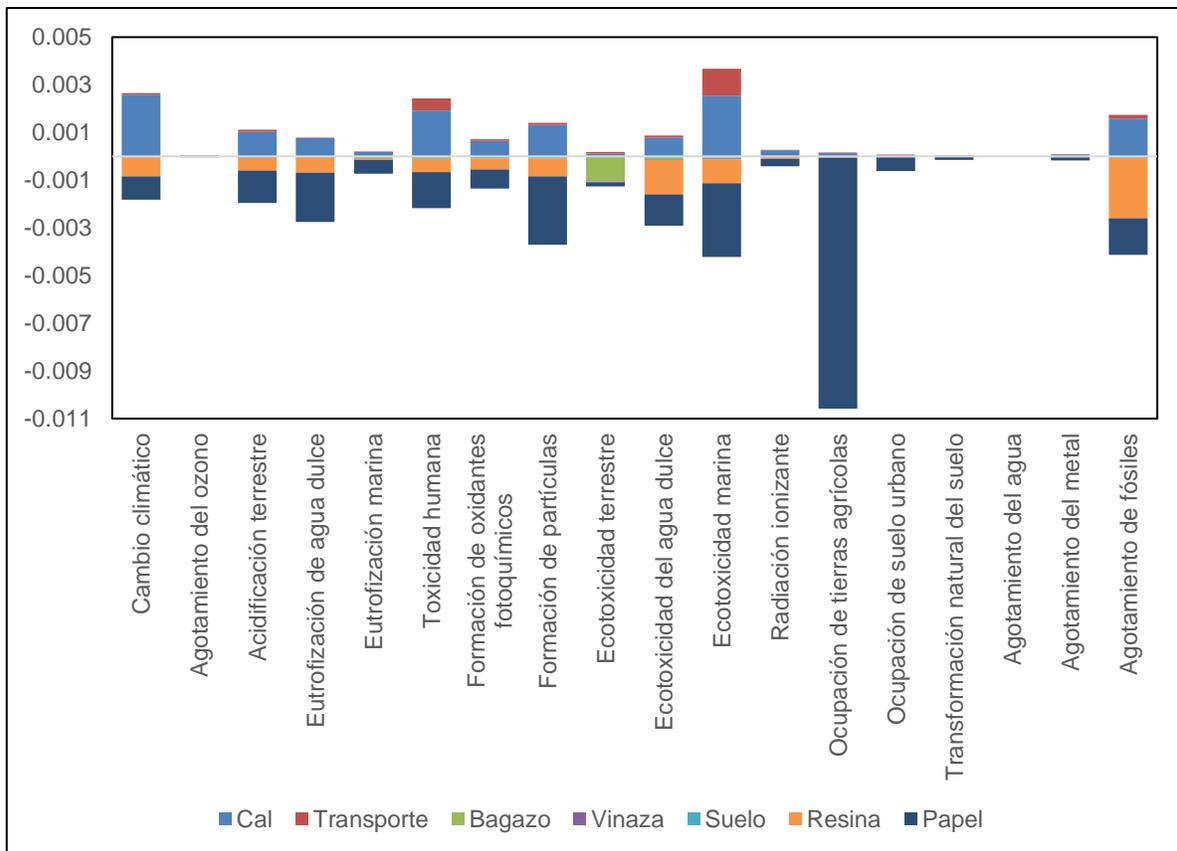


Figura 41. Normalización Análisis Materia Prima del Bloque de Tierra Comprimida (BTC)

El análisis a la materia prima del BPC, **Figura 42** muestra que las cargas que se emiten al medio ambiente son debidas principalmente por el trasporte y el cemento.

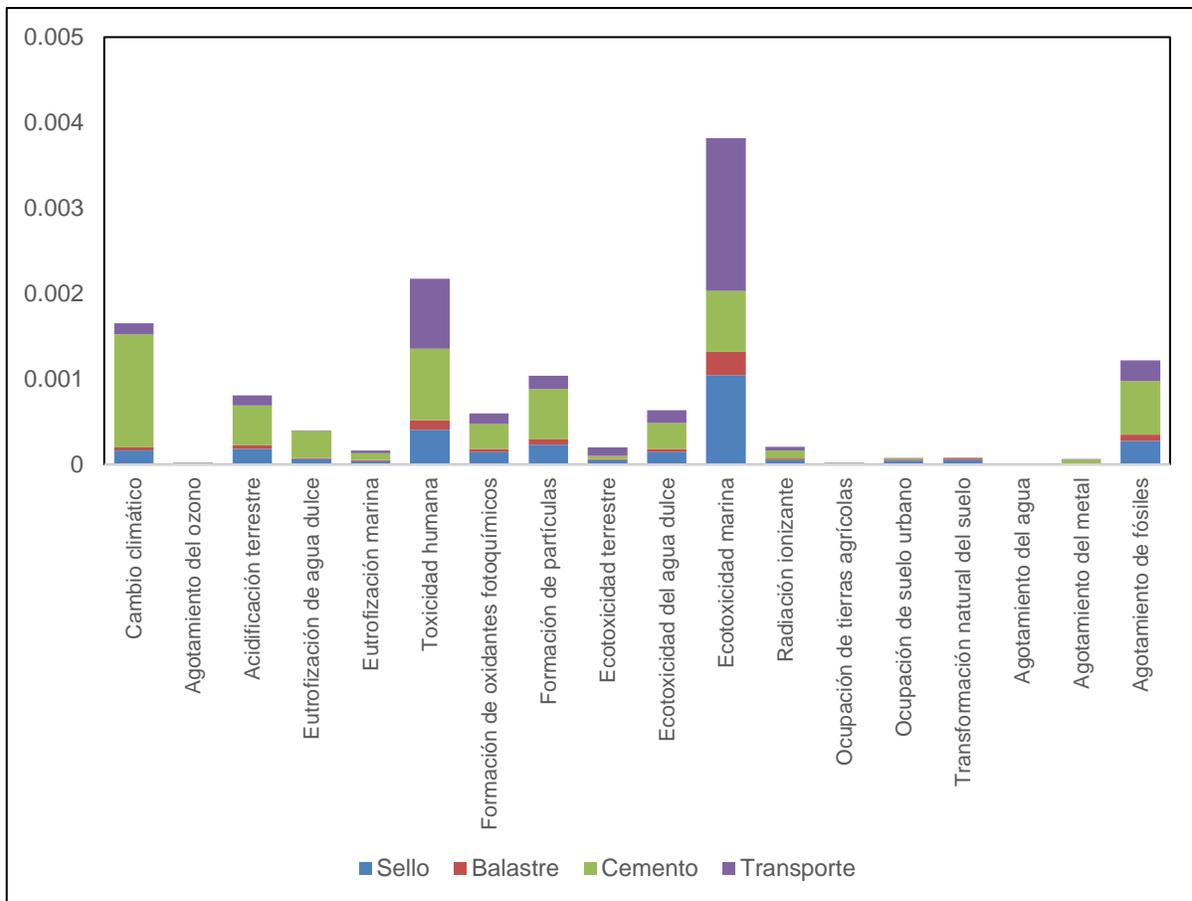


Figura 42. Normalización Análisis Materia Prima del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

6.3.2.3. Análisis comparativo del proceso de Producción

La **Figura 43** muestra los resultados de normalización de comparación de la etapa de producción de ambos bloques (BTC y BPC), se observan las cargas evitadas del BTC, sobre todo en lo referente al Uso de suelo agrícola y que este tiene un impacto sobre el ambiente en la categoría de cambio climático, toxicidad humana, ecotoxicidad marina y de agua dulce, así como en acidificación terrestre y radiación ionizante, esto debido al uso de la energía eléctrica como se puede ver en la **Figura 44**. Por otro lado, en la **Figura 45**, el material que tiene un mayor impacto es el Cemento que se utiliza para el BPC.

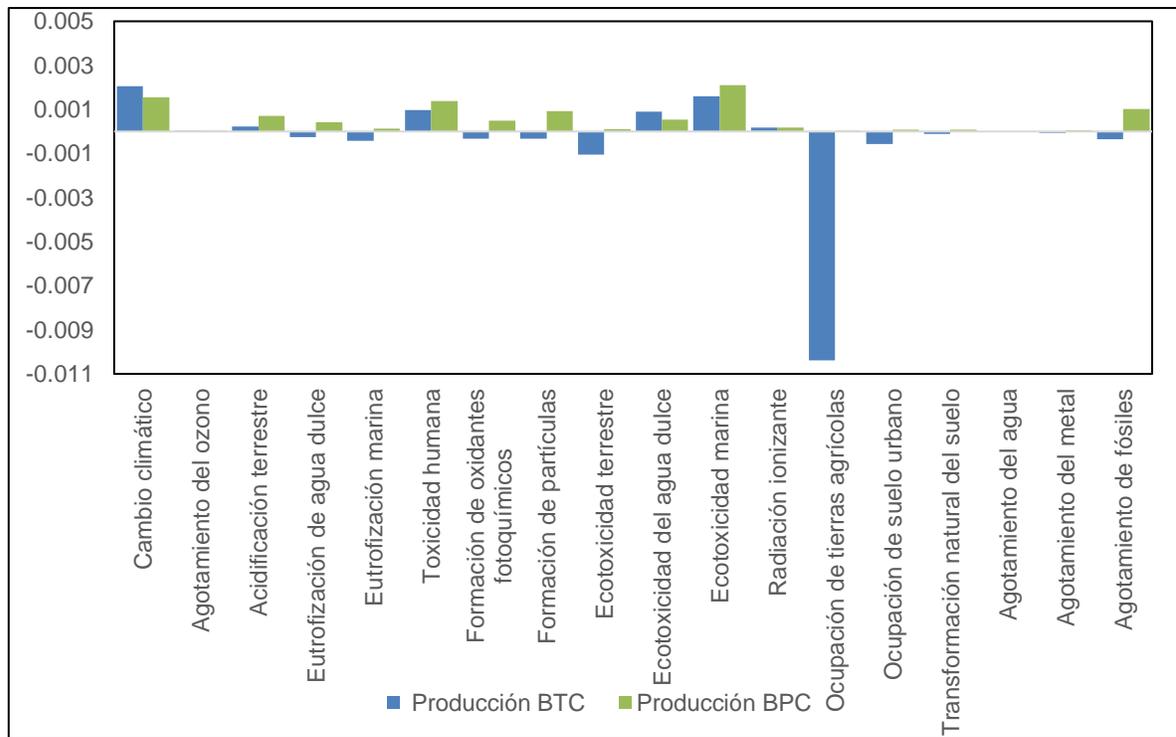


Figura 43. Normalización comparación etapa de producción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

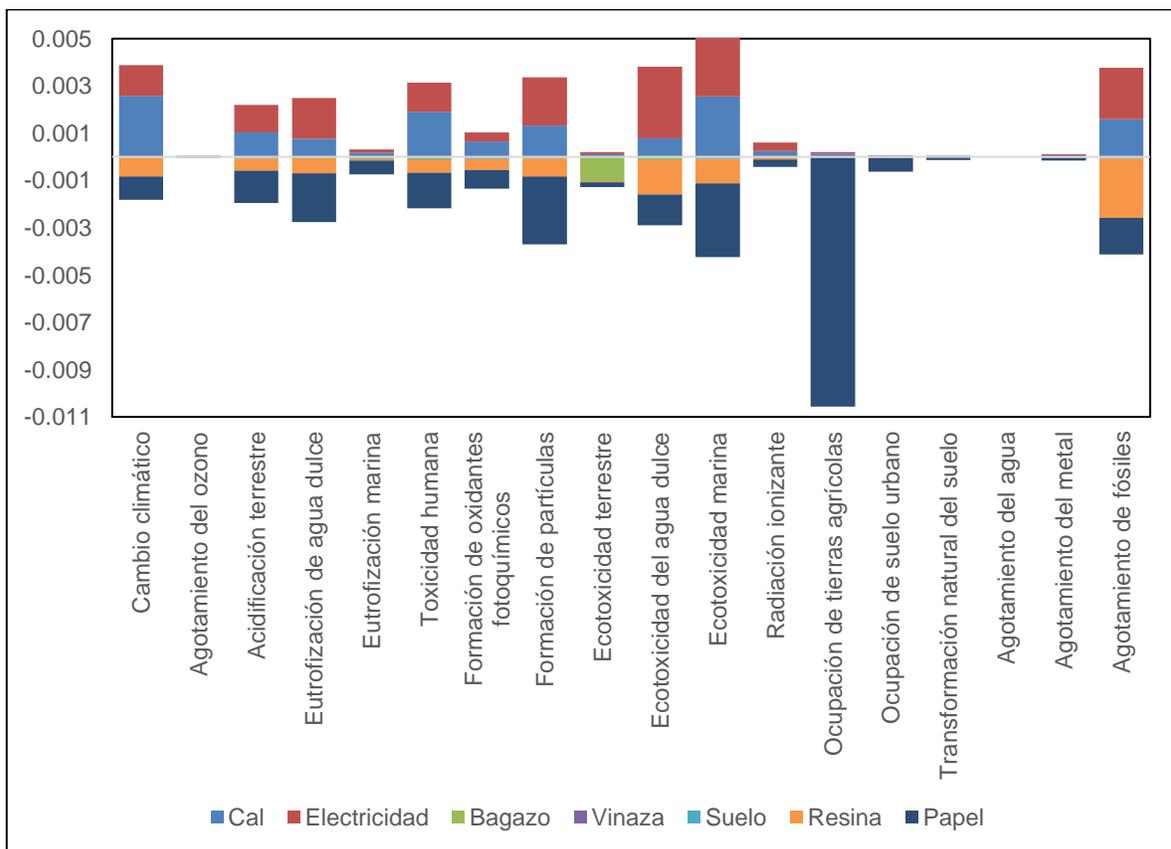


Figura 44. Normalización del análisis de la etapa de producción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC)

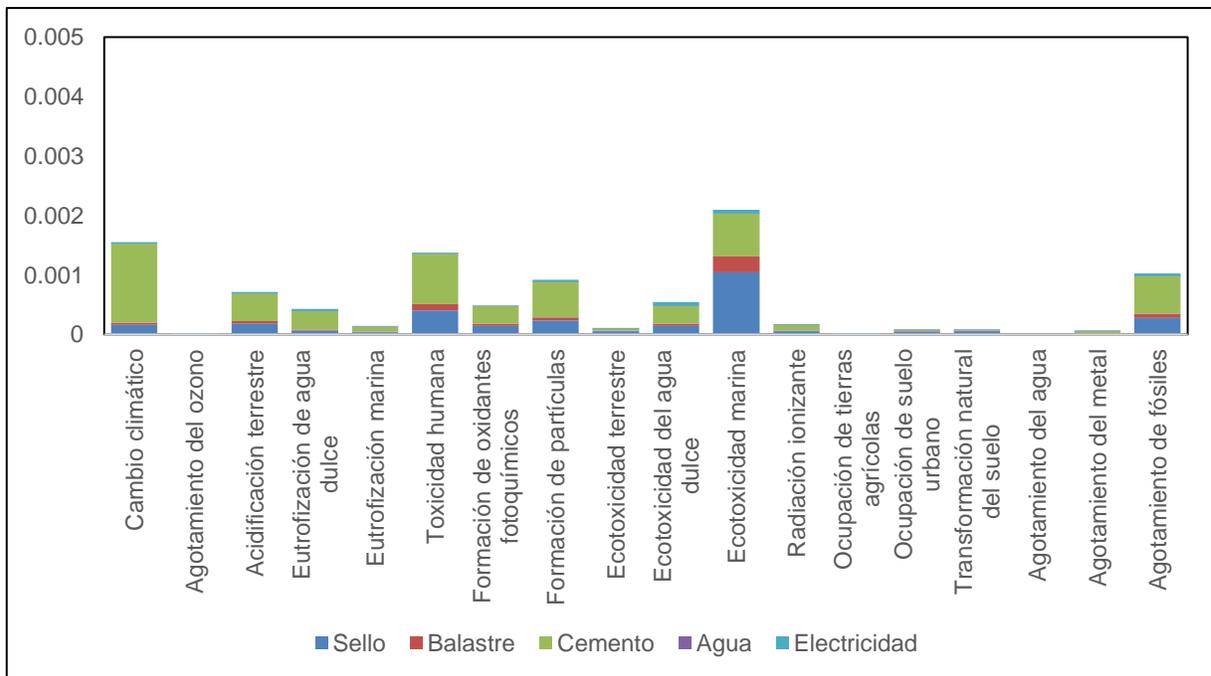


Figura 45. Normalización análisis etapa producción del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)

6.3.2.4. Análisis comparativo del proceso de Construcción

La normalización de comparación en el proceso de construcción se muestra en la **Figura 46**, donde se observa que ambos métodos constructivos generan emisiones al medio ambiente en lo referente a ecotoxicidad marina y de agua dulce, el BTC en comparación con los BPC tiene un mayor impacto ya que se necesita más material (mortero) para pegar los BTC debido a que el BPC es hueco. En el caso del BTC se observa una carga evitada en el Uso de suelo agrícola.

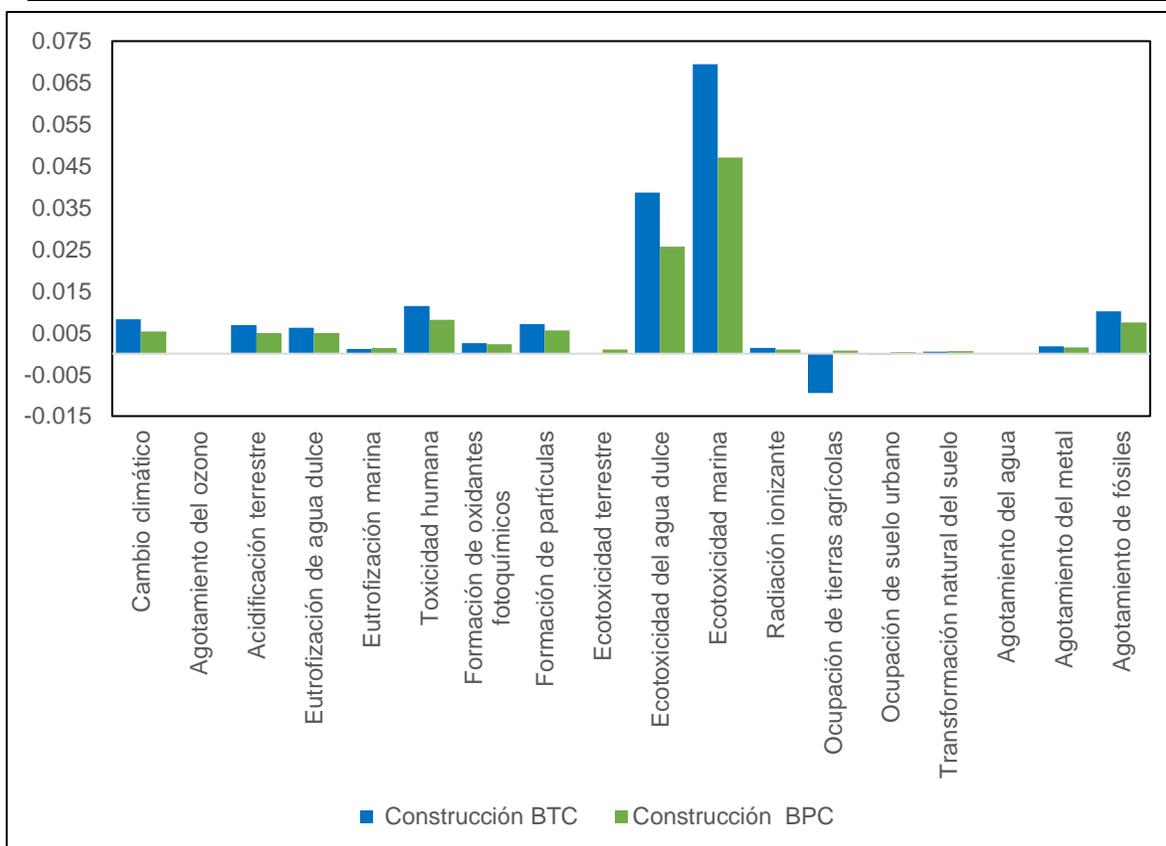


Figura 46. Normalización comparación etapa de construcción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

Como se puede ver en la **Figura 47** y **Figura 48**, el mortero es el material que provoca la mayor cantidad de emisiones al ambiente, seguido de la pintura.

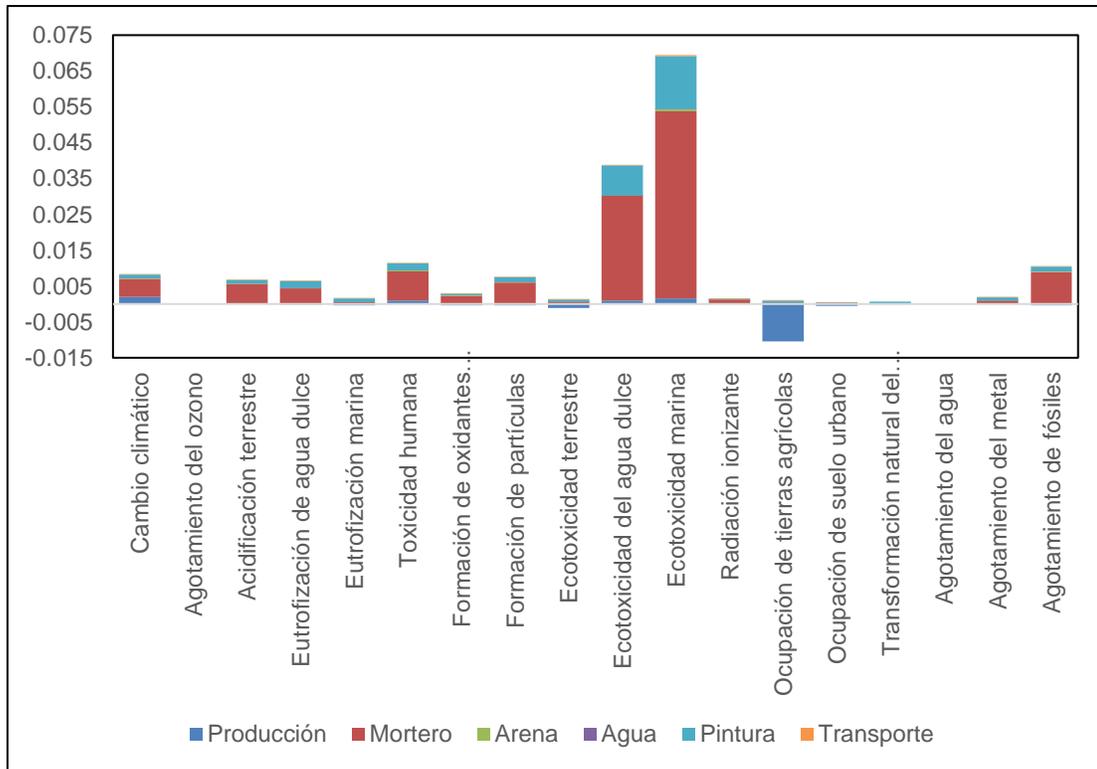


Figura 47. Normalización análisis etapa de construcción del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).

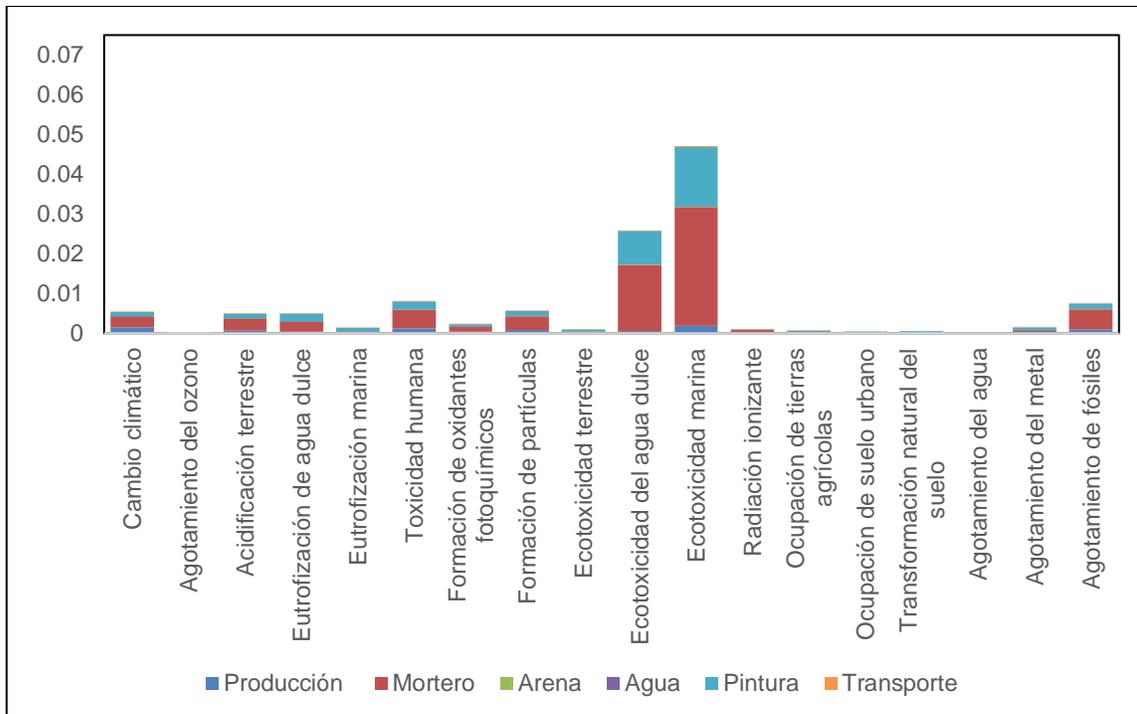


Figura 48. Normalización análisis etapa de construcción del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

6.3.2.5. Análisis comparativo del proceso de Mantenimiento

En este proceso, al igual que en el proceso de construcción, ambos bloques (BTC y BPC) tiene emisiones al medio ambiente, la **Figura 49** muestra que principalmente en las categorías de ecotoxicidad marina y de agua dulce, esto debido al mortero y a la pintura utilizados como se puede apreciar en la **Figura 50** y **Figura 51**.

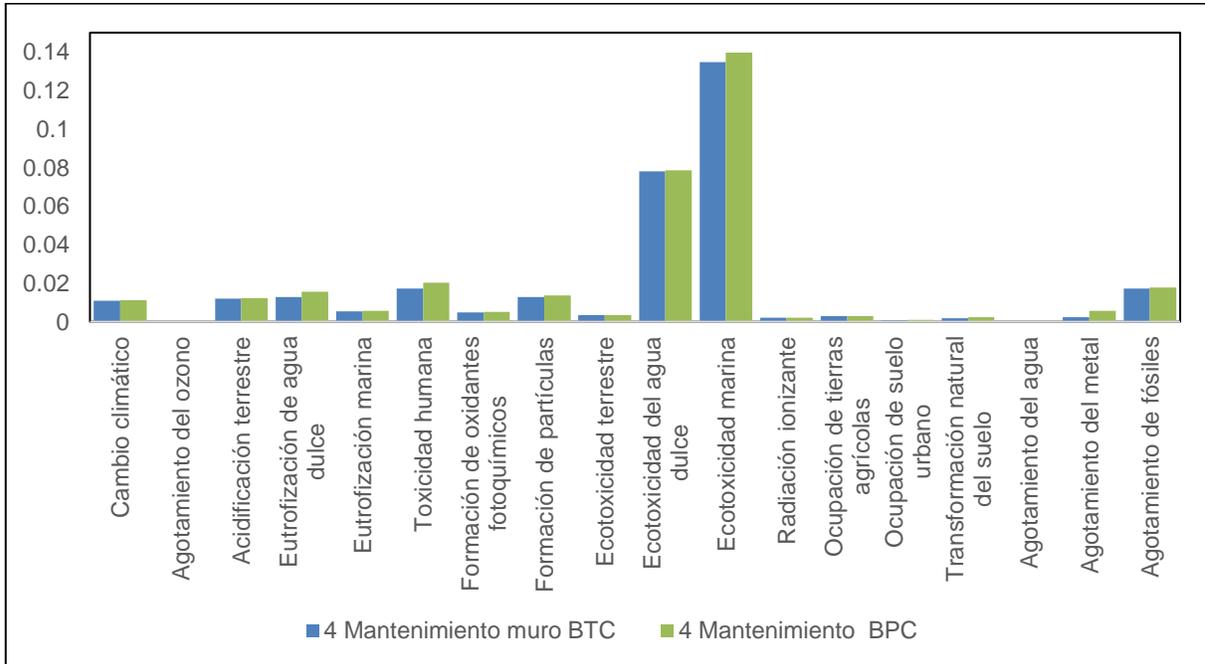


Figura 49. Normalización comparación etapa de mantenimiento del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

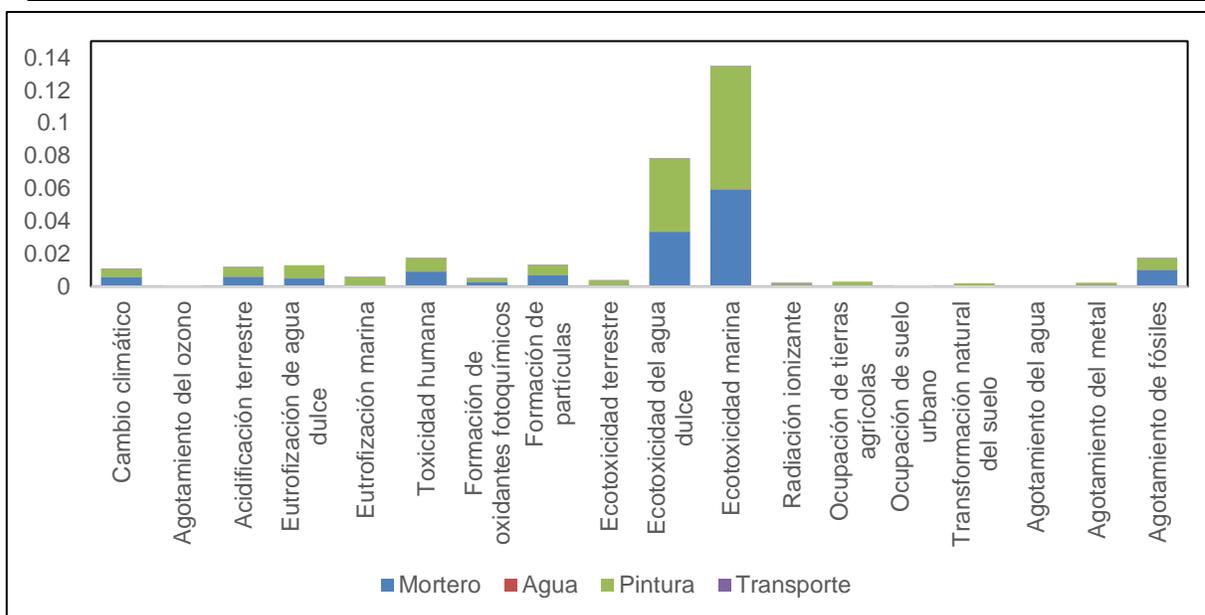


Figura 50. Normalización análisis etapa de mantenimiento del Bloque de Tierra Comprimida (BTC).

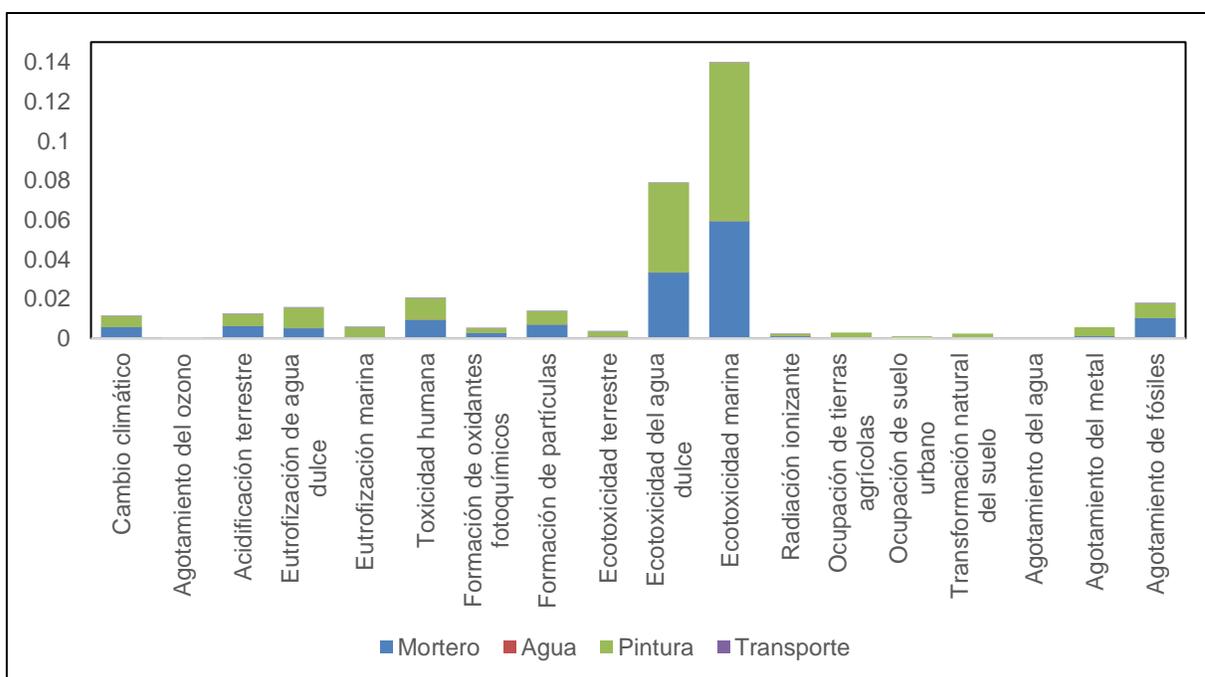


Figura 51. Normalización análisis etapa de mantenimiento del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

6.3.2.6. Análisis comparativo del Fin de vida

La etapa de Fin de vida del muro, comprende la demolición y el traslado al relleno sanitario. En la **Figura 52** se muestra que esta etapa genera emisiones al ambiente, principalmente en las categorías de ecotoxicidad marina y formación de partículas. La principal afectación es debido al escombro del bloque, como se puede

observar en la **Figura 53** y en la **Figura 54**, por otro lado, también están las emisiones generadas por la transportación del escombro hacia el relleno sanitario. La diferencia que se observa entre el BTC y el BPC es debido a la diferencia del peso del escombro y la distancia a la que se encuentran los rellenos sanitarios en cada ciudad.

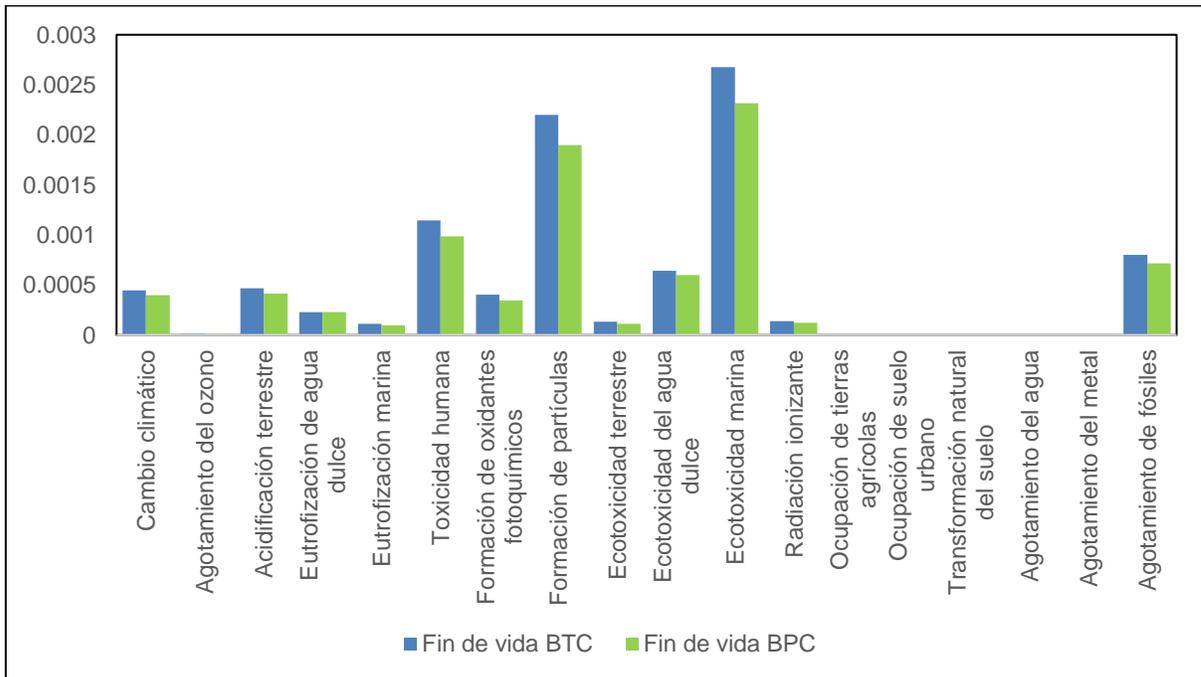


Figura 52. Normalización comparación etapa Fin de vida del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

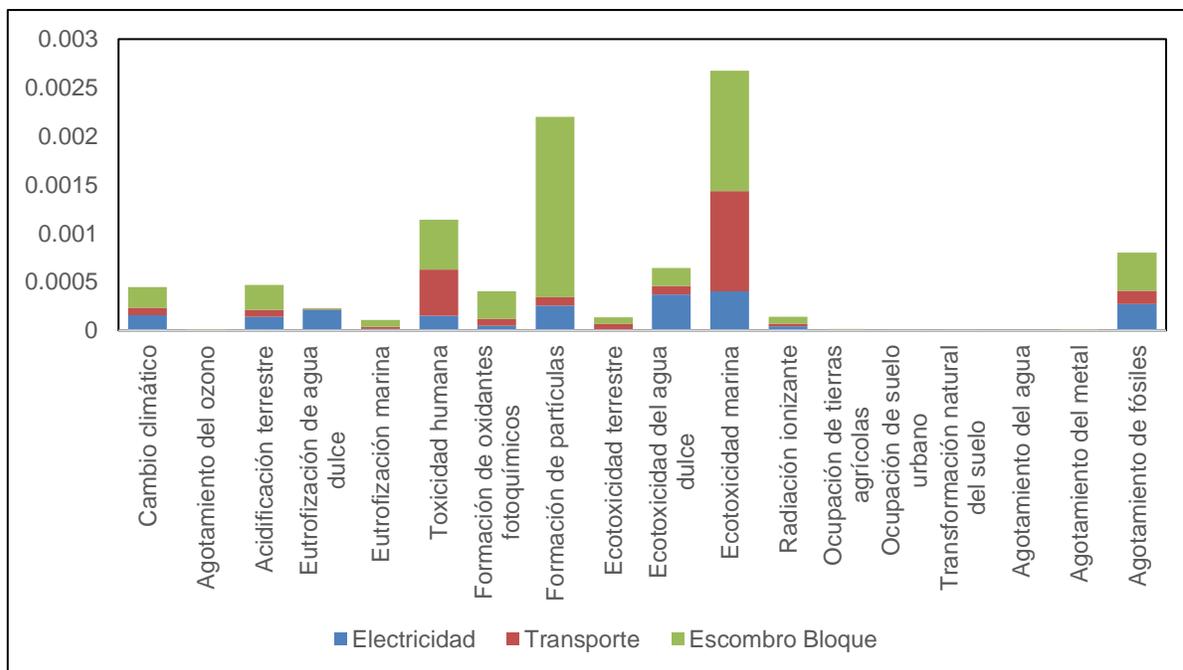


Figura 53. Normalización análisis etapa Fin de vida del Bloque de Tierra Comprimada (BTC)

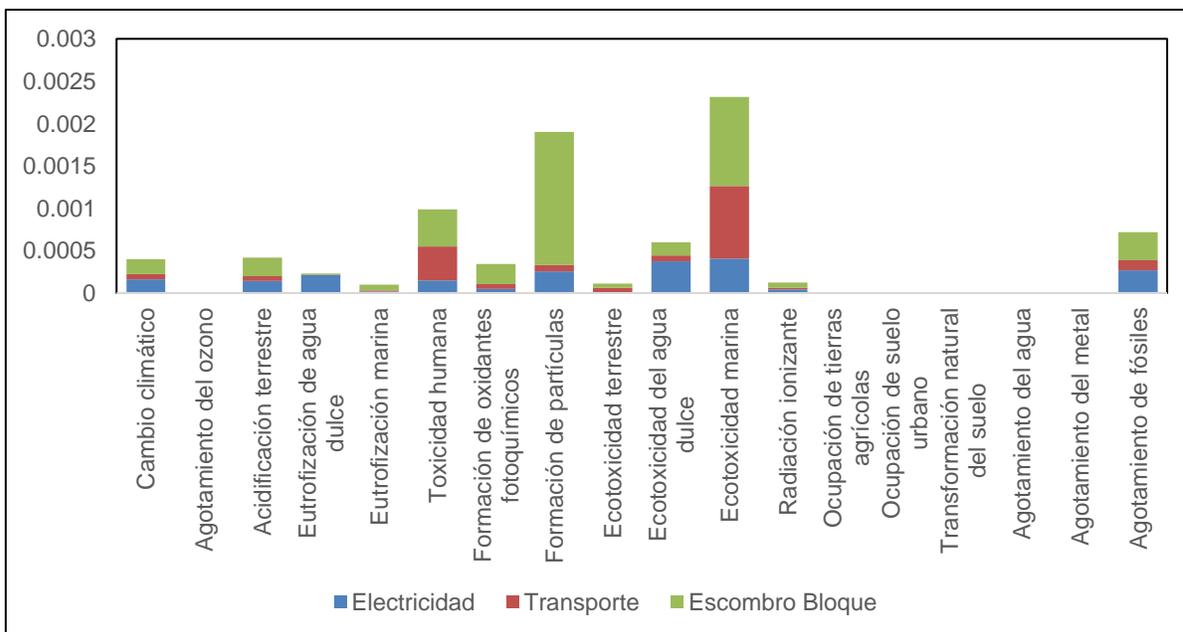
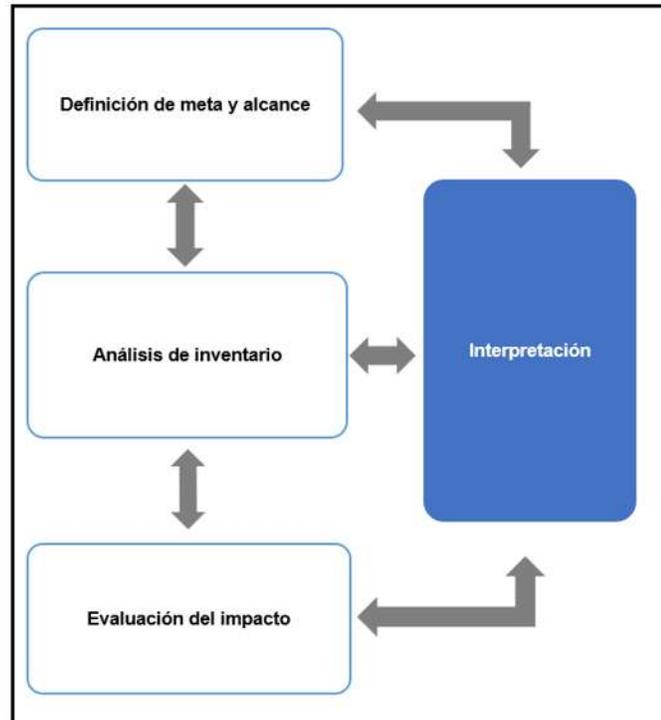


Figura 54. Normalización análisis etapa Fin de vida del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC).

6.4. Fase de interpretación de resultados del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) y del Bloque Prefabricado de Concreto (BPC)

En esta fase se muestra la interpretación de los resultados de la comparación de los dos tipos de bloques.



En la **Tabla 44** se muestra una comparativa con otros bloques usados en la construcción, en lo referente a la huella de carbono que generan. Para esto se investigaron trabajos que reportaran datos similares a los propuestos en este trabajo como, por ejemplo, la unidad funcional y los límites del sistema, ya que estos datos varían dependiendo de cada autor. Los resultados mostrados son para la unidad funcional de una pieza y solo se toma en cuenta los procesos de obtención de materia prima y el de producción de la pieza. Se observa que el BTC con bagazo está dentro de los 5 valores con menor huella de carbono.

Tabla 44. Comparación de huella de carbono de otros tipos de bloques.

ACV de la cuna a la puerta para 1 pieza			
Autores	Tipos de bloques		Cambio climático (kg CO2 eq)
Este trabajo	BTC	Bagazo	0.47
	BPC	Concreto tradicional (referencia)	1.97
(Cabrera, Aranda Jiménez, Suárez Domínguez, & Rotondaro, 2020)	BTC Concreto	5%	0.23
		10%	0.42
		20%	0.787
(Saez & Garzon, 2020)	Bloque	Polipropileno	0.20
(Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2019)	Ladrillo	Artesanal	0.386
		Mecanizado	0.525
	Bloque	Concreto	1.063
(Madrid Guerrero , 2018)	Bloque prefabricado	MREF	1.61
		MSD	1.58
		MSLM	1.47
(Chargoy Amador, Rosas Millán, & Téllez Muradás, 2009)	Block	Macizo	0.73
		Hueco	0.69
	Ladrillo	Macizo	1.66
		Hueco	1.19

De la comparación anterior, el bloque con menor huella ambiental es el bloque de polipropileno, su baja huella de carbono puede deberse a que es un bloque hueco y a su forma piramidal, lo cual ayuda a que sea menos material el usado para su fabricación. Por otro lado, el bloque con la mayor huella de carbono generada es el BPC el cual es el usado de referencia para este trabajo, esto se debe principalmente al cemento utilizado para su fabricación y a las distancias recorridas para la obtención de las materias primas, así como a las dimensiones del bloque.



CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pruebas Suelo:

- El suelo utilizado para los BTC es un suelo fino, una arcilla de baja plasticidad (CL), con características adecuadas para la fabricación de bloques, ya que facilita el prensado y secado de estos.
- Fue posible la elaboración de los bloques de tierra comprimida con bagazo de agave.

Pruebas laboratorio BTC:

- De la prueba de compresión simple se obtuvo un resultado promedio de 27 kgf/cm² estando por debajo del límite normativo, inclusive para su utilización en muros divisorios.
- Para la absorción de agua, los resultados están por encima del valor normado, la absorción inicial se obtuvo de 6.7 g/(cm² * min^{0.5}) cuando el límite no debe sobre pasar los 5 g/(cm² * min^{0.5}), el valor de la absorción total debe de ser máximo del 19% y el valor obtenido en la prueba fue del 23%. Esto puede deberse al material residual o a una inadecuada compactación.
- En el caso de la resistividad eléctrica para el BTC con bagazo de agave, nos dio una resistividad de 64.4 kΩ-cm lo que se considera una resistencia baja de acuerdo con la norma NMX-C-514-ONNCCE-2004, aclarando que esta norma es para evaluación de concreto, ya que no se tiene para BTCs.
- En la prueba de erosión acelerada las 4 muestras resistieron la prueba como la marca la norma, sólo fallaron al momento de someter estos especímenes a diferentes tiempos de saturación; solo uno de los especímenes fue el que resistió más tiempo hasta presentar la profundidad de falla marcada por la norma, lo cual puede deberse a una inadecuada compresión del bloque al momento de fabricarse.



- Respecto a la absorción capilar, se puede observar que las muestras de BTC tienen una rápida absorción por el tipo de material.
- Los BTC a los 6 meses de estar a la intemperie mostraron una pérdida mínima de material, el bloque con mayor pérdida fue el 9B con un 0.8% de reducción de peso y el que menor material perdió fue el 10A con un 0.2% de peso.
- Agregando estos residuos a los BTC es posible fabricar un bloque con propiedades adecuadas para ser usado en la construcción de muros, con la mezcla adecuada.

Análisis de ciclo de vida:

- El BTC tiene cargas evitadas principalmente en la categoría de ocupación de tierras agrícolas.
- En comparación con el BPC, el BTC tiene un menor impacto en las fases de obtención de materia prima y en la producción del bloque, esto por el material utilizado para su fabricación.
- Por otro lado, las fases que más afectan es la construcción y mantenimiento del muro, debido principalmente al mortero utilizado.
- El BTC se encuentra dentro de los 5 valores con una huella de carbono menor, en comparación a otros tipos de bloques y ladrillos reportados en diferentes trabajos.
- El uso del papel es el que más influye en las cargas evitadas.

Se recomienda seguir probando diferentes porcentajes de bagazo en las mezclas para llegar a la resistencia normada para los BTC.

También es importante cuidar la calidad del BTC al momento de fabricarlo, que la arcilla no lleve cuerpos extraños como piedras, hojas o ramas.

Por otro lado, hacer una investigación sobre cómo ayudar a proteger el BTC del agua para al momento de usarlo en la construcción no tener que usar un recubrimiento para protegerlo y así en el ciclo de vida del material disminuir las cargas generadas al ambiente en las fases de construcción y mantenimiento.



CAPÍTULO 8

VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para el presente trabajo fue:

La inclusión del bagazo de agave en los BTC mejorará sus propiedades físicas y reducirá el impacto en el medio ambiente.

La hipótesis es válida en lo que se refiere al impacto al medio ambiente ya que a comparación de los bloques de concreto y ladrillos tradicionales su impacto ambiental es menor por los materiales utilizados para su fabricación y porque no necesita pasar por un proceso de horneado.

Respecto a la mejora de propiedades físicas de los BTC, si bien no se cumplió con los valores normados es posible mejorar el bloque, ya que se estuvo cerca de alcanzarlos y con otro porcentaje en la combinación de la mezcla puede superarlos.



Capítulo 9

CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Objetivos		Cumple	
		Si	No
General	Determinar el efecto que causa la inclusión del bagazo de agave en el BTC tanto en las propiedades del producto como en el impacto ambiental.	•	
Específicos	Evaluar el impacto ambiental de los BTC hechos con bagazo de agave.	•	
	Caracterizar el tipo de suelo.	•	
	Realizar las pruebas físicas-mecánicas necesarias a los BTC.	•	
	Demostrar su uso como material de construcción.	•	



REFERENCIAS

- AGARED. (2017). *Panorama de los Agaves*. Obtenido de Red Temática Mexicana Aprovechamiento Integral Sustentable y Biotecnología de los Agaves: <https://www.agared.org/libro-panorama-de-los-agaves>
- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (13 de 06 de 2019). *Cooperacion Suiza*. Obtenido de https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2019/06/13_estudio_ladrillo.pdf
- Alam, T. (s.f). *Civil Today*. Obtenido de Civil Engineering: <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/brick/132-brick-composition-ingredients-with-functions>
- Andina. (28 de 06 de 2022). *Andina*. Obtenido de Empresa Peruana de Noticias: <https://andina.pe/agencia/noticia-fabrican-bloques-construccion-material-mas-amigable-con-medio-ambiente-899175.aspx>
- Arkiplus. (12 de 09 de 2018). *Arkiplus*. Obtenido de <https://www.arkiplus.com/caracteristicas-de-un-buen-ladrillo/>
- Bahena Martínez , F. N. (2019). Estudio socioambiental del sector ladrillero artesanal en el municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero. *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*.
- Baraya, S. (2023). *ArchDaily*. Obtenido de Adobe: el material reciclable más sostenible: https://www.archdaily.mx/mx/944575/adobe-el-material-reciclable-mas-sostenible?ad_source=search
- Barroso Casillas, M. (01 de 2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería*. Obtenido de UPM: <https://oa.upm.es/10559/>
- Bellart-Crevillen, M., & Mesa-Marcos, S. (10 de septiembre de 2009). *Impacto ambiental y ciclo de vida de los materiales de construcción*. Obtenido de UPCommons: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/7360>
- Berumen-Rodríguez et al. (22 de 12 de 2020). *Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México*. Obtenido de Salud Publica de México: <https://doi.org/10.21149/11282>
- Bicer, A. (2021). *The effect of fly ash and pine tree resin on thermo-mechanical properties of concretes with expanded clay aggregates*. Obtenido de Case Studies in Construction Materials: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00624>
- Bloqueras. (16 de 12 de 2020). *bloqueras.org*. Obtenido de <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>
- Caballero. (junio de 2018). *Effect on compressive and flexural strength of agave fiber reinforced adobes*. Obtenido de Repositorio Institucional de Literatura del IPN-CIIDIR Unidad Oaxaca. : http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/537



- Cabrera, S. P., Aranda Jiménez, Y. G., Suárez Domínguez, E. J., & Rotondaro, R. (2020). BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) ESTABILIZADOS CON CAL Y CEMENTO. EVALUACIÓN DE SU IMPACTO AMBIENTAL Y SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN. *Hábitat Sustentable*.
- Carnerero, R. (2019 de abril de 2019). *Análisis de Ciclo de Vida. Cuantificación de los impactos*. Obtenido de DEGREN: http://www.degren.eu/wp-content/uploads/2019/04/Analisis_de_Ciclo_de_Vida.pdf
- Chargoy Amador, J. P., Rosas Millán, L. A., & Téllez Muradás, D. R. (10 de 01 de 2009). Generación de inventarios para el Análisis de Ciclo de Vida de cemento, block, bovedilla, vigueta y ladrillo en la zona centro de México. Puebla, México.
- Chavez Torres, R. H. (31 de 03 de 2016). *Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*. Obtenido de https://www.inin.gob.mx/_invydes/detalle_proyectos.cfm?campo=AM-108&id=322&year=2012#:~:text=La%20industria%20del%20tabique%20emite,cercanos%20a%20las%20tabiqueras%2Ffladrilleras
- CONABIO. (2006). *Agave, mezcales y diversidad*. Obtenido de Biodiversidad Mexicana: https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/janium_zui.pl?jzd=/janium/Documentos/ETAPA06/AP/5324/Mezcales.jzd&fn=5324
- CONABIO. (2020). *Qué nos aportan los agaves*. *Biodiversidad Mexicana*. Obtenido de https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_agaves
- CRT. (2021). *Consejo Regulator del Tequila*. Obtenido de <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>
- CRT, C. R. (2019). *Manual del Técnico Tequilero*.
- EFE. (22 de 11 de 2016). *Obras por expansion*. Obtenido de <https://obras.expansion.mx/construccion/2016/11/22/si-el-cemento-contamina-pero-tambien-reabsorbe-la-contaminacion>
- Flores-Ríos, P. A. (2020). Generación y caracterización básica de bagazos de la agroindustria del mezcal en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1434-1445.
- Franco, J. T. (2 de 10 de 2020). *ArchDaily*. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/889483/arquitectura-con-bloques-de-cemento-como-construir-con-este-material-modular-y-de-bajo-costo#:~:text=El%20bloque%20de%20cemento%20es,por%20cemento%2C%20arena%20y%20agua>.
- Gallardo Valdez, J. (s.f.). *Ciencia y Desarrollo*. Obtenido de <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=287>
- Guillén, C. A. (18 de 11 de 2021). *Optimization of the process of making Compressed Earth Blocks (CEB) through the granulometric control of soil particles*. Obtenido de Nova Scientia. Scielo.: <http://novascientia.delasalle.edu.mx/ojs/index.php/Nova/article/view/2891>



- Gurrola, D. L. (Agosto de 2016). *Aprovechamiento integral del bagazo de agave mezcalero cocido para su uso en la agricultura y ganadería*. Obtenido de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/24053/1/Tesis%20bagazo.pdf>
- Hidalgo Reyes, M. (9 de 12 de 2019). *Ciidir Oaxaca*. Obtenido de http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/339
- Hoz Zavala, M., & Nava Diguero, P. (2017). *Revista del Desarrollo Tecnológico*. Obtenido de Los residuos de agave como factor de corrosión del suelo donde se vierten. : https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Desarrollo_Tecnologico/vol1num2/Revista_del_Desarrollo_Tecnologico_V1_N2_2.pdf
- INEGI. (2019). *Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la Industria del Tequila y el Mezcal*.
- International Organization for Standardization. (2006). ISO 14044. *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices*.
- ISO 14040:2006. (2006). ISO 14040:2006. *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia*. International Organization for Standardization.
- ISO 14044:2006. (2006). ISO 14044:2006. *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices*. International Organization for Standardization.
- Kadir, A. A., & Mohajerani, A. (2011). *BRICKS: AN EXCELLENT BUILDING MATERIAL FOR RECYCLING WASTES – A REVIEW*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/266631170_Bricks_An_Excellent_Building_Material_for_Recycling_Wastes_-_A_Review
- López-Álvarez, Ó., Zas, R., & Marey-Perez, M. (2023). *Resin tapping: A review of the main factors modulating pine resin yield*. Obtenido de Industrial Crops and Products: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117105>
- Madrid Guerrero, M. I. (17 de 09 de 2018). *Caracterización de hormigones especiales con mejora de sus propiedades térmicas para el desarrollo de sistemas prefabricados de cerramientos de bloque*. Bilbao, España.
- Mahmud, I. (2017). *Brick Tests Details - Quality Construction Work*. Obtenido de Civil Today: <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/brick/96-all-brick-test-details-for-construction>
- Maldonado, L. (2013). *Sistema BTC*. Obtenido de Arquitectura Viva: <https://arquitecturaviva.com/articulos/sistema-btc>
- Martínez et al., J. M. (2020). *Life Cycle Environmental Impacts and Energy Demand of Craft Mezcal in Mexico*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/8242>
- Martínez Gutiérrez, G. A. (2013). *SciELO*. Obtenido de Tiempos de apilado del bagazo del maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300007



- Materiales de barro Sánchez. (2019). *Historia del Ladrillo*. Obtenido de Blog: <https://www.materialesdebarrosanchez.com/historia-ladrillo.html>
- Mompó García, M. (2015). *Construcción sostenible: Bloques de tierra comprimida BTC*. Obtenido de Arquitectura y Empresa: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/construccion-sostenible-bloques-de-tierra-comprimida-btc#:~:text=El%20proceso%20de%20producci%C3%B3n%20comienza,proporciones%20que%20contenga%20la%20marga.>
- Montenegro-Echeverría, M. S. (2019). *Caracterización del adobe reforzado con fibras naturales y artificiales para la recuperación de construcciones tradicionales en la Comuna de Zuleta*. Obtenido de REPOSITORIO INSTITUCIONAL: <https://www.dspace.uce.edu.ec/bitstreams/50c89957-5b17-4aa1-91cf-e50e6518faf7/download>
- Montes-González, A. (28 de noviembre de 2019). *Estudio y aplicación de los desechos del mezcal en bloques de tierra cruda, para construcción en el estado de Oaxaca*. Obtenido de XOOK, Repositorio institucional de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco: <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/398>
- NMX-C-036-ONNCCE-2013. (2013). Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013. *Industria de la construcción – mampostería - resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines - método de ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación.
- NMX-C-037-ONNCCE-2013. (31 de Enero de 2014). Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013. *Industria de la construcción – mampostería – determinación de la absorción total u la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones - método de ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación, México.
- NMX-C-038-ONNCCE-2013. (2014). Norma Mexicana NMX-C-038-ONNCCE-2013. *Industria de la construcción – mampostería – determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – método de ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación.
- NMX-C-404-ONNCCE-2012. (13 de Diciembre de 2012). Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012. *Industria de la construcción – mampostería - bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – especificaciones y métodos de ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación.
- NMX-C-508-ONNCCE. (2015). Norma Mexicana NMX-C-508-ONNCCE-2015 *Industria de la construcción - Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal - Especificaciones y métodos de ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y



Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación, México. México.

- NMX-C-514-ONNCCE-2019. (2019). Norma Mexicana NMX-C-514-ONNCCE-2019. *Industria de la Construcción – Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C. Diario Oficial de la Federación.
- Olivera, A. A. (Enero de 2017). *Caracterización mecánica y termofísica de tejas hechas con cemento Portland compuesto y fibras de bagazo de Agave angustifolia Haw.* Obtenido de DSpace Repository: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/288
- ONU. (2022). *Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ordaz-Diaz et al., L. A. (2019). *La Vinaza del Mezcal, un producto que de contaminante puede ser un fertilizante*. Obtenido de ResearchGate.: https://www.researchgate.net/publication/342987865_La_Vinaza_del_Mezcal_un_producto_que_de_contaminante_puede_ser_un_fertilizante
- Pérez Pimienta, J. A. (2015). *CINVESTAV*. Obtenido de <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/2515>
- Polanco-Madrado, J. A. (2015). *Materiales de Construcción. Lección 3. 'Propiedades Mecánicas'*. Obtenido de Universidad de Cantabria. Open Course Ware: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2219/course/section/2101/Leccion3.pdf>
- Quintana Vega, M. A. (2012). *IPN*. Obtenido de Aprovechamiento integral del bagazo de la piña de Agave tequilana Weber: Caracterización de fracciones lignocelulósicas obtenidas por un proceso organosolv.: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12958>
- Quiroz-Carranza, J. A., Cantú-Gutiérrez, C., & García-Martínez, R. (2021). *Entre humo y arcilla: contaminación ambiental y sobrevivencia humana en la producción artesanal de ladrillos*. Obtenido de <https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2021/12/LadrillerasLibro.pdf>
- Ramos, J. J. (31 de 01 de 2017). *Casa Sauza*. Obtenido de Impacto de los residuos de la industria tequilera.: <https://www.casasauza.com/procesos-tequila-sauza/impacto-residuos-industria-tequilera>
- Robles-González et al., V. (2012). *reatment of mezcal vinasses: A review. Journal Of Biotechnology*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168165611005426?via%3Dihub>
- Robles-González, V. (2018). *Water Environment Research*. Obtenido de Combined Treatment of Mezcal Vinasses by Ozonation and Activated Sludge: <https://doi.org/10.2175/106143017x15054988926433>



- RodríguezCortés, A., & de la Cerna-Hernández, C. (2017). *El mezcal, su producción y tratamiento de residuos*. Obtenido de Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research): <https://doi.org/10.5281/zenodo.5083893>
- Roux Gutiérrez, R. S. (2012). *Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (RIUAT)*. Obtenido de <https://riuat.uat.edu.mx/handle/123456789/1500>
- Roux-Gutiérrez, R. S. (2016). *Bloques de tierra comprimida su retardo térmico e impacto ambiental*. Obtenido de Revista Legado de Arquitectura y Diseño : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477951060009>
- Saez, V. C., & Garzon, B. (2020). Análisis de la huella de carbono en bloques resuelto con polipropileno post-consumo. *Arquitecto*, 47-55.
- Santiago-Mateo, P. (2021). *Adobes Sustentables a Partir de los Desechos de la Producción de Mezcal*. Obtenido de IBFR: <http://www.theibfr2.com/RePEc/ibf/rgnego/rgn-v9n1-2021/RGN-V9N1-2021-4.pdf>
- Sarabia-Guarin, A. (2016). *Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular*. Obtenido de Respuestas UFPS: <https://doi.org/10.22463/0122820x.815>
- Savastano et al. (2016). *Sustainable use of vegetable fibres and particles in civil construction*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100370-1.00019-6>
- SCFI. (18 de Agosto de 2016). NORMA Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. México.
- SCFI. (29 de Octubre de 2012). NORMA Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012, Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones. México.
- Segura, S. F. (2007). *Descripción y Discusión Acerca de los Métodos de Análisis de Fibra y del Valor Nutricional de Forrajes y Alimentos para Animales*. Obtenido de Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169815390011>
- Serrano-Barquín et al. (2020). *El adobe. Su tradición simbólica y arquitectónica en el Estado de México*. Obtenido de Repositorio Institucional : <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/108995>
- SINELCO. (2020). *SINELCO, Sistemas Ecológicos de Construcción, eco construcción*. . Obtenido de Producción BTC: <https://sinelco.eco/produccion-btc-bloque-de-tierra-comprimida/>
- Sir. (27 de 06 de 2020). *CivilSir*. Obtenido de https://civilsir.com/what-is-bricks-and-their-composition-and-properties/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.mx
- Sutcu et al. (2014). *Thermal performance optimization of hollow clay bricks made up of paper waste*. Obtenido de Energy and Buildings: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778814001170?via%3Dihub>
- Sutcu, M., & Akkurt, S. (2009). *The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity*. Obtenido de Ceramics



International:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272884209001072?via%3Dihub>

Todo Mezcal. (s.f.). *El agave y su distribución geográfica en México*. Recuperado el 2022, de <http://www.todomezcal.com/AgavesTec/TPM1.htm>

Udawattha, C., De Silva , D. E., Galkanda, H., & Halwatura, R. (2018). *Performance of natural polymers for stabilizing earth blocks*. Obtenido de Materialia: <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2018.07.019>



ANEXO



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE EN:	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X EN: 13.5 X 27.5cm	Fecha de recibo:	

FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD EN DÍAS
	30 DE NOVIEMBRE DE 2022	

IDENTIFICACIÓN	NUM. DE ENSAYE	3720				ESPECIFICACIÓN
	NUM. DE BLOQUE	1	2	3	4	

P R O M E D I O N	LARGO, cm	27.7	27.4	27.5	27.6	30 cm ± 3 mm
	ANCHO, cm	13.7	13.6	13.6	13.6	15 cm ± 3 mm
	ALTURA, cm	7.0	6.8	6.7	6.8	12 cm Min ± 3 mm
	AREA, cm ²	379.49	372.64	374.00	375.36	
	CARGA, kgf	8,934	8,913	9,670	9,966	
	RESISTENCIA A LA RUPTURA, kgf/cm ²	24.0	24.0	26.0	27.0	

A B S O R C I O N	MASA SECA, g					
	MASA SATURADA, g					
	CONTENIDO DE AGUA					
	% DE ABSORCIÓN					

OBSERVACIONES:
LOS ESPÉCIMENES FUERON PROPORCIONADOS POR EL SOLICITANTE.
EL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA OBTENIDA A LA COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS ES DE 25 kgf/cm². LA PRUEBA SE LLEVÓ ACABO DE ACUERDO A LA NORMA MEXICANA NMX-C-036-ONNCCE-2013; NMX-C-038-ONNCCE-2013; NMX-C-508-ONNCCE-2015.

Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

Alan Saavedra Calixto
LABORATORISTA

Jesús Zauno Zamudio
JEFE DE LA SECCIÓN

JEFA DEL LABORATORIO

Tec. PJC Alan Saavedra Calixto

Tec. J. Jesús Zauno Zamudio

M.I. Cindy Lara Gómez



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE EN:	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X	Fecha de recibo:	
	13.5 X 27.5cm		

REPORTE FOTOGRÁFICO



Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

JEFE DE LA SECCIÓN

Tec. J. Jesus Zauno Zamudio

JEFA DEL LABORATORIO

M.I. Cindy Lara Gómez



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE EN:	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X 13.5 X 27.5cm	Fecha de recibo:	

FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD EN DÍAS
	30 DE NOVIEMBRE DE 2022	

IDENTIFICACIÓN	NUM. DE ENSAYE	3720				ESPECIFICACIÓN
	NUM. DE BLOQUE	5	6	7	8	

COMPRIMIONES	LARGO, cm	27.4	27.5	27.6	27.5	30 cm ± 3 mm
	ANCHO, cm	13.6	13.7	13.5	13.6	15 cm ± 3 mm
	ALTURA, cm	6.7	6.7	6.4	6.9	12 cm Mín ± 3 mm
	AREA, cm ²	372.64	376.75	372.60	374.00	
	CARGA, kgf	9,216	12,165	12,630	8,668	
	RESISTENCIA A LA RUPTURA, kgf/cm ²	25.0	32.0	34.0	23.0	

ABSORCIÓN	MASA SECA, g					
	MASA SATURADA, g					
	CONTENIDO DE AGUA					
	% DE ABSORCIÓN					

OBSERVACIONES:
LOS ESPECÍMENES FUERON PROPORCIONADOS POR EL SOLICITANTE.
EL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA OBTENIDA A LA COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS ES DE 29 kgf/cm². LA PRUEBA SE LLEVÓ ACABO DE ACUERDO A LA NORMA MEXICANA NMX-C-036-ONNCCE-2013; NMX-C-038-ONNCCE-2013; NMX-C-508-ONNCCE-2015.

Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

JEFE DE LA SECCIÓN

JEFA DEL LABORATORIO

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

Tec. Jesus Zambo Zamudio

M.I. Cindy Lara Gómez



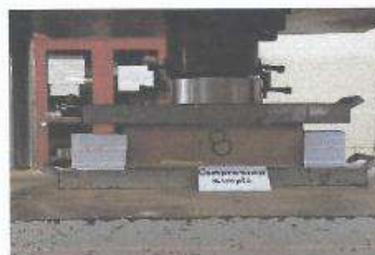
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X	Fecha de recibo:	
EN:	13.5 X 27.5cm		

REPORTE FOTOGRÁFICO



Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

JEFE DE LA SECCIÓN

JEFA DEL LABORATORIO

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

Tec. J. Jesus Zauno Zamudio

M.I. Cindy Lara Gómez



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X	Fecha de recibo:	
	EN: 13.5 X 27.5cm		

FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD EN DÍAS

IDENTIFICACIÓN	NUM. DE ENSAYE	3720				ESPECIFICACIÓN
	NUM. DE BLOQUE	9	10	11		

P R O M P R E S I O N D E	LARGO, cm	27.6	27.6	27.6	30 cm ± 3 mm
	ANCHO, cm	13.6	13.8	13.6	15 cm ± 3 mm
	ALTURA, cm	6.6	6.9	7.0	12 cm Mín ± 3 mm
	AREA, cm ²				
	CARGA, kgf				
	RESISTENCIA A LA RUPTURA, kgf/cm ²				

A B S O R C I O N	MASA SECA, g	3,430.0	3,562.0	3,557.0	
	MASA SATURADA, g	4,220.0	4,305.0	4,425.0	
	CONTENIDO DE AGUA	790.0	743.0	868.0	
	% DE ABSORCIÓN	23.0	21.0	24.0	

OBSERVACIONES:
LOS ESPECÍMENES FUERON PROPORCIONADOS POR EL SOLICITANTE.
EL PROMEDIO DE LA ABSORCIÓN ES DE 23% (24 HORAS DE SATURACIÓN). LA PRUEBA SE LLEVÓ ACABO DE ACUERDO A LA NORMA MEXICANA NMX-C-037-ONNCCE-2013.

Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

JEFE DE LA SECCIÓN

JEFA DEL LABORATORIO

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

Tec. J. Jesus Zuñiga Zamudio

M.I. Cindy Lara Gómez



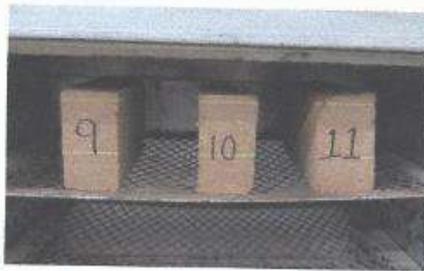
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X	Fecha de recibo:	
EN:	13.5 X 27.5cm		

REPORTE FOTOGRÁFICO



Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

JEFE DE LA SECCIÓN

Téc. J. Jesus Zauno Zamudio

JEFA DEL LABORATORIO

M.I. Cindy Lara Gómez



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE EN:	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X 13.5 X 27.5cm	Fecha de recibo:	

FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD EN DÍAS

IDENTIFICACIÓN	NUM. DE ENSAYE	3720				ESPECIFICACIÓN
	NUM. DE BLOQUE	9	10	11		

COMPRIMIDOS	LARGO, cm	27.6	27.6	27.6	30 cm ± 3 mm
	ANCHO, cm	13.6	13.8	13.6	15 cm ± 3 mm
	ALTURA, cm	6.6	6.9	7.0	12 cm Mín ± 3 mm
	AREA, cm ²				
	CARGA, kgf				
	RESISTENCIA A LA RUPTURA, kgf/cm ²				

% INICIAL	MASA SECA, g	3,430.0	3,562.0	3,557.0	
	MASA SATURADA, g	3,538.0	3,616.0	3,633.0	
	CONTENIDO DE AGUA ABSORBIDA, g	108.0	54.0	76.0	
	SUPERFICIE DE CARA SUMERGIDA, cm ²	375.36	380.88	375.36	
	TIEMPO DE INMERSIÓN (T=10 min.)				
	COEF. ABSORCIÓN INICIAL, g/(cm ² x min ^{0.5})	9.1	4.5	6.4	

OBSERVACIONES:
LOS ESPÉCIMENES FUERON PROPORCIONADOS POR EL SOLICITANTE.
EL PROMEDIO DE LA ABSORCIÓN INICIAL (TIEMPO DE INMERSIÓN 10 MINUTOS) ES DE 6.7 g/(cm² x min^{0.5}). LA PRUEBA SE LLEVÓ ACABO DE ACUERDO A LA NORMA MEXICANA NMX-C-037-ONNCCE-2013.

Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

JEFE DE LA SECCIÓN

JEFA DEL LABORATORIO

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

Tec. J. Jesús Zauro Zamudio

M.I. Cindy Lara Gómez



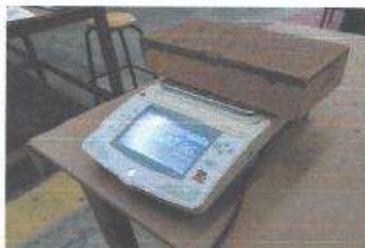
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE EN:	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X	Fecha de recibo:	
	13.5 X 27.5cm		

REPORTE FOTOGRÁFICO



Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

Tec. Pte. Alan Saavedra Calixto

JEFE DE LA SECCIÓN

Tec. J. Jesus Zaida Zamudio

JEFA DEL LABORATORIO

M.I. Cindy Lara Gómez



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE EN:	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X 13.5 X 27.5cm	Fecha de recibo:	

FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE RUPTURA	EDAD EN DÍAS
	29 DE NOVIEMBRE DE 2022	

IDENTIFICACIÓN	NUM. DE ENSAYE	3720			
	NUM. DE BLOQUE	12	13	15	ESPECIFICACIÓN

COMPRIMIDOS	LARGO, cm	27.6	27.5	27.5	30 cm ± 3 mm
	ANCHO, cm	13.7	13.7	13.6	15 cm ± 3 mm
	ALTURA, cm	6.6	6.7	6.6	12 cm Mín ± 3 mm
	AREA, cm²				
	CARGA, kgf				
	RESISTENCIA A LA RUPTURA, kgf/cm²				

MÓDULO DE RUPTURA	LARGO, cm	27.6	27.5	27.5	
	ALTURA, cm	13.7	13.7	13.6	
	ESPESOR, cm	6.6	6.7	6.6	
	LONGITUD ENTRE APOYOS, cm	22.5	22.5	22.5	
	CARGA, kg	49.5	44.5	47.0	
	MÓDULO DE RUPTURA A LA FLEXIÓN, kg/cm²	2.8	2.4	2.7	

OBSERVACIONES:
LOS ESPÉCIMENES FUERON PROPORCIONADOS POR EL SOLICITANTE.
EL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE RUPTURA DE LAS MUESTRAS ES DE 2.6 kgf/cm².

Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

JEFE DE LA SECCIÓN

JEFA DEL LABORATORIO

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

Tec. A. Jesus Zaurio Zamudio

M.I. Cindy Lara Gómez



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"
Tel. (443) 3 22 35 00 ext. 4325



INFORME DE PRUEBAS FÍSICAS EN BLOQUES

SOLICITANTE:	ING. ARC. LUISA MARÍA MORALES FELIX		
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
PARA EMPLEARSE EN:	BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO (BTC) DE 7 X 13.5 X 27.5cm	Fecha de recibo:	

REPORTE FOTOGRÁFICO



Morelia, Michoacán a 05 de Diciembre de 2022

LABORATORISTA

Tec. PIC Alan Saavedra Calixto

JEFE DE LA SECCIÓN

Tec. J. Jesus Zavala Zamudio

JEFA DEL LABORATORIO

M.I. Cindy Lara Gómez



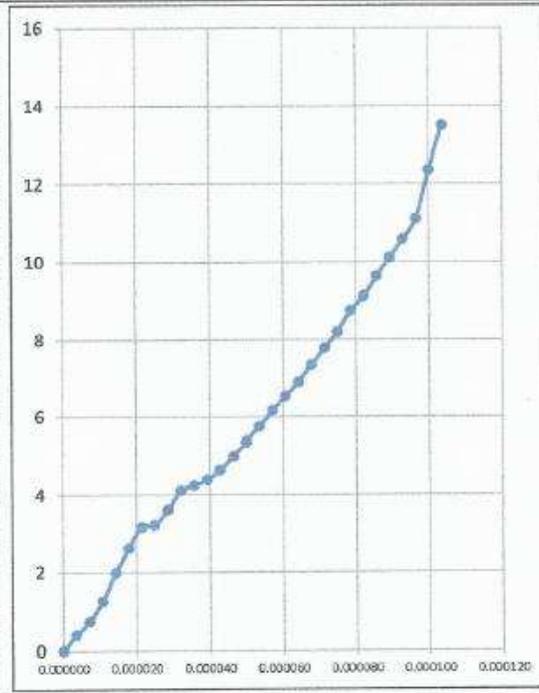
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"



INFORME DE MODULO DE ELASTICIDAD

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARIA MORALES FELIX	FECHA DE EXTRACCION:	
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACION	FECHAS DE ENSAYE:	30-nov-22
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
ENSAYE No:	3720	MUESTRA No:	1

LECTURA No.	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO	
		kgf/cm ²	Mpa
0	0.000000	0.00	0.00
1	0.000004	0.41	0.04
2	0.000007	0.76	0.07
3	0.000011	1.27	0.12
4	0.000014	1.97	0.19
5	0.000018	2.62	0.26
6	0.000021	3.18	0.31
7	0.000025	3.24	0.32
8	0.000029	3.62	0.36
9	0.000032	4.11	0.40
10	0.000036	4.25	0.42
11	0.000039	4.41	0.43
12	0.000043	4.64	0.46
13	0.000046	5.00	0.49
14	0.000050	5.37	0.53
15	0.000054	5.74	0.56
16	0.000057	6.15	0.60
17	0.000061	6.52	0.64
18	0.000064	6.89	0.68
19	0.000068	7.33	0.72
20	0.000071	7.78	0.76
21	0.000075	8.20	0.80
22	0.000079	8.74	0.86
23	0.000082	9.10	0.89
24	0.000086	9.63	0.94
25	0.000089	10.11	0.99
26	0.000093	10.58	1.04
27	0.000096	11.09	1.09
28	0.000100	12.36	1.21
29	0.000104	13.49	1.32



DATOS COMPLEMENTARIOS

Longitud de medición, mm	70
Largo, cm	27.7
Ancho, cm	13.7
Area, cm ²	379.49
Carga máxima, kgf	8,934
Carga máxima, kN	87.6
Esfuerzo máximo, kgf/cm ²	23.5
Esfuerzo máximo, Mpa	2.3
$\epsilon_1 =$	0.00005
$\sigma_1 =$	5.37
$\epsilon_2 =$	0.000084
$\sigma_2 =$	9.42

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

E = Modulo de elasticidad

$\epsilon_1 = 0.00005$

$\epsilon_2 =$ Deformación correspondiente a σ_2

$\sigma_1 =$ Esfuerzo correspondiente a ϵ_1

$\sigma_2 = 40\%$ del esfuerzo máximo, kgf/cm²

$$E = \frac{11,576}{0.000084 - 0.00005} = 118,072 \text{ kgf/cm}^2$$

OBSERVACIONES: EL ESPECIMEN FUE PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE

Morelia, Mich., a 06 de Diciembre del 2022

JEFE DE SECCION

JEFA DE LABORATORIO

TEC. JOSÉ JESÚS ZAUNO ZAMUDIO

M. I. CINDY LARA GOMEZ



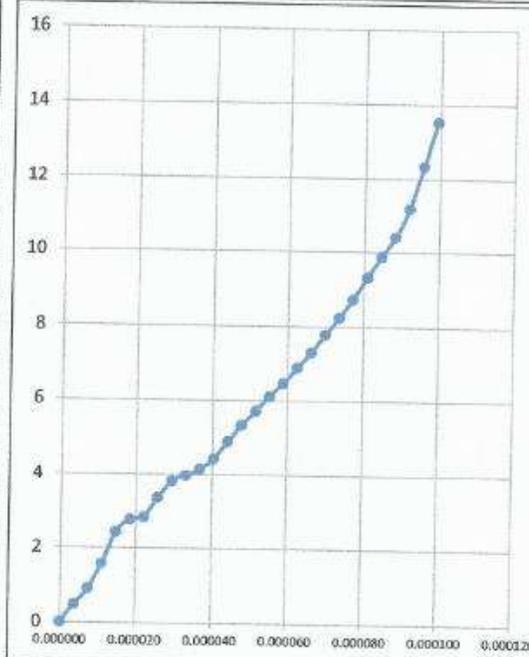
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"



INFORME DE MODULO DE ELASTICIDAD

SOLICITANTE:	ING. ARO. LUISA MARIA MORALES FELIX	FECHA DE EXTRACCION:	
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACION	FECHAS DE ENSAYE:	30-nov-22
LOCALIZACION:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
ENSAYE No:	3720	MUESTRA No:	2

LECTURA No.	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO	
		kgf/cm ²	Mpa
0	0.000000	0.00	0.00
1	0.000004	0.48	0.05
2	0.000007	0.92	0.09
3	0.000011	1.57	0.15
4	0.000015	2.43	0.24
5	0.000018	2.76	0.27
6	0.000022	2.83	0.28
7	0.000026	3.36	0.33
8	0.000029	3.81	0.37
9	0.000033	3.97	0.39
10	0.000037	4.14	0.41
11	0.000040	4.43	0.43
12	0.000044	4.88	0.48
13	0.000048	5.30	0.52
14	0.000051	5.70	0.56
15	0.000055	6.10	0.60
16	0.000059	6.46	0.63
17	0.000063	6.88	0.67
18	0.000066	7.29	0.71
19	0.000070	7.77	0.76
20	0.000074	8.24	0.81
21	0.000077	8.72	0.85
22	0.000081	9.31	0.91
23	0.000085	9.86	0.97
24	0.000088	10.39	1.02
25	0.000092	11.17	1.10
26	0.000096	12.34	1.21
27	0.000099	13.52	1.33



DATOS COMPLEMENTARIOS

Longitud de medición, mm	68
Largo, cm	27.4
Ancho, cm	13.6
Area, cm ²	372.64
Carga máxima, kgf	8,913
Carga máxima, kN	87.4
Esfuerzo máximo, kgf/cm ²	23.9
Esfuerzo máximo, Mpa	2.3
$\epsilon_1 =$	0.00005
$\epsilon_2 =$	0.000083
$\sigma_1 =$	5.70
$\sigma_2 =$	9.57

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

E = Modulo de elasticidad
 $\epsilon_1 = 0.00005$
 $\epsilon_2 =$ Deformación correspondiente a σ_2
 $\sigma_1 =$ Esfuerzo correspondiente a ϵ_1
 $\sigma_2 = 40\%$ del esfuerzo máximo, kgf/cm²

E = **11,620** Mpa
E = **118,526** kgf/cm²

OBSERVACIONES: EL ESPECIMEN FUE PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE

Morelia, Mich., a 06 de Diciembre del 2022

JEFE DE SECCION

JEFA DE LABORATORIO

TEC. JOSÉ JESÚS ZAUNO ZAMUDIO

M. I. CINDY LARA GÓMEZ



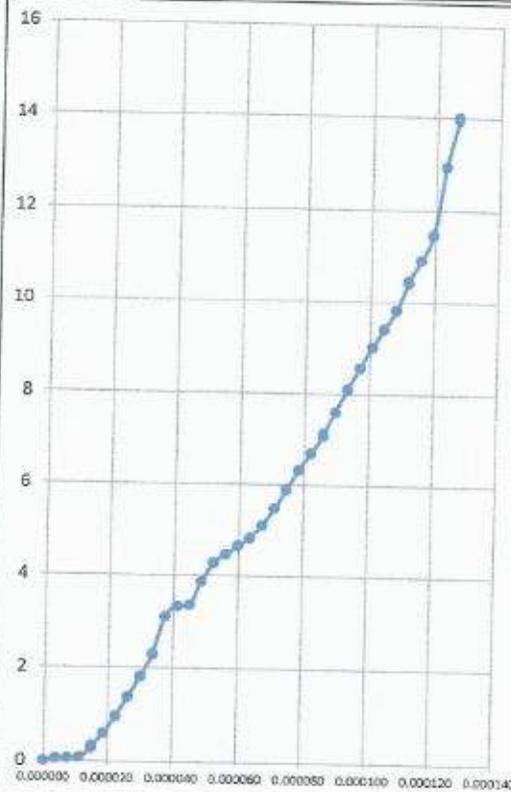
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Laboratorio de Materiales "ING. LUIS SILVA RUELAS"



INFORME DE MODULO DE ELASTICIDAD

SOLICITANTE:	ING. ARQ. LUISA MARIA MORALES FELIX	FECHA DE EXTRACCION:	
OBRA:	PROYECTO DE INVESTIGACION	FECHAS DE ENSAYE:	30-nov-22
LOCALIZACIÓN:	CENIT, OAXACA, OAXACA		
ENSAYE No:	3720	MUESTRA No:	3

LECTURA No.	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO	
		kgf/cm ²	Mpa
0	0.000000	0.00	0.00
1	0.000004	0.06	0.01
2	0.000007	0.07	0.01
3	0.000011	0.09	0.01
4	0.000015	0.30	0.03
5	0.000019	0.57	0.06
6	0.000022	0.95	0.09
7	0.000026	1.36	0.13
8	0.000030	1.80	0.18
9	0.000034	2.29	0.22
10	0.000037	3.10	0.30
11	0.000041	3.35	0.33
12	0.000045	3.37	0.33
13	0.000049	3.87	0.38
14	0.000052	4.28	0.42
15	0.000056	4.47	0.44
16	0.000060	4.65	0.46
17	0.000063	4.83	0.47
18	0.000067	5.11	0.50
19	0.000071	5.49	0.54
20	0.000075	5.90	0.58
21	0.000078	6.33	0.62
22	0.000082	6.71	0.66
23	0.000086	7.10	0.70
24	0.000090	7.59	0.74
25	0.000093	8.10	0.79
26	0.000097	8.56	0.84
27	0.000101	9.01	0.88
28	0.000104	9.40	0.92
29	0.000108	9.82	0.96
30	0.000112	10.43	1.02
31	0.000116	10.91	1.07
32	0.000119	11.45	1.12
33	0.000123	12.96	1.27
34	0.000127	14.00	1.37



DATOS COMPLEMENTARIOS

Longitud de medición, mm	67	$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$
Largo, cm	27.5	
Ancho, cm	13.6	E = Modulo de elasticidad
Area, cm ²	374	$\epsilon_1 = 0.00005$
Carga máxima, kgf	9,670	$\epsilon_2 =$ Deformación correspondiente a σ_2
Carga máxima, kN	94.9	$\sigma_1 =$ Esfuerzo correspondiente a ϵ_1
Esfuerzo máximo, kgf/cm ²	25.9	$\sigma_2 = 40\%$ del esfuerzo máximo, kgf/cm ²
Esfuerzo máximo, Mpa	2.5	
$\epsilon_1 =$ 0.00005	$\sigma_1 =$ 4.01	$\epsilon =$ 10,111 Mpa
$\epsilon_2 =$ 0.000111	$\sigma_2 =$ 10.34	$E =$ 103,134 kgf/cm ²

OBSERVACIONES: EL ESPECIMEN FUE PROPORCIONADO POR EL SOLICITANTE
Morelia, Mich., a 06 de Diciembre del 2022

JEFE DE SECCIÓN: TEC. JOSÉ JESÚS ZAUNO-ZAMUDIO
JEFA DE LABORATORIO: M. I. CINDY LARA GÓMEZ

NOMBRE DEL TRABAJO

Huella ambiental de la valorización de material residual en bloques constructivos de tierra comprim

AUTOR

Luisa María Morales Félix

RECUENTO DE PALABRAS

27713 Words

RECUENTO DE CARACTERES

157432 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

132 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.6MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 20, 2024 10:00 AM CST

FECHA DEL INFORME

Aug 20, 2024 10:02 AM CST

● 34% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 33% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 12% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental	
Título del trabajo	"Huella ambiental de la valorización de material residual en bloques constructivos de tierra comprimida"	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Luisa María Morales Félix	0828021B@umich.mx
Director	Dra. Liliana Márquez Benavidez	liliana.marquez@umich.mx
Codirector	Dr. Wilfrido Martínez Molina	wilfrido.martinez@umich.mx
Coordinador del programa	Dr. Hugo Luis Chávez García	luis.chavez@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	Sí	Google Translate para la traducción de algunos datos del software SimaPro.
Traducción a otra lengua	Sí	Google Translate para traducción del resumen.
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	Si	Búsqueda en Google Académico, Elsevier.
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Luisa María Morales Félix 
Lugar y fecha	Morelia, Mich. a 19 de agosto de 2024