

Evaluación Socioeconómica y Ambiental del Uso de Tierra Estabilizada, Residuos Industriales y
Materiales de Origen Vegetal, en los Procesos de Construcción de Viviendas en el
Departamento de Santander-Colombia, como una Alternativa para el Desarrollo Sostenible.

Julio Alfonso Martínez Molina
Ing. Civil M.Sc.

Trabajo de grado para optar por el título de doctor en Desarrollo Sostenible

Director:
PhD. Ciro Alfonso Serna Mendoza

Doctorado en Desarrollo Sostenible
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas
Universidad de Manizales, Colombia
2020

Agradecimientos

Al culminar esta importante etapa de mi proyecto de vida, quiero agradecer especialmente a Dios por darme la oportunidad de vivir para alcanzar esta anhelada meta, a mis padres Graciela y Julio Alfonso, por mi vida y su dedicación en mi proceso de formación, a mi esposa Jenny Johana por su amor, apoyo y comprensión en todo momento, a mi hijo Juan Esteban, por ser mi motivación permanente y darme animo en los instantes en que más lo necesite, a mis hermanas, sobrinos y familiares, por su acompañamiento y cariño.

Gratitud especial con el Dr. Ciro Alfonso Serna Mendoza, quien además de ser el director de este proyecto, ha sido el líder y motivador para que muchos colombianos podamos tener una formación de alto nivel en este importante tema del Desarrollo Sostenible, de igual forma a mis compañeros del doctorado por cada momento de compartir en las aulas, por su fraternidad y orientación permanente, a las directivas de la Universidad Industrial de Santander por su apoyo y al selecto grupo de Jurados, quienes con su sabiduría y dedicación, orientaron la culminación de este documento para ponerlo al servicio de la sociedad del conocimiento.

Tabla de contenido

Introducción	17
1. Diseño teórico	20
1.1. Título del trabajo	20
1.2. Pregunta de investigación	20
1.3. Descripción del área problemática	20
1.4. Antecedentes investigativos.....	26
1.4.1. Sistema de evaluación ambiental en edificaciones	29
1.4.2. Análisis de la sostenibilidad en territorios	31
1.5. Justificación de la Investigación	32
1.6. Objetivos.....	33
1.6.1. General.....	33
1.6.2. Específicos	34
1.7. Supuestos y categorías de análisis	34
1.7.1. Supuestos	34
1.7.2. Categorías de análisis	35
2. Fundamentación teórica	35
2.1. Evolución en las formas de construcción de la vivienda.....	35
2.2. Primeros pobladores urbanos en América	39
2.3. Uso del cemento en construcciones	41
2.4. Uso de la tierra en construcciones	42
2.4.1. La tierra	43
2.4.2. Técnicas de construcción con tierra.....	44
2.4.2.1. Tierra Excavada.....	45
2.4.2.2. Tierra de recubrimiento	46
2.4.2.3. Tierra de relleno.....	46

2.4.2.4.	Tierra recortada	46
2.4.2.5.	Tierra comprimida	46
2.4.2.5.1.	El tapial	46
2.4.2.5.2.	Bloque de tierra compactada.....	48
2.4.2.5.3.	Bloques de Suelo Cemento (BSC)	49
2.4.2.5.4.	Bloque de tierra con Geopolímeros (BTG)	49
2.4.2.6.	Tierra modelada.....	50
2.4.2.7.	Tierra Apilada o Amontonada	51
2.4.2.8.	Tierra Moldeada o Modulada	51
2.4.2.9.	El adobe	51
2.4.2.10.	Tierra extruida.....	52
2.4.2.11.	Tierra vertida.....	52
2.4.2.12.	Tierra con paja.....	52
2.4.2.13.	Tierra para revestimientos	53
2.4.3.	Técnicas mixtas.....	53
2.4.3.1.	Bahareque	53
2.4.3.2.	Barro proyectado	53
2.5.	Uso de residuos industriales en construcciones.....	54
2.5.1.	Reciclaje industrial.....	56
2.5.1.1.	Escoria.....	56
2.5.1.2.	Cascotes cerámicos.....	57
2.5.1.3.	Diversos materiales	58
2.5.2.	Residuos agroindustriales.....	58
2.6.	Uso de materiales de origen vegetal en construcciones.....	59
2.6.1.	Construcción con fibras naturales.....	59
2.6.2.	Construcción con madera.....	60
2.6.3.	Construcciones con Guadua.....	61

3.	Diseño metodológico	61
3.1.	Tipo de investigación	61
3.2.	Unidad de trabajo y unidad de análisis.....	62
3.2.1.	Unidad de trabajo	62
3.2.2.	Unidad de análisis	63
3.3.	Procedimiento de la Investigación.....	63
3.3.1.	Identificación.....	63
3.3.2.	Definir tendencias y preferencia	64
3.3.3.	Análisis de factores.....	64
3.4.	Técnicas e instrumentos	65
3.4.1.	Técnicas de investigación.....	65
3.4.2.	Instrumentos.....	65
3.4.2.1.	Revisión bibliográfica	65
3.4.2.2.	Fuentes de información	66
3.4.2.2.1.	Fuentes primarias	66
3.4.2.2.2.	Fuentes secundarias.....	67
3.4.2.2.3.	Herramientas informáticas.....	68
4.	Análisis de información.....	68
4.1.	El Departamento de Santander, Colombia.....	68
4.2.	Sector empresarial de la construcción en el departamento de Santander	77
4.3.	Grado de utilización de la tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal en la construcción de viviendas en el departamento de Santander.....	83
4.3.1.	Población.....	84
4.3.2.	Materiales predominantes en las viviendas en el departamento de Santander	88
4.3.3.	Preferencia del uso de la tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal en construcción de viviendas en el departamento de Santander	92
4.4.	Tipología de viviendas tradicionales en Santander	98

4.5. Material de construcción de preferencia para construir vivienda y percepción en relación de materiales para viviendas tradicionales en los municipios de Santander	100
4.6. Análisis de factores.....	105
4.6.1. Análisis de la intervención	105
4.6.1.1. Tipos de vivienda en Santander.....	106
4.6.1.2. Indicadores de impacto socioeconómico y ambiental.....	109
4.6.1.3. Análisis de factores de materiales de construcción utilizados en viviendas convencionales	111
4.6.1.3.1. Materiales manufacturados de origen pétreo.....	111
4.6.1.3.2. Materiales aglomerantes	120
4.6.2. Análisis de la productividad	134
4.6.2.1. Materiales de origen vegetal	134
4.6.2.1.1. Materiales de construcción con tierra estabilizada.....	139
4.6.3. Análisis de los efectos	146
4.6.3.1. Biograma e ÍDS para los municipios productores de Arcilla	149
4.6.3.2. Biograma e ÍDS para los municipios productores de Carbón	152
4.6.3.3. Biograma e ÍDS para los municipios productores de Caliza.....	154
4.6.3.4. Biograma e ÍDS para los municipios productores de Yeso.....	156
4.6.3.5. Biograma e ÍDS para los municipios productores de Arena	158
4.6.3.6. Biograma e ÍDS para los municipios productores de Gravas	161
4.6.3.7. Biograma e ÍDS para los municipios productores de Material de origen Vegetal	163
4.6.3.8. Biograma e ÍDS para los municipios con uso de la tierra estabilizada como material de construcción.....	166
4.6.4. Análisis del rendimiento.....	169
4.6.4.1. Mampostería con ladrillo cocido.....	170
4.6.4.2. Muro en tapia pisada	171
4.6.4.3. Muro en adobe.....	172
4.6.5. Análisis beneficio costo	173

5.	Conclusiones.....	177
6.	Recomendaciones.....	182
	Referencias Bibliográficas.....	184

Lista de tablas

Tabla 1. Déficit cuantitativo de vivienda por provincias de Santander	23
Tabla 2. Déficit cualitativo de vivienda en Santander	24
Tabla 3. Distribución de la población por provincias en el departamento de Santander	70
Tabla 4. Índice departamental de Competitividad, departamento de Santander, 2019	73
Tabla 5. Índice de Competitividad de Bucaramanga, 2019	74
Tabla 6. Proporción de personas encuestadas, según actividad económica laboral	84
Tabla 7. Distribución de la población de Santander, según lugar de residencia	85
Tabla 8. Distribución de la población del departamento de Santander, según estrato	86
Tabla 9. Distribución de la población del departamento, según rango de edad	87
Tabla 10. Distribución de la población de Santander, según nivel de escolaridad	88
Tabla 11. Municipios donde predominan materiales tradicionales en las viviendas	96
Tabla 12. Municipios donde predominan materiales de origen vegetal en las viviendas	97
Tabla 13. Municipios donde predominan materiales de residuos industriales en las viviendas	97
Tabla 14. Materiales de construcción utilizados en las viviendas de Santander	107
Tabla 15. Calificación de los indicadores de las categorías de impacto	109
Tabla 16. Rangos de comparación para evaluación de indicadores	110
Tabla 17. Inventario de ciclo de vida de materiales manufacturados de origen pétreo	113
Tabla 18. Consumos de energía y CO2 por materiales manufacturados de origen pétreo	115
Tabla 19. Consumos de energía y CO2 por municipios productores de Arcilla	115
Tabla 20. Consumos de energía y CO2 por municipios productores de Carbón	117
Tabla 21. Evaluación Socioeconómica y Ambiental de Municipios productores de Arcilla	117
Tabla 22. Inventario de ciclo de vida de materiales aglomerantes	122
Tabla 23. Consumos de energía y CO2 por municipios productores de Calizas	125
Tabla 24. Consumos de energía y CO2 por municipios productores de Yeso	127
Tabla 25. Consumos de energía y CO2 por municipios productores de Arena	129
Tabla 26. Consumos de energía y CO2 por municipios productores de Gravas	132
Tabla 27. Inventario de ciclo de vida de la madera	135
Tabla 28. Consumos de energía y CO2 por municipios productores de Madera	137
Tabla 29. Inventario de ciclo de vida del uso de la tierra como material de construcción	141
Tabla 30. Municipios con mayor proporción de viviendas en materiales tradicionales	142
Tabla 31. Dimensiones de una vivienda tipo en el Departamento de Santander	144

Tabla 32. Emisiones de CO ₂ de una vivienda tipo en el Departamento de Santander	144
Tabla 41. Análisis de precios unitario de un metro de muro en ladrillo	171
Tabla 42. Análisis de precios unitario de un metro cúbico de mortero	171
Tabla 43. Análisis de precios unitario de un metro cuadrado de tapia pisada	172
Tabla 44. Análisis de precios unitario de un metro cuadrado muro de BTC	172
Tabla 45. Costos económicos de un m ² de muro construido por técnicas convencionales y tradicionales.....	173
Tabla 46. Emisiones de CO ₂ y consumo de energía de un metro cúbico de mortero.....	174
Tabla 47. Emisiones de CO ₂ y consumo de energía de un m ² de ladrillo macizo confinado ..	174
Tabla 48. Emisiones de CO ₂ y consumo de energía de un m ² de tapia pisada.....	175
Tabla 49. Emisiones de CO ₂ y consumo de energía de un m ² de Bloque de tierra compactada	175
Tabla 50. Emisiones de CO ₂ y consumo de energía de una vivienda tipo de 40 M ²	176

Lista de figuras

Figura 1. Cueva Lascaux	36
Figura 2. Construcción casa típica en tapia pisada, Barichara Santander, Colombia	48
Figura 3. Subestación eléctrica en BTC Universidad Industrial de Santander Sede Socorro	48
Figura 4. Mapa del departamento de Santander	69
Figura 5. Necesidades Básicas Insatisfechas Vs Población de Municipios	75
Figura 6. Índice Municipal de Competitividad Vs. NBI, Municipios	77
Figura 7. Empresas del sector de la Construcción en Santander	79
Figura 8. Materiales predominantes en pisos de las viviendas de los constructores	80
Figura 9. Materiales predominantes en paredes de las viviendas de los constructores.....	80
Figura 10. Materiales predominantes en cielo rasos de las viviendas de constructores	81
Figura 11. Materiales predominantes en cubiertas de los constructores en Santander	81
Figura 12. Materiales predominantes ventanas y puertas de las viviendas de constructores	81
Figura 13. Desarrollo de proyectos de vivienda de constructoras en Santander	82
Figura 14. Factores relevantes para el desarrollo de proyectos de vivienda en las constructoras de Santander	83
Figura 15. Distribución de la población encuestada según lugar de ubicación de la vivienda....	85
Figura 16. Distribución de la población encuestada según nivel de estratificación	86
Figura 17. Distribución de la población encuestada según rangos de edad	87
Figura 18. Distribución de la población encuestada según nivel de escolaridad.....	88
Figura 19. Material predominante en paredes de vivienda, población encuestada.....	90
Figura 20. Material predominante en las viviendas, población del departamento	90
Figura 21. Material predominante en pisos de vivienda, población encuestada	91
Figura 22. Material predominante en pisos de viviendas del departamento de Santander	91
Figura 23. Número de niveles de la vivienda, población encuestada	92
Figura 24. Material predominante en cubierta, población encuestada.....	92
Figura 25. Material predominante en puertas y ventanas, población encuestada.....	92
Figura 26. Material predominante en cielo raso, población encuestada	92
Figura 27. Material predominante en paredes externas Vs Población total municipios.....	93
Figura 28. Material predominante en paredes externas poblaciones entre 25.000 y 55.000 habitantes	94

Figura 29. Material predominante en paredes externas poblaciones entre 10.000 y 20.000 habitantes	94
Figura 30. Material predominante en paredes externas poblaciones entre 5.000 y 10.000 habitantes	95
Figura 31. Material predominante en paredes externas poblaciones entre 1.000 y 5.000 habitantes	95
Figura 32. Casa típica de paredes de tapia pisada en Santander	95
Figura 33. Vivienda rural en madera, corregimiento de la India, Landázuri, Santander	95
Figura 34. Viviendas tradicionales en municipios de Santander	98
Figura 35. Cubiertas de viviendas tradicionales en municipios de Santander	99
Figura 36. Fachadas de viviendas tradicionales en municipios de Santander	100
Figura 37. Viviendas tradicionales con materiales de origen vegetal en municipios	100
Figura 38. Preferencia de la población encuestada para construir una vivienda	101
Figura 39. Percepción de la población encuestada con relación a viviendas con materiales de origen vegetal	101
Figura 40. Percepción de la población encuestada con relación a viviendas con materiales de tierra estabilizada.....	101
Figura 41. Percepción de la población encuestada con relación a viviendas con materiales elaborados con residuos industriales	102
Figura 42. Percepción de la población al seleccionar los materiales para construir vivienda... 103	103
Figura 43. Percepción de la población al construir su vivienda	103
Figura 44. Percepción de la población al utilizar tierra estabilizada como material vivienda....	104
Figura 45. Percepción de la población al utilizar materiales de origen vegetal como material de su vivienda.....	104
Figura 46. Percepción de la población al utilizar residuos industriales como material de su vivienda.....	104
Figura 47. Tipo de vivienda en Santander.....	106
Figura 48. Niveles de las viviendas	106
Figura 49. Comparación entre los materiales convencionales y los materiales tradicionales para las paredes	108
Figura 50. Comparación entre los materiales convencionales y los materiales tradicionales utilizados para los pisos	109
Figura 51. Producción de arcilla en Santander, 2019.....	116
Figura 52. Producción de Carbón en Santander, 2019.....	116

Figura 53. Impacto socioeconómico y ambiental de los municipios productores de arcilla	119
Figura 54. Impacto socioeconómico y ambiental de municipios productores de carbón	120
Figura 55. Producción de Calizas por municipios de Santander	125
Figura 56. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Caliza.	126
Figura 57. Producción de Yeso por municipios de Santander	127
Figura 58. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Yeso...	128
Figura 59. Producción de Arenas por municipios de Santander	129
Figura 60. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Arena .	130
Figura 61. Producción de Gravas por municipios de Santander	131
Figura 62. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Grava .	133
Figura 63. Producción de madera por municipios de Santander	137
Figura 64. Evaluación socioeconómica y ambiental de municipios productores de madera	138
Figura 65. Porcentaje de municipios con viviendas en materiales tradicionales	142
Figura 66. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios con mayor proporción de viviendas en materiales tradicionales en Santander.....	145
Figura 67. Estado del sistema según los colores del Biograma.....	148
Figura 68. Biogramas de municipios productores de arcilla en Santander	150
Figura 69. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de arcilla en Santander	151
Figura 70. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de arcilla en Santander	151
Figura 71. Biogramas de municipios productores de carbón en Santander	152
Figura 72. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de carbón en Santander	153
Figura 73. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de carbón en Santander	153
Figura 74. Biogramas de municipios productores de calizas en Santander.....	154
Figura 75. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de caliza en Santander	155
Figura 76. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de calizas en Santander	155
Figura 77. Biogramas de municipios productores de yeso en Santander	156
Figura 78. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de yeso en Santander	157

Figura 79. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de yeso en Santander	158
Figura 80. Biogramas de municipios productores de arenas en Santander	159
Figura 81. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de arena en Santander	160
Figura 82. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de arena en Santander	161
Figura 83. Biogramas de municipios productores de gravas en Santander	162
Figura 84. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de gravas en Santander	162
Figura 85. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de gravas en Santander	163
Figura 86. Biogramas de municipios proveedores de madera en Santander.....	164
Figura 87. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de madera en Santander	165
Figura 88. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de Santander	165
Figura 89. Biogramas de municipios con predominio de tierra estabilizada en la construcción de viviendas en Santander.....	166
Figura 90. Índice Integrado de desarrollo sostenible, en los municipios con predominio de tierra estabilizada en la construcción de viviendas en Santander.....	167
Figura 91. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios con predominio de tierra estabilizada en la construcción de viviendas en Santander.....	168
Figura 92. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de materiales de construcción para viviendas en Santander.....	168
Figura 93. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de materiales de construcción para viviendas en Santander	169

Lista de apéndices

(Los apéndices se encuentran en documento adjunto)

Apéndice A.Cálculos del déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda en Santander

Apéndice B.Fotografías de municipios de Santander

Apéndice C.Encuesta para la comunidad participante

Apéndice D.Encuesta para las empresas participantes

Apéndice E.Diagnóstico económico municipios de Santander

Apéndice F.Datos para el cálculo de la evaluación del Impacto y el Desempeño Socioeconómico de los municipios que producen materiales de construcción en Santander

Apéndice G.Indicadores de Impacto Socioeconómico y Ambiental de municipios productores de materiales de construcción en Santander

Apéndice H.Cálculos del Índice Integrado de Desarrollo Sostenible de municipios productores de materiales de construcción en Santander

Resumen

Título: Evaluación Socioeconómica y Ambiental del Uso de Tierra Estabilizada, Residuos Industriales y Materiales de Origen Vegetal, en los Procesos de Construcción de Viviendas en el Departamento de Santander-Colombia, como una Alternativa para el Desarrollo Sostenible.

Autor: Julio Alfonso Martínez Molina

Palabras clave: Construcción, desarrollo sostenible, residuos industriales, material vegetal, tierra estabilizada, viviendas sostenibles.

Descripción:

El presente trabajo busca evaluar el uso de tierra estabilizada, residuos industriales y materiales de origen vegetal en la construcción de viviendas en el departamento de Santander, Colombia, para determinar los aportes de este tipo de construcciones en el desarrollo sostenible de los territorios de donde se extraen y producen los materiales de construcción del departamento.

El estudio parte de un análisis de las técnicas de construcciones relacionadas con la tierra, la madera y los residuos industriales, al ser utilizados como materias primas para las viviendas. Posteriormente se determinan los materiales predominantes en las paredes y los pisos de las viviendas actuales de Santander y por medio de encuestas estructuradas dirigidas a la comunidad y al sector empresarial, se establece el grado de preferencia y la percepción de las personas para desarrollar proyectos con materiales no convencionales.

Se documenta un análisis de intervención de los municipios que producen los materiales predominantes en el departamento, localizando indicadores relacionados con categorías de grupos de interés e indicadores asociados a las dimensiones económicas, sociales y ambientales, para con base en esa información evaluar el impacto y el desempeño de cada uno de los factores asociados al desarrollo sostenible, por medio del cálculo de un índice integrado que representa el estado de sostenibilidad de cada municipio y de la región de influencia.

La información del desarrollo sostenible de cada municipio se representa a través de un diagrama multidimensional que permite consolidar los datos y reflejar el estado del territorio analizado, de tal manera que la investigación sea un aporte a la orientación adecuada de los administradores públicos, en la generación de políticas y planes estratégicos de desarrollo y promueva el uso de la metodología en otros productos y servicios. Finalmente se realiza un análisis del rendimiento para determinar el beneficio-costos del desarrollo de vivienda tradicional y de vivienda convencional como aporte para superar en los territorios objetos del estudio, la escasez de vivienda.

Abstract**Title:**

Socioeconomic and environmental evaluation of the use of stabilized land, industrial waste and plant-based materials, in housing construction processes in the department of Santander-Colombia, as an alternative for sustainable development.

Author: Julio Alfonso Martínez Molina

Keywords: Construction, sustainable development, industrial waste, plant material, stabilized land, sustainable housing.

Description:

This work seeks to assess the use of stabilized land, industrial waste and plant-based materials in the construction of homes in Santander department, Colombia, to determine the contributions of such constructions in the sustainable development of the territories from which the department's building materials are extracted and produced.

The study is part of an analysis of construction techniques related to land, wood and industrial waste, being used as raw materials for housing. Subsequently, the predominant materials are determined on the walls and floors of the current homes of Santander and through structured surveys aimed at the community and the business sector, the degree of preference and perception of people to develop projects with unconventional materials is established.

An intervention analysis of the municipalities producing the predominant materials in the department is documented, locating indicators related to categories of stakeholders and indicators associated with economic, social and environmental dimensions, , to assess the impact and performance of each of the factors associated with sustainable development on the basis of this information, by calculating an integrated index that represents the sustainability status of each municipality and the region of influence.

The information on the sustainable development of each municipality is represented by a multidimensional diagram that allows to consolidate the data and reflect the state of the territory analyzed, so that research is a contribution to the proper guidance of public administrators in the generation of policies and strategic development plans and promote the use of methodology in other products and services. Finally, a performance analysis is carried out to determine the benefit-cost of the development of traditional housing and conventional housing as a contribution to overcome in the territories objects of the study, the scarcity of housing.

Introducción

En la década de los años setenta, con las reflexiones de los profesores liderados por Dennis Meadows, consignadas en el título *Los Límites del Crecimiento del Club de Roma*¹ se recomendaba, que la humanidad debía ponerle límite a las tendencias de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación, producción de alimentos y explotación de recursos, para evitar un colapso de los ecosistemas del planeta, en el siguiente siglo posterior a la publicación (Meadows et al., 1972).

Desde estas reflexiones, esfuerzos conjuntos de individuos, naciones, organizaciones y empresas, han estado consolidando estrategias en pro de la generación y organización de indicadores que permitan medir y evaluar el nivel de impacto y desempeño de una unidad específica de análisis del desarrollo.

El origen de estas estrategias, inició con el informe titulado *Nuestro futuro común* elaborado por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, en donde además de plantear las preocupaciones, tareas y esfuerzos comunes a futuro para generar un programa global para el cambio, se definió el término para el desarrollo sostenible como aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad para satisfacer aquellas las del futuro” (Naciones Unidas, 1987).

Con el antecedente planteado por la comisión Brundtland, la organización de la Naciones Unidas convocó a su primera cumbre sobre el medio ambiente y territorio en el año de 1992 en Rio de Janeiro, Brasil, reunión conocida como la Cumbre de Rio, la cual se ha continuado desarrollando con éxito durante dos décadas posteriores a ese encuentro, cuyas versiones se conocen como Rio +10 y Rio +20.

En estas cumbres y múltiples reuniones asociadas, se han definido y organizado las problemáticas en torno a dimensiones económicas, sociales y ambientales, con el ánimo de sincronizar los esfuerzos y establecer lenguajes comunes entre los países participantes. La Organización de Naciones Unidas lideró en el año 2000 la Declaración Mundial del Milenio, en

¹ Club de Roma: Organización que promueve la interdependencia entre las naciones sobre el conocimiento y la solución de problemas globales cuando estos rebasan la capacidad de los propios Estados de resolverlos.

donde se consignaron los 8 objetivos de desarrollo del milenio, los cuales estaban compuestos de metas e indicadores, dentro de los cuales se incluían algunos asociados al sector de la construcción relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero, el abastecimiento de agua y el saneamiento y los hogares que habitaban en asentamientos precarios (Gobierno colombiano, 2014).

Cumplido el tiempo previsto para los objetivos del milenio, se consolidó la Agenda 2030 para el desarrollo por parte de las Naciones Unidas (2018), que inicio en el año 2015 y tiene como horizonte el año 2030 en este documento se integran 17 objetivos para el desarrollo sostenible, dedicando uno, el undécimo, exclusivamente a lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Por lo anterior, es necesario unir esfuerzos entre los sectores académico, social, económico y cultural, para reconocer en cada acción emprendida, un aporte valido para optimizar el consumo de recursos y disminuir los factores que causan la contaminación del aire, el suelo y el agua, independiente de la época en la cual fueron realizados. Es con esta premisa, que toman fuerza conceptos como el de la arquitectura vernácula, la arquitectura bioclimática, la arquitectura sustentable, la etno-arquitectura, el desarrollo del hábitat y la construcción sostenible, entre otras tendencias, que cobran más fuerza cada día, con el ánimo de reconocer en el conocimiento ancestral, alternativas ideales para garantizar un uso adecuado de los recursos disponibles.

En estas definiciones, se visiona una oportunidad para integrar desarrollos tecnológicos y conocimiento científico, que permita promover y actualizar técnicas constructivas que involucren criterios de sostenibilidad, evaluando las condiciones de vida de las personas que habitan los territorios especialmente donde se extraen los materiales de construcción y buscando alternativas para utilizar recursos ya existentes y ampliamente utilizados como la tierra y los materiales de origen vegetal, pero también proponer acciones para utilizar lo ya utilizado y reciclar los desechos de otros procesos que se pueden convertir en materia prima de nuevos productos, como elementos para hacer viviendas seguras y de bajo costo, que aporten a la reducción del déficit generalizado de vivienda y se garanticen condiciones dignas para las comunidades de área de influencia de la zona donde se extraen y procesan los materiales de construcción.

Son estos dos escenarios los que despiertan el interés de la presente investigación, el primero por revitalizar y promover la construcción tradicional de viviendas y el segundo por generar estrategias de evaluación del desarrollo sostenible de un territorio con el fin de mejorar la calidad de vida de los municipios productores de materiales de construcción en el departamento de Santander.

1. Diseño teórico

1.1. Título del trabajo

Evaluación Socioeconómica y Ambiental del Uso de Tierra Estabilizada, Residuos Industriales y Materiales de Origen Vegetal, en los Procesos de Construcción de Viviendas en el Departamento de Santander-Colombia, como una Alternativa para el Desarrollo Sostenible.

1.2. Pregunta de investigación

¿Cómo evaluar el uso de tierra estabilizada, residuos industriales y materiales de origen vegetal, en los procesos de construcción de viviendas y su aporte al desarrollo sostenible en el departamento de Santander-Colombia?

1.3. Descripción del área problemática

Las sociedades modernas han establecido parámetros de bienestar basados en sus condiciones ideales de protección, estabilidad y seguridad, entre los que se encuentran las necesidades básicas y las necesidades de confort. Indudablemente la industria de la construcción se podría ubicar en la fuente para satisfacer necesidades siempre y cuando se mire desde la unidad básica de infraestructura, es decir el refugio para generar protección del ser humano de las condiciones de adversidad del medio exterior, pero desde que el hombre cambio su estado de nómada al sedentarismo, el tamaño de la vivienda ha estado relacionado con su estatus de poder y reconocimiento social.

Este es uno de los efectos que produce indicadores superiores a los estrictamente necesarios, por ejemplo, en la sociedad existen viviendas con un área superior a los 200 metros cuadrados para dos o tres personas, o en casos contrarios personas sin vivienda. Por lo tanto, a nivel de desarrollo sostenible existe en el sector de la construcción una gran paradoja, mientras unos tienen mucho, otros no tienen nada.

Sumado a lo anterior, el crecimiento acelerado de la población mundial, el cual ha pasado en los últimos años de 3.626 millones de personas en el año 1969 a 7.715 millones de personas en el año 2019 (Jensen y Luchsinger, 2019, p. 164), genera un aumento en los metros cuadrados de construcción que se requieren en el mundo, tanto para satisfacer las necesidades de vivienda

de los hogares, como para los desarrollos de infraestructura vial o de servicios en cada uno de los países que los albergan.

Lo anterior genera también un aumento significativo en el consumo de los materiales que más se emplean en la industria de la construcción en la actualidad, como son el concreto, el acero, el vidrio, la tierra y la madera (Bedoya, 2011, p. 34), con el agravante que los primeros tres materiales, se fabrican con materias primas no renovables y las fábricas donde se producen y/o procesan, ocupan un lugar significativo en contaminación ambiental por cuanto las industrias de la construcción, las cementeras, las metalúrgicas y las cerámicas, son responsables de más de la mitad de emisiones de gases de efecto invernadero (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2012, p. 20).

Según el informe del Proyecto Getting the Numbers Right de la World Business Council for Sustainable Development, el 5 por ciento de las emisiones globales de CO₂ del año 2018 fueron causadas en la producción de cemento, en este proceso cerca del 50% se da en la producción del Clinker, 40% proviene de quema de combustibles usados para calentar el horno y 10% por el uso de electricidad y energía (World Business Council for Sustainable Development [WBCSD], 2018).

En cuanto al acero, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 2016) menciona que se registró un consumo de 1.763 millones de toneladas en el año 2015. Siendo las empresas siderúrgicas responsables del 27% de las emisiones de CO₂ que genera la actividad industrial en el mundo.

En relación a los productos cerámicos, compuestos principalmente por arcillas que han sido extraídas a cielo abierto y las cuales son sometidas a un proceso de cocción (Ministerio de Minas y Energía [MinMinas], 2013, p. 8), han estado deteriorando la calidad del medio ambiente en las zonas donde se obtienen los materiales y en donde se generan los productos terminados, incidiendo en aspectos como la contaminación de aire, suelo, agua, ruido, destrucción o perturbación de hábitat natural, impacto visual en el paisaje y diversas repercusiones en los niveles freáticos (MADS, 2012, p. 20), siendo el impacto más relevante la gran energía incorporada y las altas emisiones de CO₂ en su proceso de cocción (Zabalza et al., 2020).

El mayor impacto ambiental, se produce en el proceso de cocción del bloque de tierra para producir el ladrillo, según el investigador Zabalza (s.f.), del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos - CIRCE, se estima que para producir un kilo de ladrillos se requiere consumir 3,56 mega julios equivalentes de energía primaria, gastar 1,89 litros de agua y emitir a la atmósfera 270 gramos de CO₂, lo que equivale para una casa de aproximadamente 222 metros cuadrados, a un equivalente de 57 toneladas de CO₂ (Citado en Álvarez, 2010).

El anterior panorama global no es ajeno para el departamento de Santander, el cual ocupa en Colombia el quinto lugar en emisiones totales de CO₂ equivalente, según el tercer Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto invernadero de Colombia (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, 2016, p. 56), el 5,7% de estas emisiones corresponde a las causadas por las industrias manufactureras y de la construcción, sector al que se le proyecta un crecimiento promedio de 1,9% anual (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2015), que de no tomarse medidas urgentes que promuevan la reducción de estas emisiones de CO₂ y los demás gases de efecto invernadero, se estarían comprometiendo las metas nacionales proyectadas para el departamento hacia el año 2030.

Además de las viviendas necesarias para atender el crecimiento de la población mundial, es prioritario atender la problemática de escasez de vivienda adecuada, contemplada en el Objetivo de Desarrollo Sostenible No 11 denominado ciudades y comunidades sostenibles (Naciones Unidas, 2018, p. 53), teniendo en cuenta que en Colombia, en el año 2018 el porcentaje de hogares urbanos con déficit cuantitativo² de vivienda estaba en el 5,5% y déficit cualitativo³ de vivienda en el 10,3% (Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES], 2018, p. 87), situación que refleja la complejidad del tema y la necesidad de generar políticas de construcción y mejoramientos de viviendas en el país con los recursos disponibles, si se quiere alcanzar la meta Colombia propuesta para el año 2030 la cual está proyectada en el 2,7% de déficit cuantitativo y el 7,0% de déficit cualitativo de vivienda (CONPES, 2018).

² Déficit Cuantitativo de vivienda: Estimada la cantidad de viviendas que la sociedad debe construir para que exista una relación uno a uno entre las viviendas adecuadas y los hogares que necesitan alojamiento. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2009)

³ Déficit cualitativo de vivienda: Hace referencia a las viviendas particulares que presentan deficiencias en la estructura del piso, espacio, disponibilidad de servicios públicos domiciliarios y requieren dotación, mejoramiento o ampliación. (DANE, 2009)

En el departamento de Santander, el déficit cuantitativo de vivienda calculado por el autor (Ver apéndice A) y cuyos resultados se muestran en la tabla 1 fue de 10,37% en el año 2018, lo cual está muy por encima del promedio nacional, reflejando cifras muy altas en cuanto a hogares que habitan en viviendas inadecuadas y en el atributo de cohabitación.

Tabla 1. Déficit cuantitativo de vivienda por provincias de Santander

Variables	Total Departamento	
Número Total de Hogares por provincia	647.157	
Número de hogares cabecera municipal	497.332	
Número de hogares resto	149.825	
Atributo	# Hogares	%
Estructura: Hogares que habitan en viviendas inadecuadas, construidas con materiales inestables.	35.370	5,47%
Cohabitación: Hogares secundarios de cualquier tamaño que comparten la vivienda con otros hogares	30.411	4,70%
Hacinamiento no mitigable: Cinco o más personas por cuarto (urbano)	1.334	0,21%
Total déficit de vivienda cuantitativo departamento de Santander (%)		10,37%

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del *Censo del DANE* y de *Metodologías del Déficit de Vivienda*. DANE, 2018.

En cuanto a déficit de vivienda cualitativo, el departamento de Santander, en las cabeceras municipales alcanza un porcentaje máximo de 11,2% como se muestra en la tabla 2, elaborada por el autor (Ver apéndice A), el cual está muy cercano al promedio nacional, pero en la zona rural, la situación se hace más crítica en los atributos del suministro de agua potable para el consumo humano y la adecuada evacuación de aguas negras, las cuales presentan valores de 49,8% y 83,1% respectivamente.

Tabla 2. Déficit cualitativo de vivienda en Santander

Variable	Número de hogares Cabecera Municipal			Número de hogares centros poblados o rural disperso		
Número de hogares	497.332			149.825		
Atributo	Total Viviendas	# Viviendas por atributo	%	Total Viviendas	# Viviendas por atributo	%
Hacinamiento mitigable: Hogares con más de tres y menos de cinco personas por cuarto, urbano.	497.332	55.581	11,2%	149.825	10.014	6,7%
Espacio-cocina: Hogares que no cuentan con un lugar adecuado para preparar los alimentos, urbano.	497.332	40.949	8,2%	149.825	21.642	14,4%
Servicio Público de Acueducto: Hogares sin acueducto en la vivienda, urbano.	497.332	17.362	3,5%	149.825	74.543	49,8%
Servicio Público de Alcantarillado Urbano: Hogares sin alcantarillado en la vivienda o teniéndolo el inodoro no está conectado al alcantarillado.	497.332	21.415	4,3%	149.825	124.444	83,1%
Servicio Público de Energía Eléctrica: Hogares sin servicio de energía eléctrica.	497.332	1.936	0,4%		3.661	2,4%
Servicio público de recolección de basuras: Hogares sin recolección de basuras, población urbana.	497.332	6.954	1,4%	149.825	N.A	N.A

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de *Censo DANE y Metodologías de Déficit Vivienda*. DANE, 2018.

El departamento de Santander es reconocido por la preservación de sus tradiciones y culturas (Rivero Bolaños, 2007) entre las que se encuentra las viviendas elaboradas con materiales como la tapia pisada, los adobes y la madera, en la actualidad algunos de estos municipios preservan una arquitectura tradicional en un gran porcentaje de sus viviendas como se puede observar en el archivo adjunto (ver apéndice B). Un caso tipo para citar es el del municipio de Barichara fundado en 1705 y declarado como Monumento Nacional en 1975 (CO Colombia, s.f.) según resolución No 005 del 30 de junio (Battistelli, 2005), en este lugar se

evidencia mezcla entre las prácticas y técnicas constructivas de pobladores indígenas quienes desde épocas prehispánicas usaban en sus construcciones materiales básicos como la tierra, el agua, la cal, la arena y fibras naturales para hacer bahareque (Ardila, 1986), y de técnicas traídas por los colonizadores españoles, como en el caso de la tapia pisada (Sánchez, 2007), dando como resultado construcciones que aún se puedan apreciar y constituyen un ejemplo y una alternativa para replicar nuevos modelos como soluciones de vivienda para la comunidad, al tener validez de su sistema constructivo, la actitud cultural de la sociedad y la facilidad de encontrar la materia prima en el lugar (Battistelli, 2005, p. 11).

Sin embargo, estas técnicas ancestrales y el uso de estos abundantes materiales, ha sido desplazado también en Santander, por el uso en la actualidad de materiales convencionales para la construcción de viviendas como el ladrillo cocido, el concreto reforzado y el acero, lo cual se refleja en las edificaciones presentes en los municipios más poblados del departamento de Santander, convirtiéndose en una amenaza para la construcción tradicional por las posibilidades que existen de olvidar el conocimiento ancestral transmitido de generación en generación.

Por otra parte, la escasez de normas técnicas que permitan respaldar los métodos constructivos en el país relacionadas con las construcciones en tierra, madera o residuos industriales (Cid, 2011) y la ausencia de evaluaciones de sostenibilidad asociadas a los impactos causados a la economía, al ambiente y a la sociedad por la producción de materiales de construcción para viviendas, en los municipios en donde se producen, reducen las posibilidades de promover la construcción de vivienda tradicional como alternativas para superar la escasez de viviendas en el departamento y de reducir los impactos de las construcciones convencionales.

La disposición final de residuos sólidos en el mundo según el Informe de World Bank Group (2018) también es una situación preocupante en la actualidad, la estimación global de residuos para el año 2012 fue de 1.3 billones de toneladas por año y en el año 2016 este mismo indicador estuvo en 2.01 billones de toneladas, aumento generado por los acelerados procesos de urbanización y crecimiento de las poblaciones y con una proyección de alcanzar las 3.4 billones de toneladas en el año 2030 y un 70% más de los residuos actuales para el año 2050, si no se implementan medidas urgentes, para controlar esta situación y se promueven estrategias para el reciclaje, la reutilización y la adecuada disposición de residuos sólidos, especialmente en la industria de la construcción (p. 18).

Por lo anterior y para empezar a revitalizar el uso de materiales tradicionales en la construcción de viviendas en Santander y promover el uso de técnicas innovadoras en cuanto a la utilización de residuos industriales como materiales de construcción, es necesario determinar las preferencias de la población en cuanto al uso de materiales de construcción para sus viviendas en el departamento, proponer un método para evaluar el desarrollo sostenible en los territorios compuesto por indicadores de sostenibilidad que puedan ser comparables a nivel municipal y cuya metodología puedan ser aplicadas no solo a Santander sino también a otras regiones del país, para facilitar la formulación de proyectos, la planeación territorial y la toma de decisiones en las administraciones municipales y organismos multilaterales de cooperación.

1.4. Antecedentes investigativos

Desde la antigüedad, el ser humano ha construido viviendas, como uno de sus principales elementos para su comodidad y seguridad, en la historia se han conocido gran cantidad de materiales usados en los procesos constructivos, los cuales inician con uno elementos básicos de la naturaleza que es la tierra y las rocas, posteriormente en la evolución se empezaron a utilizar maderas, aceros, aluminios, vidrios, derivados del petróleo, entre otros (Battistelli, 2005, p. 21).

La creciente capacidad del hombre de analizar el comportamiento de las estructuras, materiales y su interacción con el suelo, ha determinado nuevas posibilidades para el desarrollo de proyectos de infraestructura, que están enmarcados en una lógica racional de conservación de recursos y del medio ambiente (Rodríguez, 2012), en donde los ingenieros y arquitectos deben establecer en sus proyectos, criterios priorizando la relación: humano-ambiente-conocimiento-tecnología, por encima de las estrategias económicas, pero sin salirse de los principios de beneficio-costos.

En las últimas décadas, se ha iniciado una reflexión muy importante en torno al impacto generado al medio ambiente en la producción de materiales de construcción y en el desarrollo mismo de las obras de ingeniería (Enshassi et. al, 2014). Por lo tanto, la necesidad de identificar la interrelación entre las edificaciones y el medio ambiente que las rodea, incluyendo el desarrollo social, económico y ambiental, establece la necesidad de realizar la valoración de los impactos directos e indirectos que causan las edificaciones a la biodiversidad y el entorno, como base fundamental en las etapas de planeación, diseño y ejecución de cualquier proyecto de infraestructura.

Recientes investigaciones como las que se mencionan a continuación, están buscando la forma de priorizar el uso de materiales de construcción que sean ambientalmente amigables, económicamente viables, estructuralmente estables y socialmente aceptados, integrando el conocimiento ancestral con los avances científicos y tecnológicos disponibles en la actualidad, para hacer de la construcción con tierra, materiales de origen vegetal y residuos industriales, una opción viable para construcción para viviendas.

En cuanto al uso de la tierra, Minke (2005) la ha estudiado como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual, innovando en los estudios tradicionales al incluir estudios técnicos y científicos para determinar el comportamiento antisísmico de edificaciones en tierra y sus formas de estabilización, por su parte Aranda y Suárez (2014) estudiaron la resistencia a la compresión de muros construidos monolíticamente con tierra vertida para elaborar un prototipo de vivienda sustentable, encontrando que si se realizaba una estabilización con un 6% de cemento, los valores obtenidos estaban dentro de la normatividad.

Así mismo Juárez et al. (2010) realizó una investigación para determinar la influencia de un refuerzo de malla hexagonal y malla electrosoldada en bloques de tierra compactada, encontrando una mejora significativa en las resistencias a la compresión y a la flexión lateral y Romina y Carrillo (2017) destacan en su investigación los avances conseguidos por el sistema denominado Terrapanel, el cual consiste en una estructura de acero o madera rellena con tierra aligerada con mucha paja, lo que da la posibilidad de utilizar una técnica ancestral como el bahareque con aislamientos térmicos, reducciones acústicas, baja energía contenida y una mínima huella ecológica.

Importante destacar los estudios de Bestraten et al. (2011) que muestran los proyectos actuales en el mundo, donde se está utilizando la tierra estabilizada como principal material de construcción o restauración, para grandes obras de ingeniería, entre ellas la Capilla de la reconciliación en Berlín Alemania, el centro de visitantes en Eden Project, Cornwall, Reino Unido, el centro nacional del vino, en Adelaide, Australia, entre otros, proyectos que han utilizado muros de hasta 10 metros de altura y 36 metros de longitud y en los cuales se han realizado combinaciones entre muros de tapia y estructuras metálicas, para garantizar el cumplimiento de normatividad.

Sin embargo, destaca esta investigación, que los retos al futuro de la construcción con tierra estabilizada están relacionados con la optimización de los procesos mediante la industrialización, la adición de materiales para la estabilización y control de humedad, aligerantes e inclusión de residuos industriales y la falta de normatividad técnica. Este último aspecto es tratado por Cid et al. (2011), quien menciona que en el mundo existen tan solo 55 normas y reglamentos internacionales en el marco de las construcciones con tierra cruda.

En referencia al uso de materiales de origen vegetal, el grupo de investigación “Materiales compuestos” de la Universidad del Valle, estudia la utilización de desechos de fibra corta de la planta de fique y matrices de polietileno de alta densidad de reciclados prensados, para obtener un ecolaminado de fibras de fique, que es un material rígido compuesto que puede ser utilizado como sustituto de la madera (Delvasto et al., 2001) y para Salas (2006), el arquitecto colombiano Simón Vélez ha estudiado las características físico-mecánicas de la Guadua colombiana para ser utilizada en construcciones de estructuras de viviendas.

También la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS presenta los resultados generados por investigaciones sobre las alternativas para construir viviendas en bahareque encementado el cual es realizado con un esqueleto de guadua, cubierto con un revoque de mortero de cemento apoyado en esterilla de guadua, los resultados fueron incluidos en la Norma Sismoresistente Colombiana NSR-10 en el título E y son una oportunidad para el desarrollo de viviendas tradicionales en el país (Solís, 2013).

En cuanto al uso de residuos industriales, en el departamento de proyectos de ingeniería rural de la Universidad Pública de Navarra, se realiza la propuesta de un ecoladrillo, el cual está compuesto por un suelo marginal, con un estabilizante combinado entre cemento y cal hidráulica y un aditivo resistente de cenizas de cáscara de arroz y un aditivo estructurante de cascarillas de arroz, conformando un material de mampostería con buenas propiedades mecánicas, apto de ser utilizado como material portante (Cabo, 2011).

También, investigadores de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, han estudiado el comportamiento físico de ladrillos compuestos por suelos arcillosos y a los cuales se les incluyen cáscara de cacao, aserrín, cáscara de arroz y caña de azúcar, lo cual produjo elementos con propiedades mecánicas adecuadas, aceptando el uso de estos residuos

agroindustriales en un porcentaje no superior al 10% de para la producción de este material de construcción (Luna et al., 2014).

Algunos investigadores buscan medir los impactos ambientales de los materiales de construcción entre los que se encuentran los estudios realizados por Zabalza (2011) en la aplicación de la metodología del ciclo de vida a productos de la construcción, la evaluación energética y caracterización ambiental de nuevas soluciones tecnológicas en la construcción y Civit et al. (2016) quienes a través de la metodología de análisis de ciclo de vida, comparó los impactos del uso de leña, gas licuado de petróleo y biogás, como combustible para la cocción de ladrillos cerámicos y encontró que el uso de biogás generado por biodigestores que utilicen residuos sólidos urbanos presentó las mejores condiciones ambientales.

1.4.1. Sistema de evaluación ambiental en edificaciones

En las últimas décadas, se ha iniciado una reflexión muy importante en torno al impacto generado al medio ambiente en la producción de materiales de construcción (Melendez, 2011) y en el desarrollo mismo de las obras de ingeniería, lo que ha llevado a establecer en el mundo sistemas transparentes de clasificación entre los que se encuentran metodologías que establecen para cada proyecto una valoración para ser considerado como construcción sostenible, estos modelos están basados en indicadores relacionados con el análisis del ciclo de vida, la revisión de parámetros preestablecidos o una calificación por ecopuntos ó ecoeficiencia, algunos de los más utilizados a nivel mundial están:

Basados en análisis del ciclo de vida se pueden referenciar la norma española para la evaluación de edificios GBC (por sus siglas en inglés Green Building Callege) la cual establece una serie de seis categorías de impacto ambiental y define una serie de criterios de comparación estructurados en una escala de créditos a asignar en función del desempeño (Alvarez, 2003), también los métodos de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación del Reino Unido BREEAM (por sus siglas en inglés Building Research Establishment's Enviromental Assessment Method) el cual es un conjunto de herramientas y procedimientos encaminados a evaluar el impacto medioambiental de las edificaciones en 10 categorías, certificando de acuerdo al nivel de sostenibilidad y entregando una guía técnica para la construcción sostenible (Vásquez, 2011) y el sistema desarrollado por el Green Building Council de España denominado VERDE, el cual es una metodología cuya certificación se basa en el reconocimiento de la reducción de

impacto medioambiental del edificio en comparación con un edificio estándar de referencia el cual tiene la calificación óptima (GBCe, 2020).

De acuerdo a parámetros preestablecidos, está el sistema desarrollado en Estados Unidos denominado LEED (por sus siglas en inglés Leadership in Energy and Environmental Design) en el cual su clasificación se basa en un conjunto de estándares de desempeño que certifica el diseño y la construcción de edificios, promoviendo prácticas saludables duraderas, asequibles y respetuosas con el medio ambiente (Consejo de la Construcción Ecológica de los Estados Unidos, 2009, p. 7).

Por calificaciones de ecopuntos o ecoeficiencia, está el sistema japonés CASBEE (por sus siglas en inglés Comprehensive Assessment System for Building) el cual es un método de autoevaluación de la ecoeficiencia del edificio estableciendo una relación entre el rendimiento, la calidad medio ambiental y las cargas medioambientales asociadas (Vega, 2015).

También se pueden encontrar otros sistemas de calificación de la sostenibilidad de los edificios en otros países, entre estos se pueden referenciar el Green Globes de Canada, el Building Research Establishment's del Reino Unido, el ASHRAE Standard 189 de Estados Unidos, el International Green Construction Code de Estados Unidos (Kwok y Grondzik, 2015, p. 13), el Promis E de Finlandia, el Escale de Francia, el Eco/Quantum de Holanda, el Eco-efect de Suecia y el Envest de Gran Bretaña.

Todos, estos sistemas se basan en comparación directa de resultados, sin generar como tal un índice de edificaciones sostenibles.

En Colombia se han desarrollado normas que fortalecen los desarrollos de construcciones sostenibles, destacándose el sistema de certificación CASA del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, el Sello Ambiental Colombiano NTC 6112, el decreto 1285 de 2015 y la resolución 549 de 2015 relacionados con la Guía para el ahorro y energía de edificaciones en Colombia, la política pública de construcción sostenible, la política nacional de producción y consumo sostenible, el pacto intersectorial por la madera legal en Colombia y la vinculación del país en tratados y normas internacionales como COP21, UNHABITAT, los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Sello de certificación de edificios sostenibles EDGE y la Agenda 21 para la construcción sostenible.

1.4.2. Análisis de la sostenibilidad en territorios

Existen diferentes índices para medir criterios relacionados con la sostenibilidad, según Schuschny y Soto (2009) los índices compuestos pueden ser de cuatro tipos: basados en ciencias naturales, los de desempeño de políticas, los basados en criterios contables y los de tipo sinóptico.

Entre los basados en ciencias naturales está el índice de planeta vivo que es un indicador global que mide los cambios en la salud y las tendencias de los ecosistemas naturales, para conocer un estado de la biodiversidad en nuestro planeta (World Wildlife Fund [WWF], 2020).

Por su parte, los de desempeño de política, está el índice de sostenibilidad ambiental (ISA) el cual es un indicador indexado, jerárquicamente estructurado, que comprende 67 variables de igual peso ponderado, a su vez estructurado en 5 componentes cada una con 22 indicadores medioambientales (Arias, 2006).

En cuanto a los basados en criterios contables está la huella ecológica que es un indicador de sustentabilidad, para conocer el grado de impacto que ejerce cierta comunidad humana, persona, organización, país, región o ciudad sobre el ambiente (Lara et al., 2012) y el coeficiente GINI el cual es un indicador sintético para medir el nivel de desigualdad existente entre los habitantes de una región, reflejando hasta qué punto los ingresos entre los individuos u hogares dentro de una economía se aleja de una distribución equitativa (Medina, 2001).

Entre los de tipo sinóptico, están el índice de desarrollo humano que es un indicador del programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD) que mide el nivel de desarrollo de cada país atendiendo a variables como la esperanza de vida, la educación o el ingreso per cápita (Programa de las Naciones Unidas, 2019) y el índice de bienestar económico sostenible el cual es un indicador que establece en un solo valor, la sostenibilidad de los niveles de bienestar que la población de un país está experimentando a lo largo del tiempo, integra ponderadamente variables económicas, distributivas, sociales y ambientales (Arias, 2006).

Así mismo está el índice de desarrollo sostenible - IDE que es un indicador que mide la eficiencia ecológica desarrollo humano en los países del mundo, identificando el desarrollo humano de cada nación y dividiéndolo por su sobregiro ecológico (Centro de los objetivos de

desarrollo sostenible para América Latina y el Caribe [CODS], 2020) y también está el índice integrado de desarrollo sostenible el cual es un indicador que representa el estado de desarrollo sostenible de la unidad analizada, simbolizando el estado de sostenibilidad del sistema, los aparentes desequilibrios entre las diversas dimensiones y los posibles niveles de conflictos existentes (Sepulveda, 2008).

1.5. Justificación de la Investigación

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS, específicamente el 9 y 11 proponen “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación” (Naciones Unidas Cepal, 2018, p. 31) y “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” respectivamente (Naciones Unidas Cepal, 2018, p. 35), estableciendo en cada caso metas e indicadores definidos hasta el año 2030.

Desde el año 2007 más de la mitad (3.850 millones) de la población mundial vive en ciudades, pero de ellas aproximadamente 828 millones de personas viven en barrios marginales. Las ciudades ocupan apenas el 3% del planeta, pero representan entre el 60 y 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono (Naciones Unidas, s.f.). Los problemas comunes de las ciudades son la congestión, la falta de fondos para prestar servicios básicos, la escasez de vivienda adecuada y el deterioro de la infraestructura. Las Naciones Unidas (2012) visiona a las ciudades con oportunidades, acceso a servicios básicos, energía, vivienda, transporte y más facilidades para todos.

La presente investigación, centra especial atención a la escasez de vivienda adecuada como un problema actual y futuro en los centros urbanos y áreas rurales dispersas en un determinado territorio, que para el caso de estudio es el departamento de Santander, por esta razón se constituyen en elementos importantes para la investigación, estudiar en detalle los materiales predominantes de las viviendas, determinar el origen de la procedencia de los materiales de construcción, entender las preferencias de la población en cuanto a la selección de los materiales de construcción, comprender las técnicas de construcción predominantes en la región y realizar comparaciones de beneficio-costos de las alternativas constructivas derivadas del estudio y utilizados con mayor regularidad en las viviendas.

Los resultados anteriores, permiten obtener un conjunto de materiales de construcción utilizados en el departamento y un grupo de municipios que participan en su extracción y producción, siendo estos territorios las unidades a analizar en el estudio, con el fin de determinar sus indicadores de impacto y desempeño para cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, clasificándolos según los grupos de interés.

El grado de novedad de la investigación, se fundamenta en la propuesta para que través de una metodología se genere un índice integrado de desarrollo sostenible para las áreas de extracción y/o producción de los materiales de construcción en el departamento de Santander y se consoliden sus resultados en un diagrama multidimensional que represente el estado de sostenibilidad de las comunidades, como una forma efectiva de medición integral, de fácil interpretación y con información representativa al momento de proyectar el territorio.

Convirtiéndose estos últimos, en los elementos que justifican la utilidad de la investigación, por cuanto los resultados a si mismo del estudio, se constituyen en un referente para las instituciones y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales del nivel público y privado, interesadas en orientar y generar las políticas públicas, los planes de desarrollo municipal, los planes de ordenamiento y cualquier documento de planeación prospectiva del territorio. Así mismo, es de gran utilidad para toma de decisiones en el corto plazo para los administradores públicos municipales y las comunidades de las áreas objeto del estudio, que estén interesados en realizar aportes directos para mejorar los indicadores de sus regiones y lograr avanzar en las metas previstas para el año 2030 en los objetivos de desarrollo sostenible.

1.6. Objetivos

1.6.1. General

Evaluar el desarrollo sostenible de los municipios productores de materiales de construcción, a través de un índice integrado que represente el aporte del uso de tierra estabilizada, residuos industriales y materiales de origen vegetal para la construcción de viviendas en el departamento de Santander, Colombia.

1.6.2. Específicos

- Identificar el uso de la tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal en construcción de viviendas en el departamento de Santander.
- Definir la preferencia de uso de materiales de construcción en el departamento de Santander.
- Implementar una metodología que permita evaluar el estado del desarrollo sostenible de los municipios productores de materiales de construcción en el departamento de Santander, a través de la generación de un índice integrado y un diagrama multivariado.
- Comparar beneficio/costo de la construcción de vivienda convencional con la construcción de vivienda tradicional.

1.7. Supuestos y categorías de análisis

1.7.1. Supuestos

Para la humanidad, el uso de los materiales de construcción ha estado ligado a las necesidades de su propia evolución y los avances tecnológicos que van apareciendo con el paso de las civilizaciones, instrumentos tan básicos como una pala, una pica, un serrucho, una puntilla o un martillo, lograron consolidar la ciencia suficiente, para que el hombre emprendiera la exploración entre los recursos provistos por la naturaleza y las múltiples posibilidades de transformación para la construcción de viviendas.

Lo que hoy, tiene la impronta y tal vez la moda de Construcción Sostenible, no son más que esfuerzos desesperados por recuperar los principios y valores originales con los que el hombre inició su vida sedentaria, por revitalizar el origen del uso racional y equilibrado de los materiales de construcción, tal vez con la complejidad de no estar hablando de aldeas, o pequeñas ciudades, sino de grandes urbes, donde desde hace dos siglos, se ha venido dando un crecimiento desordenado, caótico, alejado de la garantía de satisfacer las necesidades básicas con equidad, responsabilidad y sostenibilidad.

Por las razones anteriores, se parte del hecho que, si se recupera la esencia del origen de la construcción, sin desconocer los avances en la protección, seguridad y comodidad de las viviendas actuales, pero haciendo un cambio en la forma de seleccionar los materiales de

construcción y las preferencias de la comunidad, se logrará recuperar el camino y se podrán generar viviendas a menores costos y con mejores indicadores de sostenibilidad. Por lo tanto, el supuesto de la presente investigación se enuncia a continuación:

La evaluación del índice integrado de desarrollo sostenible en los municipios productores de materiales de construcción del departamento de Santander permite comprobar si se logran o no aportes en sostenibilidad al utilizar tierra estabilizada, residuos industriales y materiales de origen vegetal, en la construcción de viviendas.

1.7.2. Categorías de análisis

- Viviendas sostenibles
- Tierra estabilizada
- Residuos industriales
- Materiales de origen vegetal
- Municipios productores de materiales de construcción

2. Fundamentación teórica

2.1. Evolución en las formas de construcción de la vivienda

La tierra, es uno de los materiales más antiguos usados en la construcción, su uso se remonta a civilizaciones antiguas de hace más de 10.000 años A.C. en Mesopotamia, y con 5.000 años A.C. en Suramérica (Ocampo, 2007). Las poblaciones indígenas han sido los mayores defensores de la construcción en tierra, como recursos prácticos para la solución de vivienda económica y ambientalmente viable (Graham, 2005).

Las formas más comunes en la que se ha usado la tierra como material de construcción son el adobe, los bloques de suelo cemento - BSC, la tapia pisada y el bahareque, entre otras (Rivera, 2017).

Para establecer en forma adecuada la evolución del uso de recursos naturales en las construcciones de vivienda y las formas humanas de organización social alrededor de un núcleo familiar, es necesario entender el origen de la humanidad y establecer conexiones con los

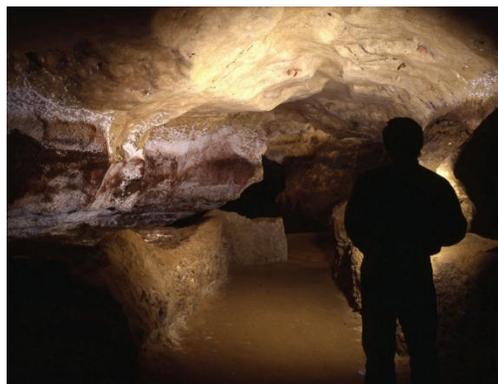
antepasados, comprender los aportes realizados por los “cavernícolas” (Senosiain, 1998), seres sumamente ingeniosos que sabían sacar provecho de todos los climas y medios en que vivían.

Este hombre Neandertal que vivió entre los 100.000 y los 40.000 años A.C., podía entender que, en las formaciones naturales como las cavernas, encontraba un lugar para su morada, protección del medio externo, almacenamiento de alimentos y un espacio adecuado para conservar el calor alrededor de una fogata y la camaradería entre sus semejantes, especialmente, en las épocas de refugio invernal (Senosiain, 1998).

Con la aparición del hombre Cro-Magnon en el periodo Paleolítico superior, 40.000 años A.C., se inicia la etapa en la cual el hombre prehistórico buscó además de protegerse de animales y de la incertidumbre del tiempo como la había hecho su antecesor, convertir las cuevas en, una enorme ciudad abierta que como lo describe Senosiain (1998) eran arquitectos que proyectaron sus enredados valles a manera de anchos boulevares que corren, entre riscos y cavernas, comunicando a sus habitantes, convirtiéndose esta apuesta de organización urbana en un origen de los asentamientos urbanos.

Testimonios de las formas de viviendas de estas épocas se pueden evidenciar en la actualidad en escenarios como las ruinas de Les Eyzles, Francia; las cuevas de Lascaux, Francia, la cueva de Altamira en Santillana del Mar, Cantabria, España, entre muchos otros ejemplos, del ingenio, la creatividad, el arte, las formas de asociación, el respeto al medio ambiente y el uso adecuado de los recursos disponibles en entorno cercano a la construcción. En la figura 1 se visualiza la fotografía tomada del Museo Nacional de Arqueología de la cueva de Lascaux.

Figura 1. *Cueva Lascaux*



Nota. El mayor museo del arte prehistórico. Tomado de *Museo Nacional de Arqueología*. Francia, s.f.

Una evolución significativa en la forma de morada para estos ancestrales hombres, estuvo cuando pasó de vivir en escenarios como las cavernas o los resguardos naturales entre

los que se encontraban las salientes de rocas y copas de los árboles, que, a pesar de ser aptos en su momento, aún lo dejaban expuesto a los animales, al frío, la lluvia, la nieve y los vientos, a vivir en chozas primitivas, diseñadas y construidas por él. Con esto empezaba la era de la vida sedentaria y el desarrollo de la agricultura (Senosiain, 1998).

Su primer intento constructivo de vivienda, estuvo relacionado con una estructura básica denominada “Fondo de cabaña” que como la describe Marín (2000) consistía en una excavación circular cubierta con una bóveda de ramas y pieles colocada perimetralmente, esta vivienda evolucionó para convertirse en una “Choza”, también descrita por el arquitecto Marín como una estructura circular abovedada de ramas y de pieles, con una base que se amaciza perimetralmente con huesos de mamut y con pisos compuestos de piedras para protegerse de la humedad, para el final de este periodo Paleolítico Superior llegó el desarrollo de la vivienda musteriense, construida como un almacén de madera cubierto de pieles, con la particularidad que se aprovechaba el barro para dar mayor solidez a los muros levantados como protección del hogar, construcción que se replicaba con más viviendas anexas; según Graham (2005), a este tipo de refugio se le conocía como “jacal”, y se convirtió en el primer aporte significativo del uso de la tierra como aislante del agua.

La invención de utensilios de piedra y hueso, en el periodo Mesolítico (8.000 - 4.500 años A.C.); motivó el uso de materiales constructivos como los troncos, las ramas, las zarzas⁴, la paja y la tierra, componentes que permiten la evolución de las disposiciones circulares de las viviendas, a concepciones cuadrangulares, que usaban el barro secado al sol, aumentaban el número de habitaciones e integraban sistemas constructivos más ingeniosos como los muros de las casas con paredes de barro sin cocer o de adobe, los pisos que se elaboran en argamasa⁵ y la techumbre de madera cubierta con ramas o con paja. Se anexaron nuevos componentes entre los que se encontraban corrales, graneros, habitación con fogón, depósito de granos y otros servicios de acuerdo con las necesidades y el medio. En este periodo se da el surgimiento de la industria y la cerámica empieza a ser utilizada (Marín, 2000).

En el periodo Neolítico (4500-1800 años A.C.), se fortalece la vida sedentaria, teniendo en cuenta los grandes avances en agricultura y ganadería, el hombre se agrupa en familias,

⁴ Zarza: Arbusto espinoso, resistente y difícil de someter.

⁵ Mezcla de diversos materiales, como, arena y agua.

afianza conceptos sociales, religiosos, administrativos, artísticos, económicos e industriales y construye poblados a orillas de lagos o ríos, protegidos por fortificaciones perimetrales. Las viviendas eran casas con cimientos de piedras pequeñas, pisos con piedras aglutinantes, paredes de caña de río y barro o de ladrillos de adobe, techos de madera y caña levemente inclinados, recubiertos con un lecho de barro (Marín, 2000).

En el periodo eneolítico (1.800 años A.C.-1400 años A.C.); la piedra se convierte en un material constructivo de gran relevancia, que se sumó a los conocimientos previamente establecidos en los periodos anteriores, el desarrollo de los Broch que eran “viviendas fortificadas en forma de torre circular, de diámetro variable entre 14 y 20 metros. Tenían un patio central con muros bastantes gruesos, entre 3 y 4 metros, construidos en piedras y oquedades⁶ con diversas funciones (celdas, alcobas, almacén y escaleras que conducen a la terraza)” (Senosiain, 1998).

Así mismo se desarrollan viviendas tipo “palafito” que fueron un tipo de cabañas construidas sobre una plataforma de madera rectangular que descansaba sobre pilotes de madera y estaban clavados en los fondos de los lagos, estuarios, o pantanos. Para la construcción de los palafitos los pilotes se endurecían previamente con fuego. Su función era sostener una plataforma acoplada con troncos dispuestos paralelamente y atados con mimbre y fibras, sobre dicha plataforma, se levantaba en el centro una vivienda de madera, rodeada por un pasillo perimetral (Marín, 2000).

En la edad de los metales (1.400 años A.C.- Siglo I A.C.); los poblados y las casas fueron muy similares a los del periodo Neolítico y Eneolítico, salvo por pequeñas innovaciones, las viviendas generalmente se construían con barro, madera y, en ocasiones, piedra. Se construían casas de placa rectangular, unas junto a otras para aprovechar los muros laterales. Algunos muros se levantaban con una montura de madera que se llenaba de piedras y tierra comprimida (Senosiain, 1998).

Entre las innovaciones de este periodo se encuentran las edificaciones tipo “Nuraga” que son construcciones con la apariencia de un torreón, en forma de torres cónicas truncadas, erigidas con piedras escuadradas, apenas trabajadas sin mortero, constaban de dos o más pisos, contenían en su interior una cámara con alcobas, celdas o graneros en los gruesos muros, unas escaleras conducían a otras áreas superiores intercomunicadas por galerías. Los techos solían

⁶ Espacio hueco en el interior de un cuerpo sólido.

resolverse con sistemas de bóveda falsa. También, los Tayalot, contruidos con un aparejo de bloques de piedra, tenían en su interior una cámara cubierta con falsa bóveda y normalmente contaban con una estancia provista de alcobas. En algunos casos el techo estaba conformado por losas planas colocadas horizontalmente y apoyadas en un pilar central (Marín, 2000).

Ejemplos de este tipo de construcciones se pueden encontrar a lo largo de la historia como en la antigua colonia de monjes y religiosas de Capadocia, en las montañas de Turquía, los rascasuelos de Derinkuyo y Raymakli, en las provincias del Norte de China de Shensi, Shansi, Kansu y Honann, la escase de tierra para la agricultura y la vivienda, promueve sembrar en el exterior y vivir en el interior de la tierra (Senosiain, 1998).

2.2. Primeros pobladores urbanos en América

La mayoría de historiadores y arqueólogos coinciden en afirmar que los primeros hombres que poblaron a América fueron “grupos asiáticos que, procedentes de Siberia, migraron por el Estrecho de Bering y se dispersaron por el continente” (Uribe, 1994), su adaptación al medio ambiente americano, tomó miles de años, periodo en el cual lograron modificar sus herramientas, sus modos de sobrevivir y se empezaron a diferenciar ciertas culturas locales. Descubrimientos arqueológicos hechos en Perú, suponen presencia desde hace 20.000 años, de estos primeros habitantes, sin embargo, reconociendo usos y tecnologías en diferentes países (Cueva de Guitarreros-Perú, Tagua Tagua en Chile, Cueva Fell en el Estrecho de Magallanes, zona de Lagoa Santa en Brasil) se pudo establecer que, en los últimos 14.000 años, la mayoría de los grupos humanos se hallaban relativamente bien adaptados a los medio-ambientes suramericanos (Ocampo, 2007).

En Colombia, yacimientos arqueológicos encontrados cerca del Salto del Tequendama, de la sabana de Bogotá, supone la presencia de seres humanos desde hace 11.000 años. Durante las últimas décadas han adquirido una connotación especial los descubrimientos que establecen, que la agricultura intensiva, así como la vida aldeana, como lo afirma Ocampo (2007), así mismo menciona que se desarrollaron primeramente en las selvas amazónicas y que estos modos de vida se difundieron hace unos 4.000 A.C. hacia tierras bajas de la Costa Atlántica de Colombia y la Costa Pacífica del Ecuador, recientes excavaciones en la hoya del río Guayas, Ecuador, demuestran que antes del 3.000 A.C. existían aldeas hasta con dos mil habitantes. Así mismo en varios lugares de la Costa Atlántica Colombiana, se han encontrado indicios de la horticultura, de vida sedentaria y de tecnologías avanzadas (Rivera, 2016).

Para el arqueólogo Sylvanus Morley, la historia de los antiguos Mayas inició con la época denominada preclásica, se extendió desde aproximadamente 1.500 A.C. hasta 300 D.C. y se ubicaron especialmente en algunos estados actuales de México, Honduras Guatemala y Salvador. Los aztecas por su parte ubicados en la zona central del actual México, desarrollaron una gran actividad cultural desde unos 2.000 años A.C. y los Incas, según Favale (2005) comienza a desarrollarse las primeras culturas en la zona de la costa norte del actual Perú, a partir del año 1.200 A.C.

Por lo anterior, los desarrollos que se dieron en Suramérica 3.000 años A.C., fueron más antiguos que los generados en Mesoamérica y Perú, por lo tanto se cree que fueron los territorios Colombianos y los de Ecuador los que crearon los impulsos que constituyeron las bases de las grandes civilizaciones americanas posteriores y evolucionaron de ser meras formas adaptativas locales a una dinámica cultural y tecnológica cuyos procesos influyeron de un modo decisivo sobre el curso de la evolución de las sociedades indígenas en una extensa zona de América (Favale, 2005).

Según afirma Deruyttere (2003)⁷:

Los pueblos indígenas de América Latina son los herederos y los guardianes de un rico patrimonio cultural y natural, a pesar de haber sufrido desde la época de la colonia y hasta hoy el despojo de sus tierras y territorios ancestrales y la negación de su identidad étnica, lingüística y cultural. En la medida que los procesos de integración y globalización mundial presentan desafíos cada vez más grandes para los pueblos indígenas, se está reconociendo cada vez más que este patrimonio natural, cultural, social y moral presenta no sólo la clave para recuperar y mejorar los estándares de vida de los pueblos indígenas sino también como una oportunidad para enriquecer, mediante procesos interculturales, la articulación de las sociedades y economías locales con la sociedad cada vez más democrática y con la economía cada vez más globalizada en América Latina y en el mundo.

⁷ Deruyttere, Anne: Jefa de la Unidad de Pueblos Indígenas y Desarrollo Comunitario del Departamento de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo en su texto Pueblos indígenas, recursos naturales y desarrollo con identidad: riesgos y oportunidades en tiempos de globalización.

2.3. Uso del cemento en construcciones

La producción mundial de cemento ha crecido de 594 Megatoneladas (Mt) en 1.970 a 3.700 Mt en 2013 , teniendo en la actualidad como principal demandante China con más del 58%, seguido por India y Estados Unidos, países que dominan el 80% de la producción y el consumo mundial de cemento. Pero lo que preocupa, son los altos crecimientos de estos mismos países en el consumo anual de cemento, por ejemplo china pasó de 719 Mt en el año 2001 a 2.511 Mt en el año 2015, e india pasó de 90 Mt en el año 2001 a 312 Mt en el año 2015, por lo que el panorama de los dos países más poblados del mundo es alentador para las cementeras y su industria, refleja mejores oportunidades de vivienda e infraestructura de sus habitantes, pero es desalentador para el medio ambiente, por la cantidad de emisiones causadas por cada bulto de cemento producido (Taylor et. al., 2016).

Ante la responsabilidad que se la ha atribuido a la producción de cemento en la emisión de CO₂ y sus implicaciones en el calentamiento global, han surgido gran cantidad de alternativas que desde el punto de vista ecológico se pueden considerar válidas, por ejemplo el uso de fuentes alternativas en la producción del combustible usado en las plantas productoras, las políticas de reciclaje del concreto de edificaciones antiguas como un porcentaje del material pétreo utilizado en nuevas construcciones o iniciativas mundiales como la Cement Sustainable Initiative - CSI, que busca reducir las emisiones de CO₂ a través de un compromiso de las cementeras del mundo en mejorar su eficiencia energética en las plantas de producción, el uso alternativo de combustibles, la utilización de componentes minerales que puedan reemplazar el carbón y el coque en el proceso de clinckerización y la implementación de mecanismos de captura y almacenamiento de carbono (International Cement Review, 2013).

Sin embargo, se estima que por más iniciativas viables y realizables, solo se alcanzará a reducir en un módico 20% de las emisiones anteriormente mencionadas. Esta cifra puede ser alentadora, pero el desarrollo de los países en cuanto a infraestructura, vivienda y obras civiles, no se detiene, al contrario, se aumenta y a un ritmo muy acelerado. Por lo que se prevé que la contaminación causada por la producción de cemento también siga en aumento (Francisca, 2010).

Los mismos organismos mundiales reconocen estar en un dilema frente al tema de emisiones de gases efecto invernadero de la industria cementera, por un lado el acceso a materiales de construcción como el cemento es importante para un desarrollo de la

infraestructura destinado a reducir la pobreza, promover la equidad social y aumentar la competitividad, pero por otra parte, el financiamiento de fábricas de cemento ineficientes puede socavar la consecución de los objetivos de respaldar acciones de mitigación del cambio climático y proteger el medio ambiente albergados por los bancos multilaterales de desarrollo (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2010).

Por lo tanto, aunque no sea la solución definitiva y absoluta, los esfuerzos conjuntos entre entidades multilaterales y empresas productoras, surgidos en las últimas dos décadas, aporta significativamente al menos a la creencia que se tiene que reduciendo las emisiones de CO₂ se resuelve el problema del calentamiento global. El Banco Mundial en el documento “Marco Estratégico sobre Desarrollo y Cambio Climático” adoptado en octubre del año 2008, estableció criterios de referencia que se deben cumplir en la producción de Clinker, como requisito para la financiación de proyectos relacionados, así mismo el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo - BERD hace referencia a las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero en su Política Ambiental de 2008 estableciendo parámetros que incentivan proyectos que desarrollen iniciativas que favorezcan la naturaleza (Banco Mundial, 2008).

El Banco Asiático de Desarrollo - BAsD, así como el BID, promueven proyectos en donde se establezca claramente aportes en la combinación de combustibles para la producción de Clinker, Materias primas alternativas en sustitución a las piedras calizas, Relación entre el Clinker y el cemento y su sustitución sin afectar la calidad y seguridad, uso de equipos de consumo de electricidad eficientes, hornos automatizados, sistemas de gestión ambiental y proyectos de energía sostenibles. Estas políticas mundiales de financiación de proyectos, han surgido de compromisos establecidos en los protocolos internacionales relacionados con los gases efecto invernadero, el calentamiento global y el cambio climático (BAsD and BID, 2012).

2.4. Uso de la tierra en construcciones

El uso de la tierra ha estado presente desde la construcción de los refugios más antiguos, los cuales pasaron de ser temporales a ser estacionales y la tierra empezó a tener un importante uso en su forma de barro o de lodo, los cuales fueron utilizados para cubrir las paredes hechas con ramas o troncos y cuyo objetivo inicial fue aislar las viviendas del agua, el aire y el frío.

Muchas de las características y principios, hoy se están redescubriendo como lo menciona Graham (2005), al intentar replicar los modelos eficientes de la antigüedad, que

además de generar protección contra el clima y los animales, se vuelven muy atractivos por cuanto estas técnicas constructivas, según Rodríguez (2012) ofrecen posibilidades mejor adaptadas ecológicamente a la satisfacción de las necesidades actuales y futuras de la sociedad. Estas adaptaciones, están requiriendo una revalorización y transferencia del conocimiento de los artesanos a los arquitectos e ingenieros, conjugada con los hallazgos de los especialistas que investigan, por un lado, el pasado de la cultura, y por el otro, la tecnología constructiva moderna, para el cumplimiento de toda la actividad normativa relacionada (Rivera, 2016).

Este es el primer reto que se estudia en este proyecto, las diferentes técnicas donde se usa la tierra cruda como material de construcción, reconociendo su importancia, su abundancia, su versatilidad, las inmensas posibilidades que ofrece para la solución del déficit de vivienda de los países en desarrollo, la sencillez de los procesos requeridos en la elaboración de los componentes de las viviendas, los cuales se convierten, no solo en una alternativa para el desarrollo de proyectos de tipo comercial, sino también para el desarrollo de proyectos de tipo social, modelos de autoconstrucción, apropiación de territorios y aportes significativos a los componentes ambientales, económicos y sociales, del desarrollo sostenible.

2.4.1. La tierra

Graham (2005) menciona que la tierra para construir esta siempre debajo de nuestros pies, como materia prima, es muy abundante en el planeta, y se encuentra generalmente cerca de los sitios donde se realizan las obras, según Guillaud et al. (1985) las arcillas y las tateritas propicias para la construcción constituyen el 74% de la corteza terrestre. Por lo tanto, solo es cuestión de identificar sus propiedades físico-mecánicas de acuerdo al elemento que se quiera construir.

Aunque en todo el mundo se ven obras de tierra, con texturas, características y formas diversas, que sirven tanto a poblaciones de niveles económicos bajos como altos, muchos revestimientos establecidos para garantizar la durabilidad de las obras, no permiten observar los elementos que componen las edificaciones y los cuales en gran parte del planeta están realizados en tierra, constituyéndose un recurso que abriga a más de la mitad de la población del mundo quienes habitan en construcciones de tierra (Ramírez, 2015, como se citó en Bedoya, 2011).

La tierra para construir la define Aguilar (2008) como una mezcla de gravas, arenas, sedimentos y arcillas. La arcilla asegura cohesión, las arenas y las gravas proporcionan la resistencia, los sedimentos no proporcionan ninguna característica importante, por lo que se debe prescindir de utilizarlos en grandes proporciones. Las técnicas para la extracción de la tierra suelen ser muy simples, por cuanto en todas las edificaciones se deben realizar excavaciones para su cimentación y/o para realizar la instalación de redes de servicios públicos, gran parte de este material extraído puede ser utilizado en procesos constructivos posteriores, teniendo especial cuidado con no utilizar la capa orgánica superficial, por su alto contenido de raíces y animales menores, ni tampoco la capa más alejada del suelo, debido a su alta densidad, lo que produce una homogeneidad granulométrica y dificultad de compactación (Graham, 2005).

Lo ideal es utilizar la capa intermedia, de las anteriormente mencionadas, en la cual se encuentran pocos depósitos de materia orgánica y en cuya constitución predomina la arcilla, el limo, la arena y la grava, las cuales como se explicó anteriormente, poseen las mejores características para ser utilizadas en la construcción (Aguilar, 2008).

Sin embargo, en la construcción con tierra, no solo se debe considerar este material como parte exclusiva de la vivienda que se esté desarrollando, también es fundamental considerar que existe una fuerte interacción entre los aspectos socioculturales, de eficiencia tecnológica (en que se evalúa la arquitectura, costos y manutención) del diseño arquitectónico y del impacto ambiental que definen, con prioridad, la tipología del edificio, la técnica constructiva y el tipo de intervención (Rosales et al., 2016).

Los documentos estudiados de Aguilar (2008), Senosiain (1998) y Graham (2005), permiten tener una clara idea de la evolución de las técnicas constructivas que se han realizado a lo largo de los años, relacionadas con la construcción de viviendas en diferentes lugares del mundo, de igual forma se identifican los materiales provenientes de fuentes naturales y sus respectivas transformaciones realizadas por el hombre. Su evolución, nos permite inferir cuales han sido las preferencias y los patrones de comportamientos presentes en la humanidad y las consecuencias presentes y futuras para el planeta.

2.4.2. Técnicas de construcción con tierra

La tierra como material de construcción es utilizada, básicamente de dos modos, embebida en agua, constituyendo una masa plástica o barro; o una mezcla húmeda, compactada

o prensada, denominada tierra comprimida. De estas dos formas de presentación de la tierra surgen las técnicas constructivas que se han desarrollado en el planeta a lo largo de la historia del ser humano (Viñuales, 2013).

2.4.2.1. Tierra Excavada. Es una técnica que tiene más de doce mil años, y permite al hombre empezar a pensar en adaptar lugares para que sean sus viviendas y no en adaptarse a los lugares como la había hecho hasta el momento. Esta evolución significativa en el desarrollo constructivo, la logra gracias a la biomimesis que le permite imitar formas naturales, especialmente aquellas que veía de los animales, los cuales edificaban con tierra, piedra, fibras y vegetales, como las hormigas, los topos, los conejos, entre otros (Moreno et al., 2012).

Los primeros desarrollos de esta técnica, están correlacionados con la denominada, arquitectura troglodita, en donde el hombre, apoyado en la agricultura y en la domesticación de los animales, emergió de las cavernas, para construir sus casas bajo tierra el hombre crea, transforma y altera el medio físico, para procurarse bienestar (Senosiain, 1998, p. 88).

Este bienestar no solo estaba relacionado con su forma de organización social, sino también, con el inicio de las condiciones que le generaban confort y comodidad, entre ellas, el factor clima, descubriendo que en las viviendas enterradas, encontraba que la temperatura se mantenía relativamente constante, concepto ampliamente utilizado por los animales, como las termitas y hormigas es sus respectivos hábitat, (Senosiain Aguilar, 1998) hoy el concepto de construcción sostenible, nos enseña, que este efecto de climatización, se debe a la masa térmica que forma la edificación, y otro factor muy importante para el hombre en ese momento, estaba asociado con la seguridad que generada este tipo de refugio

La técnica propiamente dicha, la describe Senosiain (1998) al explicar que el hombre sedentario excavaba su propia morada o al hallar una hendidura en el terreno, aprovechaba la cubierta natural de un árbol caído y con ingenio echaba la tierra en el borde de algunos orificios y moldeaba su vivienda. La casa crecía a partir de la forma en que se insertaba el material. Esta técnica, se desarrollada en forma preliminar a la excavación de una o más habitaciones dentro de una colina o debajo del suelo aprovechando el propio suelo consolidado del sitio elegido (p. 93).

Por sus bondades climáticas, estructurales, ecológicas, de optimización de los suelos y de seguridad, esta técnica constructiva se establece como una excelente propuesta para el presente y el futuro de la vivienda sostenible en el mundo (Piedecausa, 2011).

2.4.2.2. Tierra de recubrimiento. En esta técnica la tierra cubre una estructura construida con otro material (Minke, 2005).

2.4.2.3. Tierra de relleno. Está técnica consiste en llenar de tierra un encofrado perdido, es decir materiales huecos que sirven como envoltura, entre los que se encuentran los sacos de yute, neumáticos, botellas pets, superadobe, etc. (Ciudad, 2011).

2.4.2.4. Tierra recortada. Esta técnica consiste en construir bloques de tierra que son cortados directamente de la masa terrestre, se conocen como “Terrones” (Gatti, 2012).

2.4.2.5. Tierra comprimida. Esta técnica consiste en que los elementos son realizados con una tierra comprimida en moldes o testero, las más comunes son los tapias y los bloques de tierra compactada, que se presentan en detalle a continuación:

2.4.2.5.1. El tapial. Se conoce también como Tapia Pisada o Tierra apisonada, pise de terra o terre pise en francés, Rammed Earth en inglés y stampleflehmba en alemán. Según (Minke, 2005) menciona que descubrimientos encontrados alrededor del mundo, demuestra que esta técnica ha sido utilizada desde el año 5.000 A.C., quien describe la técnica de la tapia pisada como el relleno de un encofrado a través de capas de tierra que se encuentran entre los 10 a 15 cm, las cuales son compactadas por medio del uso de un pisón o también se pueden usar compactadores eléctricos o neumáticos, el encofrado está compuesto por dos tablonces paralelos separados, unidos por un travesaño, la tierra se pisa y de esta manera toma consistencia, que le permite establecer una masa homogénea. En esta técnica reviste especial importancia la selección de la materia prima, para que perdurará a lo largo de los años, ya que debe ser una tierra que esté libre de materia orgánica, residuos vegetales y animales, para evitar que se produzca un deterioro temprano o se motive la presencia de bacterias. Según Yuste (2016) la tapia se encuentra en diferentes tipos como:

- **Tapia de tierra:** Compuesta únicamente de tierra. La tierra se dota de un grado de humedad específica el cual es fundamental para conseguir una buena compactación. Es posible que se le agregue paja cortada, como una medida para reducir la retracción y como elemento de protección frente a la acción del agua, también se le puede adicionar cal y arena para mejorar su estabilidad (Yuste, 2016).

- **Tapia de tierra costrada o calicostrada:** Consiste en colocar sobre las tapieras del encofrado, capas de mortero de cal, con un espesor variable, depende sobre todo de las condiciones económicas y del momento de realizar la tapia (Yuste, 2016).

- **Tapias mixtas:** La tierra se combina con otros materiales, regularmente se usan ladrillos o piedras, para mejorar las capacidades mecánicas y la durabilidad en el tiempo, también protegerla de los efectos el agua de lluvia y otros agentes externos (Yuste, 2016).

- **Tapia Valenciana:** Según Galarza (1996) se hacen con tierra, medios o ladrillos completos y cal, después de haber apisonado las tierras de cada tongada, se colocan los ladrillos a soga y tizón con su cara pegada a las puertas con la suficiente separación entre ellos como para que, al verter la pasta de cal y la siguiente tongada de tierra, quedasen totalmente embebidos en la misma. Esta mezcla permite conseguir buena cohesión entre los materiales, lo que garantiza resistencia, durabilidad y un acabado superficial permanente y decorativo.

- **Tapia de brencas:** Tapias realizadas con tierra y yeso, donde las tapias van unidas vertical y horizontalmente por una capa de mortero de yeso (Yuste, 2016).

- **Tapia con verdugadas de ladrillo o machones:** Para reforzar las tapias, en las esquinas o los brancales, se forma dentro del encofrado un refuerzo de ladrillo, simular a un machón sobre el cual se extiende la tierra apisonada (Camino et al., 2010).

En la figura 2 se puede visualizar una construcción de una casa típica realizada con tapia pisada en el municipio de Barichara Sntander Colombia, esta foto fue tomada por el autor del proyecto.

Figura 2. Construcción casa típica en tapia pisada, Barichara Santander, Colombia



Nota. Elaboración propia. 2019.

2.4.2.5.2. Bloque de tierra compactada. También se conoce como BTC, Es una evolución de las técnicas tradicionales para hacer adobes o ladrillos de tierra cruda, cuya particularidad consiste en que la tierra es compactada en el moldeo mediante compresión o un prensado mecánico, las prensas que ejercen esta acción pueden ser operadas manualmente o con ayuda de un motor, posterior al proceso de prensado, viene un desmolde inmediato (Arteaga et al., 2011).

En la figura 3 se presenta la subestación eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, sede Socorro campus Bicentenario, realizada en bloque de tierra compactada tomada por el autor del proyecto.

Figura 3. Subestación eléctrica en BTC Universidad Industrial de Santander Sede Socorro



Nota. Elaboración propia. 2019.

Como lo mencionan Viñuales et al. (2003) las propiedades físicas y mecánicas, así como la resistencia a la compresión, a la abrasiva del viento, la impermeabilidad y la durabilidad del BTC, se puede realizar a través de una estabilización granulométrica que consiste en una mezcla de proporciones de diferentes tierra o por medio de una estabilización química en la que se agrega un aditivo químico a la tierra, este aglomerante puede ser cemento, pero con mejores alternativas de sostenibilidad, se puede utilizar la cal.

2.4.2.5.3. Bloques de Suelo Cemento (BSC). Son productos de forma generalmente paralelepípedo estabilizados con cemento para conseguir o desarrollar las características particulares del producto, el suelo utilizado en una mezcla de tierra al 90% de cualquier tipo con una proporción adecuada entre 5% - 10% de arcilla, 10% - 20 % de limo y 60% - 80% de arena, la cual se mezcla con cemento Portland al 10% (*Berlingieri, 2017*).

Tiene la ventaja que se puede utilizar con confianza la tierra extraída de excavaciones, la cual se mezcla y se compacta con el uso de una máquina para realizar los bloques de tierra comprimida, esta máquina se ha denominado CINVA-RAM y fue desarrollada por el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento de Colombia y diseñada por el Ingeniero Mecánico Chileno Raúl Ramírez en 1952 (Mayor Mora, 2005).

Aunque el BSC, es un producto que tiene una gran participación en su conformación de tierra, el uso de cemento como estabilizante, no lo hace tan amigable con el medio ambiente, como el adobe (Universidad Católica de Colombia, 2018).

2.4.2.5.4. Bloque de tierra con Geopolímeros (BTG). Investigaciones recientes, como la realizada por Bedoya (2013) en donde se estudia un Bloque de Suelo Geopolimerizado (BSG), en el cual se reemplaza la estabilización con cemento que se usaba en el BSC, por una estabilización con geo-polímeros, cuyas materias primas provienen de la naturaleza, son económicas y asequibles y generan una reacción química conocida como geopolimerización, que permite conseguir materiales de alta dureza, gran resistencia mecánica y alta durabilidad.

El proceso para la elaboración del BSG, es el mismo del BSC, solo que se reemplaza el cemento por una mezcla geopolimérica que actúa como cementante, su endurecimiento se

alcanza a las pocas horas, a temperaturas entre 50°C y 80°C. Al no utilizar cemento, el BSG, se hace un producto, más amigable con el medio ambiente, reduciendo significativamente los impactos derivados de la producción del cemento, minimizando los costos y mejorando las características mecánicas y estéticas del mismo.

Este Geopolímero proviene del término que empleó Joseph Davidovits en la década de 1980 para designar a polímeros sintéticos inorgánicos de aluminosilicatos procedentes de la reacción química conocida como geopolimerización, la cual es una reacción química que se produce entre un aluminosilicato y una solución alcalina activadora en condiciones ambientales normales. El contacto entre ellos da como resultado la formación de cadenas poliméricas (macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeras) al reorientarse los iones en solución; cadenas que mejoran las propiedades mecánicas del material, la resistencia química y térmica. A nivel de laboratorio es común emplear metacaolín producto de la activación térmica de caolinita (Bedoya et al., 2012).

El geopolímero procedente de dicha reacción, tiene un elevado potencial para ser usado en numerosos campos, pero predomina su uso como sustituto del cemento, dado que presenta bajas emisiones de CO₂ en su producción, y como compuesto final, tiene una gran resistencia química y térmica, además de buenas propiedades mecánicas, tanto a temperatura ambiente como a temperaturas extremas (Bedoya et al., 2012), quien también menciona que al producir geo-polímero se evita toda la emisión de gases de combustión emitido por la descomposición térmica de los carbonatos, ya que la única fuente de CO₂ es el 0.03% contenido en la materia orgánica del material

2.4.2.6. Tierra modelada. Esta técnica consiste utilizar la tierra en estado plástico, moldearla directamente en la zona donde se quiere construir, ya sea el muro o las texturas deseadas, de la misma forma que los artesanos desarrollan sus piezas, es decir como una cerámica moldeada. Tiene la gran ventaja de adaptarse fácilmente a las propuestas de los arquitectos o diseñadores, como lo afirman Zabalza y Aranda (2011) sus principales ventajas son el gran registro de formas arquitectónicas, la necesidad de una reducida mano de obra especializada, la economía de la construcción, el empleo de herramientas elementales y un buen acabado.

2.4.2.7. Tierra Apilada o Amontonada. Esta técnica consiste en ir amontonando bolas de tierra, hechas con las manos las cuales se colocan unas sobre otras, de forma ordenada para levantar muros, las bolas amasadas corresponden a una mezcla de arcilla, arena y fibra vegetal que se amasa hasta llegar a obtener una mezcla homogénea. A este apilado de bolas de tierra, se le conoce como la técnica del COB (Guerrero, 2016).

2.4.2.8. Tierra Moldeada o Modulada. La tierra es moldeada con moldes de diversas formas que pueden ser de diversos materiales como madera, hierro o plástico (Hernández, 2016).

2.4.2.9. El adobe. El uso del adobe se remonta a la elaboración de amasijos de barro burdamente modelados y secados al aire y el sol, a lo largo de la historia, su forma ha variado, encontrándose cónicos, cóncavos, dentiformes y piramidales, pero los más comunes utilizados, son los paralelepípedos con dimensiones de 40 cm x 30 cm x 10 cm, que son muy similares a los ladrillos cocidos (Rodríguez, 2012). Según estudios referenciados por Minke (2005) se deben haber utilizados adobes desde el año 8.000 A.C., en algunas construcciones presentes hoy en día que tienen una antigüedad mayor a los 3.200 años, aún se mantienen en perfectas condiciones estructurales. Son ejemplos de ellas La fortaleza de Medinez Habú, las bóvedas templo mortuorio de Ramses II en Goruna, el centro histórico de Shibam, Yemen y el Fuerte de Heuneburg, en Alemania, entre muchas otras, conocidas.

Los adobes son mezclas de tierra cruda cuya mezcla es vertida sobre un molde, está compuesta de gravas, arenas, sedimentos y arcillas (Aguilar, 2008). La arcilla le proporciona la cohesión necesaria entre las partículas y ancestralmente se le incluye fibras vegetales o excrementos de especies mayores, para aumentar la resistencia por la creencia que de esta forma se distribuyen mejor los esfuerzos en varias direcciones. Después del moldeado los ladrillos deben quedar extendidos sobre el piso y posteriormente ponerse al sol para su proceso de secado natural (Graham, 2005).

2.4.2.10. Tierra extruida. La tierra es extruida por medio de una potente máquina. La extrusión significa expulsar, es un procedimiento industrial que permite obtener barras y perfiles de diferentes formas generalmente complejas (Gatti, 2012). Se trata de obtener una masa continua que corra por un canal y al final se corte utilizando una forma mecánica o una automática, de esta manera se obtiene el producto deseado, asimismo en este tipo de metodologías y tecnologías, se logra el máximo rendimiento y optimización, tanto en costos, material y medio ambiente teniendo en cuenta que para fabricar ladrillos extruidos se requieren las mismas instalaciones de producción de una fábrica tradicional con excepción del horno y de los cuartos de secado artificial esto puede significar un ahorro energético entre el 75% y 95% (De la peña, 1997).

Con el anterior procedimiento se garantiza que el ladrillo tenga un terminado final caracterizado por condiciones de estética, resistencia y durabilidad.

2.4.2.11. Tierra vertida. Es un término reciente, para definir un suelo en forma de lodo líquido que se vierte en moldes en forma similar al proceso del concreto convencional. Según Guillaud et al. (1985) la tierra vertida es una mezcla dosificada de gravilla, arenas y limos, aglomerados por una arcilla, que también se conoce como “hormigón de tierra” y/o “hormigón verde”, teniendo en cuenta que, al adicionarle un estabilizante mineral, como la cal, mejora significativamente la resistencia a la compresión.

2.4.2.12. Tierra con paja. Consiste en una mezcla entre paja y tierra con forma de fardos, que permite la transpiración y son un gran aislante al mismo tiempo. La paja, tiene la ventaja que al igual que la tierra (MacDonald, 1999), la paja es un producto que crece en un periodo corto de tiempo, es biodegradable y con su uso, se puede ayudar a aliviar múltiples problemas del medio ambiente.

2.4.2.13. Tierra para revestimientos. Son morteros de barro que pueden ser utilizados para proteger, rellenar, dar un acabado estético e impermeabilizar a las construcciones. Este tratamiento superficial se consigue frotando la superficie del muro con un mortero conformado por tierra y arena, cuando solo es por cuestiones estéticas; o por un mortero conformado entre tierra y paja, el cual debe ser estabilizado (cal o cemento o asfalto o resinas) cuando es para realizar revoques. Tiene como principal característica que en los dos casos anteriores genera una impermeabilización frente a los agentes atmosféricos (Yuste, 2016), en especial frente a la acción del agua.

2.4.3. Técnicas mixtas

El uso de madera, ramas, cañas de bambú, o cualquier elemento que pueda formar retículas trenzadas, donde se puedan rellenar sus espacios con barro plástico, es una técnica utilizada desde hace miles de años, siendo una de las técnicas más antiguas inclusive que la de la tapia y los bloques de tierra, y que aun continua vigente y revitalizada por medio del uso de técnicas modernas de relleno con equipos mecánicos (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo [CYTED], 2003), a continuación se presenta una explicación de cada una (Gatti, 2012):

2.4.3.1. Bahareque: También conocida como “Bajareque”, “Quincha”, “Enjarre”, “Embarrado”, “Bareque”, esta técnica consiste en rellenar por ambos lados retículas cuyos elementos verticales usualmente están compuestos por troncos de árboles y los horizontales de caña de bambú, caña brava, carrizo o ramas, los cuales van empotrados en la cimentación, la retícula se rellena de tierra mezclada con fibras (Sánchez, 2007), es una técnica muy sencilla y de bajo costo, gran utilidad y versatilidad teniendo en cuenta que los muros que se forman son regularmente delgados comparados con los formados por las tapias o adobes.

2.4.3.2. Barro proyectado. Para minimizar el uso de la mano de obra en la técnica de bareque, se han desarrollado técnicas que permiten mezclar el barro con aserrín seco y lanzarlo con el uso de una bomba común, sobre paneles de fibra de madera utilizados como encofrados perdidos, en capas de 4 a 6 cm. Posteriormente se puede utilizar esta misma bomba para lanzar el revoque (Minke, 2005), añadiendo a la mezcla cal y yeso, para reducir el tiempo de curado y mejorar el acabado final.

2.5. Uso de residuos industriales en construcciones

Según la Real Academia de la Lengua Española, desecho, se considera a aquello que queda después de haber escogido lo mejor y más útil de algo o también puede considerarse a una cosa que, por usada o por cualquier razón, no sirve a la persona para quien se hizo, en esto radica la importancia de determinar, que elemento, insumo o componente que ha servido para un uso específico, puede posteriormente utilizarse en la industria de la construcción. Un residuo industrial, es cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial o por la realización de un servicio (Presidencia de la República de Colombia, decreto 1713, 2002).

Las siguientes investigaciones, incluyen el uso de residuos, como una alternativa para desarrollar procesos constructivos, en España, la Universidad Autónoma de Nuevo León, adelanta el desarrollo de nuevos materiales alternativos con idóneas propiedades cementantes, utilizando desechos inorgánicos, mediante un proceso alternativo de activación, como es la molienda mecano-química alcalina, para la reutilización y revalorización de residuos que pudieran resultar contaminantes como el vidrio sódico-cálcico y la ceniza volante (Guevara, 2013).

En México, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, han avanzado en desarrollar y caracterizar los componentes para tener cementos reforzados con fibras de vidrio y espuma inorgánica (Unidad Querétaro, 1989).

En Colombia, la Universidad Pedagógica Tecnológica, en Tunja está realizando investigaciones para formular una alternativa de aprovechamiento de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Paipa como material de construcción (Araujo et al., 2018). La Universidad Industrial de Santander, también ha avanzado en investigaciones para construir elementos prefabricados no estructurales, usando mezclas de concreto modificadas con escoria de alto horno de cubilote (Cruz et al., 2014).

Los logros que ha obtenido el hombre en el desarrollo de la denominada revolución industrial, han desbordado la capacidad del planeta para tratar de una forma eficiente los residuos generados de cada uno de los procesos requeridos para la producción de los bienes de consumo, que nutren las expectativas de los seres humanos en cada uno de los sectores productivos. Según World Bank Group (2018) los desechos generados en el planeta alcanzaron

los 2.010 millones de toneladas y según el mismo informe, para el año 2050 esta cifra llegará a las 3.400 millones de toneladas, lo que equivale a un aumento del 70% y a una producción de 1,3 kg diarios per cápita.

En promedio el planeta solo tiene el 13% en implementación de sistemas adecuados de gestión de desechos como estrategia clave para una economía circular, en la que productos pueden ser optimizados de modo que sean reutilizados y reciclados, y este es precisamente uno de los escenarios que, se pueden convertir en aportes significativos del conocimiento humano a la preservación del planeta, al uso adecuado de los recursos y a la preservación de los mismos para las generaciones futuras (CONAMA, 2018).

Una forma sencilla y efectiva, es emular la naturaleza como lo propone, la Dra Janine Benyus, quien asegura que con biomimesis, se puede aprender de los sistemas naturales, y aplicar estos conceptos a la construcción, es especial porque los animales funcionan a partir de la luz solar, usan solamente la energía imprescindible, adecúan formas y funciones, lo reciclan todo, recompensan la cooperación, acumulan diversidad, contrarrestan los excesos desde el interior, utilizan la fuerza de los límites, aprenden de su contexto y cuidan las generaciones futuras (Moreno et al., 2012).

Lo que armoniza con los propósitos del presente estudio, enfocados siempre para que la comunidad y en especial los constructores, entiendan las múltiples posibilidades que existen desde diferentes campos para contribuir al rescate del planeta y de las formas de actuación del hombre sobre sí mismo, de tal manera que con el accionar, se puedan resarcir las voraces intervenciones realizadas especialmente en las últimas décadas y proponer fuentes alternativas de solución de los problemas de una forma creativa, innovadora y responsable con el medio ambiente, como lo asegura Pauli (2014):

Si emulamos la manera en que los ecosistemas lo aprovechan todo, conseguiremos sistemas sostenibles que proporcionen empleo y mayores beneficios que las industrias productoras de desechos. Esto significa que el producto resultante, sea un color natural, un material de construcción o una superficie hidrófoba, no solo ha de fabricarse en virtud de su interacción con el entorno, sino que también puede resultar económicamente rentable y hacerse con una cota de mercado apreciable.

De tal manera que buscar, que los residuos industriales sean usados en la construcción de vivienda, se convierte en un aporte significativo a las comunidades desde las perspectiva del Desarrollo Sostenible, por cuanto genera aportes directos al medio ambiente, promueve la equidad en el uso de vivienda digna para todos y establece nuevos criterios de economías circulares, que tienen a mediar en la relación beneficio/costo acercándose a lo planteado por Vasquez (2018) del Banco Mundial cuando manifiesta que “La gestión de los desechos sólidos atañe a todos. Garantizar una gestión eficaz y adecuada de los residuos sólidos es crucial para el logro de los objetivos de Desarrollo Sostenible”.

2.5.1. Reciclaje industrial

Se basa en la utilización de materiales de desecho para la realización de nuevos productos, que, por lo general son diferentes de los productos en los que el material fue utilizado en su anterior vida (Martínez, 2016), se pueden hablar de tres fuentes de materiales reciclados para este fin, materiales recogidos de la fuente de extracción (minas, canteras, bosques, etc.) obtenidos como producto de desecho de la manufactura de materiales primarios, materiales obtenidos en fábricas como productos de desecho de procesos de fabricación y los materiales obtenidos como residuos post-consumo, que son recogidos después de haber sido útiles como otro producto con un uso específico, entre los que podemos encontrar las llantas de un carro, componentes de edificaciones existentes, entre otros, la mayoría de los materiales de construcción, tienen alternativas reciclables. Hormigones, metales, vidrios, ladrillos y plásticos pueden ser producidos con algún material utilizado previamente, lo que supone la reducción de energía y emisiones hasta en un 90% en la mayoría de los casos (Addis, 2006).

2.5.1.1. Escoria. Es el principal desecho de la industria metalúrgica, es un material fundido que se origina durante el refinado del metal, su eliminación genera altos costos económicos, sociales y ambientales. Estudios recientes han empezado a utilizar la escoria de horno cubilote - ECH para reemplazar el agregado fino (arena) y agregados gruesos del concreto, como una alternativa de uso de un desecho que es muy complejo de eliminar (Cruz et al., 2014).

La mezcla de diferentes componentes, especialmente el hierro, le dan a la escoria un valor agregado muy interesante para su reciclaje, según Cruz et al. (2014):

El concreto que se ha obtenido (refiriéndose al conformado con escoria como agregado), tiene muy buena resistencia, a algunas muestras se les ha evaluado su peso específico,

consiguiendo un concreto liviano, y eso tiene ventajas importantes para la construcción, sobre todo en zonas de riesgo sísmico, por lo que se busca bajar el peso de los edificios.

Esta investigación, ha estado analizando también el uso de la escoria en ladrillos, adoquines, baldosas, placas para entrepisos, plafones, elementos para aislamiento térmico o acústico, entre otros elementos no estructurales.

2.5.1.2. Cascotes cerámicos. Es un desecho sólido generado a partir de los resultados del control de calidad durante los procesos de producción de los materiales cerámicos utilizados en la construcción, a través del cual es descartado un cierto porcentaje de piezas rotas o defectuosas, las que, al no ser recicladas, son acumuladas para su ulterior desalojo de la planta industrial (Flores, 2001). La dificultad para desechar los cascotes cerámicos y sus complejos impactos ambientales, ha llevado a repensar su uso dentro de nuevos procesos de construcción, y es así como investigaciones realizadas en el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción de Madrid, España, han encontrado que en la arcilla después de ser sometida a temperaturas superiores a los 900°C, provoca la activación de las arcillas y hace que adquieran propiedades puzolánicas (Sanches y Frías, 2008).

Este comportamiento físico-químico, infiere que se pueda utilizar como sustituto parcial del cemento, en la elaboración de concretos para elementos estructurales y no estructurales, lo cual es reforzado por la composición química del cascote cerámico en donde se encuentra gran contenido de sílice (53,88%), alúmina (16,8%) y óxido de hierro (5,29%) (Flores, 2001).

Los resultados de la investigación mencionada, presenta que al reemplazar entre un 5% y 10% el uso de cemento por cascote cerámico, en morteros elaborados, se presentan características puzolánicas importantes, que aportan una resistencia mecánica aceptable, buenos resultados técnicos, mejoras en la durabilidad y ventajas económicas, ambientales y sociales (Flores, 2001).

2.5.1.3. Diversos materiales. Los residuos industriales, existen en todas las fábricas, y en los últimos años, las campañas de responsabilidad ambiental y social, han generado reflexiones en la reutilización de estos residuos como materia prima para otros procesos, es por esto que, en la industria de la construcción, se están utilizando para diferentes componentes residuos del vidrio, de los plásticos, el papel reciclado, los neumáticos y los lodos de la industria del azufre, entre otros.

2.5.2. Residuos agroindustriales. El uso de residuos procedentes de procesos agroindustriales, también está siendo investigado como sustituto del cemento en la elaboración de elementos prefabricados para la construcción, el cultivo de arroz, es un buen ejemplo de este tipo de reconversiones que convierte un desecho en materia prima de un nuevo producto, contribuyendo de materia importante al componente medioambiental teniendo en cuenta que se evita la disposición en botaderos de estos recursos y reduce en parte la generación de CO₂ y la explotación minera necesaria para la producción del cemento (Llorente y Blasco, 2018).

Según la Federación Colombiana de Arroz, el consumo de arroz en Colombia por año se estima en 2.011 millones de kilogramos, de los cuales la cascarilla de arroz representará, aproximadamente, una quinta parte en peso del fruto recolectado es decir que tiene una producción cercana a los 4×10^5 toneladas por año, siendo considerado por ahora un desecho agroindustrial, su eliminación más frecuente es a través de un proceso de quema controlada que da origen a 1×10^5 toneladas de cenizas por año (Federación Colombiana de Arroz, s.f.).

Para esta agroindustria, esta cantidad de desechos, empieza a representar una oportunidad, por ser la cascarilla de arroz un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice y contener en forma de ceniza hasta un 90% de sílice amorfa, la cual es una alternativa para el sector de la construcción por sus características puzolánicas, que pueden reemplazar al cemento (Almeida et al., 2019).

En investigaciones realizadas en la Universidad del Valle, encabezadas por Rodríguez (s.f.), se han estudiado las características de la cascarilla de arroz, obteniéndose nano-sílice para la aplicación en morteros de cemento con propiedades mecánicas y de permeabilidad óptimas. En esta investigación se demuestra que a temperaturas aproximadas de 800°C, se presenta un contenido del 92,42% de sílice (SiO₂), confirmando las características puzolánicas de las cenizas analizadas y el mejoramiento en la resistencia al ser utilizadas como sustitutos parciales del

cemento en pruebas de morteros, estas experiencias abren caminos muy interesantes para la construcción sostenible y el posible aprovechamiento de desechos agroindustriales, similares como por ejemplo cenizas de hojas de maíz, de bagazo de caña de azúcar, coco, fique y pino, entre otros.

2.6. Uso de materiales de origen vegetal en construcciones

2.6.1. Construcción con fibras naturales

El uso de las fibras naturales en procesos constructivos, se convierten en componentes de bajo impacto ambiental, poca energía primaria incorporada y baja emisión de CO₂. La utilización de las fibras, se remonta a épocas ancestrales, en donde por ejemplo los nómadas anglosajones utilizaban materiales de madera y paja para construir sus cobijos.

Las fibras naturales se clasifican en vegetales, animales (pelo, seda y lana) y minerales amanto (asbesto), fibra de vidrio y fibra de cerámica. Entre las fibras vegetales podemos encontrar las que son leñosas y las no leñosas como el sisal, la caña, el yute, el fique, el kenaf, el cáñamo y el esparto. Las fibras vegetales son estructuras unidimensionales sólidas y flexibles, con una longitud normalmente muy superior a su diámetro. Sus estructuras están compuestas básicamente por Lignina y Celulosa. La lignina impermeabiliza y proporciona dureza o resistencia, mientras que la celulosa es un elemento esencial que aporta resistencia a la tracción y flexibilidad (Cobrerros, s.f.).

Se pueden concentrar alrededor de 50 tipos de especies de plantas conocidas como fuentes de fibras vegetales útiles para la construcción según Cobrerros (s.f.), siendo los usos más conocidos de estas:

- **Elemento de cubierta:** La utilización de pajas, ramas, cañas y hojas de palma, entre otros, es muy común en la realización de cubiertas que aprovechan materia prima local y renovable.
- **Cerramientos:** Utilizados como balas o fardos de paja. Tienen muy baja energía, emisiones de CO₂ casi nulas y un bajo impacto ambiental.
- **Paneles:** Son elementos compuestos de paja de cereales compactada que sirven como muros divisorios, generalmente se encuentran bordeados por marcos de madera, para su consistencia. Su conformación requiere baja energía, emisiones de CO₂ e impacto ambiental. Es

una excelente alternativa para el reemplazo de paneles de madera o de asbesto, presentan buen aislamiento termo-acústico.

- **Refuerzo de cerramientos:** Gran cantidad del material fibroso presente en las plantas del sisal, cáñamo, estopa de coco, bonote, aserrín, paja de cereales, cáscara de arroz y diferentes ramajes, con utilizados como refuerzos para retracción de bloques de tierra, bahareques, tapias, entramados de fibras rellenas de tierra. Estos elementos son de baja energía, bajas emisiones de CO₂ y muy bajo impacto, provienen de material local renovable, reciclable y biodegradable.

- **Cuerdas y entretejidos:** Las fibras del sisal, esparto, cáñamo, yute. Kenaf, paja de cereales, fibra de coco, bonote, juncos, hoja de palma y juncos, aprovechando su excelente resistencia, que son materiales de baja energía y nula emisión de co₂, así como biodegradables y reciclables, son utilizados para realizar tejidos utilizados en la conformación de esteras, cuerdas y mallas.

- **Geotextiles:** El material fibroso del sisal, la paja, el bonote de coco y el yute, son utilizados ya sea en forma tejida, o no tejida, como geotextil para el refuerzo de diques o terrenos.

- **Aislamientos:** El material fibroso de la cáscara de arroz, la paja, el cáñamo, el lino, la celulosa y el algodón, representan materiales muy interesantes para aislamientos por medio de conformaciones de mantas.

2.6.2. Construcción con madera

La madera proviene de los árboles. Este es el hecho más importante a tener presente para entender su naturaleza. El origen de las cualidades o defectos que posee pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene (Presidencia de la República de Colombia, 2018). La madera es considerada como un excelente material de construcción y ha sido uno de los materiales más utilizados por el hombre desde las construcciones primitivas (Borrás, 2010).

Dentro de los procesos de construcción de viviendas, la madera se puede utilizar de dos maneras, una es cuando es útil para acompañar los procesos constructivos, como es el caso de formaletas, andamio, estacas, encofrados, entablados, camillas, paraleles, travesaños, vigas, cerramientos temporales, campamentos y construcciones preliminares; y cuando es utilizada como material que forma parte de la vivienda, tal es el caso de la madera estructural en vigas y columnas y la madera no estructural como en entrepisos, pisos, escaleras, cubiertas, ventanas, maderas y acabados. (Borrás, 2010).

Para poder realizar construcciones en Colombia, es necesario el cumplimiento de los estándares y requerimientos contenidos en el Reglamento de Construcciones Sismoresistentes en Colombia, cuyo título G está dedicado a las “Estructuras de Madera y a las Estructuras de Guadua” (Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, NSR-10, 2010), estas normas se refieren tanto a edificaciones totalmente en madera, como a miembros o elementos que conforman una edificación mixta, en la cual la madera se combina con otros materiales. Según este documento, toda madera utilizada en construcción, debe ser madera proveniente de especies forestales consideradas como adecuadas para construir, la obtención y comercialización debe cumplir con la Ley Forestal, así como de las disposiciones emanadas del Ministerio de medio Ambiente y de la Corporación Ambiental correspondiente al lugar de aprovechamiento de la madera.

2.6.3. Construcciones con Guadua

La Guadua es una de las 500 especies conocidas de las Bambuseas, que crecen en todos los continentes, excepto en Europa. El 90 % de ellas se encuentran en Asia y América. El género americano “guadua” comprende cerca de 20 especies. En Colombia existen las especies: Guadua angustifolia y guadua latifolia. De la guadua angustifolia, que es la de más usos, se conocen en el Antiguo Caldas las variedades: guadua macana, guadua cebolla y guadua rayada. La guadua macana es la más empleada en la construcción, pues tiene las paredes más gruesas (Teneche, 2007).

La guadua, las cañas, el junco, entre otros, son componentes de rápido crecimiento natural, baja o nula energía, captadores de CO₂ en su origen, es un material resistente y reciclable. Para Salas (2006) la Guadua es una planta que aporta múltiples beneficios para el medio ambiente y el hombre, sus productos cuando son empleados como elementos integrales de la construcción de viviendas funcionan como reguladores térmicos y de acústica.

3. Diseño metodológico

3.1. Tipo de investigación

El presente estudio, corresponde a una investigación de tipo evaluativa de acuerdo con Bausela (2003), para el presente estudio se adopta el método propuesto por Martínez (1996), el

cual inicia con una evaluación del contexto que busca desarrollar la fase de la identificación a través de un diagnóstico, continua con una evaluación de entrada en donde se definen las tendencias y preferencias clasificando los entornos característicos y los comportamientos de las comunidades (Como se citó en Bausela, 2003).

Posteriormente se realiza una evaluación del proceso en donde se analizan los factores de intervención, productividad y los efectos, obteniendo un estudio de comparación entre los impactos socioeconómicos y ambientales y finalmente una evaluación del producto en donde se analiza el rendimiento y la implantación proyectando una comparación entre los costos y los beneficios y evidenciando los aportes y las contribuciones al desarrollo sostenible.

Con lo anterior, se obtiene como resultado un reconocimiento a los usos y preferencias de las comunidades de los municipios del departamento de Santander, relacionadas con los materiales de sus viviendas, de igual forma un análisis de los materiales de construcción que son producidos en el departamento y su forma de incidir en las dimensiones sociales, económicas y ambientales de las comunidades y finalmente una metodología, que permite evaluar a través del estudio de indicadores, los índices de sostenibilidad del desarrollo de las comunidades, para como mencionan Serna y Lopez (2004) comprender las acciones desde las perspectivas de los sujetos y sus relaciones.

3.2. Unidad de trabajo y unidad de análisis

3.2.1. *Unidad de trabajo*

La población son los 2.008.841 habitantes del departamento de Santander con base en el Censo del DANE (2018), la unidad de trabajo seleccionada, es la comunidad de los municipios del departamento de Santander, que participan en alguna de las etapas del ciclo de vida de una vivienda, que para el caso de estudio corresponde a una muestra de 209 personas, para conocer de acuerdo al siguiente rol de participación:

- **Extracción:** Dueños de tierra, industriales, campesinos, obreros, dueños de canteras.
- **Transformación:** Artesanos, industriales, ferreteros, comerciantes.
- **Concepción:** Profesionales de la industria de la construcción: Ingenieros y Arquitectos.

- **Ejecución:** Obreros, Técnicos, Tecnólogos, Profesionales.
- **Uso:** Consumidores privados y públicos, personas naturales y jurídicas, arrendadoras, entidades bancarias.
- **Mantenimiento:** Proveedores de servicios, empresas contratistas especializadas.
- **Rehabilitación:** Proveedores de servicios, empresas contratistas especializadas.
- **Demolición:** Transportadores, empresas de demolición, autoridades locales, regionales y nacionales, agencias de seguros.
- **Gestión de residuos:** Autoridades, empresas de disposición.
- **Reutilización y reciclaje:** Empresas, asociaciones, cooperativas

3.2.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis corresponde a cada municipio en el cual se producen materiales para la construcción de vivienda en el departamento de Santander. El nivel de desarrollo sostenible se mide a través de un índice integrado que representa el estado de cada municipio en referencia a los indicadores de las dimensiones económicas, sociales y ambientales y a través de un Biograma se obtiene un análisis multidimensional de los indicadores para conocer en forma gráfica el estado de los municipios del departamento, en su consolidación como sistema.

3.3. Procedimiento de la Investigación

La realización de este proyecto, se realizó en tres fases, la primera consistió en Identificación del uso de los materiales de construcción identificados para la investigación, la segunda en definir las tendencias y preferencias de la comunidad y la tercera en un análisis de factores relacionados con el Desarrollo Sostenible.

3.3.1. Identificación

En esta fase se determinaron los procesos de evolución de la humanidad relacionados con el uso de la tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal en construcción de viviendas en el mundo, el país y el departamento de Santander.

Se presenta la descripción de los procesos constructivos de las viviendas utilizando diferentes materiales, e involucrando a diferentes actores de la comunidad, relacionados directa o indirectamente con viviendas.

Con el estudio de la información suministrada por personas naturales y jurídicas se obtuvo como resultado el diagnóstico que permite conocer el grado de utilización de la tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal en el departamento de Santander.

3.3.2. Definir tendencias y preferencia

Basado en fuentes de información primaria suministrada por la comunidad y en fuentes secundarias oficiales de estadísticas estatales, se lograron establecer las condiciones actuales de los municipios de Santander, en cuanto a los materiales que componen las viviendas, los entornos característicos de las mismas por municipio y las formas de interacción de las sociedades con los procesos constructivos.

Como resultado del análisis de la información, se registran las preferencias, tendencias, entornos característicos y comportamientos, de las comunidades en la construcción y desarrollo de viviendas en Santander.

3.3.3. Análisis de factores

Para analizar los factores que inciden en el Desarrollo Sostenible de los municipios del departamento, se seleccionaron aquellos que fueran productores de materiales de construcción ya sea de viviendas convencionales o tradicionales. Obteniendo un estudio detallado de las regiones productoras y su incidencia en diversos factores que inciden en el desarrollo de los pueblos, obteniendo los siguientes documentos:

- **Análisis de la intervención:** Estudio de los efectos ambientales y socioeconómicos de los materiales actualmente utilizados para la construcción en el departamento de Santander.
- **Análisis de la productividad:** Estudio de los componentes socio-económico y ambientales del uso de tierra estabilizada, residuos de origen industrial y material vegetal como materiales de construcción en el departamento de Santander.
- **Análisis de los efectos:** Estudio de comparación entre los impactos socioeconómicos y ambientales, de materiales de construcción usados para viviendas convencionales y los materiales de construcción de viviendas tradicionales en el departamento de Santander.

- **Análisis del rendimiento:** Estudio que presenta una comparación entre los costos y los beneficios al utilizar materiales para la construcción de viviendas convencionales y materiales para la construcción de viviendas tradicionales.
- **Análisis de la implantación:** Conclusiones y Recomendaciones conducentes a evidenciar los aportes y las contribuciones del uso de tierra estabilizada, residuos de origen industrial y material vegetal, en la construcción de viviendas en el departamento de Santander y sus aportes al Desarrollo Sostenible de los municipios de influencia del estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos

3.4.1. Técnicas de investigación

Para el desarrollo de este trabajo, se ejecutaron las siguientes técnicas de investigación:

- **Observación participante:** Se visitaron diversos municipios de Santander (Ver apéndice B), en donde se realizó una caracterización de las tipologías de las viviendas que conforman los municipios, registrando fotográficamente los casos relacionados con las hipótesis del trabajo, así como una interacción con las comunidades.
- **Cuestionarios:** De acuerdo con las condiciones del estudio, se realizaron dos tipos de encuestas que fueron diligenciadas por las comunidades (Ver apéndice C) y las empresas (Ver apéndice D), durante las visitas realizadas a los municipios, por medios virtuales y en las reuniones efectuadas en el municipio del Socorro.
- **Entrevistas:** A través de interacción con profesionales proyectistas y contratistas, se analizaron las tendencias del sector de la construcción de viviendas tradicionales y los escenarios de futuro a nivel de región y de país.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para desarrollar la investigación consistieron en:

3.4.2.1. Revisión bibliográfica. Se realizó la consulta de fuentes bibliográficas del orden internacional, nacional y local, encontradas en material bibliográfico físico y digital, bases de datos institucionales de la Universidad de Manizales y de la Universidad Industrial de Santander, investigaciones, tesis doctorales, revistas especializadas, informes de entidades gubernamentales y no gubernamentales, documentos digitales de referencias.

3.4.2.2. Fuentes de información. La información de los datos requeridos se obtuvo de dos fuentes:

3.4.2.2.1. Fuentes primarias. El instrumento seleccionado para recopilación de la información que permitió conocer la percepción, conocimiento, aceptabilidad e incidencia de la sostenibilidad, en el desarrollo de la adquisición, la construcción o la remodelación de viviendas, fueron las encuestas estructuradas, las cuales estuvieron realizadas con preguntas definidas con base en Bausela (2003) que permitieron de una forma eficiente, estándar, confiable y ágil obtener los datos para su interpretación y análisis:

La información obtenida a través de estas encuestas estructuradas, se consideró una opción pertinente para el proyecto, teniendo en cuenta que la información suministrada por los individuos, permitió realizar un análisis conceptual en la comunidad, conocer a través de estudios empíricos la definición de las necesidades no satisfechas y de las nuevas oportunidades, así como emitir juicios por parte de la comunidad, lo anterior se realizó con base en las indicaciones de la metodología de investigación evaluativa propuestas por Bausela (2003). Esta metodología se ha aplicado en proyectos similares realizados en Brasil al estudiar los impactos medioambientales del uso de la madera en la construcción de vivienda (Punhagui, 2014).

Las encuestas estructuradas fueron de dos tipos, una encuesta que estuvo dirigida a 209 personas de la comunidad vinculadas directa e indirectamente con el sector de la construcción actuando según el censo del DANE (2018) como muestra representativa de la población de Santander equivalente a 2.008.841 habitantes (Ver apéndice C), este instrumento se dividió en 3 partes, en la primera se obtuvieron los datos básicos para establecer el perfil de encuestado, en la segunda parte las preguntas permitieron obtener el grado de conocimiento técnico-comercial del individuo y en la tercera parte se reflejaron las tendencias y preferencias del individuo al momento de seleccionar materiales o construir viviendas. La primera parte usó preguntas estructuradas, cerradas y objetivas, las otras dos partes utilizaron preguntas cerradas y abiertas, con interpretación de datos, gráficos e imágenes.

Por su parte la otra encuesta que estuvo dirigida a 40 representantes del sector productivo como muestra representativa de las 3.693 empresas totales del sector de la construcción en Santander (ver apéndice D), se dividió en dos partes, en la primera se obtuvo el grado de proyectos desarrollados con tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen

vegetal, por las empresas y en la segunda parte, se conocieron las tendencias en la oferta y desarrollo de proyectos de construcción de viviendas realizados por métodos tradicionales.

Los parámetros estratégicos que fueron utilizados para estudiar la preferencia de los individuos según Bausela (2003), se presentan a continuación:

I. Imaginario colectivo de viviendas construidas en tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal.

II. Percepción sobre tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal como materiales de construcción de vivienda y aceptabilidad de tecnologías no convencionales.

III. Aceptabilidad de diseño, compra, habitacionalidad de viviendas construidas en tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal.

IV. Factores predominantes para seleccionar los materiales de construcción de una vivienda y sus técnicas de construcción.

Con base en esta información, se lograron inferir las preferencias en el uso de materiales tradicionales, identificar los eslabones de la cadena de suministro para una vivienda de este tipo, integrando los 209 participantes entre trabajadores, propietarios de tierra, usuarios, técnicos, tecnólogos, profesionales, comerciantes, proveedores, empresarios y funcionarios de entidades públicas y privadas, quienes eran la muestra representativa de toda la población del departamento correspondiente a 2.008.841 habitantes según el Censo (DANE, 2018).

3.4.2.2. Fuentes secundarias: Se utilizaron los datos disponibles en el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV, 2018). Los microdatos consultados que son de uso público, contienen las respuestas directas entregadas por los habitantes de los municipios del departamento de Santander, están en forma de archivos planos, y tuvieron que ser explorados, comparados y procesados por el autor, para determinar los resultados que se muestran en el estudio. Lo anterior teniendo en cuenta que el DANE a la fecha, solo tiene disponible en los visores de la página web, datos generales por categorías, los cuales eran insuficientes para la información requerida.

También se revisaron los microdatos del tercer Censo Nacional Agropecuario (CNA, 2016), en donde al igual que el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV, 2018), la información detallada en microdatos del DANE se encontraba en archivos planos, los cuales

también fueron revisados y procesados por el autor, para obtener los datos requeridos, especialmente con las comunidades ubicadas en las áreas rurales de los municipios que producen materiales de construcción, y que son Unidades Productivas No Agropecuarias - UPNA.

Para estudiar a profundidad en temas ambientales, sociales y económicos del departamento de Santander, se analizaron los planes de desarrollo municipal periodo 2016-2019 de todos los municipios que conforman el departamento (Ver apéndice E), al igual que el plan de desarrollo de Santander 2016-2019 (Gobernación de Santander, 2019).

Como referencia base para la organización de la información y proyección de los documentos, se trabajaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las políticas públicas que establecen las estrategias para la implementación de los ODS en Colombia (Naciones Unidas, 2018).

3.4.2.2.3. Herramientas informáticas. Se utilizaron programas informáticos para el procesamiento de textos como Microsoft Word, para las presentaciones como el Power Point, para edición de imágenes como el Paint, para Información de costos Construdata y para el análisis de datos y estadísticas la hoja de cálculo avanzada Excel de Microsoft.

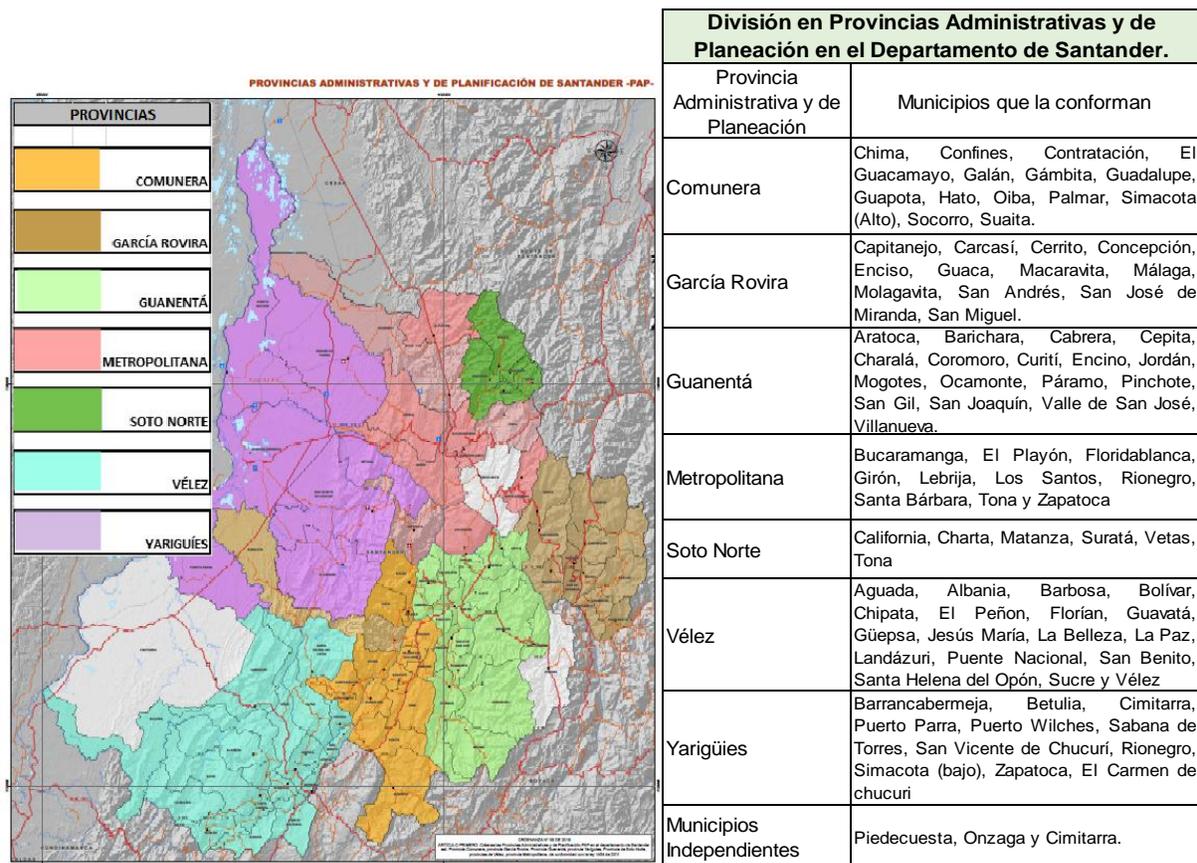
4. Análisis de información

4.1. El Departamento de Santander, Colombia

Según información del Plan de Desarrollo “Santander Nos Une” de la Gobernación de Santander (2016-2019), Santander es uno de los 32 departamentos que conforman la República de Colombia. Pertenece a la región Centro Oriente junto con Boyacá y Norte de Santander, limita al sur con Boyacá, al oriente con Norte de Santander, al norte con Cesar y Norte de Santander y al occidente con Antioquia y Bolívar. La extensión territorial del departamento es de 30.537 Km², participando con el 2,6% de la extensión territorial nacional.

En la figura 4 se puede visualizar el mapa del departamento de Santander con sus respectivas provincias y las divisiones de provincias administrativas y de planeación del departamento.

Figura 4. Mapa del departamento de Santander



Nota. Tomado de Ordenanza de la Asamblea Departamental No. 009, 2019.

El Departamento de Santander, está compuesto por 87 municipios organizados en 7 Provincias según la Asamblea del departamento de Santander (No. 009, 2019), solo tres municipios no están incluidos en ninguna provincia, por decisiones político-administrativas, ellos son Piedecuesta, Cimitarra y Onzaga. Se presenta en la tabla 3, el número total de habitantes de cada municipio, y su distribución a nivel de cabecera municipal y centros poblados y rural disperso, de acuerdo a los datos obtenidos por el DANE del año 2018.

Tabla 3. Distribución de la población por provincias en el departamento de Santander

Provincia	Total población	% Total de población	Total población Cabecera Municipal	% Población cabecera municipal	Total Resto Municipal (Centros Poblados y Rural Disperso)	% Población Centros poblados y rural disperso
Comunera	84.928	4,2%	42.211	49,7%	42.717	50,3%
García Rovira	70.924	3,5%	34.773	49,0%	36.151	51,0%
Guanentá	142.645	7,1%	81.673	57,3%	60.972	42,7%
Metropolitana	1.053.689	52,5%	955.738	90,7%	97.951	9,3%
Soto	21.117	1,1%	4.913	23,3%	16.204	76,7%
Vélez	130.113	6,5%	54.920	42,2%	75.193	57,8%
Yarigüies	318.263	15,8%	227.559	71,5%	90.704	28,5%
Municipios independientes						
Cimitarra	25.782	1,3%	11.805	45,8%	13.977	54,2%
Onzaga	3.955	0,2%	1.134	28,7%	2.821	71,3%
Piedecuesta	157.425	7,8%	128.019	81,3%	29.406	18,7%
Total Santander	2.008.841	1	1.542.745	76,8%	466.096	23,2%

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda, DANE, 2018.

La mayoría de las provincias de Santander, tienen una gran población ubicada en zonas de suelo rural, exceptuando en las provincias donde están las grandes ciudades como la metropolitana que concentra al 52,5% de la población incluida la capital del departamento Bucaramanga, lo cual produce un desbalance entre el área metropolitana de Bucaramanga y las provincias y un crecimiento inesperado y por ende desordenado de la capital del departamento. Caso similar se presenta con la ciudad de Barrancabermeja de la provincia de Yarigüies donde se concentra el 15.8% de la población y con la ciudad de Piedecuesta que tiene el 7,8% de la población. En cuanto a la variable poblacional, las cifras indican que el departamento tiene una tasa lenta de crecimiento, siendo menos que el promedio nacional, evidenciándose una pérdida de participación frente al global del país (Minambiente, 2015).

En Santander, la falta de tierra disponible para la construcción de vivienda, se convierte en una amenaza para el hábitat humano, por cuanto las familias en condiciones económicas precarias, tienden a ocupar zonas con amenazas altas por inundación, donde el valor de la tierra es más bajo y está al alcance de sus recursos (Minambiente, 2015). En este contexto, los municipios, ciudades, poblaciones y en general comunidades, deben comenzar a implementar las recomendaciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e involucrar los criterios

de sostenibilidad y cambio climático en el diseño y construcción de edificaciones urbanas y rurales, especialmente en la relación de viviendas y construcciones adaptadas al clima, transporte eficiente, manejo eficaz de los servicios de agua potable y energía y la adopción de fuentes energéticas limpias (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2012).

En cuanto a los profesionales y personas que intervengan en el diseño y ejecución de proyectos de viviendas, de acuerdo con Kwok y Grondzik (2015) deben desarrollar la habilidad de entender los patrones de energía, luz, agua y aire y cómo se aplican al medio ambiente construido es un paso hacia el desarrollo de capacidades del diseño integrado. El Índice de Desarrollo Humano según el Global Data Lab (GDL, 2019) para el departamento es de 0,772 en el año 2018, ubicándose en el sexto lugar, después de Bogotá, Valle del Cauca, San Andrés, Atlántico y Quindío.

El departamento de Santander, no es ajeno a las responsabilidades generadas por décadas de intervenciones y explotación descontrolada de los recursos naturales especialmente en el recursos hídrico, por esta razón el modelo económico imperante ha estimulado dos siglos de imparable crecimiento, consumo y desecho, alimentando un apetito insaciable de riqueza material que ha llevado a las sociedades a acumular más deuda de la que nunca podrán saldar (Pauli, 2014). Por estas intervenciones Minambiente (2015) pronostica que para el periodo 2011-2040 habrá en Santander, un aumento de la temperatura promedio de hasta 0,9°C y un incremento en la precipitación hasta de 0,54%, en comparación con periodos de 1976-2005, lo que infiere un escenario tendencial de desabastecimiento especialmente en vital e importante recurso hídrico en el Departamento, tanto para consumo humano como para el desarrollo productivo, que sumado a otros problemas asociados al mismo como son el estado de deterioro de las cuencas por la continua deforestación y ampliación de zonas de ganadería y agricultura sin la utilización de tecnologías limpias (Gobernación de Santander, USTA, 2015), y la contaminación por las descargas con escaso control de los residuos sólidos y líquidos, promueve de manera urgente, modificaciones en la forma de producción de bienes y servicios (MinAmbiente, 2015).

En el tema de Gases de Efecto Invernadero, según IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEERÍA (2016), Santander tuvo en el año 2012 una emisión de 14.38 Mton de CO₂ eq., correspondientes al 7,74% de las emisiones nacionales. La influencia en el departamento relacionada con los sectores económicos estuvo compuesta en el sector forestal por un (30,58%),

por el sector agropecuario en un (28,92%), por el sector de minas y energía (25,61%), en el sector del transporte (9,58%) y otros sectores representaron un (5,30%). Específicamente las industrias manufactureras y de la construcción generaron 0,62 Mton de CO₂ eq y los residuos sólidos y rellenos regionales 0,19 Mton de CO₂ eq, el departamento tiene una emisión per cápita de 13 ton de CO₂ eq por habitante por año. Un aspecto muy preocupante del departamento, es que registró la mayor tasa de deforestación de la región andina, con un 6% del total nacional. Comportamientos generados es su gran mayoría por la tala ilegal, difícilmente controlada en el Magdalena medio.

De acuerdo a los datos compilados por Guerrero (2015), el crecimiento económico del Departamento de Santander ha estado impulsado por el aumento simultáneo de varios sectores en la década del 2004-2013, entre ellos la minería, la construcción y el transporte. Específicamente en el documento del DANE en los consolidados de PIB para el año 2015, el sector de la construcción alcanzó el 15,2% dentro del aporte del PIB departamental, con un valor de 5.403 miles de millones de pesos, a precios constantes del 2005, con un crecimiento del 3% con relación al año previo, ubicándose en la tercera posición nacional, antecedido por Bogotá y Antioquia, también tuvo una mejora sustancial de la eficiencia de la economía como un todo en términos de emisiones (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2015), es decir, la reducción de la cantidad de emisiones de GEI “necesarias” para producir una unidad del PIB, para Colombia, entre el año 2000 y 2012 la intensidad energética se redujo en un 39 % pasando de 906 a 550 ton de CO₂ eq por cada millón de pesos de 2005 de PIB.

Según World Economic Forum (2019), a nivel de competitividad mundial Colombia ocupó el puesto No 57 entre los 141 países analizados. Estudios similares como el realizado por el Consejo Privado de Competitividad (2019), presenta a Santander como el tercer departamento más competitivo del país, superado únicamente por el departamento de Antioquia y por la capital del país Bogotá. El mejor indicador de competitividad del departamento lo obtuvo en el Pilar del Índice de Capital Humano (educación básica y media) ocupando el primer lugar a nivel nacional, sin embargo, en los Pilares que son relevantes para la presente investigación como lo son el Pilar de Infraestructura y el Pilar de Sostenibilidad ambiental, ocupó el vigésimo y el sexto puesto a nivel nacional, respectivamente. En la tabla 4 se presenta el índice departamental de competitividad para el departamento de Santander obtenido del Consejo Privado de Competitividad del año 2019.

Tabla 4. Índice departamental de Competitividad, departamento de Santander, 2019

Factor	Pilar	Subpilar	Indicador	Puntaje indicador	Puesto Departamento a nivel nacional
Condiciones habilitantes	Infraestructura			4,97	10
			Infraestructura de servicios	7,79	6
			Cobertura de acueducto	7,1	13
			Cobertura efectiva de gas	8,26	10
			Cobertura de energía eléctrica	7,46	10
			Cobertura de Alcantarillado	6,5	11
				5,74	6
			Atractivos naturales	5,55	10
			Tasa de deforestación	4,59	25
			Superficie cubierta de bosques	2,65	18
Condiciones habilitantes	Sostenibilidad Ambiental	Gestión ambiental y del riesgo	Proporción de áreas protegidas	6,79	5
			Calidad del agua	8,19	8
				5,92	6
			Empresas certificadas en ISO 14001	4,79	2
			Índice municipal de gestión del riesgo	3,11	23
			Disposición adecuada de basuras	9,86	18

Nota. Tomado de Consejo Privado de Competitividad, 2019.

A nivel de capitales de departamento, Santander cuenta con la tercera ciudad más competitiva del país según el informe del Consejo Privado de Competitividad Ciudades (2019), superada Bogotá y Medellín, quienes ocupan el primer y segundo puesto respectivamente. Se destaca a nivel nacional, la ubicación de Bucaramanga como la ciudad más competitiva del país en el Pilar de Sostenibilidad Ambiental, en el Pilar de Educación Básica y Media en donde ocupa el segundo lugar precedido de Neiva y el segundo lugar en el Pilar de Mercado Laboral, precedida

de Bogotá. En la tabla 5 se presenta el Índice de Competitividad de la ciudad de Bucaramanga soportado por la Cámara de Comercio de Bucaramanga.

Tabla 5. Índice de Competitividad de Bucaramanga, 2019

Factor	Pilar	Subpilar	Indicador	Puntaje indicado	Puesto Departament o a nivel nacional
Condicione s Básicas	Infraestructura y Equipamiento	Infraestructura de servicios y vivienda		5,46	5
			Cobertura de acueducto	8,34	8
			Cobertura efectiva de gas natural	9,25	13
			Cobertura de energía eléctrica	9,51	6
			Costo de energía eléctrica	9,8	14
			Cobertura de Alcantarillado	2,33	18
			Déficit cuantitativo de vivienda	9,23	10
				9,91	4
				7,16	1
				Activos naturales	6,23
Condicione s Básicas	Sostenibilidad Ambiental	Gestión ambiental y del riesgo	Áreas protegidas	2,6	9
			Calidad del Agua	9,88	6
				8,09	1
			Empresas certificadas en ISO 14001	10	1
			Índice municipal de gestión del riesgo	6,18	10

Nota. Tomado de Cámara de Comercio de Bucaramanga, 2019.

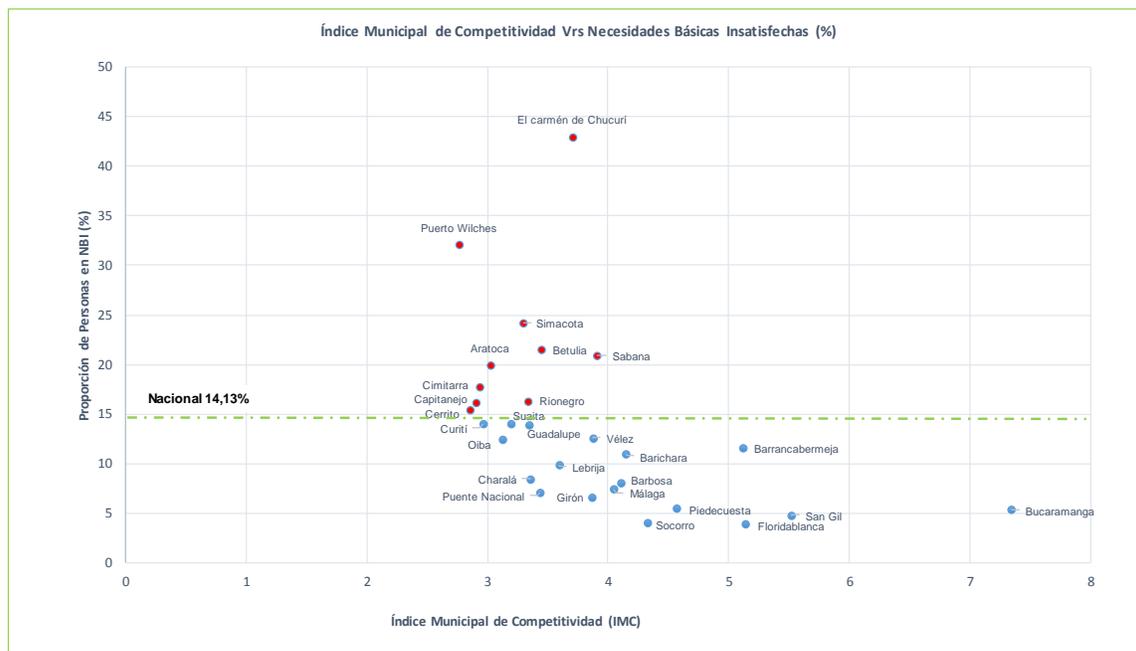
A nivel de municipios, según Cámara de Comercio de Bucaramanga (2019) existen diferencias económicas y de calidad de vida muy marcadas entre la mayoría de los municipios del departamento, iniciando con el hecho de una alta concentración de habitantes en pocos centros urbanos. En términos de generación de valor agregado, la disparidad es más evidente, ya que dos municipios (Bucaramanga y Barrancabermeja) concentran el 52% de lo que produce el departamento, diez el 35% y el restante 13% tienen origen en setenta y cinco pequeñas

Cuatro municipios presentan % NBI superiores al 30%, entre ellos están Florián (31,29%), El Peñón (31,94%), Puerto Wilches (32,08%) y El Carmen de Chucurí (43,02%). El comportamiento que se muestra en la figura 5. nos permite afirmar, que un gran número de poblaciones con bajo número de habitantes en el departamento de Santander, presentan altos porcentajes de necesidades básicas insatisfechas, lo que evidencia que en el departamento existe una desigualdad socioeconómica, que favorece la calidad de vida en los 15 más grandes centros poblados que concentran el 80,75% de la población entre ellos se encuentran (Bucaramanga, Floridablanca, Barrancabermeja, Piedecuesta, Girón, San Gil, Lebrija, Puerto Wilches, Socorro, San Vicente de Chucurí, Barbosa, Sabana de Torres, Cimitarra, Rionegro y Málaga).

A nivel económico, Santander tuvo un Producto Interno Bruto (PIB) para el año 2018 de 63.234 (miles de millones COP, provisional) contando con un PIB per cápita 2018 de 30.243.235 (COP, provisional) y con una participación de 6,46% en el PIB Nacional 2018 (Mincomercio, 2020). Según Guerrero (2015) en relación con el PIB per cápita, el cambio ha sido muy significativo, teniendo en cuenta que en 1950 Santander ocupaba el puesto 14º, en 1975 el 9º, en 1990 el 5º, en el año 2005 el 4º y actualmente el tercero, superado en este caso solamente por los departamentos de Casanare y Meta, los cuales son productores de petróleo. El crecimiento económico del departamento ha estado impulsado por el aumento simultáneo en varios sectores en la última década, como la minería, la construcción y el transporte. En una comparación entre el IMC y NBI de los municipios del departamento, se evidencia que la situación menos favorable se presenta en los municipios de El Carmen de Chucurí, Puerto Wilches, Simacota, Aratoca, Betulia, Sabana, Cimitarra, Capitanejo, Cerrito y Rionegro, muchos de ellos productores de materiales de construcción.

Por lo anterior, en la figura 6 se presenta el índice municipal de competitividad comparado con las necesidades básicas insatisfechas de cada municipio, cuyos datos son del Índice Municipal de Competitividad y del DANE.

Figura 6. Índice Municipal de Competitividad Vs. Necesidades Básicas Insatisfechas, Municipios, Departamento de Santander



Nota. Elaboración propia con base en registros tomados del Índice Municipal de Competitividad y del DANE, 2019.

4.2. Sector empresarial de la construcción en el departamento de Santander

A nivel mundial, la industria de la construcción es uno de los principales contribuyentes al agotamiento de los recursos naturales y un gran causante de efectos secundarios indeseables, tales como la contaminación del suelo, agua, aire; generación de desechos sólidos, desperdicios tóxicos y calentamiento global (Baño y Vigil, 2005). El 40% de los materiales extraídos de la naturaleza tienen relación directa con la industria de la construcción, el 17% del consumo de agua y el 25% de la explotación de la madera; utiliza entre el 40% y 50% de la energía que se produce y el 50% del consumo de combustibles fósiles (Días y Ramírez, 2011).

De acuerdo al Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES, 2018) se estima que, a nivel global, la construcción y la renovación de edificaciones representan entre el 10% y el 40% del Producto Interno Bruto Mundial - PIB Mundial y emplean alrededor del 10% de la fuerza laboral. En el caso de Colombia, el sector de la construcción de edificaciones es uno de los motores de crecimiento de la economía. En los últimos 16 años, el valor agregado de las edificaciones presentó un incremento del 6,8% alcanzando una expansión 1,7 veces mayor a la del PIB total nacional, que se incrementó en un 41% anual en el mismo periodo. Actualmente el

sector de las edificaciones representa el 54,9% del valor agregado de la construcción y el 4,9% del valor agregado nacional. Así mismo se estima que el sector de la construcción y las actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler emplea el 14,6% de los trabajadores a nivel nacional (CONPES, 2018).

Así como el sector tiene un alto impacto en la generación de actividad económica, su crecimiento tiene implicaciones importantes a nivel ambiental. Actualmente, las edificaciones residenciales generan el 10,5% del total del inventario nacional de Gases de efecto invernadero y residuos de construcción y demolición (RCD), y ha elevado la presión sobre la extracción y consumo de recursos, entre ellos el suelo, el agua, la energía, la madera, la guadua y los materiales de construcción (CONPES, 2018).

El sector de las edificaciones es uno de los mayores consumidores y generadores de pérdidas de energía final, representando el 22% de la demanda nacional, el 16,72% en el sector residencial, el 5,32% en el sector comercial público y el 0,03% en la construcción (CONPES, 2018).

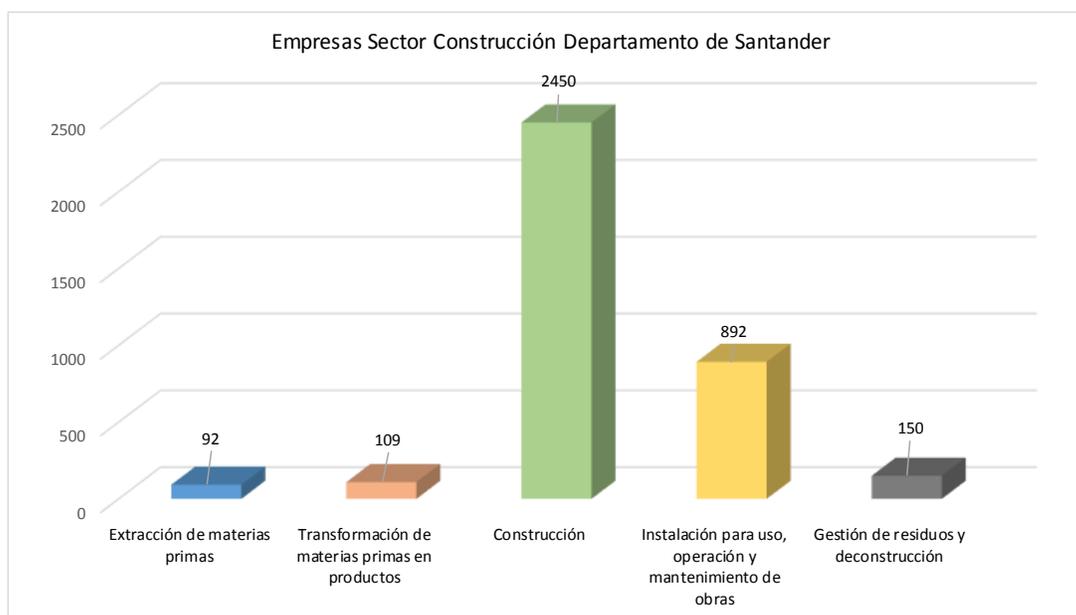
En material de consumo de agua, de acuerdo a cifras del Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (SUI, s.f.), en las principales ciudades de Colombia las edificaciones concentran el 79% de este. Frente al impacto en materiales de construcción, diversas fuentes internacionales señalan que la producción de materiales férricos, cemento, vidrio, ladrillos y cal, son responsables de la producción anual del 20% de las emisiones de dioxinas y furanos a la atmósfera. En cuanto al tema de riesgos, el DNP estima que el 14,4% de las viviendas en áreas urbanas y rurales se encuentran en áreas con riesgo de inundación, y el 24,7% de estas se encuentran ubicadas en áreas de remoción en masa (Campos et al., 2012).

En el país se dispone de todas clases de materias primas necesarias para el desarrollo medioambiental sostenible de proyectos de vivienda (Unión temporal Construcción Sostenible y Fundación FIDHAP, 2012) con materiales de calidad que respondan a los requerimientos técnicos, ambientales y climáticos, logrando condiciones de confort, sin el uso de aparatos de climatización de alto consumo energético. A pesar de lo anterior, la industria de la construcción y en especial de vivienda, presenta condiciones similares a las de nivel global, con un alto grado de dependencia de otras industrias como la industria cementera, la industria cerámica, la industria metalúrgica y la maderera. Todas ellas con sus inconvenientes ambientales en materia

de deterioro físico del lugar de extracción, contaminación del aire, del suelo, del agua, consumo energético e hídrico y emisiones de GEI, de alto impacto ambiental en sus procesos de producción (MADS, 2012).

El departamento cuenta con 3693 empresas dedicadas directa e indirectamente a satisfacer la cadena de valor de la construcción de edificaciones, líneas vitales y obras de infraestructura (Geoportal DANE, 2019). Entre ellas el 66% tiene su razón social para construir, 24% para instalaciones de uso, operación y mantenimiento de obras, 4% se dedica a la gestión de residuos y/o procesos de deconstrucción de obras, 3% a la transformación de materias primas en productos y 3% a la extracción de materias primas para la construcción, como se presenta en la figura 7 elaborada por el autor de proyecto basado en datos del Directorio Empresarial del DANE.

Figura 7. Empresas del sector de la Construcción en Santander



Nota. Elaboración propia con base en el registro tomado del Directorio Empresarial. DANE, 2019.

De las empresas dedicadas directamente al sector de la construcción, el 96,7% están ubicadas en los municipios de Bucaramanga (54.3%), Floridablanca (13.8%), Barrancabermeja (11.1%), Piedecuesta (4.6%), San Gil (3.6%), Girón (3.5%), Socorro (1.4%), Málaga (1.1%), Cimitarra (0,8%), Sabana de torres (0.8%), Lebrija (0.8%), San Vicente de Chucurí (0.5%) y Barbosa (0.5%). Los demás municipios del departamento tienen entre 1 y 5 empresas (Geoportal DANE, 2019).

Para conocer el grado de utilización, preferencia y percepción de proyectos desarrollados con tierra estabilizada, residuos industriales y materiales de origen vegetal en la construcción de viviendas, se realizaron encuestas a empresas constructoras (Ver apéndice D), donde el 57,2% de los representantes de las constructoras tenía estudios de posgrado (doctorado, maestría y especialización), el 38,1% estudios de pregrado y el 4,8% estudios de secundaria. El instrumento metodológico tipo encuesta utilizado fue explicado anteriormente, los resultados de la misma se explican a continuación.

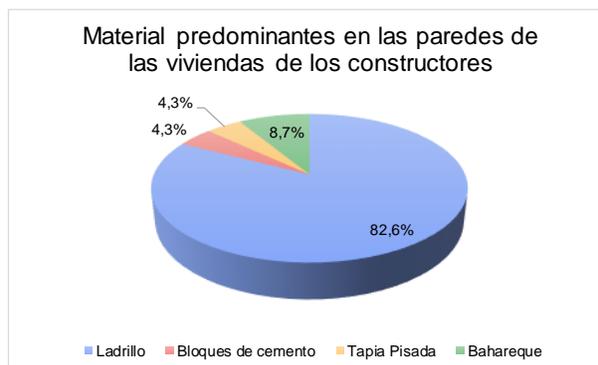
En la figura 8 se presentan los resultados para conocer el tipo de material predominante de los pisos en las viviendas de los constructores. Así mismo en la figura 9 se presentan el material predominante en las paredes de las viviendas de los constructores.

Figura 8. *Materiales predominantes en pisos de las viviendas de los constructores en Santander*



Nota. Elaboración propia.

Figura 9. *Materiales predominantes en paredes de las viviendas de los constructores en Santander*



Nota. Elaboración propia.

Las paredes y pisos que predominan en las viviendas, están hechas en materiales convencionales, como el ladrillo y los bloques de cemento para las paredes y la cerámica y la madera para los pisos. En un reducido porcentaje, las paredes son de tapia pisada, bahareque y los pisos en tierra o tablón.

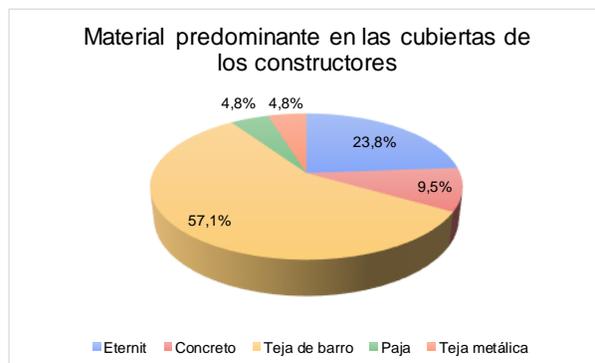
En la figura 10 se presenta el material predominante en cielo raso de las viviendas de los constructores, así como en la figura 11 se presenta el material predominante para las cubiertas de los constructores en Santander.

Figura 10. *Materiales predominantes en cielo rasos de las viviendas de constructores en Santander*



Nota. Elaboración propia.

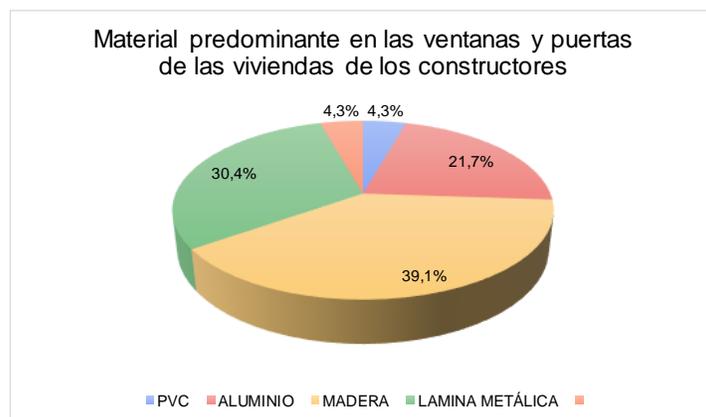
Figura 11. *Materiales predominantes en cubiertas de los constructores en Santander*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 12 se presenta el material predominante para las ventanas y puertas de las viviendas de los constructores según resultados de la encuesta.

Figura 12. *Materiales predominantes en las ventanas y puertas de las viviendas de constructores en Santander*



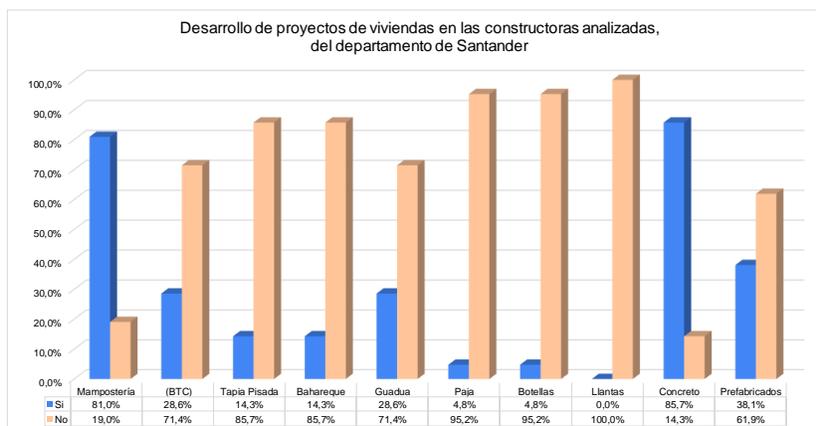
Nota. Elaboración propia.

En los cielos rasos predomina la madera y el drywall y en reducido porcentaje la caña brava y la esterilla de guadua. Las cubiertas en su gran mayoría son en teja de barro, eternit, concreto y teja metálica, las fibras vegetales como la paja, no es muy utilizada en la región para la envolvente superior de las viviendas. Las puertas y ventanas, son en su mayoría en lámina metálica, aluminio y madera. La mayoría de proyectos desarrollados por las constructoras, son

para viviendas convencionales, con paredes en mampostería de ladrillos cocidos con estructura en concreto, un potencial uso de los elementos prefabricados, pero un uso muy reducido de oferta de viviendas en tapia pisada, bahareque, guadua y paja, no se evidencia un uso de botellas, llantas y otros residuos industriales, en las viviendas.

En la figura 13 se presenta los resultados del desarrollo de los proyectos de vivienda realizado por constructoras en Santander.

Figura 13. Desarrollo de proyectos de vivienda de constructoras en Santander

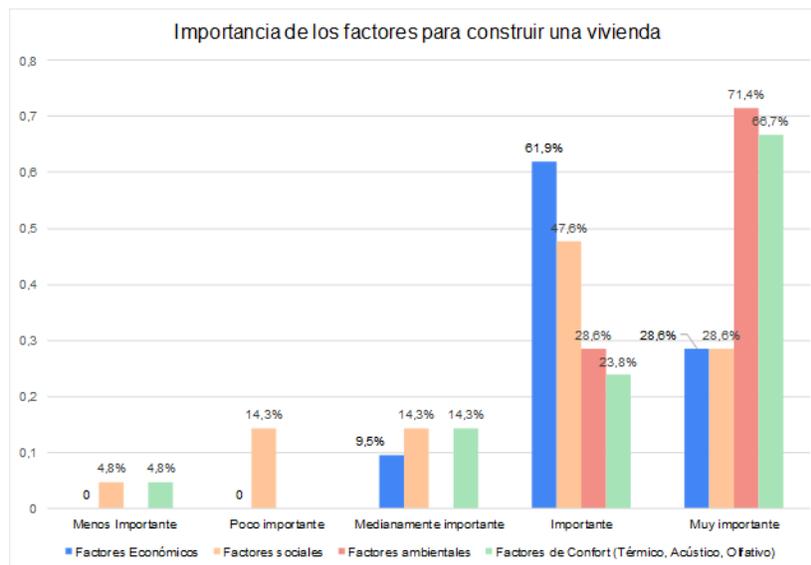


Nota. Elaboración propia.

Sin embargo, las constructoras consideran muy importante tener en cuenta factores ambientales y de confort, sobre los factores económicos, de igual forma no son muy relevantes los factores sociales, al momento de ofrecer un proyecto de vivienda.

En la figura 14 se presenta cuáles han sido los factores más relevantes para el desarrollo de los proyectos de vivienda.

Figura 14. Factores relevantes para el desarrollo de proyectos de vivienda en las constructoras de Santander



Nota. Elaboración propia.

4.3. Grado de utilización de la tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal en la construcción de viviendas en el departamento de Santander

Para determinar la preferencia de la sociedad, en el uso de tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal, al momento de construir una vivienda. Se procedió a realizar 209 encuestas (Ver apéndice C) dirigidas a los diferentes actores de la cadena de suministro para una vivienda y de acuerdo al rol desempeñado en el ciclo de vida de la misma, esto con el fin de conocer y evaluar su preferencia, sus limitaciones y sus oportunidades. La metodología de la encuesta fue explicada con anterioridad, y los resultados de la misma se presentan a continuación:

En la tabla 6 se presenta la clasificación de la población encuestada de acuerdo a la ocupación que desempeña, en cada una se puede ver la cantidad de empresas que compone la ocupación y el porcentaje de participación de dicha proporción.

Tabla 6. *Proporción de personas encuestadas, según actividad económica laboral*

Población encuestada de acuerdo a ocupación		
Extracción: Dueños de tierra, industriales, campesinos, obreros, dueños de canteras	17	8,1%
Transformación: Artesanos, industriales, ferreteros, comerciantes	24	11,5%
Concepción: Profesionales de la industria de la construcción: Ingenieros y Arquitectos	23	11,0%
Ejecución: Obreros, Técnicos, Tecnólogos, Profesionales	30	14,4%
Uso: Consumidores privados y públicos, personas naturales y jurídicas, arrendadoras, entidades bancarias.	23	11,0%
Mantenimiento: Proveedores de servicios de empresas, contratistas especializadas	18	8,6%
Rehabilitación: Proveedores de servicios, empresas contratistas especializadas	15	7,2%
Demolición: Transportadores, empresas de demolición, autoridades locales, regionales y nacionales, agencias de seguros.	20	9,6%
Gestión de residuos: Autoridades, empresas de disposición	24	11,5%
Reutilización: Empresas, asociaciones, cooperativas	15	7,2%
Total	209	100%

Nota. Elaboración propia.

Es muy importante conocer las tendencias y comportamientos, para poder entender el aporte social de este tipo de componentes en el desarrollo sostenible.

4.3.1. Población

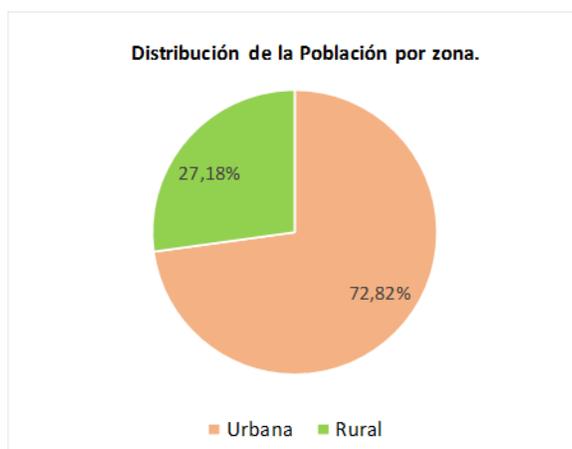
Para validar los datos obtenidos en las encuestas se establecerá una comparación entre los resultados de las mismas y la totalidad del departamento de Santander datos que se obtienen después del análisis y procesamiento de la información de los microdatos ofrecidos por el DANE (Archivo Nacional de Datos, 2018), los que se informan en el ítem respectivo.

- **Ubicación de las viviendas:** El 72,82% de la población encuestada vive en cabeceras municipales y el 27.18% en centros poblados y rural disperso, para realizar las comparaciones entre la totalidad del departamento de Santander , se tomó el conjunto de microdatos del DANE, que para este caso corresponden a 774.050 viviendas en los 88 municipios y cada una con 2 posibles combinaciones, en donde se identifica que en el departamento un 72,2% de viviendas

se encuentran en las cabeceras municipales y un 27,8% en centros poblados y rural disperso, comportamientos similares a la población encuestada.

En la figura 15 se presenta la distribución de la población, segmentada en zona urbana y rural, de esta manera en la tabla 7 se presenta la distribución de la población por lugar de vivienda repartidos entre cabecera municipal y poblado o rural, cuyos datos son del año 2018 de CNPV del DANE.

Figura 15. *Distribución de la población encuestada según lugar de ubicación de la vivienda*



Nota. Elaboración propia.

Tabla 7. *Distribución de la población del departamento de Santander, según lugar de residencia*

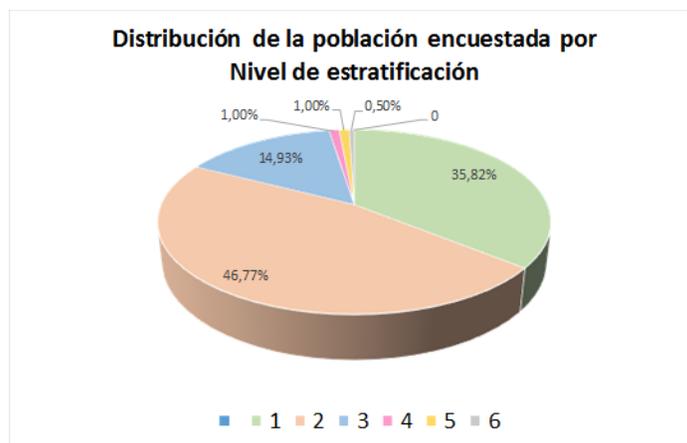
Distribución de la población del departamento de Santander por lugar de vivienda		
Cabecera Municipal	558.646	72,2%
Centro poblado y rural disperso	215.404	27,8%
Total	774.050	100,0%

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de CNPV. DANE, 2018.

- **Nivel socioeconómico de la población:** La mayor parte de la población encuestada se ubica en los estratos (1,2 y 3) con un 97,51%, como se muestra en la figura 16, para realizar las comparaciones entre la totalidad del departamento de Santander, se tomó el conjunto de microdatos del DANE, que para este caso corresponden a 597.913 viviendas en los 88 municipios, cada una con 6 combinaciones de estratificación respectivamente, esta información

se registra en la tabla 8, en donde se identifica que en el departamento también se concentra la mayor población en los estratos 1,2 y 3 con una representación de 85,22%.

Figura 16. Distribución de la población encuestada según nivel de estratificación



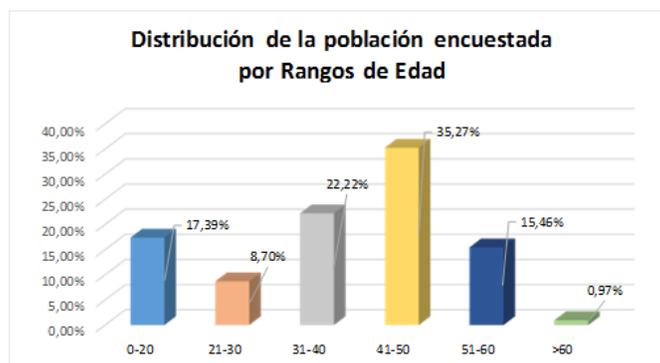
Nota. Elaboración propia.

Tabla 8. Distribución de la población del departamento de Santander, según estrato

Distribución de la población por estrato en el Departamento de Santander		
Estrato 1	207.725	34,74%
Estrato 2	180.103	30,12%
Estrato 3	121.733	20,36%
Estrato 4	68.488	11,45%
Estrato 5	11.062	1,85%
Estrato 6	8.802	1,47%
Total	597.913	100,00%

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de CNPV. DANE, 2018.

- **Edad:** En cuanto al rango de edad de la población encuestada, el 81,05% se encuentra entre los 20 y los 60 años, como se presenta en la figura 17 con las demás distribuciones de edad, para realizar las comparaciones entre la totalidad del departamento de Santander, se tomó el conjunto de microdatos del DANE, que para este caso corresponden a 2.008.841 personas, en los 88 municipios y con una posibilidad de 21 combinaciones de edades quinquenales respectivamente, esta información se registra en la tabla 9, en donde se identifica que en el departamento el 54,41% de la población está en edades entre los 20 y 60 años. Esta diferencia con la encuesta se debe a que las poblaciones seleccionadas para el estudio en su gran mayoría son mayores de edad y personas laboralmente activas.

Figura 17. Distribución de la población encuestada según rangos de edad

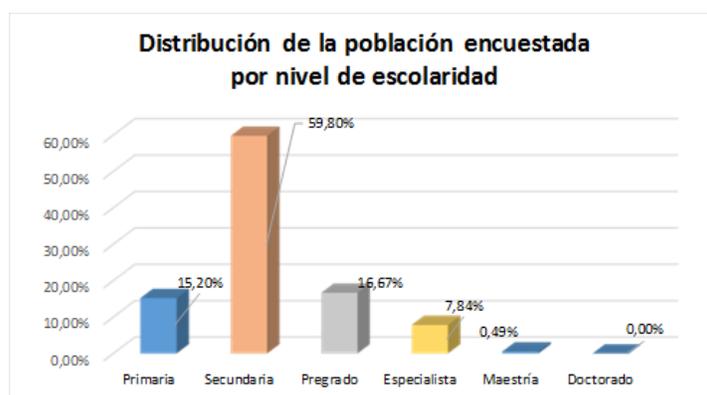
Nota. Elaboración propia.

Tabla 9. Distribución de la población del departamento, según rango de edad

Rango de edades de la población en el Departamento de Santander		
0-20 Años	601.873	28,98%
21-30 Años	337.210	16,24%
31-40 Años	297.718	14,33%
41-50 Años	259.028	12,47%
51-60 Años	236.140	11,37%
Mayor a 60 años	344.977	16,61%
Total	2.076.946	100,00%

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de CNPV. DANE, 2018.

- **Escolaridad:** El nivel de escolaridad de la población encuestada se presenta en la figura 18, corresponde en gran parte a un 75% de personas que han realizado estudios de primaria y secundaria, solo un 16,67% han realizado estudios universitarios y un 8,33 % estudios de posgrado, para realizar las comparaciones entre la totalidad del departamento de Santander, se tomó el conjunto de microdatos del DANE, que para este caso corresponden a 1.856.201 personas, en los 88 municipios y con 10 combinaciones posibles para cada persona de nivel educativo más alto alcanzado respectivamente, esta información se registra en la tabla 10, en donde se identifica que en el departamento el 74,02% tiene primaria y secundaria, datos muy similares a la población de la encuesta, el 21,82% tienen nivel universitario y 4,16% tienen estudios de posgrado.

Figura 18. *Distribución de la población encuestada según nivel de escolaridad*

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10. *Distribución de la población del departamento de Santander, según nivel de escolaridad*

Nivel Académico	# Personas	%
Preescolar	42.077	2,28%
Básica Primaria	583.518	31,56%
Básica Secundaria	276.714	14,96%
Medía Académica o Clásica	426.887	23,08%
Medía Técnica	38.592	2,09%
Normalista	6.177	0,33%
Técnica Profesional	142.261	7,69%
Tecnología	195.793	10,59%
Universitario	59.918	3,24%
Especialización, Maestría, Doctorado	77.264	4,18%
Total	1.849.201	100,00%

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de CNPV. DANE, 2018.

4.3.2. **Materiales predominantes en las viviendas en el departamento de Santander**

Santander, es un departamento que cuenta con varios municipios que fueron fundados en la época prehispánica, por lo cual muchas de las viviendas construidas hasta comienzos del siglo XX, se realizaron con materiales locales y técnicas tradicionales (Bolaños, 2007), algunas de las cuales se han descrito explícitamente en la fundamentación teórica del presente proyecto, entre ellas la tapia pisada, muros de adobe y en menor medida el uso del Bahareque. Sin embargo, como en la mayor parte del país y del mundo, las bondades comerciales y de producción masiva de ladrillos cocidos y cemento para concretos, modificó la cultura de la mayoría de los pueblos y las construcciones con técnicas tradicionales, además de ser

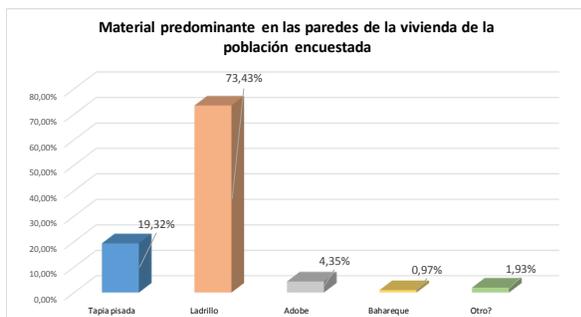
consideradas para personas de poca capacidad adquisitiva, fueron perdiendo vigencia en el tiempo, y el fin de siglo XX y las décadas presentes del siglo XXI.

En la actualidad, los parámetros técnicos para la construcción de viviendas, de encuentran especificados en el título E de las Normas Sismo Resistentes NSR-10 (Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), las cuales están vigentes en el país y que priorizaron la reglamentación para viviendas de uno o dos pisos en estructuras aporticadas de concreto, muros de mampostería estructural, y Bahareque encementado, sin embargo, desconocieron desde su concepción la importancia patrimonial, estética y cultural de las técnicas tradicionales, la cual solo hasta ahora se está recomendando oficialmente con la expedición del Decreto No 2113 de 2019 del Ministerio de Vivienda, ciudad y territorio de Colombia, el cual incorpora al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 el documento AIS-610-EP-2017 “Evaluación e Intervención de Edificaciones Patrimoniales de uno y dos pisos de Adobe y Tapia Pisada”, lo que se constituye en un respaldo a investigaciones como la presente, no solo para el departamento de Santander, sino también para toda Colombia.

En la figura 19 se presentan los resultados de la encuesta relacionados al material predominante de paredes de la población encuestada, así mismo en la figura 20 se presenta el material predominante de las paredes de la población de Santander, estos datos se toman de CNPV del DANE como comparativo para este proyecto.

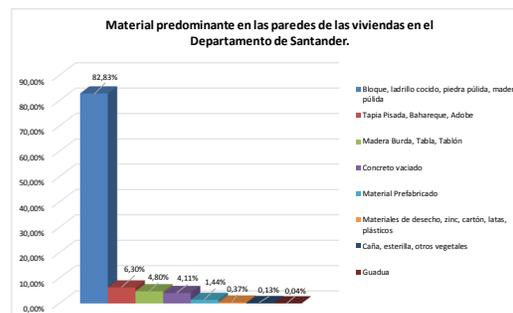
Teniendo en cuenta que como se muestra en la encuesta realizada, el fomento de las técnicas tradicionales es una necesidad urgente, al considerar que el 73,43% de las viviendas, tienen las paredes de ladrillo con estructuras aporticadas, y tan solo el 24,64% tienen procesos constructivos con materiales tradicionales como la tapia pisada, el adobe y el bahareque, respectivamente, no se reflejan viviendas con materiales de residuos industriales y muy poco porcentaje de viviendas usa materiales de origen vegetal como la madera. Caso que se enmarca en forma similar al de todo el departamento, en donde, según los microdatos procesados por el autor para las 773.078 viviendas encuestadas en el CNPV 2018 del DANE, el 82,83% de las viviendas del departamento de Santander, están construidas con bloques, ladrillo cocido, piedra pulida o madera pulida, solo el 6,30% usa materiales tradicionales como la tapia pisada, el bahareque y el adobe, el 4,80% materiales de origen vegetal y 0,13% materiales de residuos industriales.

Figura 19. Material predominante en paredes de vivienda, población encuestada



Nota. Elaboración propia.

Figura 20. Material predominante en las viviendas, población del departamento

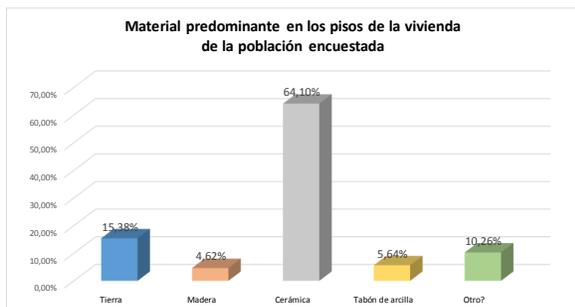


Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de CNPV. DANE, 2018.

El análisis comparativo del material predominante para los pisos tanto de la población encuestada como de la población que integra el departamento de Santander, se puede visualizar en las figuras 21 y 22 respectivamente.

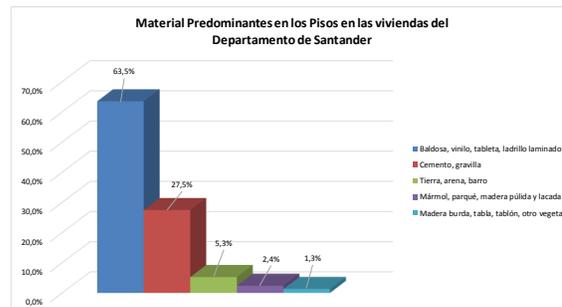
En cuanto al material utilizado para los pisos de las viviendas, nuevamente predomina el uso de materiales de procesamiento industrial como la cerámica, en donde en las viviendas de la población encuestada representa un 64,10% así mismo el tablón de arcilla cocida tiene un 5,64% y en otro material utilizado el 10,26% las personas manifestaron usar pisos de concreto, en cuando a los materiales tradicionales alcanzan un 4,62% de uso de madera y 15,38% es en tierra. Los datos analizados, son similares al resultado de los registros analizados del CNPV 2018 para todo el departamento, en donde después del análisis y revisión para las 773.078 viviendas, el 63,5% usa cerámica, el 27,5% corresponden a pisos en concreto y el 5,3% a pisos en tierra, arena o barro, siendo estos últimos pisos, considerados no aptos para las viviendas dignas si la tierra o el barro está en su estado natural, sin embargo pueden encontrarse casos de pisos en suelo-cemento, en donde el 90% del suelo es tierra y tiene un porcentaje de estabilización del 10% en uso del cemento, los cuales tienen un comportamiento aceptable en términos de sostenibilidad.

Figura 21. Material predominante en pisos de vivienda, población encuestada



Nota. Elaboración propia.

Figura 22. Material predominante en pisos de viviendas del departamento de Santander



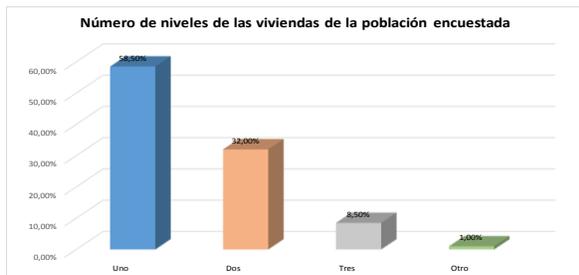
Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de CNPV. DANE, 2018.

En la figura 23 se presentan los datos referentes a los niveles de las viviendas en la que habitan las personas encuestadas. En la figura 24 se puede ver los porcentajes que representan a cada uno de los materiales usados en las cubiertas de las casas de la población encuestada, para determinar el material predominante.

Así mismo en la figura 25 se muestran los resultados del Material predominante en puertas y ventanas de la población encuestada y finalmente en la figura 26 se muestra el material predominante para cielo raso de la población encuestada.

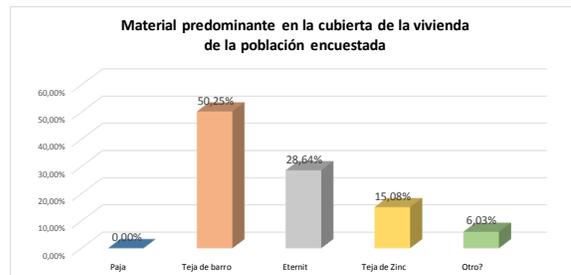
El 90,5% de la población encuestada, tiene como residencia viviendas de uno y dos pisos, un 93,97% tiene cubiertas elaboradas con materiales manufacturados como la teja de barro, la teja de eternit o zinc, los usos de la madera en cielorrasos son significativos teniendo en cuenta que el 72,23% son de machimbre o caña brava, un bajo número es realizado con residuos industriales como el cartón. Las puertas y ventanas elaboradas con materiales manufacturados de tipo industrial metálicas representan el 65,74% y tan solo el 32,87% usa madera para este tipo de acabados.

Figura 23. *Número de niveles de la vivienda, población encuestada*



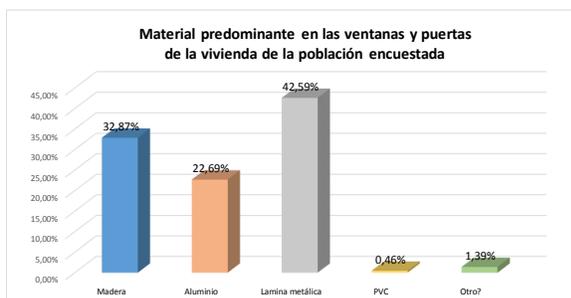
Nota. Elaboración propia.

Figura 24. *Material predominante en cubierta, población encuestada*



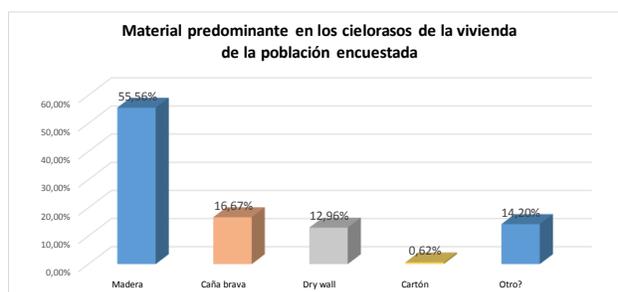
Nota. Elaboración propia.

Figura 25. *Material predominante en puertas y ventanas, población encuestada*



Nota. Elaboración propia.

Figura 26. *Material predominante en cielo raso, población encuestada*

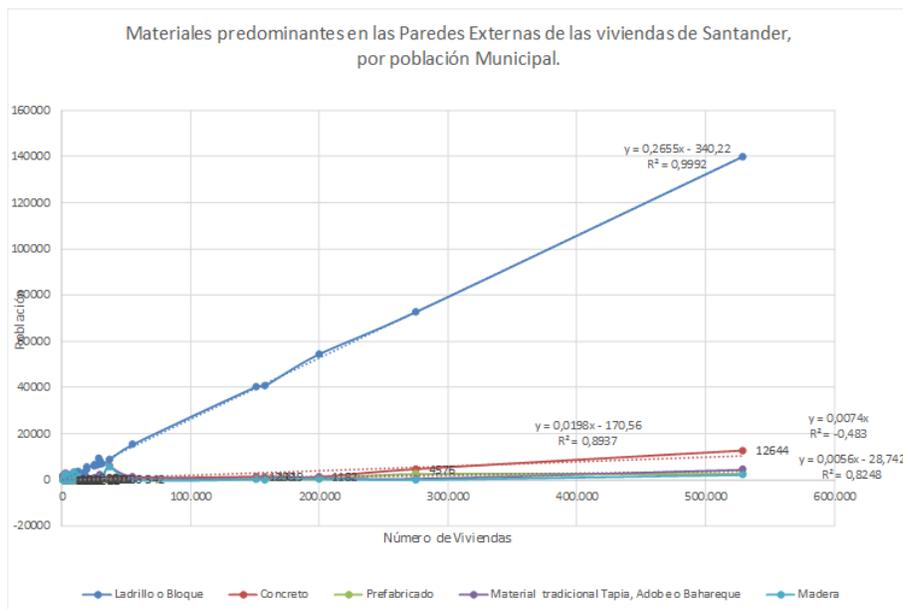


Nota. Elaboración propia.

4.3.3. Preferencia del uso de la tierra estabilizada, residuos industriales, materiales de origen vegetal en construcción de viviendas en el departamento de Santander

Para conocer la preferencia en construcción de viviendas en el departamento de Santander, se analiza la figura 27 donde se realiza la comparativa de dos variables: el material predominante en paredes externas y la población total de los municipios cuyos datos fueron tomados del censo del DANE del año 2018.

Figura 27. Material predominante en paredes externas Vs Población total municipios departamento de Santander

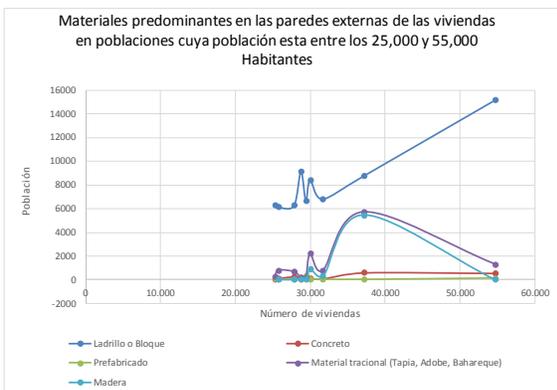


Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

En el censo realizado por el DANE en el año 2018, se refleja el predominio en las paredes de las viviendas del Departamento de Santander, de los muros en mampostería de ladrillo cocido, especialmente en los municipios de gran población, como se observa en la figura 27, en donde la línea de color azul muestra esta tendencia, la cual crece a medida que mayor es el número de viviendas en los municipios. Además, se puede ver una línea de tendencia $Y=0.265x-340.22$ con un $R^2= 0.992$, es decir una tendencia lineal con datos poco dispersos, que permite inferir que, a mayor población, seguirá predominando el uso de ladrillo o bloque cocido, en las paredes de las viviendas.

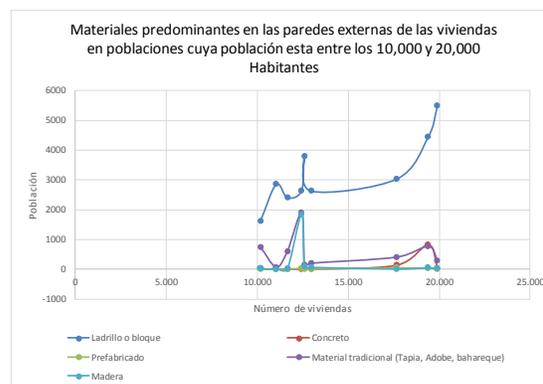
Situación que se empieza a distorsionar para municipios entre las 25.000 y 55.000 viviendas como se muestra en la figura 28 y entre las 10.000 y 20.000 como se muestra en la figura 29, donde el comportamiento de la línea de color morada, correspondiente a viviendas con paredes de materiales tradicionales como la tapia pisada, el adobe y el bahareque, se empieza a resaltar significativamente estos datos fueron tomados del censo realizado por el DANE en el año 2018.

Figura 28. Material predominante en paredes externas poblaciones entre 25.000 y 55.000 habitantes



Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

Figura 29. Material predominante en paredes externas poblaciones entre 10.000 y 20.000 habitantes

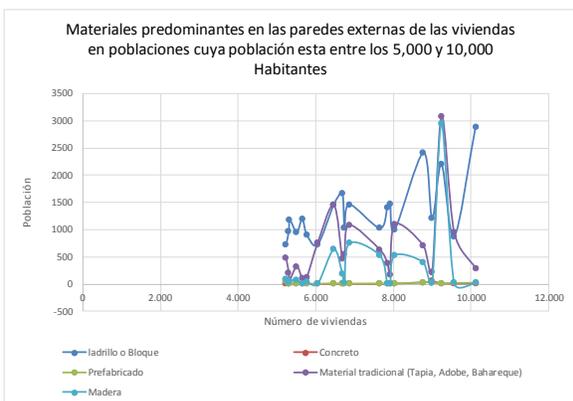


Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018

En los municipios entre las 5.000 y 10.000 viviendas, los porcentajes de construcción de viviendas con materiales convencionales y materiales tradicionales son muy similar, como se ve en la figura 30, cuya información es obtenida del censo realizado por el DANE en el año 2018.

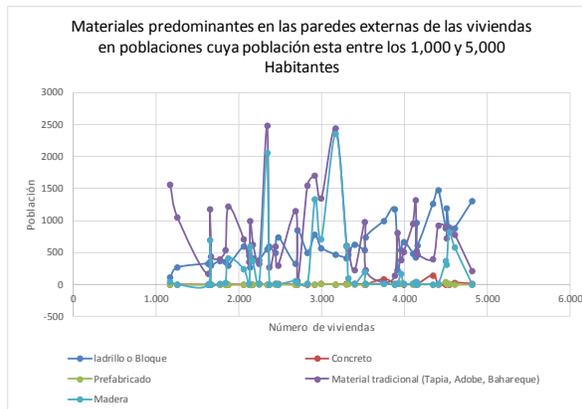
Para los municipios entre 1.000 y 5.000 viviendas, como se ve en la figura 31, la preferencia está hacia las construcciones tradicionales superando el 50% de las viviendas municipales, como es el caso de municipios. Estos datos fueron obtenidos del censo realizado por el DANE en el año 2018.

Figura 30. *Material predominante en paredes externas poblaciones entre 5.000 y 10.000 habitantes*



Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

Figura 31. *Material predominante en paredes externas poblaciones entre 1.000 y 5.000 habitantes*



Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

Entre los materiales predominantes para la construcción de viviendas tradicionales como rurales se encuentra la tapia pisada y la madera, como se muestra en la figura 32 y figura 33 respectivamente, cuyas imágenes fotografías fueron tomadas por el autor del proyecto.

Figura 32. *Casa típica de paredes de tapia pisada en Santander*



Nota. Elaboración propia.

Figura 33. *Vivienda rural en madera, corregimiento de la India, Landázuri, Santander*



Nota. Elaboración propia.

Se presentan a continuación los diez municipios con los porcentajes más altos del departamento, en cada uno de los casos de estudio, tierra estabilizada, materiales de origen vegetal y residuos industriales.

En la tabla 11 se presentan los diez municipios de Santander con un porcentaje proporcionalmente mayor de viviendas cuyas paredes externas son en materiales tradicionales como la tapia pisada, el adobe y el bahareque, estos datos fueron tomados del censo realizado por el DANE en el año 2018.

Tabla 11. *Municipios de Santander donde predominan materiales tradicionales en las viviendas*

Municipio	N.º Viviendas	N.º Personas	Viviendas con materiales tradicionales (%)
Molagavita	1.255	3.915	75,46%
Jordán	330	1.163	61,52%
Carcasí	1.304	4.130	59,89%
Galán	884	2.666	58,37%
Contratación	1.285	3.179	57,12%
San Andrés	2.719	7.985	56,82%
Onzaga	1.450	3.928	54,90%
Macaravita	756	2.130	52,78%
Zapatoca	2.889	8.864	52,51%
Barichara	2.556	7.571	50,90%

Nota. Elaboración propia con base en registros tomados de Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

En la tabla 12 se presentan los diez municipios de Santander con un porcentaje proporcionalmente mayor de viviendas cuyas paredes externas son en origen vegetal, como la madera, guadua y caña, estos datos fueron tomados del censo realizado por el DANE en el año 2018.

Tabla 12. Municipios de Santander donde predominan materiales de origen vegetal en las viviendas

Municipio	N.º Viviendas	N.º Personas	Viviendas con materiales de madera (%)
El Carmén de Chucurí	6.349	17.567	46,34%
Florian	1.559	4.596	34,00%
El Peñon	1.208	4.095	33,53%
Santa Helena del Opón	1.103	3.160	32,91%
La Belleza	1.857	5.500	31,39%
Bolivar	3.170	9.437	28,49%
Puerto Parra	2.265	6.861	26,31%
Landazurí	3.207	9.231	25,48%
Puerto Wilches	9.564	31.698	24,67%
Simacota	2.490	7.759	23,78%

Nota. Elaboración propia con base en registros tomados de Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

En la tabla 13 se presentan los diez municipios de Santander con un porcentaje proporcionalmente mayor de viviendas cuyas paredes externas son con materiales de residuos industriales, estos datos fueron tomados del censo realizado por el DANE en el año 2018.

Tabla 13. Municipios de Santander donde predominan materiales de residuos industriales en las viviendas

Municipio	N.º Viviendas	N.º Personas	Viviendas con materiales con residuos industriales (%)
Sabana de Torres	8.820	27.718	4,08%
El Playón	3.865	12.840	2,87%
San José de Miranda	1.282	4.132	1,48%
El Carmén de Chucurí	6.349	17.567	1,32%
Rionegro	8.090	25.233	1,30%
Gambita	1.313	3.508	1,29%
Betulia	1.655	5.185	1,09%
San Miguel	813	2.433	0,86%
Guadaluoe	1.370	3.818	0,80%
Lebrija	12.460	37.170	0,80%

Nota. Elaboración propia con base en registros tomados de Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

A pesar de estar entre el supuesto de la investigación, tanto en las empresas constructoras y la población laboralmente activa del sector encuestada y en los resultados del Censo Nacional de Población y Vivienda DANE 2018, se encuentra que, en el departamento de Santander, el uso de residuos industriales en la construcción de vivienda es muy reducido y en los casos que se presenta, tiene referencia a materiales como las láminas de zinc y eternit, más no a residuos industriales. Por lo anterior, se omitirá en los análisis de resultados posteriores, en uso de residuos industriales en las viviendas. En el departamento, el uso de la madera es muy frecuente en los municipios del Magdalena Medio especialmente en El Carmen de Chucurí, las técnicas tradicionales como la tapia pisada y el adobe son muy frecuentes en el departamento, en especial en los municipios fundados en la época de la colonia.

4.4. Tipología de viviendas tradicionales en Santander

Las viviendas tradicionales están presentes en varios municipios de Santander (Ver apéndice B), en su gran mayoría tienen muros exteriores y cargueros en tapia pisada especialmente las que son de una planta, las viviendas de dos plantas se presentan en menor proporción, algunos muros interiores regularmente en el segundo piso y en remates de cubierta, son en adobe o bahareque, los cimientos siempre están formados de piedras de diferentes tamaños, lo cual además de la transmisión de las cargas al suelo, genera protección para la tapia, contra la humedad.

En la figura 34 se presentan tres fotografías tomadas por el autor del proyecto, donde se evidencia la fachada de las viviendas tradicionales de los municipios de Santander.

Figura 34. *Viviendas tradicionales en municipios de Santander*

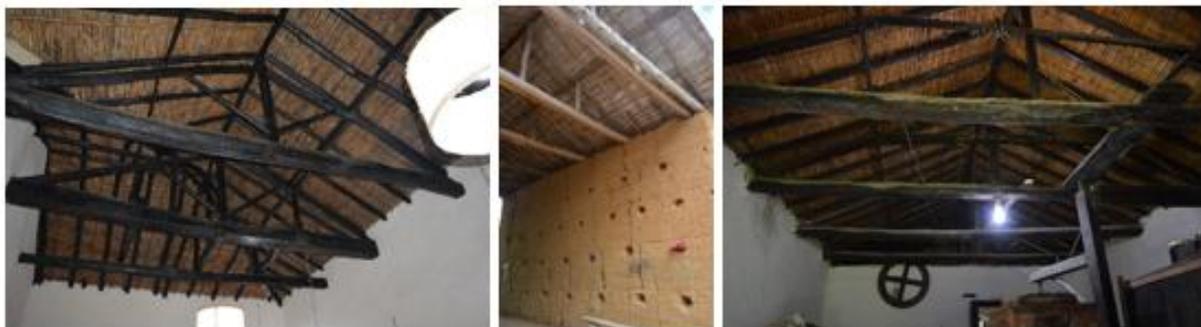


Nota. Elaboración propia.

Una característica distintiva en las viviendas tradicionales, es la forma de los patios internos y de los solares, lo que se traduce en la tipología de la vivienda cuyas configuraciones en planta se dan en forma de L, C, U y O. Los patios tienen a su alrededor columnas de madera que se apoyan en piedras, con pocas excepciones se encuentran columnas en piedra.

En la figura 35 se aprecian fotografías tomadas en viviendas tradicionales por el autor del proyecto donde se muestra que para las cubiertas utilizan vigas y pares de madera irregulares de gran tamaño, con entramados en caña brava o esterilla de guadua, algunas veces recubiertos con pañete de barro pintado con cal, las tejas en su mayoría son en barro cocido, con menor participación de la paja o cualquier otra fibra natural.

Figura 35. *Cubiertas de viviendas tradicionales en municipios de Santander*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 36 se presentan fotografías tomadas en viviendas tradicionales de Santander por el autor del proyecto, con la finalidad de dar a conocer que las fachadas de las casas están empañetadas con barro y están pintadas con cal, las puertas y ventanas son en madera pintadas con barniz de colores lucidos, como el verde, el rojo y el azul.

Figura 36. Fachadas de viviendas tradicionales en municipios de Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 37 se visualizan fotografías tomadas por el autor del proyecto a viviendas tradicionales elaboradas con materiales de origen vegetal. Con menor frecuencia que el uso de la tapia pisada, bahareque y adode, se encuentran viviendas elaboradas en madera con la configuración en planta de forma cuadrada, redonda o rectangular.

Figura 37. Viviendas tradicionales con materiales de origen vegetal en municipios de Santander



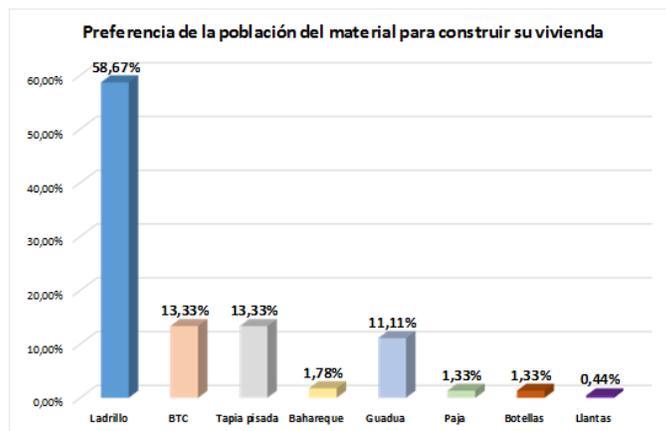
Nota. Elaboración propia.

4.5. Material de construcción de preferencia para construir vivienda y percepción en relación de materiales para viviendas tradicionales en los municipios de Santander

Para la población encuestada, en caso de construir una nueva vivienda, preferiría con muros en ladrillo en un 58,67%, un 28,44% con materiales tradicionales como la tapia, el BTC y el Bahareque, un 11,11%, un 12,44% con madera de guadua y fibras vegetales de paja y tan solo un 1,77% con muros de residuos industriales. De acuerdo a la percepción que acompaña los materiales para construir su vivienda, la durabilidad es considerado muy importante, esto explica el porqué de la selección del ladrillo, de igual forma es importante el impacto ambiental, oportunidad para promover el uso de materiales de construcción ambientalmente amigables.

Este análisis de la preferencia de la población referente a construir una vivienda se puede ver en la figura 38 cuyas respuestas fueron obtenidas por las encuestas aplicadas.

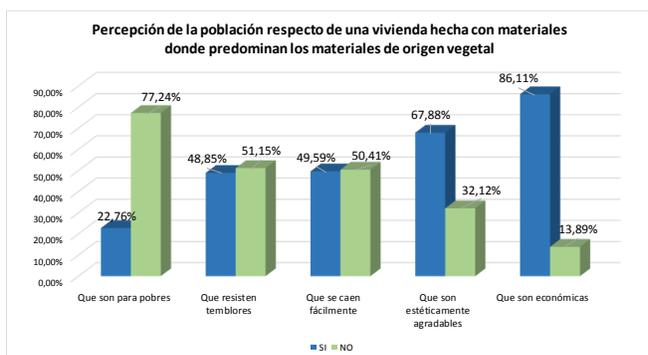
Figura 38. *Preferencia de la población encuestada para construir una vivienda*



Nota. Elaboración propia.

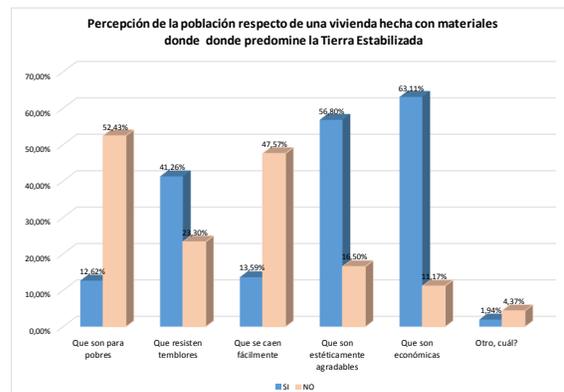
En la figura 39 se muestran los resultados de las encuestas referentes a la percepción de la población en cuanto a viviendas construidas con origen vegetal. De igual forma en la figura 40 se visualizan los resultados de las encuestas centrados en conocer la percepción de la población en cuanto a viviendas construidas con materiales de tierra estabilizada.

Figura 39. *Percepción de la población encuestada con relación a viviendas con materiales de origen vegetal*



Nota. Elaboración propia.

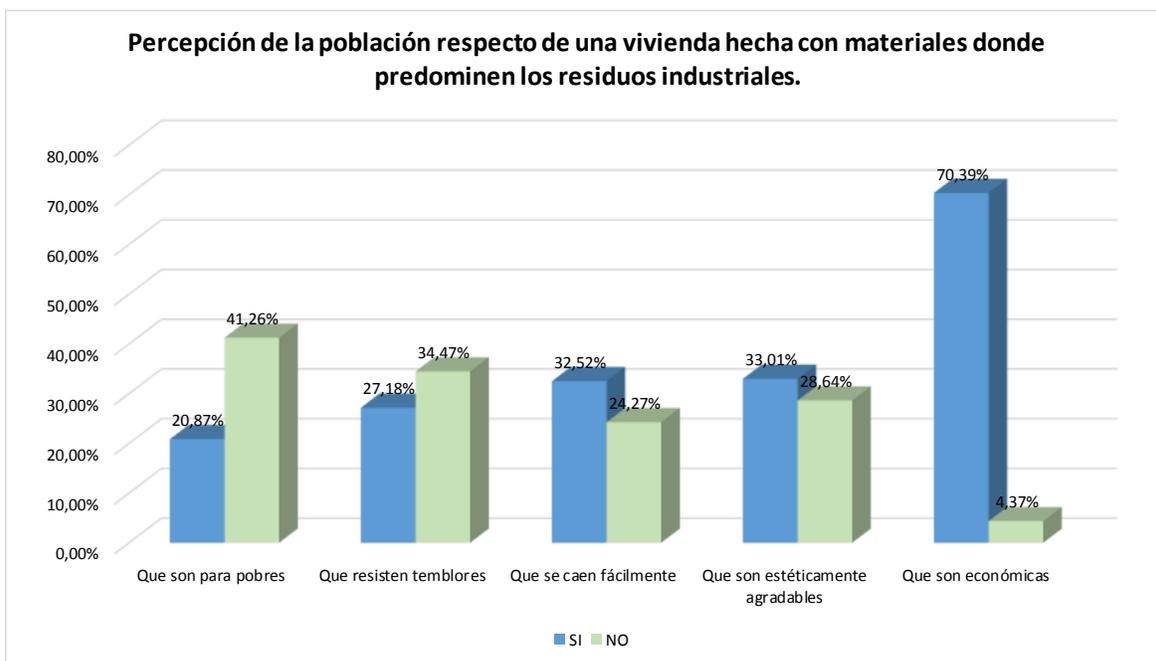
Figura 40. *Percepción de la población encuestada con relación a viviendas con materiales de tierra estabilizada*



Nota. Elaboración propia

En la figura 41 se ven los datos arrojados por la encuesta en donde se mide la percepción de la población con relación a construcción de viviendas con materiales de residuos industriales.

Figura 41. *Percepción de la población encuestada con relación a viviendas con materiales elaborados con residuos industriales*

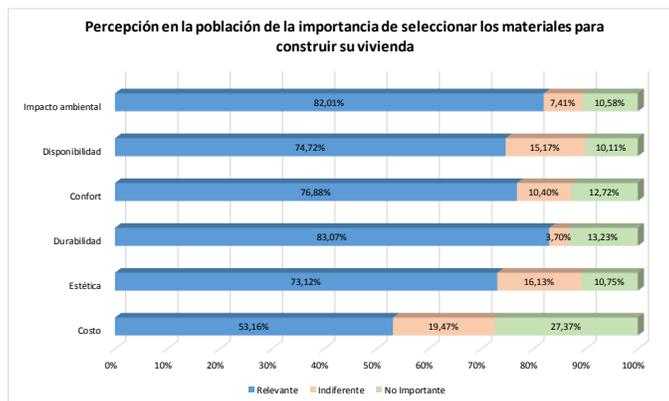


Nota. Elaboración propia.

La percepción de la población encuestada, coincide en que, en caso de construir una vivienda con materiales de construcción con tierra estabilizada, materiales de origen vegetal y/o residuos industriales, todos son muy económicos, estéticamente agradables, pero preocupa la percepción de inseguridad estructural.

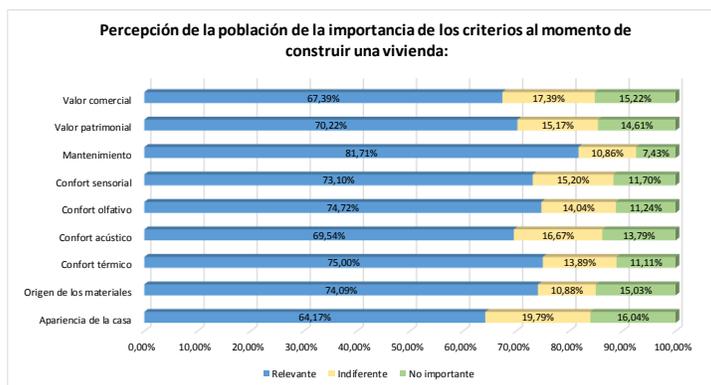
En la figura 42 se mide la importancia de seleccionar los materiales para construir la vivienda de las personas encuestadas y en la figura 43 se miden los criterios a tener en cuenta en el momento de construir la vivienda.

Figura 42. *Percepción de la población al seleccionar los materiales para construir su vivienda*



Nota. Elaboración propia.

Figura 43. *Percepción de la población al construir su vivienda*

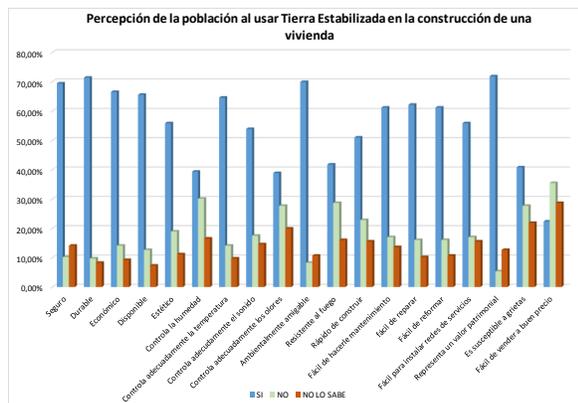


Nota. Elaboración propia.

Para la población, es muy importante al momento de seleccionar los materiales para construir su vivienda, que se garantice que sean materiales duraderos en el tiempo, con bajo impacto ambiental y que generen unas buenas sensaciones de confort, en el producto ya construido, el interesa mucho el mantenimiento, seguido del confort térmico, acústico y olfativo de la vivienda y conocer la procedencia de los materiales. Las condiciones estéticas y económicas, aunque son importantes, no son trascendentales al momento de tomar la decisión.

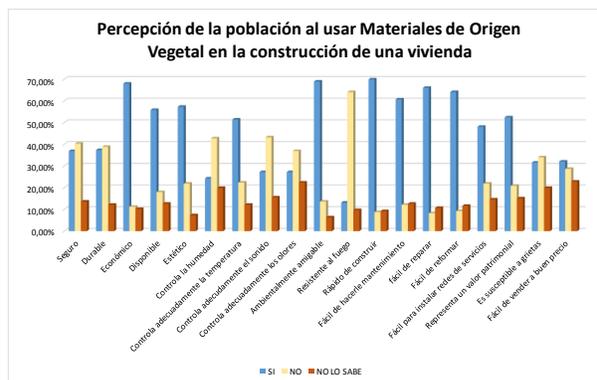
En la figura 44, 45 y 46 se mide la percepción de la población encuestada para establecer cuales factores se consideran más relevantes al utilizar materiales en la vivienda bien sea tierra estabilizada, de origen vegetal y residuos industriales respectivamente.

Figura 44. Percepción de la población al utilizar tierra estabilizada como material de su vivienda



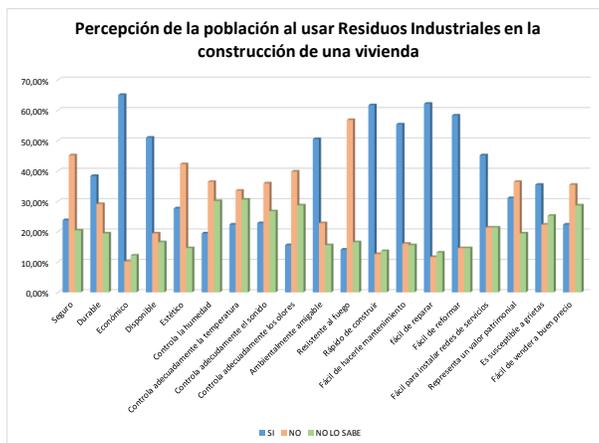
Nota. Elaboración propia.

Figura 45. Percepción de la población al utilizar materiales de origen vegetal como material de su vivienda



Nota. Elaboración propia.

Figura 46. Percepción de la población al utilizar residuos industriales como material de su vivienda



Nota. Elaboración propia.

En referencia a los materiales, objeto de estudio, la población considera que la tapia pisada es la más segura, durable, ambientalmente amigable y con un gran valor patrimonial sin embargo no tiene muy buena reputación en el control de los olores de la humedad y las dificultades para la posventa, en cuanto a la madera, la encuentra también ambientalmente amigable, rápida de construir, de reparar y de reformar pero con una gran debilidad frente a la protección del fuego y los controles de confort olfativo, térmico y acústico. Los residuos industriales, aunque son considerados muy económicos y fáciles para construir y disminuir el

tiempo de construcción de las viviendas, presentan poca aceptación en lo relacionado con la seguridad, la protección del fuego, el componente estético, el confort y las posibilidades posventa.

4.6. Análisis de factores

4.6.1. Análisis de la intervención

Para el análisis de los factores es necesario adoptar un enfoque de ciclo de vida que permita reconocer la manera en que las decisiones influyen en cada etapa del proceso y así sopesar las ventajas y desventajas, contribuyendo a la economía, el medio ambiente y la sociedad (Naciones Unidas, 2004), reconociendo en esta forma que para evaluar los efectos e impactos de los materiales utilizados para la construcción en el departamento de Santander, además del reconocimiento en sí mismo de los materiales predominantes, es importante establecer un mecanismo de análisis de la intervención en las diferentes etapas en que participa cada producto.

Por lo anterior se considera conveniente adoptar la metodología del análisis del ciclo de vida en adelante-ACV con el que se valoran los aspectos ambientales y para los aspectos socioeconómicos se utilizará la metodología del Análisis Social del Ciclo de Vida en adelante - ASCV (UNEP SECTAC, 2013).

El ACV es una herramienta que se usa para evaluar el impacto potencial sobre el ambiente de un producto, proceso o actividad a lo largo de todo su ciclo de vida (ISO 14040:2006). Las fases que acompañan el ciclo de vida generalmente de una obra de construcción inician con la extracción de las materias primas, pasando por la fabricación de productos, el transporte, la construcción de las obras, el uso y mantenimiento y la deconstrucción o demolición (Wadel y Cuchí, 2010). Si el análisis que se realiza tiene en cuenta desde la extracción hasta la distribución se le conoce como “de la cuna a la tumba” (cradle to grave), sin embargo, en el literal A.1.2 de la norma ISO:14040:2006, permite que se aplique la metodología a fases que abarquen de “la cuna a un punto intermedio” o para el caso aplicado al presente estudio se conoce como “de la cuna a la puerta” por lo que solamente se tendrán en cuenta factores asociados a los ciclos de extracción, fabricación y transporte de los materiales de construcción.

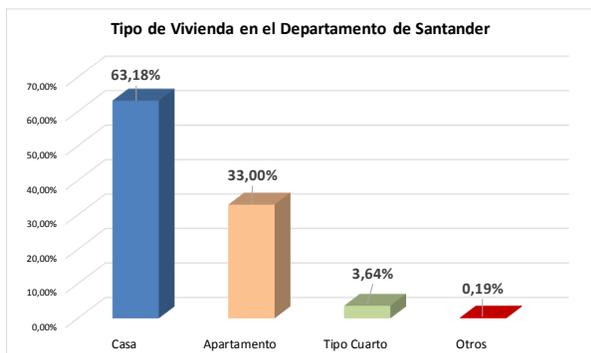
Para determinar la cuantificación por ACV, del uso de recursos (“entradas” como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales (“salidas” al aire, agua y suelo) contemplados en la norma, es necesario conocer el proceso de cada producto manufacturado y determinar la categoría de impacto que es la clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida.

Para realizar la valoración del impacto socioeconómico, se utilizará la metodología del Análisis Social del Ciclo de Vida–ASCV, la cual se basa en la asignación de una puntuación tanto a la evaluación de desempeño socioeconómico en relación al contexto local y la evaluación de su impacto socioeconómico que depende de cómo su comportamiento afecta al contexto local (Russi y Ayuso, 2012). Para el estudio de las categorías y subcategorías de impacto se seguirán las directrices de UNEP SECTAC (2013), relacionadas para la presente investigación las cuales son, Salud y Seguridad (SS), Derechos Humanos (DH) y Repercusiones Socioeconómicas (RS).

4.6.1.1. Tipos de vivienda en Santander

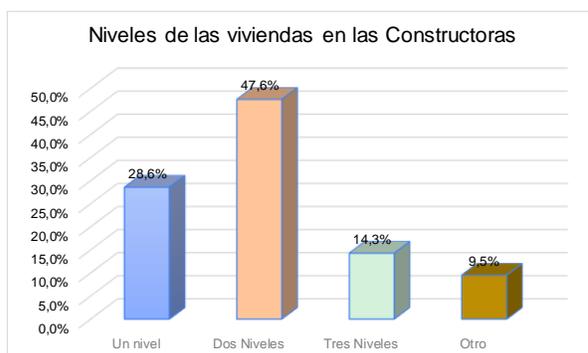
De acuerdo con los datos del Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV, 2018), el 63,8% de la población del departamento de Santander vive en casas, como se puede visualizar en la figura 47. Según el análisis de las encuestas realizadas en esta investigación, el 90,5%, tiene como residencia una vivienda de uno o dos niveles, como se puede ver en la figura 48.

Figura 47. Tipo de vivienda en Santander



Nota. Elaboración propia con base en registros del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

Figura 48. Niveles de las viviendas



Nota. Elaboración propia.

Por lo general estas viviendas son de dos tipos según Días y Ramirez (2011), la tradicional que es aquella que está construida con materiales propios de la región y cuyo proceso constructivo ha sido transmitido de generación en generación y la convencional que es la realizada con sistemas constructivos artesanales mejorados, que utilizan materiales modernos o industrializados. De acuerdo a la presente investigación como se muestra en la tabla 14, estos dos tipos de vivienda en el departamento de Santander tienen los siguientes materiales de construcción para muros, pisos y cubiertas:

Tabla 14. *Materiales de construcción utilizados en las viviendas de Santander*

Parte de la vivienda	Vivienda convencional	Vivienda tradicional
Muros	Unidades de mampostería (Ladrillo, Bloque hueco)	Tapia pisada, Adobe y Madera
Pisos	Baldosín de cerámica y Concreto.	Tableta de gres, madera y tierra.
Cubierta	Teja de barro, Teja de fibrocemento	Madera, fibras naturales

Nota. Elaboración propia.

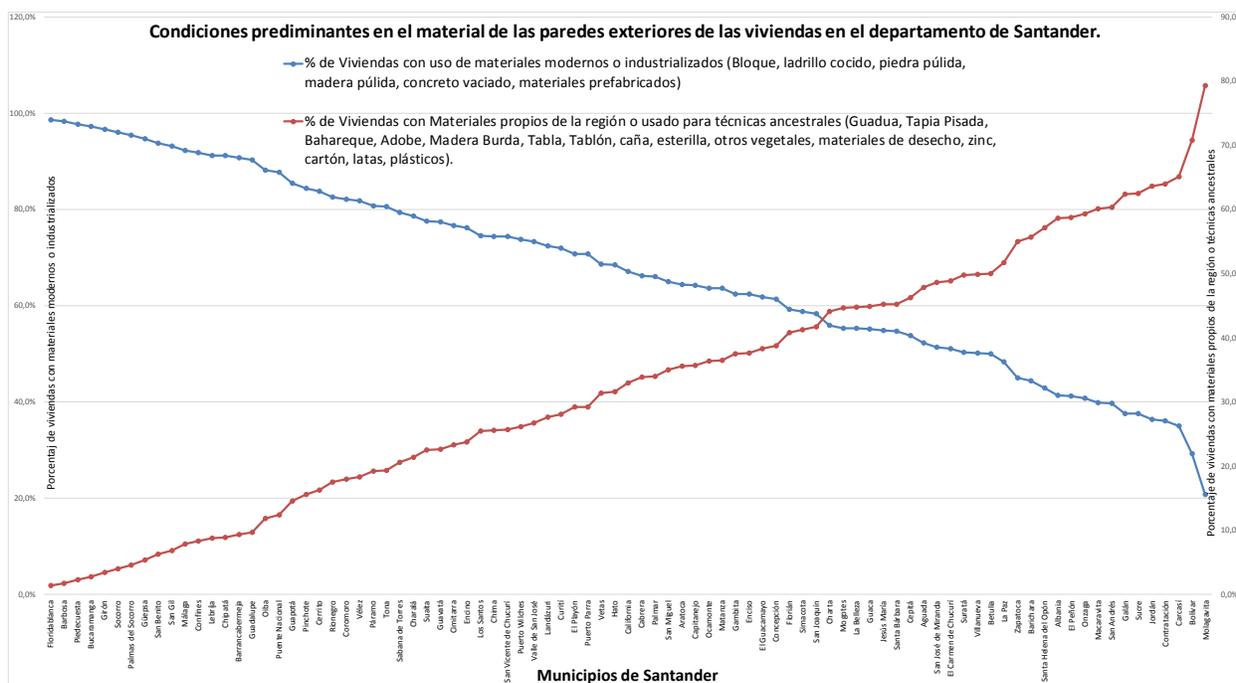
Para analizar los materiales de construcción, es importante conocer que su clasificación la cual se tomará de acuerdo a la presentada por Días y Ramirez (2011) en la cual se pueden dividir en pétreos los cuales se pueden encontrar de origen natural como las rocas, gravas, arenas, granitos, mármoles, tierra, calizas y arcillas; manufacturados de origen pétreo como ladrillos, azulejos, gres, porcelanas, lozas y vidrios; metálicos los cuales son inorgánicos, naturales o procesados, presentan gran resistencia a la ruptura y capacidad de volver a su forma original después de sufrir deformación, lo cual es una gran ventaja para su utilización y reutilización entre estos están el zinc, el aluminio, el cobre y el hierro para estructuras y cimentación; finalmente los materiales vegetales que son aquellos que provienen de la naturaleza en forma orgánica, permiten su uso en estado natural o manufacturado como la madera y la guadua.

En este análisis no se incluye los materiales para las redes de agua potable, agua residual, electricidad, comunicaciones y sistemas contraincendios, ni elementos constructivos tipo hierro, puertas y ventanas que forman parte de la vivienda, teniendo en cuenta que estos se deben ajustar a normas técnicas específicas y se ajustan a cualquier de los tipos de vivienda y no son objeto de la presente investigación.

Por lo anterior, se debe determinar cuáles son los productos finales más utilizados con ciclos de vida similares, que se tienen en las viviendas con los materiales de construcción, los cuales se mencionan a continuación: Productos de arcilla cocida (Ladrillos macizos, ladrillos, huecos, tejas de barro, cerámicas), morteros y concretos, madera, tapia pisada, productos de arcilla cruda (Adobe), maderas y fibras vegetales.

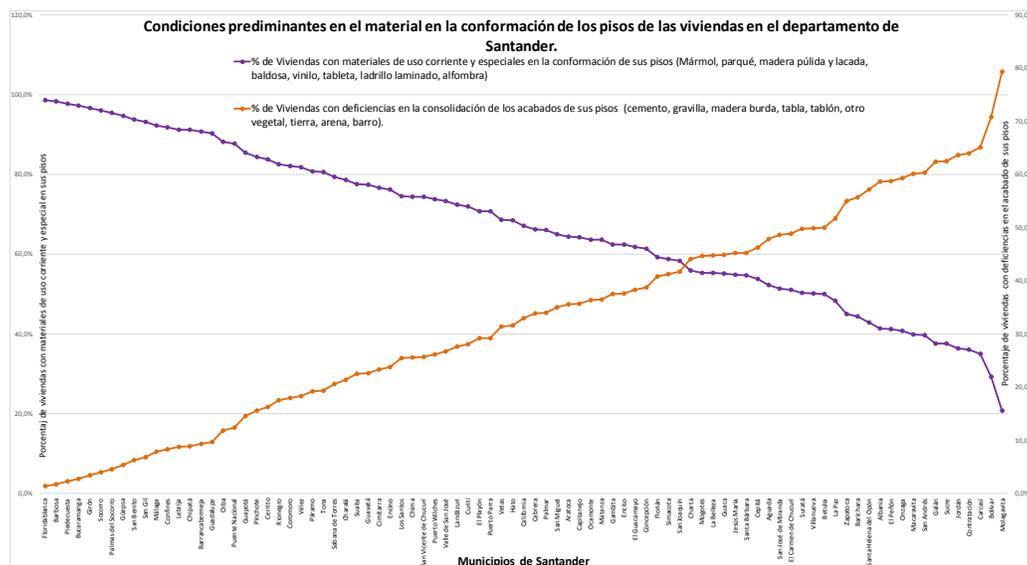
De acuerdo al CNPV realizado en el año 2018 por el DANE, se puede apreciar en la figura 49 la comparación en el uso de materiales para construir las viviendas en los municipios de Santander, con esto se determinan las condiciones elegidas para el material de las paredes según el porcentaje de viviendas. Así mismo en la figura 50 se hace un comparativo de los materiales para construir el piso de las viviendas teniendo en cuenta el porcentaje de viviendas por cada municipio de Santander.

Figura 49. Comparación entre los materiales convencionales y los materiales tradicionales para las paredes



Nota. Elaboración propia con base en registros del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

Figura 50. Comparación entre los materiales convencionales y los materiales tradicionales utilizados para los pisos



Nota. Elaboración propia con base en registros del Censo Nacional de Población y Vivienda. DANE, 2018.

4.6.1.2. Indicadores de impacto socioeconómico y ambiental

Para la asignación de puntos a los indicadores de todas las subcategorías de impacto, se tomarán los métodos de evaluación desarrollados por GreenDeltaTC, los cuales consisten en asignar puntos a todos los indicadores de todas las subcategorías de impacto para evaluar cada una de las fases del ciclo de vida (Ciroth & Franze, 2011). De acuerdo con la calificación mostrada en la tabla 15.

Tabla 15. Calificación de los indicadores de las categorías de impacto

Evaluación del desempeño	Evaluación de su impacto	Color	Factor
Muy buen rendimiento	Efecto positivo		1
Buen rendimiento	Efecto ligeramente positivo		2
Rendimiento satisfactorio	Efecto indiferente		3
Rendimiento inadecuado	Efecto ligeramente indiferente		4
Bajo rendimiento	Efecto negativo		5
Muy bajo rendimiento	Efecto muy negativo		6

Nota. Tomado de LCA of an Ecolabeled Notebook, Consideration of social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle. GreenDeltaTC . Por Ciroth & Franze. 2011.

En el análisis de los sistemas de evaluación de sostenibilidad descritos en el apartado de antecedentes investigativos del presente documento, se evidencia que la valoración de los impactos sociales y socioeconómicos a materiales de construcción para viviendas, no cuenta con límites de referencia que permitan enmarcar los efectos de los indicadores en un rango predefinido, situación que se promueve en el presente estudio, por lo tanto se propone la determinación de unos rangos de clasificación basados en metas de los Objetivo de Desarrollo Sostenibles de acuerdo al Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES, 2018), de tal manera que permita evaluar el comportamiento de cada indicador en relación al efecto causado.

Lo anterior, se considera un referente de valoración, que puede ser utilizado para medir el mismo producto en otras regiones del país, o a su vez implementarla en otros productos de un sector diferente. De igual forma se convierte en un aporte para profundizar en forma autónoma en la captación de datos en alguna comunidad específica, y de esta manera poder, avanzar en políticas públicas que puedan mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos, con una estratégica y equitativa inversión de los recursos públicos.

En la tabla 16 se encuentran las categorías de grupos de interés para el presente proyecto, de igual forma las categorías y subcategorías de impacto y cada uno de los indicadores relacionados con una de las dimensiones del desarrollo sostenible. Para cada indicador, se encuentra el rango de comparación, la valoración de los efectos, para determinar el impacto socioeconómico y ambiental de la unidad analizada.

Tabla 16. Rangos de comparación para evaluación de indicadores

Indicador	Efecto positivo	Efecto ligeramente positivo	Efecto indiferente	Efecto ligeramente indiferente	Efecto negativo	Efecto muy negativo
Percepción de pobreza	$P < 18,7$	$18,6 < P < 25$	$25 < P < 27,8$	<u>$27,8 < P < 45,5$</u>	$45 < P < 53,8$	$P > 53,8$
Acceso a internet	$I > 60$	$49,9 < I < 60$	$41,8 < I < 49,9$	$4,84 < I < 41,8$	$0 < I < 4,84$	0
Acceso a fuente de agua mejorada	100	$76,6 < A < 100$	$74,3 < A < 76,6$	$72,58 < A < 74,3$	$41,01 < A < 72,58$	<u>$A < 41,01$</u>
Acceso a eliminación adecuada de excretas	100	$92,6 < S < 100$	$72,8 < S < 92,6$	$69,33 < S < 72,8$	$51 < S < 69,33$	<u>$S < 51\%$</u>

(Continuación tabla 16. Rangos de comparación para evaluación de indicadores)

Deficit cuantitativo de vivienda	0,0<F<2,7	2,7<F<5,5	5,5<F<12,36	12,36<F<15,20	15,2<F<19,9	F>19,9
Asistencia escolar	AE>95	83<AE<95	<u>77,8<AE<83</u>	75,24<AE<77,8	42,93<AE<75,24	AE<42,93
Bajo logro educativo (Años máximos)	LE>16	14<LE<16	10,63<LE<14	9,15<LE<10,63	<u>7,18<LE<9,15</u>	LE<7,18
Analfabetismo	0	0<AN<2,06	2,06<AN<3,41	3,41<AN<5,8	<u>5,8<AN<10</u>	AN>10
Con aseguramiento en salud	100	99<ASS<100	97<ASS<99	<u>95,7<ASS<97</u>	90<ASS<95,7	ASS<90

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado de la ODM y ODS.

4.6.1.3. Análisis de factores de materiales de construcción utilizados en viviendas convencionales

4.6.1.3.1. Materiales manufacturados de origen pétreo. En este grupo se encuentran los productos de arcilla cocida (Ladrillos macizos, ladrillos, huecos, tejas de barro, cerámicas, entre otros). En Santander las arcillas se encuentran en su mayoría en los municipios de Oiba, Barrancabermeja, Cimitarra, Girón, Gámbita, Barichara, Villanueva y San Gil (*Agencia Nacional de Minería, 2020*) y las empresas de material cerámico a base de arcilla cocida se encuentran en Bucaramanga, Girón, San Gil y Barichara (*Geoportal DANE, 2019*). Para los procesos de cocción es utilizado el carbón, el cual se encuentra en Capitanejo, Cimitarra, El Carmén de Chucurí, Enciso, Landázuri, Cimitarra, San Miguel y Vélez (*Agencia Nacional de Minería, 2020*).

El ciclo de vida para este tipo de producto consiste en:

- **Extracción de materia prima:** Es un proceso que se lleva a cabo generalmente a cielo abierto, por medio de la excavación efectuada por una retroexcavadora en un terreno con alto contenido de arcilla, los terrones son desmoronados para poderlos transportar a las fábricas.
- **Almacenamiento:** El material arcilloso es acopiado en un sitio seleccionado donde debe pasar por seis meses para que pueda expulsar los gases, especialmente el metano. Posteriormente se debe transportar por una retroexcavadora a la tolva para iniciar su proceso de elaboración de los productos.

- **Molienda:** El material es clasificado para determinar su calidad y fácil colocación en las máquinas, si presenta gran tamaño debe partirse o molerse, si presenta gran plasticidad debe mezclarse con ladrillo molido, cenizas o arenas.
- **Humectación y Amasado:** La arcilla es mezclada con agua y por medio de máquinas que consisten en un tornillo sinfín, se realiza un proceso de amasado de tal manera que la mezcla quede maleable y homogénea.
 - **Extrusión y corte:** Es el proceso de darle la forma deseada (ladrillo, teja, bloque, baldosa, etc.) por medio de una máquina extrusora, dando como resultado un producto en barra continuo, el cual debe cortarse con las dimensiones solicitadas por la industria.
 - **Secado:** Es necesario reducir la humedad de las piezas para evitar fisuras en la cocción, por lo que deben ser sometidas a procesos de secado, se pueden dar con el sol, con la desventaja de demorarse varios días, o sometiéndolos a temperaturas artificiales.
 - **Cocinado:** A las piezas de arcilla debe extraerse totalmente los contenidos de agua para que deje de ser plástica y pase a ser sólida con resistencia y durabilidad. De igual forma se eliminan residuos de materia orgánica y se produzca la evaporación de sulfatos y carbonatos. Este proceso se realiza en hornos de cocción con temperaturas de hasta 1.000 grados centígrados. El combustible de los hornos frecuentemente es carbón.
 - **Enfriamiento y empaquetado:** Los materiales cerámicos se deba enfriar en el horno durante aproximadamente tres días y posteriormente se realiza en proceso de empaquetado y almacenamiento en bodega, para su posterior comercialización.
 - **Entrega:** Es el proceso mediante el cual se realiza el embalaje, transporte y entrega del material cerámico terminado para ser distribuido en comercializadoras o en las obras. Se realizará la matriz de evaluación de los efectos o impactos generados, en cada una de las etapas.

Teniendo en cuenta la metodología del ACV, la definición del límite del sistema para los materiales manufacturados de origen pétreo, se contempla en las actividades relacionadas “de la cuna a la puerta” por lo que solamente se tendrán en cuenta factores asociados a los ciclos de extracción, fabricación y transporte de los materiales de construcción. La unidad funcional para estos materiales será 1 (una) tonelada de arcilla extraída.

A continuación, en la tabla 17, se presentan en forma cualitativa un inventario de los impactos asociados a cada categoría, relacionados con las causas y las etapas en las cuales se produce.

Inventario del ciclo de vida para la producción de materiales manufacturados de origen pétreo:

Tabla 17. *Inventario de ciclo de vida de materiales manufacturados de origen pétreo*

Etapa	Causa	Categorías de Impacto					
		Afectación de los Ecosistemas	Afectación de la Biodiversidad	En el Agua	En el Suelo	Al Aire	Residuos
Extracción	Descapote del terreno	Alteración del paisaje	Desplazamiento de fauna por pérdida de hábitat	Alteraciones en la dinámica hídrica	Cambios topográficos	Generación de Material particulado en suspensión	Cobertura vegetal
	Cargue, descargue y transporte	-	Desplazamiento de fauna por ruido Pérdida de especies	Contaminación por lavado	Vertimiento de sustancias peligrosas por fugas	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos de procesos de mantenimiento
Almacenamiento	Acopio de material	-	-	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	Perdida de cobertura vegetal	Generación de Material particulado en suspensión	-
Molienda	Triturado de terreno.	-	-	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	-	Generación de Material particulado en suspensión	Rocas sin moler
Humectación y amasado	Amasado en máquina de tornillo sinfín	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por vertimientos	-	Emisión de Sustancias contaminantes	-
Extrusión y corte	Operación de máquina extrusora	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por vertimientos	-	Emisión de Sustancias contaminantes	Desperdicio
Secado	Deshidratación natural con sol.	-	-	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	Perdida de cobertura vegetal	-	-
	Deshidratación por calor artificial	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por vertimientos	Vertimiento de sustancias peligrosas por fugas	Emisión de Sustancias contaminantes	-
Cocinado	Cocción en hornos	Perdida de bosques por tala	Desplazamiento de fauna por pérdida de hábitat	-	-	Emisión de Sustancias contaminantes	-
Enfriamiento y empaquetado	Embalaje	-	-	-	-	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos de material de embalaje

(Continuación tabla 17. Inventario de ciclo de vida de materiales manufacturados de origen pétreo)

Entrega	Trasporte	-	Desplazamiento de fauna ruidos	Contaminación por lavado	Vertimiento de sustancias peligrosas por fugas	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos de procesos de mantenimiento
---------	-----------	---	--------------------------------	--------------------------	--	-------------------------------------	---------------------------------------

Nota. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las etapas del ciclo de vida para la producción de materiales manufacturados de origen pétreo, que como se explicó anteriormente y como unidad funcional la tonelada de arcilla extraída, se identifican los factores asociados entre los que se encuentran la alteración del paisaje por procesos de descapote del terreno, con sus respectivos cambios en la topografía, la desaparición de especies forestales por la tala de las zonas intervenidas y las modificaciones en el paisaje.

La utilización de maquinaria pesada como retroexcavadoras, volquetas, camiones, tanto en el proceso de extracción como en el transporte y la operación de máquinas para la fabricación del producto, genera factores asociados al uso de combustibles para los motores de los vehículos y de las máquinas y la emisión a la atmósfera de sustancias contaminantes en especial los gases de efecto invernadero. También se puede presentar que el mal uso y mantenimiento de esos equipos, genere vertimiento de sustancias contaminantes al suelo y al agua.

La tierra utilizada para la elaboración de los ladrillos, está compuesta principalmente (Zea Osorio, 2005) de arcilla, la cual es un silicoaluminato hidratado compuesto de silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) e hidrógeno (H). Por lo tanto, se presentan como factores asociados, la generación de material particulado en suspensión al aire, lo que en grandes periodos de exposición puede ser perjudicial para la salud de trabajadores, propietarios, clientes y comunidades locales.

Para la evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de materiales manufacturados de origen pétreo, se incluirán los impactos asociados a la categoría de impacto al aire relacionado con cambio climático, por lo tanto, se registrarán las emisiones de CO₂ y la energía consumida en cada etapa del proceso se toma de referencia los cálculos realizados por Devia y Suárez (2016) para una empresa ladrillera de Colombia. El resumen de estos cálculos se puede encontrar en la tabla 18. Para determinar los consumos de energía y emisiones de CO₂ por cada tonelada de arcilla extraída.

Tabla 18. Consumos de energía y emisiones de CO₂ por materiales manufacturados de origen pétreo

Proceso	Consumo de energía (MJ)	Emisión de CO ₂ . (Kg)
Cocción	3.258	110
Transformación	1.949	110
Explotación	-	120
Secado	-	120
Otros	22	120
TOTAL	5.499	580

Nota. Elaboración propia.

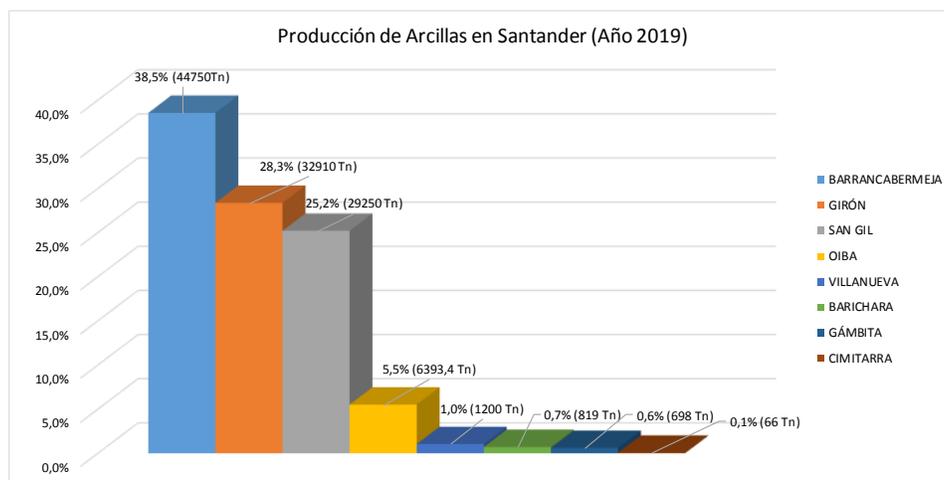
Teniendo en cuenta que, como se muestra en figura 51, la producción de arcilla en el Departamento de Santander durante el año 2019 fue de 116.086 Tn, y se calculan las emisiones de CO₂ y el consumo de energía por municipio las cuales se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Consumos de energía y emisiones de CO₂ por municipios productores de Arcilla en Santander

Municipio	Emisiones de CO ₂ (Kg) (232,83 Kg/Tn)	Consumo de energía (4m27 MJ) por Tn
Barichara	231.637,77	3.831.306,57
Barrancabermeja	12.656.642,5	209.341.842,5
Cimitarra	18.666,78	308.749,98
Gambita	197.415,34	3.265.264,94
Girón	9.307.935,3	153.953.967,3
Oiba	1.808.245,322	29.908.517
San Gil	8.272.777,5	136.832.377,5
Villanueva	339.396	5.613.636

Nota. Elaboración propia con base en registros de la producción de arcilla.

Figura 51. Producción de arcilla en Santander, 2019

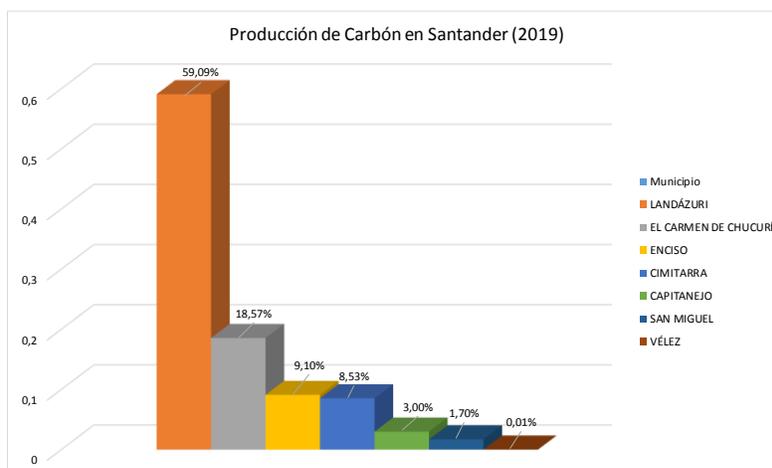


Nota. Elaboración propia con base en registro de Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia, 2019.

Para el caso del Carbón, la unidad funcional para estos materiales será la tonelada de carbón extraído y solo se tienen en cuenta valores asociados a la extracción, es decir un consumo de 4,27 Kg/Tn y 1,3 MJ/Tn, como se muestra en la tabla 20, por lo que este es usado como el combustible de los hornos de cocción de la arcilla, cuyos valores ya están incluidos.

En la figura 52 se muestra la producción de carbón en Santander del año 2019, datos obtenidos de la ANM de Colombia, siendo el municipio de Landázuri el mayor productor de carbón en Santander de los ocho municipios evaluados, con un 59,09%.

Figura 52. Producción de Carbón en Santander, 2019



Nota. Elaboración propia con base en registro de Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia, 2019.

Tabla 20. Consumos de energía y emisiones de CO2 por municipios productores de Carbón en Santander

Municipio	Emisiones de CO2 (Kg) (232,83 Kg/Tn)	Consumo de energía (4m27 MJ) por Tn
Capitanejo	23.290,84	19.191,17
Cimitarra	18.666,78	308.749,98
El Carmen de Chucurí	78.098.344,81	43.482.165,4
Enciso	68.777,74	20.939,36
Landázuri	1.151.822,38	13.362.900,96
San Miguel	12.810	3.900
Vélez	98,21	29,9

Nota. Elaboración propia con base en registros de la producción de arcilla.

Para realizar el Análisis Social del Ciclo de Vida, de los municipios productores de arcilla en Santander, se requiere realizar un inventario del ciclo social de vida del producto, que para este caso iniciaría con los materiales manufacturados de origen pétreo, que como se mencionó anteriormente corresponden a productos de arcilla cocida (Ladrillos macizos, ladrillos, huecos, tejas de barro, cerámicas, entre otros), los datos del cálculo del indicador de cada municipio se obtienen con base en la información contenida para cada municipio en el Apéndice F, estos indicadores se colocan a manera de ejemplo para los municipios productores de arcilla, para los demás municipios el cálculo puede ver en el apéndice G. En la tabla 21 se presentan los resultados asociados a cada indicador, calculados de acuerdo a los datos obtenidos para cada municipio productor de arcilla.

Tabla 21. Evaluación Socioeconómica y Ambiental de Municipios productores de Arcilla en Santander

Categoría de Grupo de interés	Categoría de impactos	Subcategoría de impacto	Indicadores Socioeconómicos y Ambientales de municipios productores de arcilla en Santander									
			Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Municipio Barrancabermeja	Municipio Barichara	Municipio Cimitarra	Municipio Gambita	Municipio Girón	Municipio Oiba	Municipio San Gil	Municipio Villanueva
Comunidad Local	Repercusiones	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	41,6%	20,6%	27,6%	16,6%	37,3%	25,7%	26,6%	16,6%
		Acceso a Internet	I: Acceso a internet (%)	Económico	6,9%	7,3%	3,6%	0,5%	11,7%	5,0%	7,5%	1,3%

Trabajador	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	44,8%	43,8%	22,5%	25,2%	53,0%	49,0%	66,1%	66,4%	
			S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	11,8%	9,1%	24,5%	6,6%	25,0%	4,1%	9,0%	47,5%	
			C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	2,17%	0,04%	0,00%	0,03%	1,60%	0,31%	1,42%	0,06%	
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	12,32%	0,23%	0,02%	0,19%	9,06%	1,76%	8,05%	0,33%	
			F: Déficit cuantitativo de vivienda (%)	Social	33,6%	20,4%	53,9%	48,6%	8,1%	21,3%	13,9%	29,0%	
	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	81,89%	83,00%	81,16%	78,27%	76,97%	85,48%	87,59%	84,32%	
			Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	8,9	7,3	7,7	6,6	7,6	7,4	7,7	6,9
				Igualdad de oportunidad	AN: Analfabetismo (%)	Social	7,44%	6,41%	10,57%	11,40%	7,17%	10,77%	6,87%
	Salud y Seguridad	Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	92,48%	98,17%	95,91%	96,58%	96,24%	98,59%	97,85%	99,39%	

Nota. Elaboración propia.

Con base en el rango de evaluación presentado anteriormente en la tabla No 14 del presente documento, se procede a calificar el factor de impacto, para cada uno de los indicadores de las dimensiones del desarrollo sostenible de los municipios analizados. En la figura 53, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio productor de arcilla en Santander y se realiza en la parte inferior, la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico.

Figura 53. Impacto socioeconómico y ambiental de los municipios productores de arcilla

Evaluación Socioeconómica y Ambiental de municipios productores de Arcilla en Santander.													
Categoría de Grupo de interés	Categoría de impactos	Subcategoría de impacto	Impacto Socioeconómico y Ambiental										
			Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Factor de Impacto								
					Barrancabermeja	Barichara	Cimitarra	Gambita	Girón	Oiba	San Gil	Villanueva	
Comunidad Local	Repercusiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	5	2	3	1	4	4	3	1	
		Acceso a recursos inmateriales	I: Acceso a internet (%)	Económico	4	4	5	5	1	4	4	5	
			A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	5	5	6	6	5	5	5	5	
			S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6	6	6	6	6	
	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	3	2	1	2	3	2	3	2	
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	5	2	2	2	4	3	4	2	
			F: Déficit cuantitativo de vivienda (%)	Social	6	6	6	6	3	6	4	6	
	Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	3	2	3	3	3	2	2	2
			Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	5	6	5	4	5	6
Igualdad de oportunidades			AN: Analfabetismo (%)	Social	5	5	6	6	5	6	5	5	
Salud y Seguridad		Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	5	3	4	4	4	3	3	2	
Evaluación Total					4,73	3,82	4,27	4,27	3,91	4,09	4,00	3,82	
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	

Nota. Elaboración propia.

Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son el de acceso a eliminación adecuada de excretas, el déficit cuantitativo de vivienda y el analfabetismo. Los municipios de Barichara, Villanueva y Girón, reflejan un desempeño satisfactorio y los demás el desempeño es inadecuado.

Para el caso del carbón, como mineral de combustión, los datos del cálculo de la evaluación a cada indicador por municipios de encuentra detallado en el apéndice G. En la figura 54, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio productor de carbón en Santander y se realiza en la parte inferior, la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico.

Figura 54. Impacto socioeconómico y ambiental de municipios productores de carbón

Evaluación Socioeconómica y Ambiental de municipios productores de Carbón en Santander												
Categoría de Grupo de interés	Categoría de Impactos	Subcategoría de impacto	Impacto Socioeconómico y Ambiental									
			Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Factor de Impacto							
					Capitanejo	Cimitarra	El Carmén de Chucurí	Enciso	Landazurí	San Miguel	Vélez	
Comunidad Local	Repercusiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	1	3	2	1	3	2	2	
		Acceso a recursos inmateriales	I: Acceso a internet (%)	Económico	6	5	5	5	5	5	3	
			A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	5	6	5	5	6	6	6	
			S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6	6	6	6	
	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	1	1	5	1	1	1	1	
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	1	2	5	1	1	1	1	
			F: Déficit cuantitativo de vivienda (%)	Social	6	6	6	6	6	6	6	
	Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	2	3	2	2	3	2	2
			Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	5	5	5	5	5
Igualdad de oportunidades			AN: Analfabetismo (%)	Social	6	6	5	6	6	6	6	
Salud y Seguridad		Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	3	4	4	3	4	2	3	
Evaluación Total					3,82	4,27	4,55	3,73	4,18	3,82	3,73	
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Satisfactorio	

Nota. Elaboración propia.

Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son el acceso a fuentes de agua mejoradas, el acceso a eliminación adecuada de excretas, el déficit cuantitativo de vivienda y el analfabetismo. Los municipios de Capitanejo, San Miguel y Vélez, reflejan un desempeño satisfactorio y los demás el desempeño es inadecuado.

4.6.1.3.2. Materiales aglomerantes

Los materiales aglomerantes son aquellos que mezclados con agua adquieren la propiedad de adherirse fácilmente a otros materiales, de unirlos entre sí, de protegerlos,

endurecerlos y alcanzar resistencias mecánicas considerables como el caso del cemento en sí mismo y mezclado con otros materiales el concreto (Días y Ramirez, 2011).

Para la elaboración del cemento y el concreto, se usan materiales contemplados en el artículo 11 de la Ley 685 de 2001, pueden ser materiales pétreos obtenidos por procesos de extracción o explotados en minas y canteras, entre los que se encuentran calizas, areniscas, shertz y conglomerados, también materiales obtenidos por arrastre entre los que se encuentran arenas, gravas y piedras yacentes en el cauce, orillas, corrientes, vegas de inundación y otros terrenos aluviales. Para analizar el ACV el concreto, es importante analizar el ciclo de vida de los tres materiales principales que lo componen como son el cemento, la arena y las gravas:

- **ACV del Cemento:** El cemento que más utilización tiene que es el Tipo I, se elabora a partir de rocas sedimentarias como la caliza la cual es requerida en una proporción de 1,6 Kg para producir 1,0 kg de cemento (Carvalho, 2001). El proceso para la elaboración del cemento es el siguiente:

- a. **Extracción:** Se realiza la extracción de las materias primas que en su gran mayoría son rocas calizas mezcladas en menor proporción con otros minerales, la extracción de las rocas calizas, se hace a cielo abierto (Ministerio de Minas y Energía [MinMinas], 2013), separando los bloques de roca de la bancada y dividiéndola en bloques, entre la maquinaria asociada están las de perforación y las retroexcavadoras.

- b. **Trituración:** Los bloques de rocas calizas, son transportados hasta las zonas donde se encuentren las trituradoras, máquinas encargadas de como su nombre lo indica, convertir estos grandes bloques en fragmentos más pequeños.

- c. **Pre-homogenización:** Se realiza en una banda transportadora una mezcla húmeda, o seca, de las calizas, con arenas, arcillas y mineral de hierro.

- d. **Molino de crudo:** A través de un proceso molienda se convierte la roca en un material muy fino con características de pequeñas partículas de polvo.

- e. **Homogenización:** Se realiza en silos de mezclado en seco, para darle homogenización a los componentes.

- f. **Cocción:** Se introduce la mezcla homogenizada en unos hornos, cuyo combustible es el carbón, y que elevan la temperatura a entre 1400 y 1550 °C, cambiando químicamente el material crudo a un clinker, que es un compuesto sólido con forma de pequeñas rocas, el cual tiene altas propiedades cementantes.

g. Molino de rodillos: Se realiza un molido del Clinker y posteriormente se le añade yeso en pequeñas cantidades para controlar el tiempo de fraguado, mejorar las propiedades de contracción y el desarrollo de resistencia.

h. Molienda: A la mezcla de Clinker y yeso, se realiza un proceso de molienda, para producir un material ultrafino, que configura cemento.

i. Empacado y transporte: Se realiza el empaque en bolsas y posteriormente su distribución a los puntos de comercialización o directamente a la obra.

El ciclo de vida de la arena y gravas es el siguiente:

a. Explotación: A los materiales como la arena y la grava para la construcción se les conoce como agregados, teniendo en cuenta que mezclados con el cemento y agua conformarán el concreto. Los agregados se pueden extraer de los cauces de los ríos, de la trituración de rocas o de canteras, en el ciclo de obtención para el material de cantera es necesario utilizar perforación y voladura para el arranque del material, equipo pesado para la reducción de sobre tamaños y cargue. Lo que conlleva a efectos colaterales en el medio ambiente teniendo en cuenta que en todos los casos se utiliza maquinaria pesada tipo retroexcavadoras, volquetas, martillos demolidores y/o explosivos (Ministerio de Minas y Energía [MinMinas], 2013). En el caso de las gravas, las rocas de gran tamaño, son llevadas a procesos de trituración para obtener tamaños acordes a los diseños de mezclas.

b. Transporte: Los agregados son transportados en volquetas, ya sea hasta el sitio de comercialización, hasta la obra o a las concreteteras.

El Inventario cualitativo del ciclo de vida ambiental para la producción de materiales aglomerantes como el cemento (caliza y yeso) y concreto (grava y arena), se presenta en la tabla 22.

Tabla 22. *Inventario de ciclo de vida de materiales aglomerantes*

Etapa	Tipo de materia prima	Causa	Categorías de impacto					
			Afectación de los ecosistemas	Afectación de la Biodiversidad	En el Agua	En el Suelo	Al Aire	Residuos
Extracción	Arena, Grava, Caliza y Yeso	Descapote del terreno	Alteración del paisaje	Desplazamiento de fauna por perdida de habitat	Alteraciones en la dinámica hídrica	Cambios topográficos	Generación de Material particulado en suspensión	Cobertura vegetal

	Arena, Grava Caliza y Yeso	Cargue, descargue y transporte	Perdida de especies	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación por lavado	Vertimiento de sustancias peligrosas por fugas	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos de procesos de mantenimiento
Almacenamiento	Arena, Grava Caliza y Yeso	Acopio de material	-	-	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	Perdida de cobertura vegetal	Generación de Material particulado en suspensión	-
Trituración	Caliza	Triturado de rocas calizas	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	-	Emisión de Sustancias contaminantes	Rocas sin moler
Prehomogenización	Caliza, arena, arcilla y mineral de hierro	Amasado en máquina de tornillo sinfín	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por vertimientos	-	Emisión de Sustancias contaminantes	-
Molino de crudo	Caliza, arena, arcilla y mineral de hierro	Operación de máquina extrusora	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por vertimientos	-	Emisión de Sustancias contaminantes	Desperdicio
Homogenización	Caliza, arena, arcilla y mineral de hierro	Deshidratación natural con sol.	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por vertimientos	-	Emisión de Sustancias contaminantes	-
Cocción	Clinker	Cocción en hornos	-	-	-	-	Emisión de Sustancias contaminantes	-
Molino de rodillos	Clinker y yeso	-	-	Desplazamiento de fauna por ruido	-	-	Emisión de Sustancias contaminantes	-
Empacado y transporte	-	Embalaje	-	-	Contaminación por lavado	-	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos de material de embalaje

Distribución	Trasporte	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación por lavado	Vertimiento de sustancias peligrosas por fugas	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos de procesos de mantenimiento
--------------	-----------	---	-----------------------------------	--------------------------	--	-------------------------------------	---------------------------------------

Nota. Elaboración propia.

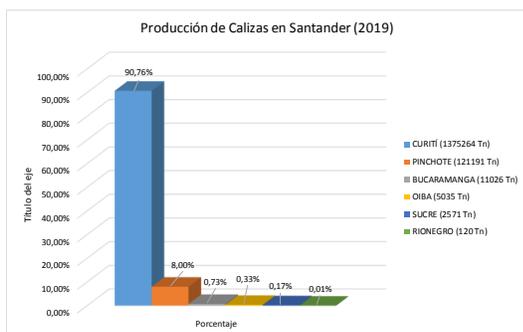
Teniendo en cuenta las etapas del ciclo de vida para la producción de materiales aglomerantes, se identifican los factores asociados entre los que se encuentran la alteración del paisaje por procesos de descapote del terreno, con sus respectivos cambios en la topografía y las modificaciones en el paisaje.

La utilización de maquinaria pesada como retroexcavadoras, volquetas, camiones, tanto en el proceso de extracción como en el transporte y la operación de máquinas para la fabricación del cemento, genera factores asociados al uso de combustibles para los motores de los vehículos y de las máquinas y la emisión a la atmosfera de sustancias contaminantes en especial los gases de efecto invernadero. También se puede presentar que el mal uso y mantenimiento de esos equipos, genere vertimiento de sustancias contaminantes al suelo y al agua. En los procesos de extracción de la arena, gravas, calizas y el yeso, se produce la generación de material particulado en suspensión al aire, lo que en grandes periodos de exposición puede ser perjudicial para la salud de trabajadores, propietarios, clientes y comunidades locales.

En conclusión, se establece que los impactos cuantificables en la producción del concreto están relacionados con las emisiones de sustancias contaminantes como el CO₂ y el consumo de energía por el uso de combustibles. Asumiendo los valores presentados por Bellart y Mesa (2009) la producción de 1 Tn de árido (Grava, Yeso, Arena, Caliza) que será la unidad de análisis, genera 8 Kg de CO₂ y 150 MJ de energía, por lo tanto:

- **Impacto ambiental de la producción de Las calizas en Santander:** Las calizas en el departamento se producen en los municipios de Curití, Oiba, Pinchote, Rionegro, Bucaramanga y Sucre (Agencia Nacional de Minería, 2020), de acuerdo a los datos tomados de la ANM de Colombia del año 2019 se tiene que el mayor productor de caliza en Santander es el municipio de Curití con un 90,76% como se ve en la figura 55. Así mismo se evalúa el consumo de energía y emisiones de CO₂ de cada uno de los municipios mencionados, cuyos resultados se presentan en la tabla 23.

Figura 55. Producción de Calizas por municipios de Santander



Nota. Elaboración propia con base en registro de Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia, 2019.

Tabla 23. Consumos de energía y emisiones de CO2 por municipios productores de Calizas en Santander

Municipio	Emisiones de CO2 (Kg) (232,83 Kg/Tn)	Consumo de energía (4m27 MJ) por Tn
Bucaramanga	111.038,4	2.081.970
Curití	11.002.108,8	206.289.540
Oiba	1.808.245,322	29.908.517
Pinchote	969.526,4	18.178.620
Rionegro	9.920	186.000
Sucre	20.564	385.575

Nota. Elaboración propia.

Para el caso de las calizas, los datos del cálculo de la evaluación a cada indicador por municipios de encuentra detallado en el apéndice G. En la figura 56, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio productor de caliza en Santander y se realiza en la parte inferior, la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico.

Figura 56. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Caliza en Santander

Evaluación Socioeconómica y Ambiental del Impacto de Municipios productores de Caliza en Santander.											
Categoría de Grupo de interés	Categoría de impactos	Subcategoría de impacto	Impacto Socioeconómico y Ambiental								
			Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Factor de Impacto						
					Bucaramanga	Curiti	Oiba	Pinchote	Rionegro	Sucre	
Comunidad Local	Repercusiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico		2	4	4	4	4	1
		Acceso a recursos inmateriales	I: Acceso a internet (%)	Económico	4	5	4	4	5	5	
			A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	5	3	5	5	5	6	
			S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6	6	6	
	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	2	1	2	2	1	1	
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	2	1	3	2	1	2	
F: Deficit cuantitativo de vivienda (%)			Social	3	6	6	3	1	6		
Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	5	3	2	2	5	3	
		Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	4	5	5	6	
		Igualdad de oportunidades	AN: Analfabetismo (%)	Social	5	6	6	4	6	6	
	Salud y Seguridad	Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	5	3	3	2	4	4	
Evaluación Total					3,82	3,73	4,09	3,55	3,91	4,18	
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	

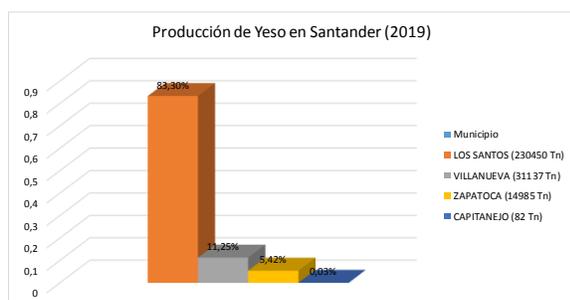
Nota. Elaboración propia.

Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son, el acceso a eliminación adecuada de excretas y el analfabetismo. Los municipios de Curití y Rionegro, reflejan un desempeño satisfactorio y los demás el desempeño es inadecuado.

- **Impacto ambiental de la producción de Yeso en Santander:** El Yeso en Santander se obtiene en los municipios de Capitanejo, Los santos, Villanueva y Zapatoca. Por lo tanto, en la 57 se visualiza el nivel de producción de yeso de cada municipio de Santander, cuyos datos fueron obtenidos de la ANM del año 2019. Como resultado se tiene que el municipio de los santos

es el mayor productor de yeso con un 83,3% de la producción total. Así mismo en la tabla 24 se realiza la medición del consumo de energía y de emisiones de CO2 de los cuatro municipios productores acorde a la información suministrada.

Figura 57. Producción de Yeso por municipios de Santander



Nota. Elaboración propia con base en registro de Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia, 2019.

Tabla 24. Consumos de energía y emisiones de CO2 por municipios productores de Yeso en Santander

Municipio	Emisiones de CO2 (Kg) (232,83 Kg/Tn)	Consumo de energía (4m27 MJ) por Tn
Los Santos	2.140.768,8	40.049.415
Villanueva	339.396	5.613.636
Zapatoca	2.212.911,45	2.247.675
Capitanajo	23.290,84	19.191,17

Nota. Elaboración propia.

Para el caso del yeso, los datos del cálculo de la evaluación a cada indicador por municipios de encuentra detallado en el apéndice G. En la figura 58, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio productor de yeso en Santander y se realiza en la parte inferior, la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico

Figura 58. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Yeso en Santander

Evaluación Socioeconómica y Ambiental de Municipios productores de Yeso en Santander.								
Categoría de Grupo de interés	Categoría de impactos	Subcategoría de impacto	Impacto Socioeconómico y Ambiental					
			Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Factor de Impacto			
					Capitanejo	Santos	Villanueva	Zapatoca
Comunidad Local	Repercusiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	2	1	1	3
		Acceso a recursos inmateriales	I: Acceso a internet (%)	Económico	6	5	5	5
			A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	6	6	5	6
			S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6
	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	1	1	2	2
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	1	1	2	2
			F: Deficit cuantitativo de vivienda (%)	Social	6	4	6	6
Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	2	2	2	5
		Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	6	5
		Igualdad de oportunidades	AN: Analfabetismo (%)	Social	6	6	5	4
	Salud y Seguridad	Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	3	4	2	3
Evaluación Total					4,00	3,73	3,82	4,27
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado

Nota. Elaboración propia.

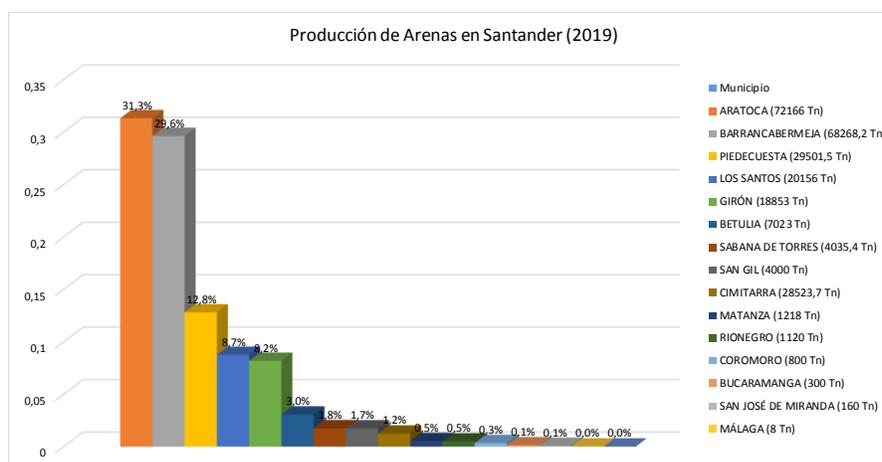
Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son, el acceso a fuentes de agua mejorada y a eliminación adecuada de excretas. Los municipios de Los Santos y Villanueva, reflejan un desempeño satisfactorio y los demás el desempeño es inadecuado.

- **Impacto ambiental de la producción de arena en Santander:** En Santander, las arenas negras se encuentran en el municipio de Sabana de Torres; las arenas silíceas en los

municipios de Aratoca, Barrancabermeja, Betulia, Bucaramanga, Cimitarra, Coromoro, Girón, Piedecuesta, San Gil, Mogotes, Rionegro, Los Santos, Matanza, Málaga y Sabana de Torres (Agencia Nacional de Minería, 2020).

En la figura 59 se puede observar el porcentaje de participación en la producción de arena de los municipios de Santander, esta información fue obtenida de la ANM del año 2019, siendo el municipio de Aratoca con un 31,3%, el mayor productor de arena de los municipios tomados en cuenta para el estudio.

Figura 59. Producción de Arenas por municipios de Santander



Nota. Elaboración propia con base en registro de. Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia, 2019.

En tabla 26 se puede ver el consumo de energía y emisiones de CO₂ de cada municipio estudiado cuya actividad es la producción de arena.

Tabla 25. Consumos de energía y emisiones de CO₂ por municipios productores de Arena en Santander

Municipio	Emisiones de CO ₂ (Kg) (232,83 Kg/Tn)	Consumo de energía (4m27 MJ) por Tn
Aratoca	1.865.152	34.971.600
Barrancabermeja	12.656.642,5	209.341.842,5
Betulia	784.574,4	14.710.770
Bucaramanga	111.038,4	2.081.970
Cimitarra	18.666,78	308.749,98
Coromoro	18.080	339.000
Girón	9.307.935,3	153.953.967,3

Los Santos	2.140.768,8	40.049.415
Málaga	184	3.450
Matanza	118.206,4	2.216.370
Mogotes	5.096	95.550
Piedecuesta	326.144	6.115.200
Rionegro	9.920	186.000
Sabana de Torres	32.283,2	605.310
San Gil	8.272.777,5	136.832.377,5
San José de Miranda	2.880	54.000

Nota. Elaboración propia.

Para el caso de la arena, los datos del cálculo de la evaluación a cada indicador por municipios de encuentra detallado en el apéndice G. En la figura 60, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio productor de arena en Santander y se realiza en la parte inferior, la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico.

Figura 60. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Arena en Santander

Evaluación Socioeconómica y Ambiental del Impacto de Municipios productores de Arenas en Santander.																					
Categoría de Grupo de Interés	Categoría de Impactos	Subcategoría de Impacto	Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Impacto Socioeconómico y Ambiental																
					Factor de Impacto																
					Bucaramanga	Aratoca	Barancabermeja	Betulia	Cimitarra	Coromoro	Girón	Los Santos	Málaga	Matanza	Mogotes	Piedecuesta	Rionegro	Sabana de Torres	San Gil	San José de Miranda	
Comunidad Local	Repercusiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	4	1	5	1	3	1	4	1	4	2	2	6	4	2	3	2	
		Acceso a recursos inmateriales	I: Acceso a internet (%)	Económico	4	5	4	5	5	5	1	5	5	5	5	4	5	5	4	5	
			A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	5	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	
			S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	2	2	3	2	1	1	3	1	2	1	2	2	1	2	3	1	
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	2	2	5	2	2	2	4	1	2	2	2	2	1	1	4	1	
			F: Deficit cuantitativo de vivienda (%)	Social	3	6	6	6	6	6	3	4	6	4	6	3	1	6	4	2	
	Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	5	2	3	4	3	4	3	2	2	2	3	2	5	6	2	2
			Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5
			Igualdad de oportunidades	AN: Analfabetismo (%)	Social	5	6	5	5	6	6	5	6	4	5	6	4	6	6	5	6
Salud y Seguridad		Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	5	2	5	4	4	2	4	4	2	2	3	3	4	5	3	4	
Evaluación Total					4,18	3,82	4,73	4,27	4,27	4,09	3,91	3,73	4,00	3,55	4,18	3,91	3,91	4,55	4,00	3,64	
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio		

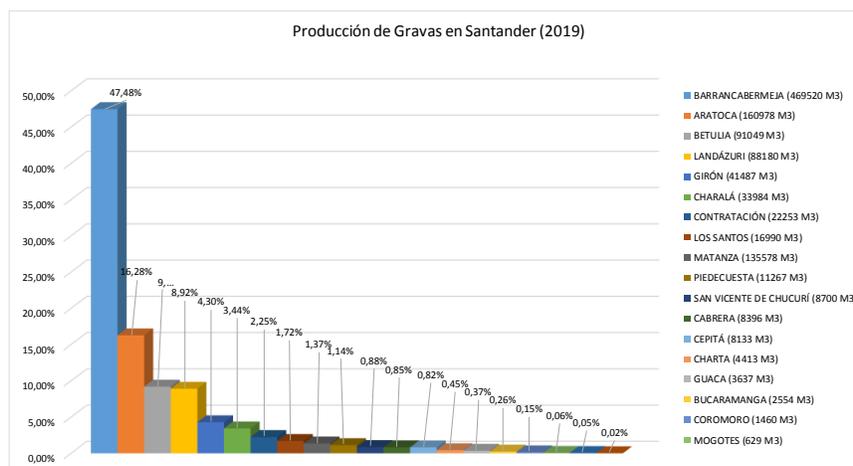
Nota. Elaboración propia.

Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son, el acceso a fuentes de agua mejorada, la eliminación adecuada de excretas, el déficit cuantitativo de vivienda y el analfabetismo. Los municipios de Aratocha, Girón, Matanza, Piedecuesta, Rionegro y San José de Miranda, reflejan un desempeño satisfactorio y los demás el desempeño es inadecuado.

- **Impacto ambiental de la producción de gravas en Santander:** Las gravas en el departamento, se producen en los municipios de Aratocha, Barrancabermeja, Betulia, Bucaramanga, Cabrera, Cépita, Charalá, Charta, Contratación, Coromoro, Girón, Guaca, Landazurí, Matanza, Mogotes, San José de Miranda, San Vicente de Chucurí, Los Santos, Cimitarra y Piedecuesta (Agencia Nacional de Minería, 2020).

En la figura 61 se presentan los porcentajes de producción de gravas de cada uno de los municipios nombrados anteriormente, cuya información fue obtenida de ANM del año 2019, dando como resultado que el municipio con mayor producción de gravas en Santander es el de Barrancabermeja con un 47,48%.

Figura 61. Producción de Gravas por municipios de Santander



Nota. Elaboración propia con base en registro de. Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia, 2019.

En la tabla 26 se visualizan los niveles de contaminación asociada a los consumos de energía y emisiones de CO₂ de cada uno de los municipios productores de grava en Santander.

Tabla 26. Consumos de energía y emisiones de CO2 por municipios productores de Gravas en Santander

Municipio	Emisiones de CO2 (Kg) (8 Kg/Tn)	Consumo de energía (150 MJ) por Tn
Aratoaca	1.287.824	24.146.700
Barrancabermeja	3.756.159,2	70.427.985
Betulia	728.390,4	13.657.320
Bucaramanga	20.432	383.100
Cabrera	67.168	1.259.400
Cepitá	65.064	1.219.950
Charalá	271.868	5.097.525
Charta	35.304	661.950
Cimitarra	4.008	75.150
Contratación	178.024	3.337.950
Coromoro	11.680	219.000
Girón	339.896	6.373.050
Guaca	29.096	545.550
Landázuri	705.440	13.227.000
Los Santos	135.920	2.548.500
Matanza	108.462,4	2.033.670
Mogotes	5.032	94.350
Piedecuesta	90.132	1.689.975
San José de Miranda	1.600	30.000
San Vicente de Chucurí	69.600	1.305.000

Nota. Elaboración propia.

Para el caso de las gravas, los datos del cálculo de la evaluación a cada indicador por municipios de encuentra detallado en el apéndice G. En la figura 62, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio productor de gravas en Santander y se realiza en la parte inferior, la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico.

Figura 62. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de Grava en Santander

Evaluación Socioeconómica y Ambiental de los Municipios productores de Grava en Santander																									
Categoría de Grupo de Interés	Categoría de Impactos	Subcategoría de Impacto	Indicador	Dimensión del Desarrollo	Impacto Socioeconómico y Ambiental																				
					Factor de Impacto																				
					Bucaramanga	Aratoca	Barrancabermeja	Betulia	Cabrera	Cepita	Charala	Charra	Cintarra	Contratación	Coromoro	Girón	Guaca	Landuzzi	Los Santos	Matanza	Mogotes	Piedecuesta	San José de Miranda	San Vicente de Chucurí	
Comunidad Local	Repeticiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	4	1	5	1	2	1	1	4	3	2	1	4	3	3	3	2	2	6	2	1	
			I: Acceso a internet (%)	Económico	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	5	4	5	5	4	5	5
			A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	5	5	5	6	2	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5
		S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Salud y Seguridad		C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	2	2	3	2	1	1	2	2	1	2	1	3	1	1	3	1	2	2	1	5	
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	2	2	5	2	1	1	2	2	2	2	2	4	1	1	4	2	2	2	1	6	
		F: Déficit cuantitativo de vivienda (%)	Social	3	6	6	6	6	3	6	6	6	5	6	3	6	6	4	4	6	3	2	6		
Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	5	2	3	4	2	4	3	5	3	3	4	3	5	3	2	2	3	2	2	3	
		Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	5	6	6	5	3	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5
	Salud y Seguridad	Igualdad de oportunidades	AN: Analfabetismo (%)	Social	5	6	5	5	5	5	2	4	6	6	6	5	5	6	5	5	6	4	6	5	
		Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	5	2	5	4	2	3	3	3	3	4	3	2	4	3	3	2	3	3	3	4	4
Evaluación Total					4,18	3,82	4,73	4,27	3,45	3,36	3,55	4,27	4,27	4,18	4,09	3,91	4,18	4,18	4,00	3,55	4,18	3,91	3,64	4,64	
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio								

Nota. Elaboración propia.

Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son, el acceso a fuentes de agua mejorada y el déficit cuantitativo de vivienda. Los municipios de Aratoca, Cabrera, Cepita, Charala, Girón, Matanza, Piedecuesta, San José de Miranda y San Vicente de Chucurí, reflejan un desempeño satisfactorio y los demás el desempeño es inadecuado.

En conclusión, el mayor problema socioeconómico en los municipios productores de agregados para la producción de cemento y concreto, están relacionados con la gestión del recurso hídrico y la adecuada disposición de aguas negras. Sin embargo, factores como el acceso a internet, analfabetismo y bajo logro educativo, también tienen impactos relevantes, que se convierten en aspectos a tener en cuenta en la generación de planes de desarrollo y políticas públicas locales para equilibrar el desarrollo sostenible de las comunidades.

4.6.2. Análisis de la productividad

Se presentan los datos del estudio de los componentes socio-económico y ambientales materiales tradicionales como componentes de los materiales de construcción en el departamento de Santander.

4.6.2.1. Materiales de origen vegetal. Como se explicó en la tabla 12, entre los materiales utilizados en Santander para la construcción de viviendas tradicionales, está la madera. Sin embargo, según IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2016) la falta de control de autoridades hace que el departamento presente la mayor tasa de deforestación de la región andina con 3584 Ha equivalentes al 6% del total nacional. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente, 2015) el sector forestal en Santander es un gran emisor de gases de efecto invernadero por la producción de madera para la construcción, las emisiones son de 888.670 KTn de CO₂.

El ciclo de vida de la madera, consiste en los procesos de extracción y transporte:

- **Extracción:** La extracción se puede realizar en forma legal de dos maneras, una por supresión autorizada, que consiste en la retirada total de la biomasa de una parte de una finca (Punhagui Garcia, 2014), la cual se puede realizar con máquinas o mediante quema; y la otra por extracción selectiva de impacto reducido, que consiste en la extracción de madera comercial siguiendo procedimientos previamente establecidos de corte, arrastre, transporte y almacenamiento de troncos, la extracción se da en las fincas en unidades de producción anual, que deben mantenerse sin explotación durante un periodo aproximado de treinta años.

- **Transporte:** Una vez cortada la madera se deben transportar los troncos dentro de las áreas de deforestación para posteriormente proceder a almacenarlos y transportarlos hasta el aserradero o la industria, e iniciar el procesamiento y la entrega al consumidor final.

- **Procesamiento:** Es la etapa en la cual se le da la forma y la contextura requerida para obtener el producto final que se va a utilizar en la construcción, el cual puede ser de madera aserrada para formaletas, estructuras, paneles, marcos, puertas, ventanas, cubiertas, muebles, accesorios, contrachapados, tableros de partículas y de fibras, entre otros (Macía S, 2016). En el departamento de Santander, no es muy común el uso de la Guadua como material de construcción.

El Inventario cualitativo del ciclo de vida para la producción de materiales vegetales, como la madera, se presenta en la tabla 27 con las respectivas categorías de impacto que se pueden ver afectadas por el procesamiento de la madera en el departamento de Santander.

Tabla 27. *Inventario de ciclo de vida de la madera*

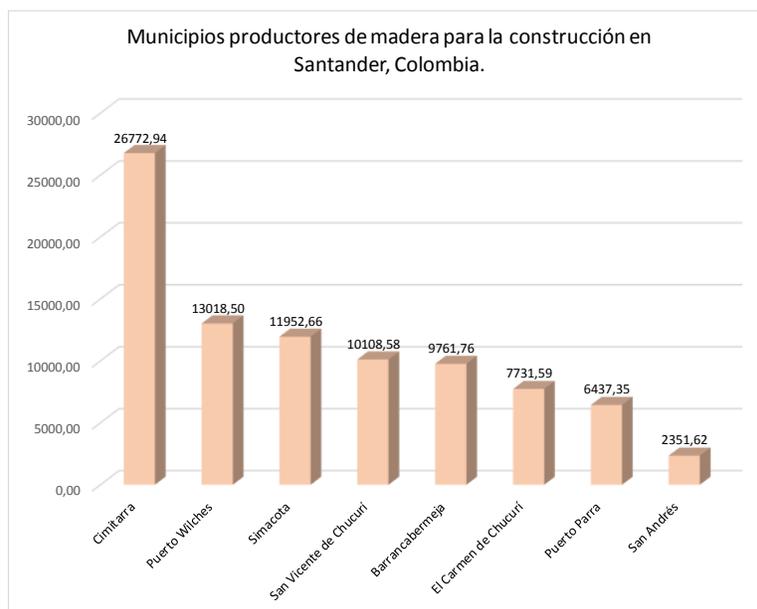
Etapa	Causa	Categorías de Impacto					
		Afectación de los Ecosistemas	Afectación de la Biodiversidad	En el Agua	En el Suelo	Al Aire	Residuos
Extracción	Corte del árbol	Pérdida de cobertura vegetal	Desplazamiento de fauna	Alteración del ciclo del agua	Alteraciones de la escorrentía superficial	Emisión de Sustancias contaminantes por uso de motosierra	Biomasa de desecho
	Arrastre del árbol	Pérdida de cobertura vegetal	Desplazamiento de fauna	-	-	Emisión de Sustancias contaminantes por uso de maquinaria de arrastre	Biomasa de desecho
	Almacenamiento	Alteración del paisaje	Desplazamiento de fauna por pérdida de hábitat	-	-	Emisión de Sustancias contaminantes por uso de maquinaria de cargue y descargue	-
Trasporte	Apertura de vías para movilidad de maquinaria	Perdida de especies	Desplazamiento de fauna por ruido	Alteración del ciclo del agua	Vertimiento de sustancias peligrosas por fugas	Emisión de Sustancias contaminantes por retroexcavadoras	Biomasa de desecho
	Transporte desde la foresta hasta el lugar de procesamiento	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	Pérdida de cobertura vegetal	Emisión de Sustancias contaminantes por maquinaria de carga y descarga	Residuos vegetales
	Carga, descarga y almacenamiento en el aserradero o en la industria	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	-	Emisión de Sustancias contaminantes por maquinaria de carga y descarga	Residuos vegetales

Procesamiento	Maquinaria para el aserrado o conformación de productos derivados de la madera	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por vertimientos	-	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos vegetales
Entrega	Trasporte	-	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación por lavado	Vertimiento de sustancias peligrosas por fugas	Emisión de Sustancias contaminantes	Residuos vegetales

Nota. Elaboración propia.

En el inventario del ciclo de vida, se identifica que los impactos más relevantes en la extracción y procesamiento de la madera para la construcción, están las afectaciones a la flora y la fauna del lugar donde se produce la extracción, también en la maquinaria utilizada para aserrar, colocar y procesar la madera y finalmente en el uso de maquinaria pesada cuya fuente de energía generalmente es el A.C.P.M, consumo de energía por la maquinaria relacionada. Es decir que se producen emisiones de sustancias contaminantes al aire CO₂ y altos niveles de energía consumida en la operación de maquinaria, que asumiendo los valores dados por Punhagui (2014), por una tonelada de madera seca aserrada se produce (16.263 Kg CO₂) y (9062 MJ).

- **Impacto ambiental de la producción de madera en Santander:** La extracción de madera en el departamento, se producen en los municipios de Barrancabermeja, Cimitarra, El Carmen de Chucurí, Puerto Parra, Puerto Wilches, San Andrés, San Vicente de Chucurí y Simacota. En la figura 63 se puede apreciar las cantidades de participación de cada uno de los municipios productores de madera en Santander, como resultado se obtiene que el municipio con mayor producción es el de Cimitarra con 26.772,94 m³ anuales.

Figura 63. Producción de madera por municipios de Santander

Nota. Elaboración propia con base en registro de. Agencia Nacional de Minería (ANM) de Colombia, 2019.

En la tabla 28 se muestra el consumo de energía y emisiones de CO₂ obtenidos de los cálculos realizados por el autor con base en los registros de producción de la ANM del año 2019.

Tabla 28. Consumos de energía y emisiones de CO₂ por municipios productores de Madera en Santander

Municipio	Madera explotada por Tn (0,62 Tn/m ³)	Emisiones de CO ₂ por Kg (16.263 Kg CO ₂ /Tn)	Consumo de energía MJ (9062 MJ/Tn)
Barrancabermeja	6.052,29	98.428.423,94	54.845.870
Cimitarra	16.599,22	269.953.173,1	150.422.164
El Carmen de Chucurí	4.793,58	77.958.041,15	43.439.450
Puerto Parra	3.991,16	64.908.172,11	36.167.857
Puerto Wilches	8.071,47	131.266.329,7	73.143.668
San Andrés	1.458,01	23.711.526,74	13.212.437
San Vicente de Chucurí	6.267,32	101.925.447,7	56.794.466
Simacota	7.410,64	120.519.378,7	67.155.298

Nota. Elaboración propia.

Para el caso de la madera, los datos del cálculo de la evaluación a cada indicador por municipios de encuentra detallado en el apéndice G. En la tabla 29, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio proveedor de madera en Santander y se realiza en la parte inferior,

la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico.

Figura 64. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios productores de madera en Santander

Evaluación Socioeconómica y Ambiental de los Municipios proveedores de Madera												
Categoría de Grupo de interés	Categoría de impactos	Subcategoría de impacto	Impacto Socioeconómico y Ambiental									
			Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Factor de Impacto							
					Barrancabermeja	Cimitarra	El Carmén de Chucurí	Puerto Parra	Puerto Wilches	San Andres	San Vicente de Chucurí	Simacota
Comunidad Local	Repercusiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	5	3	2	4	4	2	1	1
		Acceso a recursos inmateriales	I: Acceso a internet (%)	Económico	4	5	5	5	5	5	5	5
			A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	5	6	5	6	6	6	5	5
			S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6	6	6	6	6
	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	3	1	5	5	6	3	5	6
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	5	2	3	3	3	2	6	3
			F: Deficit cuantitativo de vivienda (%)	Social	6	6	6	6	6	6	6	6
Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	3	3	3	2	4	4	3	2
		Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	5	5	5	6	5	6
		Igualdad de oportunidades	AN: Analfabetismo (%)	Social	5	6	5	6	6	6	5	6
	Salud y Seguridad	Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	5	4	4	5	4	5	4	4
Evaluación Total					4,73	4,27	4,45	4,82	5	4,64	4,64	4,55
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Bajo Rendimiento	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado

Nota. Elaboración propia.

Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son, el acceso a eliminación de excretas y el déficit cuantitativo de vivienda. El municipio de Puerto Wilches refleja un bajo desempeño y los demás el desempeño es inadecuado.

4.6.2.1.1. Materiales de construcción con tierra estabilizada. Como se ha mencionado en apartes anteriores, la construcción con tierra es tan antigua como la existencia humana, por tal razón es una técnica ampliamente utilizada y conocida por las civilizaciones en las diferentes etapas de la historia y las últimas décadas no son la excepción. El departamento de Santander se ha caracterizado, por las construcciones con materiales basados en tierra cruda y estabilizada, la técnica para la elaboración de viviendas, se ha transmitido de generación en generación, con especial énfasis en municipios precolombinos.

En la actualidad, firmas especializadas de arquitectura e ingeniería, intentan mantener y revitalizar las técnicas y los proyectos, resaltando las construcciones tradicionales y su valor como patrimonio nacional, referentes muy importantes se encuentran en la Fundación Tierra Viva (2020) como el Arquitecto José Moreno y el maestro en Bellas artes Jesús Moreno, la Agencia De la tierra (2020) representada por el Ingeniero Civil, Santiago Riveros Bolaños, la firma Arquitectura e ingeniería de tierra (2020) del Arquitecto Jaime Higuera, la firma GYB Constructora (2020) de los arquitectos Andrés Rubio Téllez y Daniel Parra Olarte y la firma Arquitectura Nativa (2020) representada por el arquitecto Camilo Holguín, entre otros; son profesionales que en las últimas décadas desde Barichara, Santander, el municipio “Más lindo de Colombia” y monumento nacional han estado aportando para que se mantenga el debate, la investigación y el desarrollo en las técnicas de construcción con tierra en el país y sus aportes al desarrollo de las comunidades.

En otras regiones del país, empresas y firmas de arquitectura e ingeniería se han dedicado a resaltar el patrimonio de la tierra como elemento esencial de construcción, se pueden citar ejemplos como el de la empresa Tierra TEC (2020) ubicada en la ciudad de Bogotá, el Taller de Arquitectura de Bogotá (TAB, 2020) del Arquitecto Daniel Bonilla, quien inspirado en la construcción con tierra, ha diseñado el edificio de Aulas “El Caney” de la Universidad Industrial de Santander Sede Socorro, como tributo a la primera obra arquitectónica de la cultura santandereana precolombina, que encontró en el desarrollo del caney una infraestructura ágil, eficiente y sostenible, utilizada inicialmente por los pescadores del Magdalena medio y que con la llegada de los Españoles, fue replicada para secar diferentes tipos de granos y hojas de tabaco, especialmente en la región de la provincia de Guanentá, también la arquitecta Phd María Julia Ravé Aristizabal, portadora del premio nacional de arquitectura, constructora e investigadora reconocida por sus trabajos en la arquitectura en tierra, madera y piedra; así como en trabajos de arquitectura en los territorios indígenas y las raíces culturales de la arquitectura en Colombia.

Para analizar el ciclo de vida de la construcción con tierra, se revisarán las tres técnicas más usadas en el departamento, como lo son Tapia Pisada, Adobe, Bloque de tierra compactada y Bahareque.

Ciclo de vida para la tapia pisada. Adobe, BTC y Bahareque:

- **Extracción:** La tierra utilizada para la elaboración de las tapias, los adobes, los BTC o las paredes en bahareque se obtiene de la misma forma en todos los casos, generalmente proviene del material extraído para implementar el sistema de cimentación de una vivienda, como expresa el profesor Jaime Higuera “con todas las tierras se pueden construir tapias”, por lo tanto, solo es cuestión de revisar cuidadosamente las mezclas de arcillas, limos y arenas que contiene la tierra, para en caso tal y de no conseguir las mezclas óptimas, mejorar las condiciones con la adición de otros componentes como la cal o en último caso el cemento.

- **Transporte de tierra:** Cuando en casos estrictamente necesarios, se debe traer tierra, en primer lugar, debe seleccionarse de sitios muy cercanos y solamente se requerirá de retroexcavadoras para la carga, la cual también se puede hacer en forma manual a través de una pala y con el uso de volquetas se consigue el desplazamiento desde el banco de tierra hasta la obra.

- **Compactación:** El proceso de compactación de la tierra dentro del tapial, en la mayoría de casos se hace a mano por medio de persona previamente entrenadas quienes con el uso de un pisón realizan el proceso de organización y compactación de la tierra, salvo en algunos casos los constructores están usando compactadores eléctricos o mecánicos y estos requieren de algún tipo de energía o combustible.

- **Secado:** Todos los elementos construidos con tierra deben exponerse a procesos de secado, con la ventaja que la energía térmica que según (Lacomba, 2012) se refiere al estado termodinámico de la materia en un momento dado, y en todos los casos tiene al Sol como proveedor, lo que reduce a cero, las emisiones contaminantes y consumos de energía.

El Inventario cualitativo del ciclo de vida para el uso de la tierra como material de construcción se muestra en la tabla 29 con las respectivas categorías de impacto que se pueden ver afectadas por el uso de la tierra para construir en el departamento de Santander.

Tabla 29. Inventario de ciclo de vida del uso de la tierra como material de construcción

Etapa	Causa	Categorías de Impacto						
		Afectación de los Ecosistemas	Afectación de la Biodiversidad	En el Agua	En el Suelo	Al Aire	Residuos	
Extracción	Extracción de tierra en forma manual	Pérdida de cobertura vegetal	de	Desplazamiento de fauna por supresión de árboles	Alteración del ciclo del agua	Cambios topográficos	-	Capa de tierra con material orgánica
	Corte y Carga de tierra	Pérdida de cobertura vegetal	de	Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	Cambios topográficos	Emisión de Sustancias contaminantes por maquinaria de carga y descarga	Capa de tierra con material orgánica
Trasporte	Transporte desde los bancos de tierra hasta el lugar de obra	-		Desplazamiento de fauna por ruido	Contaminación de aguas por arrastre de partículas	-	Emisión de Sustancias contaminantes por vehículos de transporte	-
Compactación	Manual	-	-	-	-	-	Generación de Material particulado en suspensión	-
	Maquina	-		Desplazamiento de fauna por ruido	-	-	Emisión de Sustancias contaminantes	-

Nota. Elaboración propia.

En el inventario del ciclo de vida del uso de la tierra como material de construcción, se refleja que salvo en el caso donde se use maquinaria o vehículos, la contaminación es mínima, siendo técnicas altamente amigables con el medio ambiente y que pueden desarrollarse directamente con mano de obra local.

- **Impacto ambiental de las viviendas que involucran la tierra estabilizada como material de construcción en Santander:** Los municipios que presentan más del 50% de sus viviendas construidas con materiales de construcción con predominio de la tierra estabilizada, ya sea como tapia pisada, adobe o bloque de tierra compactada y bahareque son Barichara, Carcasí, Contratación, Galán, Jordán, Macaravita, Molagavita, Onzaga, San Andrés y Zapatoca.

En la tabla 30 se presenta la información requerida para calcular el % de viviendas de cada municipio de Santander que proporcionalmente tienen las paredes externas construidas con materiales tradicionales como los nombrados en el párrafo anterior.

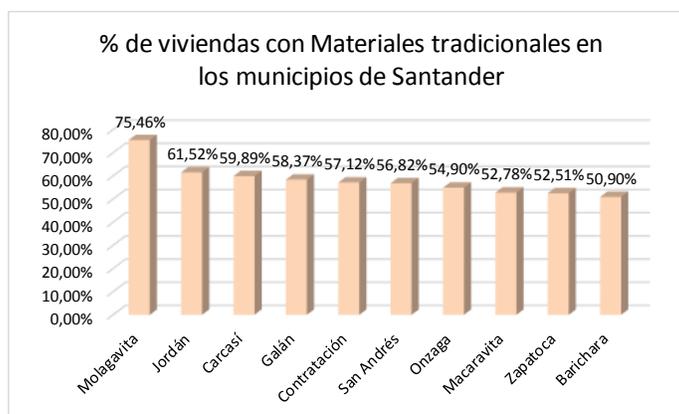
Tabla 30. *Municipios con mayor proporción de viviendas en materiales tradicionales en Santander*

Municipio	N.º Viviendas	N.º Personas	Materiales tradicionales (%)
Barichara	2.556	7.647	50,90%
Carcasí	1.304	4.130	59,89%
Contratación	1.285	3.296	57,12%
Galán	884	2.682	58,37%
Jordán	330	1.163	61,52%
Macaravita	756	2.130	52,78%
Molagavita	1.255	3.915	75,46%
Onzaga	1.450	3.955	54,90%
San Andrés	2.719	8.035	56,82%
Zapatoca	2.889	8.997	52,51%

Nota. Elaboración propia con base en registros del CNPV. DANE, 2018.

En la figura 65 se puede apreciar el porcentaje de participación de cada municipio de acuerdo a las viviendas que utilizan más materiales tradicionales para construir. El municipio Molagavita está de primer lugar con un 75,46% de viviendas cuyas paredes externas son en materiales tradicionales.

Figura 65. *Porcentaje de municipios con viviendas en materiales tradicionales*



Nota. Elaboración propia con base en registro del CNPV. DANE, 2018.

Para determinar el nivel de contaminación de la tierra como material de construcción, se usará el indicador propuesto por (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2011), el cual indica que para una tapia con densidad de 2200 Kg/m^3 , las emisiones de CO_2 por kilogramo son de 0.004 Kg de CO_2 y por metro cúbico son de $9,7 \text{ Kg}$ de CO_2 y para un adobe con densidad de 1200 Kg/m^3 las emisiones de CO_2 por kilogramo son de 0.06 Kg de CO_2 y por metro cúbico son de 74 Kg de CO_2 .

Teniendo en cuenta que es muy complejo determinar exactamente cuales viviendas de las zonas analizadas están construidas en tapia, en adobe, en BTC o en bahareque, se tomarán de referencia, los porcentajes obtenidos en las encuestas, en donde se estableció que de las viviendas de Santander que están en materiales tradicionales, el 78.4% están construidas en Tapia Pisada, el 17.6 % En adobe o en BTC y el 3.9% En bahareque.

Para determinar las dimensiones promedio y típicas de las viviendas, se hará teniendo en cuenta los resultados de las encuestas, en donde el 58,5% están en viviendas de un solo nivel, el 32% en viviendas de dos niveles, el 8,5% en viviendas de tres niveles y el resto en otro tipo de vivienda. Por lo tanto, se tomarán viviendas de un solo nivel, para el número de habitaciones por vivienda, se asumen como referencia los resultados del CNCV del DANE 2018, el dónde el 49% de las viviendas para el área rural de los municipios analizados tienen 1 cuarto, el 23% dos cuartos, el 18% tres cuartos y el 7% cuatro cuartos y el 3% más de cinco cuartos, de los cuartos usados como dormitorio el 66,8% tiene uno, el 23,5% tiene dos, el 7,5% tienen tres y el 2,3% tiene más de cuatro o más dormitorios. En cuanto al lugar donde preparan los alimentos, el 91,02% tiene un cuarto usado solo para cocinar, el 0,89% tiene un cuarto usado para cocinar y dormir, el 3,09% tienen una sala-comedor con lavaplatos y el 5% no cuenta con un lugar para preparar alimentos.

Del análisis anterior, se puede obtener, que una vivienda tipo en Santander, está conformada por un solo nivel, en el cual existen tres cuartos, uno para cocinar y dos para ser usados como dormitorios, existe un espacio para sala y un espacio para comedor, se estima la implantación de dos baños, uno en la habitación principal y uno para el área general. En la tabla 31 realizada por el autor, se aprecian las cantidades de cada área de la vivienda rural y los cálculos de las dimensiones de área y volumen de muros, el volumen se especifica de acuerdo a cada tipo de material (tapia, adobe y bahareque).

Tabla 31. Dimensiones de una vivienda tipo en el Departamento de Santander

Dimensiones tipo de una vivienda en el Departamento de Santander (área rural)									
Área de la vivienda	Cantidad (unidad)	Dimensión lado 1 (m)	Dimensión lado 2 (m)	Altura (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)	Volumen muros (m ³) Tapia espesor promedio 70 cm)	Volumen muros (m ³) Adobe o BTC espesor promedio (30 cm)	Volumen muros (m ³) Bahareque espesor promedio (15 cm)
Cocina	1	2	3	2,5	10	6	17,5	7,5	3,75
Sala	1	3	3	2,5	12	9	21	9	4,5
Comedor	1	2,5	2,5	2,5	10	6,25	17,5	7,5	3,75
Dormitorios	2	3	3	2,5	12	9	21	9	4,5
Baños	2	2,2	1,2	2,5	6,8	2,64	11,9	5,1	2,55
Pasillos de circulación	1	-	-	-	-	7,11	0	0	0
Total						40	88,9	38,1	19,05

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, las emisiones de CO₂ generadas por viviendas construidas en tapia pisada, en adobe o BTC y en bahareque, se puede visualizar en la tabla 32, para estos datos se seleccionaron los municipios de Santander cuyas viviendas son más del 50% tradicionales.

Tabla 32. Emisiones de CO₂ de una vivienda tipo en el Departamento de Santander

Municipio	N.º viviendas	N.º viviendas en tapia pisada	N.º viviendas en adobe o BTC	N.º viviendas en bahareque	Emisiones generadas por Tapia CO ₂ (9,7 Kg CO ₂ /m ³)	Emisiones generadas por adobe CO ₂ (74 Kg CO ₂ /M ³)	Emisiones generadas por bahareque CO ₂ (26,66 Kg CO ₂ / M ²)	Total emisiones CO ₂
Molagavita	1.255	984	221	49	848.532,72	8.420,1	52253,6	909.206,42
Jordán	330	259	58	13	223.343,47	2.209,8	13863,2	239.416,47
Carcasí	1.304	1.022	230	51	881.301,26	8763	54386,4	944.450,66
Galán	884	693	156	34	597.594,69	5.943,6	36257,6	639.795,89
Contratación	1.285	1.007	226	50	868.366,31	8.610,6	53320	930.296,91
San Andrés	2.719	2.132	479	106	1.838.487,56	18.249,9	113038,4	1.969.775,86
Onzaga	1.450	1137	255	57	980.469,21	9.715,5	60784,8	1.050.969,51
Macaravita	756	593	133	29	511.361,69	5.067,3	30.925,6	547.354,59
Zapatoca	2.889	2.265	508	113	1.953.177,45	19.354,8	120.503,2	2.093.035,45
Barichara	2.556	2.004	450	100	1.728.109,32	17.145	106.640	1.851.894,32

Nota. Elaboración propia.

En el departamento, las viviendas construidas con materiales tradicionales, usan la tierra que se extrae de las excavaciones y los procesos de estabilización y compactación, todos están realizados en forma manual, por lo tanto, no se considera las emisiones generadas por la maquinaria o vehículos que participan en el proceso, de igual forma no hay consumos de energía asociados.

Para el caso de la tierra estabilizada, los datos del cálculo de la evaluación a cada indicador por municipios de encuentra detallado en el apéndice G. En la tabla 29, se incluyen las valoraciones a cada indicador por municipio con mayor uso de tierra estabilizada en la construcción de viviendas en Santander y se realiza en la parte inferior, la evaluación del desempeño socioeconómico y ambiental, correlacionado los valores con el color característico.

Figura 66. Evaluación socioeconómica y ambiental de los municipios con mayor proporción de viviendas en materiales tradicionales en Santander

Evaluación Socioeconómica y Ambiental de Municipios con mayor uso de tierra estabilizada en construcción de viviendas en Santander.														
Categoría de Grupo de interés	Categoría de Impactos	Subcategoría de impacto	Impacto Socioeconómico y Ambiental											
			Indicador	Dimensión del Desarrollo Sostenible	Factor de Impacto									
					Barichara	Carcasi	Contratación	Galán	Jordán	Macaravita	Molagavita	Onzaga	San Andres	Zapatoa
Comunidad Local	Repeticiones socioeconómicas	Pobreza	P: Percepción de pobreza (%)	Económico	2	4	2	1	1	1	1	2	2	2
		Acceso a internet (%)	Económico	4	5	5	6	4	5	5	5	5	5	
		Acceso a recursos inmateriales	A: Acceso a fuente de agua mejorada (%)	Económico	5	5	6	6	5	6	6	6	6	6
		S: Acceso a eliminación adecuada de excretas (%)	Económico	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Salud y Seguridad	Condiciones de vida saludables y seguras	C: Emisiones de CO2 (%)	Ambiental	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2
			E: Consumo de energía (%)	Ambiental	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2
F: Deficit cuantitativo de vivienda (%)			Social	6	6	5	6	6	6	6	6	6	5	
Trabajador	Derechos Humanos	Asistencia escolar	AE: Asistencia escolar (%)	Social	2	2	3	4	2	4	2	5	4	5
		Escolaridad	LE: Bajo logro educativo (Años máximos)	Social	5	5	6	6	6	5	3	5	6	5
		Igualdad de oportunidades	AN: Analfabetismo (%)	Social	5	5	6	5	5	5	2	4	6	4
	Salud y Seguridad	Salud y seguridad	ASS: Con aseguramiento en salud (%)	Social	3	3	3	4	2	3	3	2	5	3
Evaluación Total					3,82	4,09	4,18	4,27	3,64	4,00	3,36	4,00	4,64	4,09
Evaluación del Desempeño Socioeconómico y Ambiental					Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Satisfactorio	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado	Rendimiento Inadecuado

Nota. Elaboración propia.

Según estos resultados, los indicadores que presenta muy bajo rendimiento en buen número de los municipios son, el acceso a eliminación de excretas y el déficit cuantitativo de vivienda. Los municipios de Barichara, Jordán y Molagavita presentan un desempeño satisfactorio y los demás el desempeño es inadecuado.

En conclusión, el municipio de Molagavita presenta la mejor evaluación de desempeño con una ponderación de 3.36 entre todos los municipios analizados para el departamento y a su vez es el municipio con mayor proporción de viviendas en tapia pisada, por lo que se puede inferir que un municipio como esté, presenta mejor calidad de vida para sus habitantes, su tamaño es pequeño, la temperatura media generan un buen confort higrotérmico, el reducido número de viviendas comparado con otras ciudades, mantiene una buena proporción de densidad poblacional.

Sin embargo, el déficit de vivienda, se mantiene en el área rural, a pesar de las grandes posibilidades para proyectar viviendas con el uso de materiales tradicionales como los que se ha presentado en los referentes teóricos de este proyecto, considerando que los administradores municipales, departamentales y nacionales, deben generar políticas para promover el uso de estos recursos y garantizar la vivienda digna para las comunidades.

4.6.3. *Análisis de los efectos*

El estudio de comparación de los impactos sociales, económicos y ambientales, entre el uso de materiales para viviendas tradicionales y para viviendas convencionales en el departamento de Santander, se presenta a continuación.

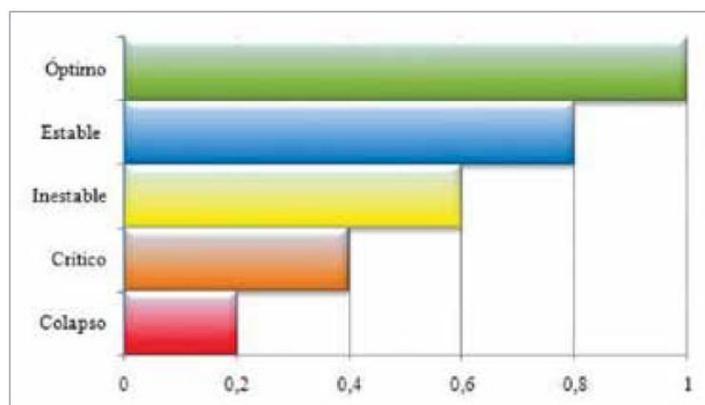
Para hacer una comparación entre los impactos ambientales, sociales y económicos entre el uso de materiales convencionales con los materiales tradicionales para la construcción de una vivienda, se toma como Unidad de Análisis los materiales de construcción predominantes en cada técnica constructiva y los datos de los indicadores de cada dimensión, provienen de las estadísticas entregadas en el Censo Nacional Agrícola, realizado en el año 2018, teniendo en cuenta que se tomarán los datos de las comunidades ubicadas en las áreas de centros poblados o rural disperso, al considerar las Unidades Productivas No Agropecuarias en adelante (UPNA), que son las áreas destinadas en su gran mayoría a actividades de minería y zonas forestales.

Para determinar el índice más adecuado se selecciona entre los índices compuestos basados en ciencias naturales, los basados en desempeño de políticas, los basados en criterios contables y los de tipo sinóptico, encontrando que los de tipo sinóptico que son los que se construyen a partir de la agregación ponderada bajo cierto criterio, de la información que se considera relevante sobre el tema a describir por Devia y Suárez (2016), dentro de estos los más conocidos están el índice de desarrollo humano, el índice de bienestar económico sostenible, el índice de desarrollo sostenible y el índice integrado de desarrollo sostenible, siendo este último el que mejores ventajas tiene para el análisis de los resultados del presente estudio, por cuanto como se mencionó anteriormente, representa el estado de desarrollo sostenible de la unidad analizada, que para el presente estudio es cada municipio.

Por lo anterior, se procederá a calcular el índice integrado de desarrollo sostenible (IDS S3) para cada municipio que produce materiales de construcción en el departamento de Santander, a través de la metodología descrita por Sepulveda (2008), la cual tienen como ventaja que transforma el valor de los diversos indicadores a una misma escala, que fluctúa entre 0 y 1, estandarizando los datos de tal manera que permite dar viabilidad a un análisis comparativo entre las variables. Para complementar la metodología, Sepulveda (2008) propone un gráfico de telaraña denominado Biograma.

El Biograma es un diagrama multidimensional que basado en unos índices respectivos permite representar el estado de un sistema a través de un gráfico tipo telaraña en el cual cada eje es un indicador del cálculo respectivo. Cada uno de los radios del círculo tiene un valor de la unidad (1), cada indicador individual varía entre 0 y 1 siendo 0 el nivel mínimo de desempeño y 1 el máximo. Para obtener una calificación cualitativa del índice ya sea de cada dimensión, de la unidad de análisis o del Índice de Desarrollo Sostenible, se debe tener presente la figura 67 en la cual se presenta el estado del sistema según los colores del Biograma, información tomada del libro Biograma (Sepulveda, 2008).

Figura 67. Estado del sistema según los colores del Biograma



Nota. Tomado de *Biograma: Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios* (p. 28), por S. Sepúlveda, 2008, IICA.

Para los casos analizados, los indicadores para cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, con base en los indicadores disponibles en fuentes primarias y secundarias del presente estudio, son:

a. En la dimensión económica:

- E1: Porcentaje de Población que se considera en condiciones de pobreza en relación al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA).
- E2: Porcentaje de población con acceso a servicio de Internet en relación al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA).
- E4: Porcentaje de Viviendas con acceso a agua potable en relación al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA)
- E5: Porcentaje de Viviendas con alcantarillado en relación al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA)

b. En la dimensión ambiental:

- A1: Porcentaje de emisiones de CO2 en relación al total departamental de emisiones generadas por los municipios productores de materiales para la construcción.
- A2: Porcentaje de energía consumida en relación al total departamental de energía consumida por los procesos de producción de los materiales de construcción en los municipios.

c. En la dimensión social

- S1: Porcentaje del Déficit cuantitativo de vivienda en relación al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA)
- S2: Porcentaje de niños, niñas y adolescentes entre 6 y 16 años en el hogar que asisten al colegio en relación al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA)
- S3: Porcentaje de personas que no sabe leer y escribir en relación al total al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA)
- S4: Porcentaje de personas con afiliación a Salud en relación al total al total municipal de Unidades de Producción No Agropecuaria (UPNA)

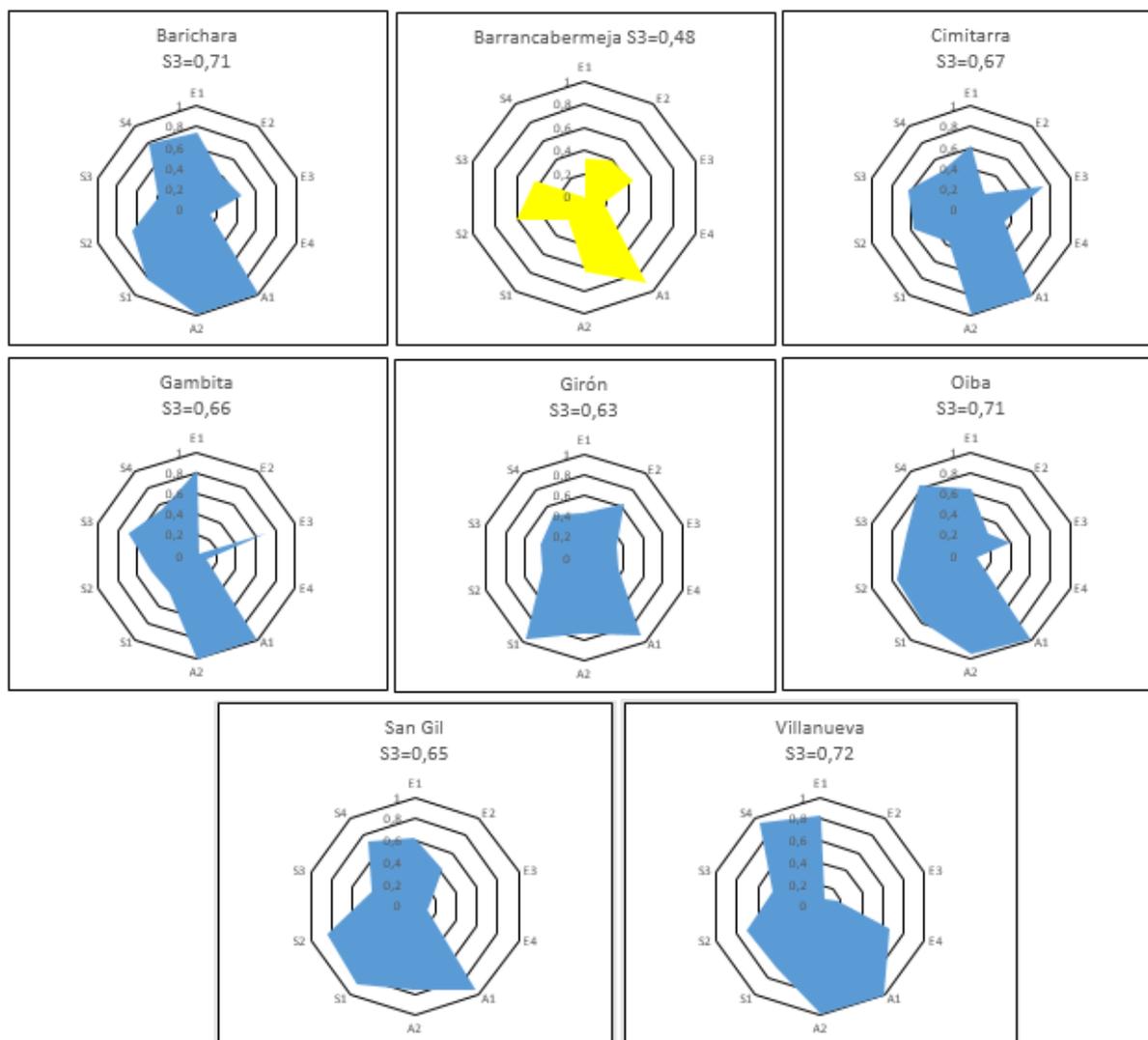
El índice de Desarrollo Sostenible (IDS S³), busca representar el estado de desarrollo sostenible y cuantificar el desempeño de la unidad analizada, que para el caso de la presente investigación corresponden a los municipios integrados que producen los materiales de construcción (Arcilla, Carbón, Arena, Grava, Yeso, Caliza, Materiales de origen vegetal y Tierra estabilizada). El índice se basa en que a través de una función sigmoide (la cual permite la relativización para su respectivo análisis) se estandarizan los datos, teniendo en cuenta que, en su forma original, tienen diversos valores cuantitativos y representan múltiples unidades de medición. El IDS S³, permite dos opciones, la primera analizar una Unidad de Análisis en diferentes periodos de tiempo, y la segunda que es la que se utilizará en el presente documento, establece un análisis comparativo entre diferentes Unidades de Análisis para un momento específico de tiempo.

A continuación, se presentan los Biograma correspondientes a cada uno de los municipios analizados, indicando para cada caso el índice integrado del desarrollo sostenible (S3) calculado, con base en los indicadores respectivos para cada municipio (Ver apéndice H) e indicando con sus respectivo color el estado de la unidad de análisis.

4.6.3.1. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios productores de Arcilla

En la figura 68 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar que el municipio que presenta un estado crítico es Barrancabermeja, con baja calificación en indicadores de suministro de alcantarillado y afiliación a entidades prestadoras de salud. Los demás municipios se encuentran en estado de desarrollo sostenible, estable.

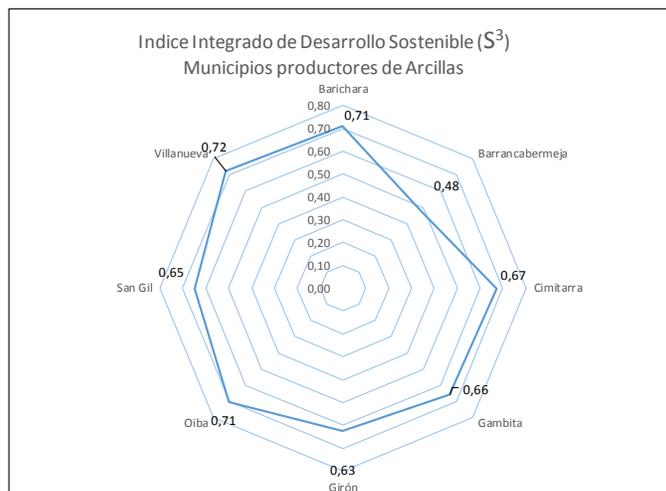
Figura 68. Biogramas de municipios productores de arcilla en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 69 se observa una representación gráfica del estado del sistema, evaluado para los municipios que producen arcilla en Santander, destacando a Villanueva por tener el más alto índice y con preocupación el desarrollo de Barrancabermeja.

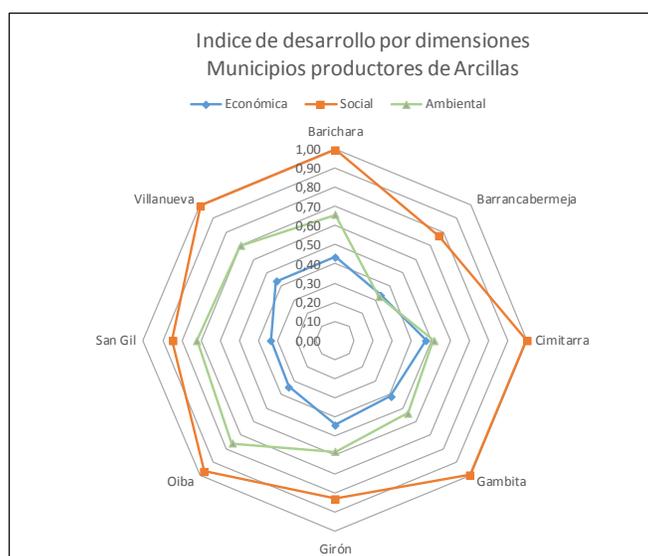
Figura 69. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de arcilla en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 70, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económico, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos y buenos resultados en los índices sociales. En los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de Barrancabermeja y Girón.

Figura 70. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de arcilla en Santander

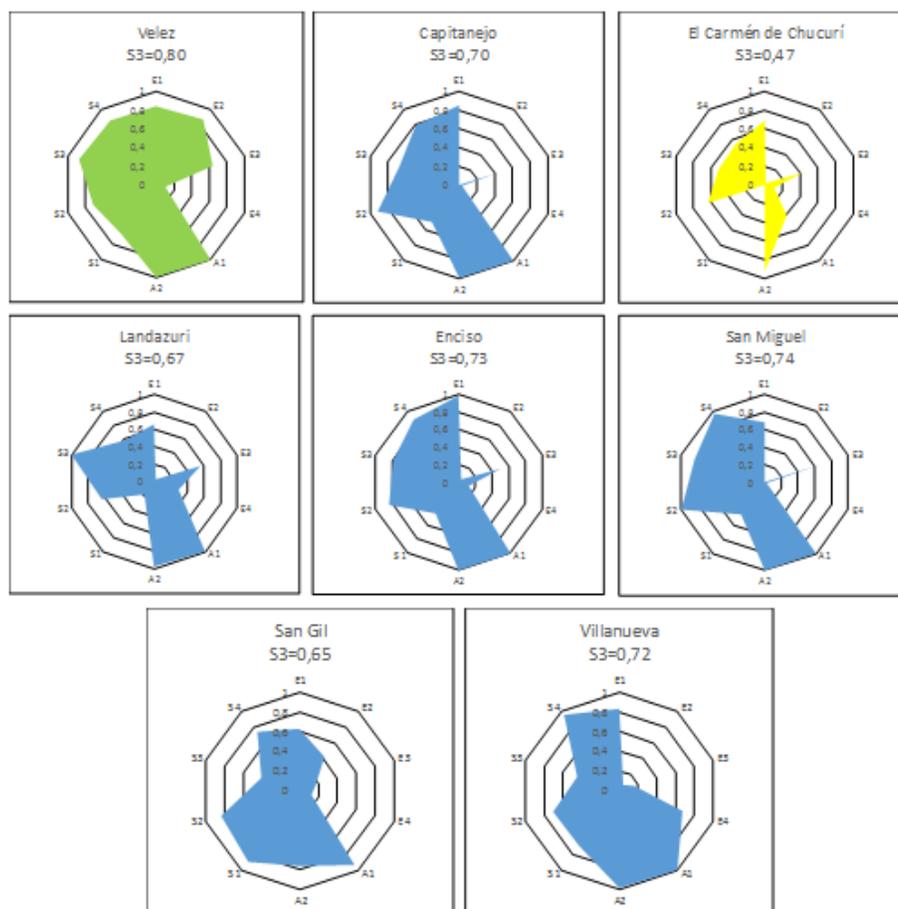


Nota. Elaboración propia.

4.6.3.2. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios productores de Carbón

En la figura 71 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar que el municipio que presenta un estado inestable es El Carmén de Chicurí, con baja calificación en indicadores de suministro de cobertura de Internet y Déficit cuantitativo de vivienda. El municipio de Vélez, presenta el mejor índice integrado de desarrollo sostenible de todos los municipios de Santander productores de materiales de construcción, reflejando como único problema el servicio de alcantarillado. Los demás municipios se encuentran en estado de desarrollo sostenible, estable.

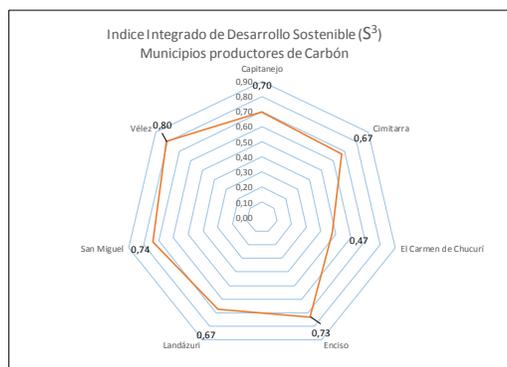
Figura 71. Biogramas de municipios productores de carbón en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 72 se observa una representación gráfica del estado del sistema, evaluado para los municipios que producen carbón en Santander, destacando a Vélez por tener el más alto índice y con preocupación el desarrollo de Barrancabermeja.

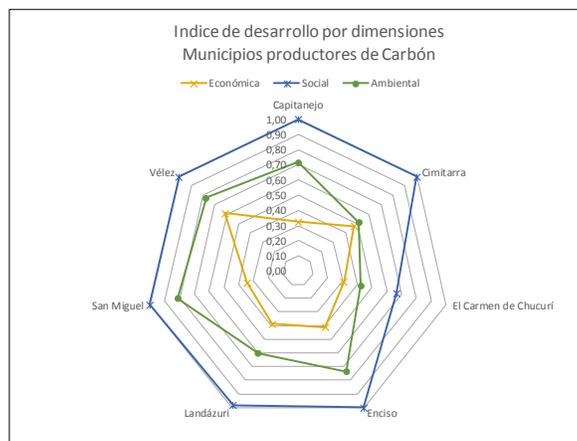
Figura 72. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de carbón en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 73, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económico, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos y buenos resultados en los índices sociales. En los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de Cimitarra y el Carmén de Chucurí.

Figura 73. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de carbón en Santander

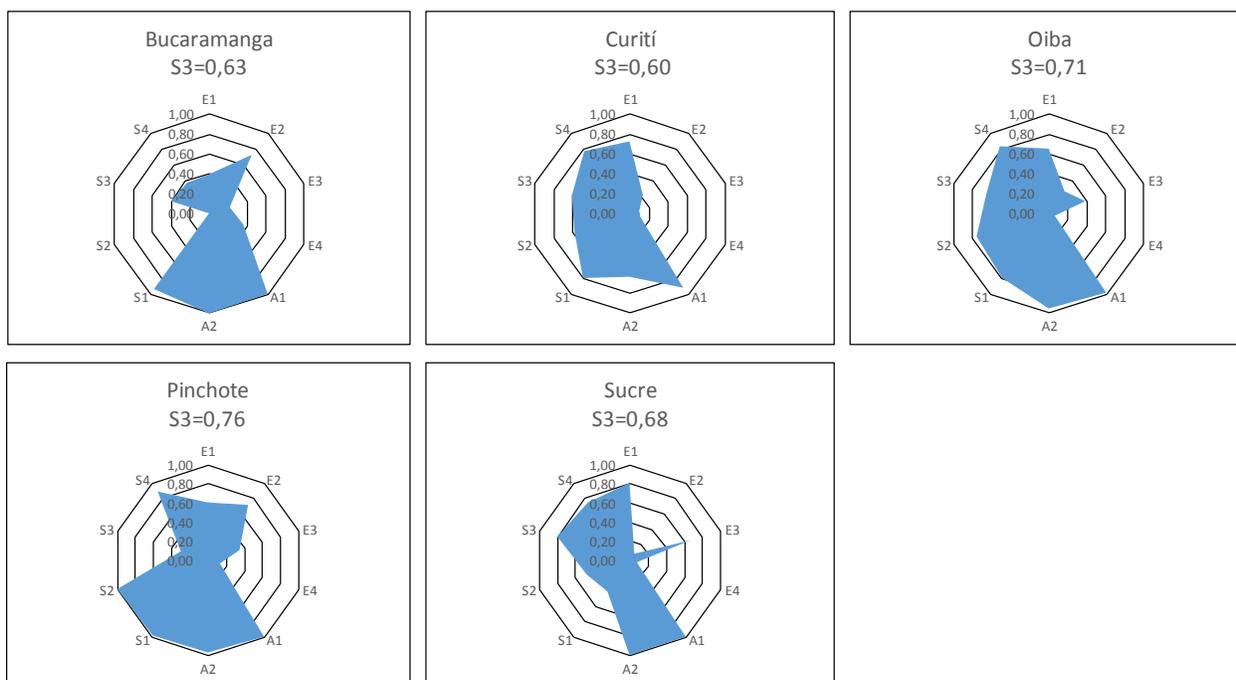


Nota. Elaboración propia.

4.6.3.3. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios productores de Caliza

En la figura 74 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar que el municipio que presenta un estado muy cercano al inestable es Curití, con baja calificación en indicadores de suministro de internet, agua y alcantarillado. Los demás municipios se encuentran en estado de desarrollo sostenible, estable.

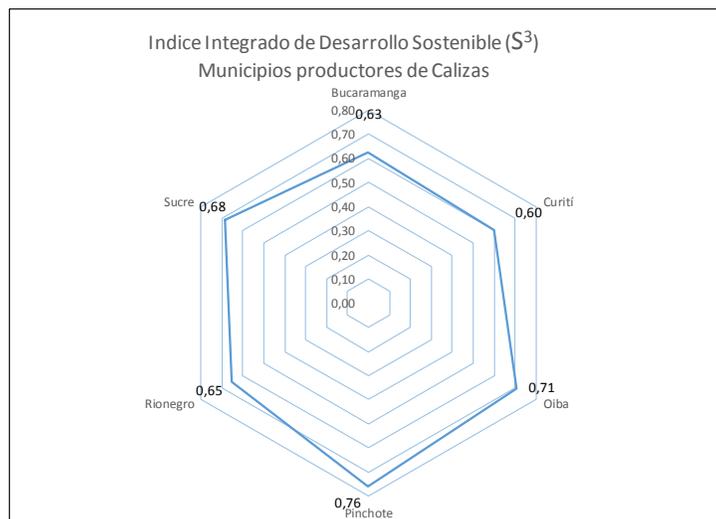
Figura 74. Biogramas de municipios productores de calizas en Santander



Nota. Elaboración propia

En la figura 75 se observa una representación gráfica del estado del sistema, evaluado para los municipios que producen calizas en Santander, destacando a Pinchote por tener el más alto índice y con preocupación que Bucaramanga y Curití, están muy cerca del estado inestable.

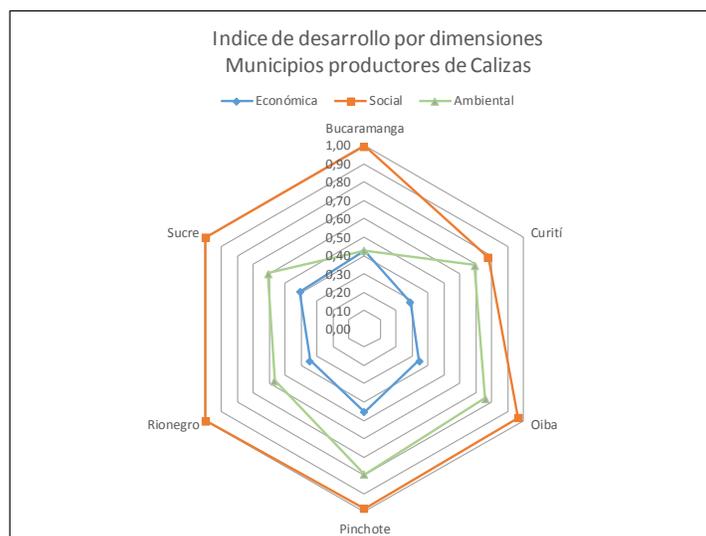
Figura 75. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de caliza en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 76, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económico, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos y buenos resultados en los índices sociales. En los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de Bucaramanga

Figura 76. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de calizas en Santander

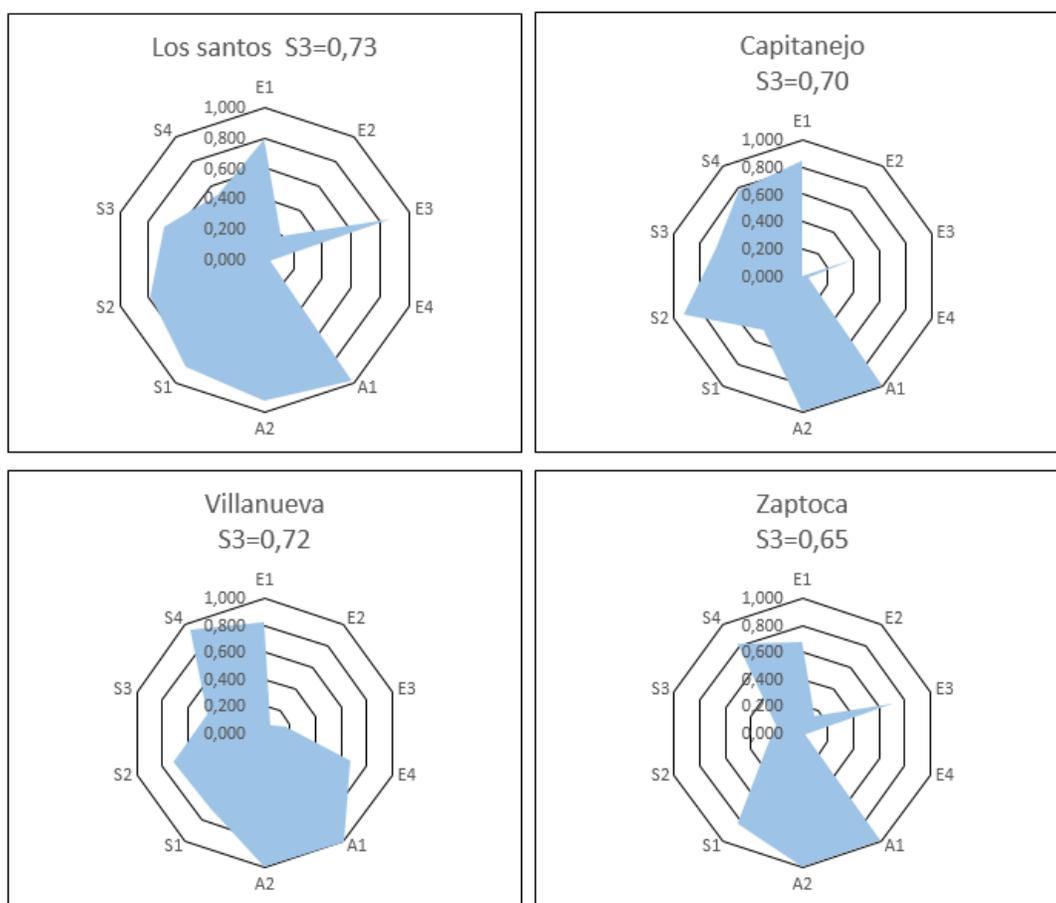


Nota. Elaboración propia.

4.6.3.4. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios productores de Yeso

En la figura 77 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar que el municipio que presenta un estado muy cercano al inestable es Zapatoca, con baja calificación en indicadores de suministro de agua potable alcantarillado y analfabetismo. Los demás municipios se encuentran en estado de desarrollo sostenible, estable y también los temas de abastecimiento y evaluación de agua.

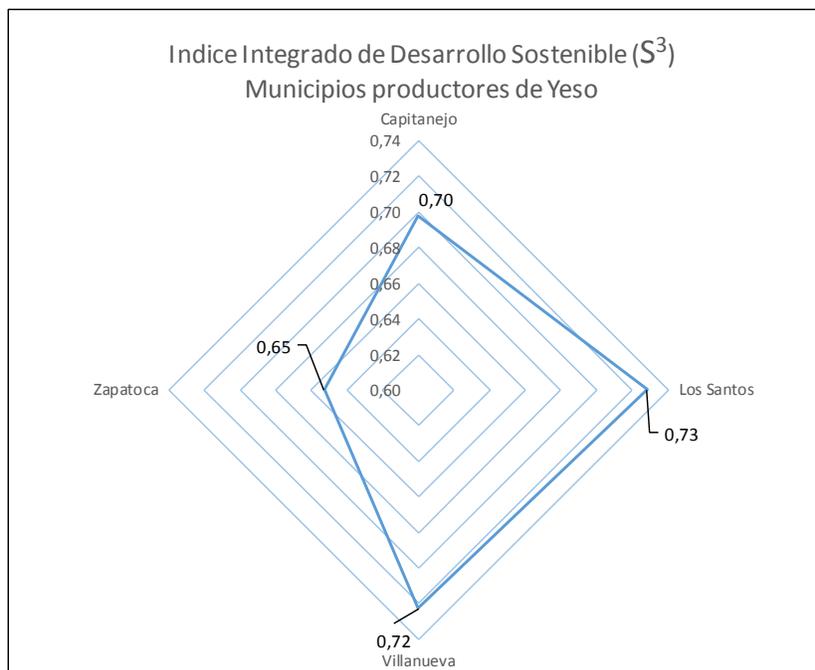
Figura 77. Biogramas de municipios productores de yeso en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 78 se observa una representación gráfica del estado del sistema, evaluado para los municipios que producen yeso en Santander, destacando a los Santos por tener el más alto índice y con preocupación Zapatoca, que está muy cerca del estado inestable.

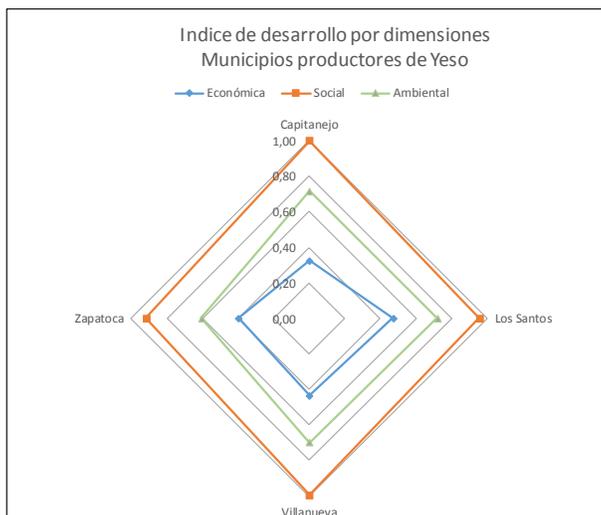
Figura 78. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de yeso en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 79, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económico, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos y buenos resultados en los índices sociales. En los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de Zapatoca.

Figura 79. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de yeso en Santander

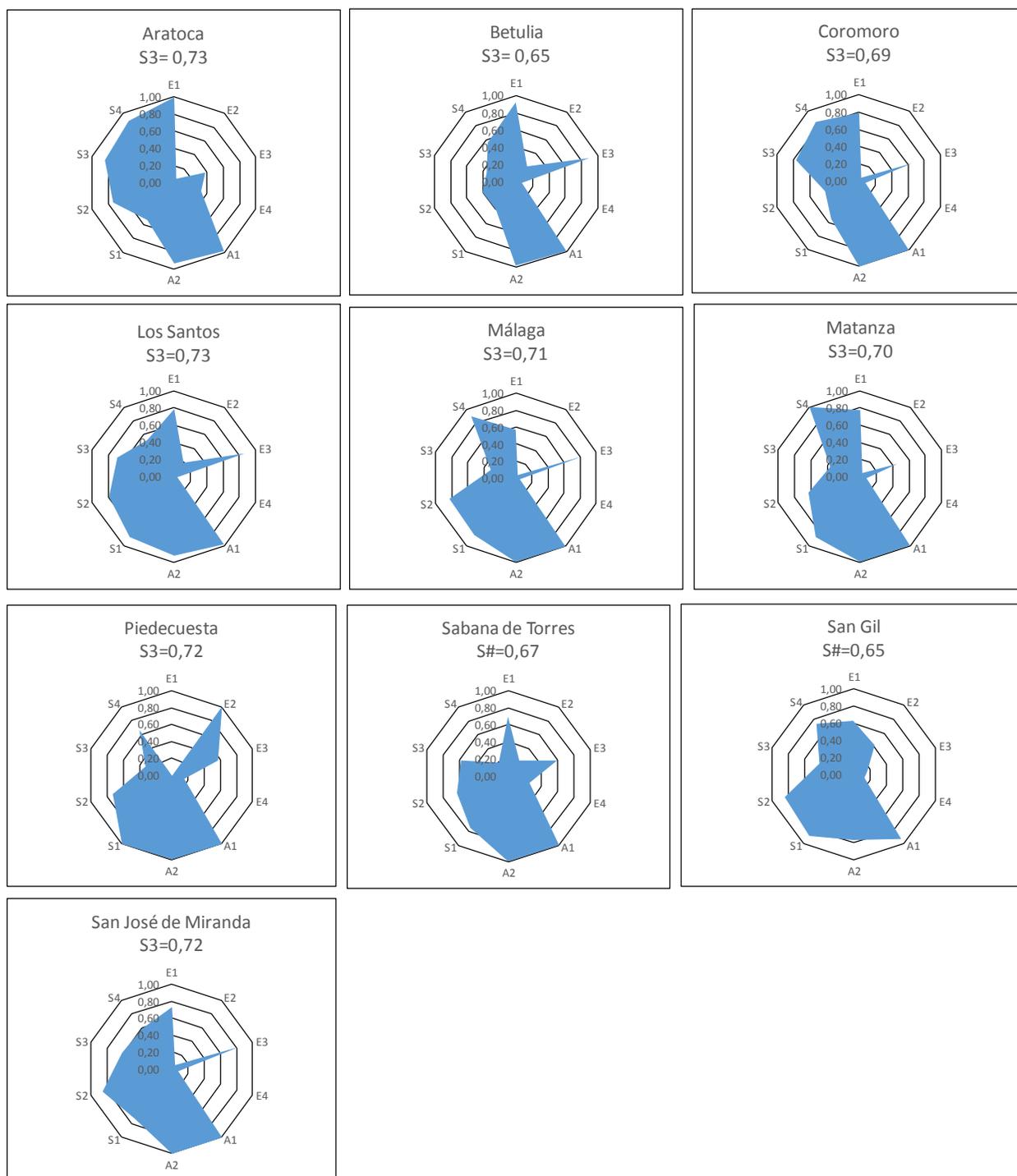


Nota. Elaboración propia.

4.6.3.5. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios productores de Arena

En la figura 80 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar los municipios que solamente producen arenas, en estos Biogramas se identifica el de menor índice que es San Gil con problemas asociados al suministro de agua potable, Los demás municipios se encuentran en estado de desarrollo sostenible, estable.

Figura 80. Biogramas de municipios productores de arenas en Santander

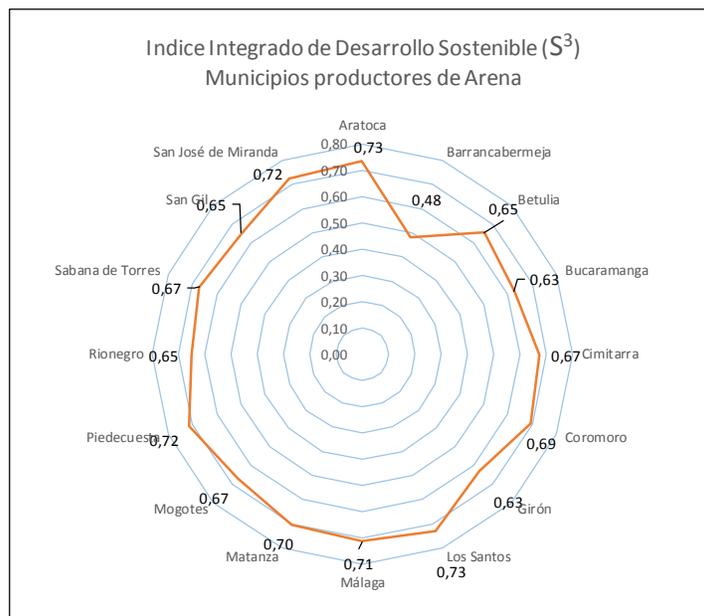


Nota. Elaboración propia.

En la figura 81 se observa una representación gráfica del estado del sistema de todos los municipios productores de arena incluidos aquellos que producen también otro material, se

destacan a los municipios de Aratoca y Los Santos por tener el más alto índice y con preocupación el municipio de Barrancabermeja, el cual está muy cerca del estado crítico.

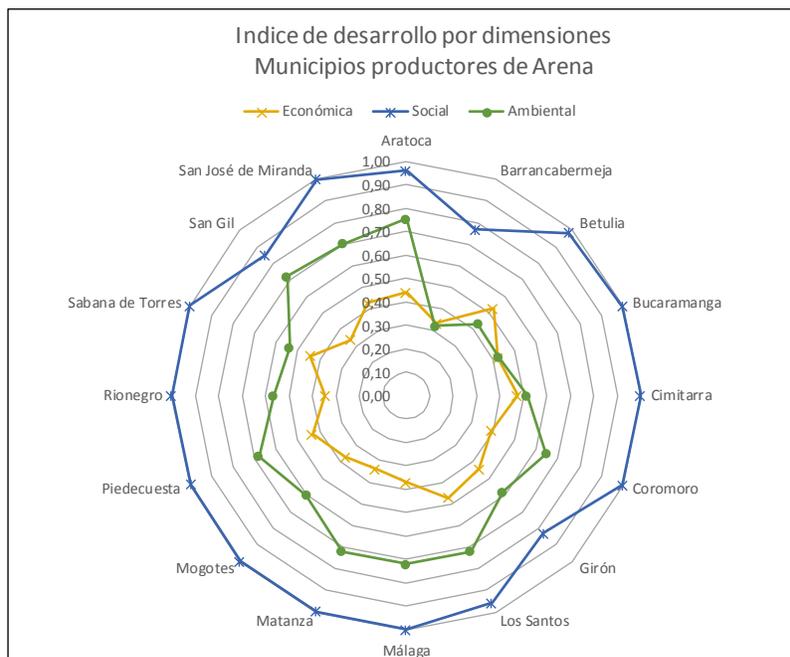
Figura 81. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de arena en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 82, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económico, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos y buenos resultados en los índices sociales. En los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de Barrancabermeja, Girón y San Gil.

Figura 82. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de arena en Santander

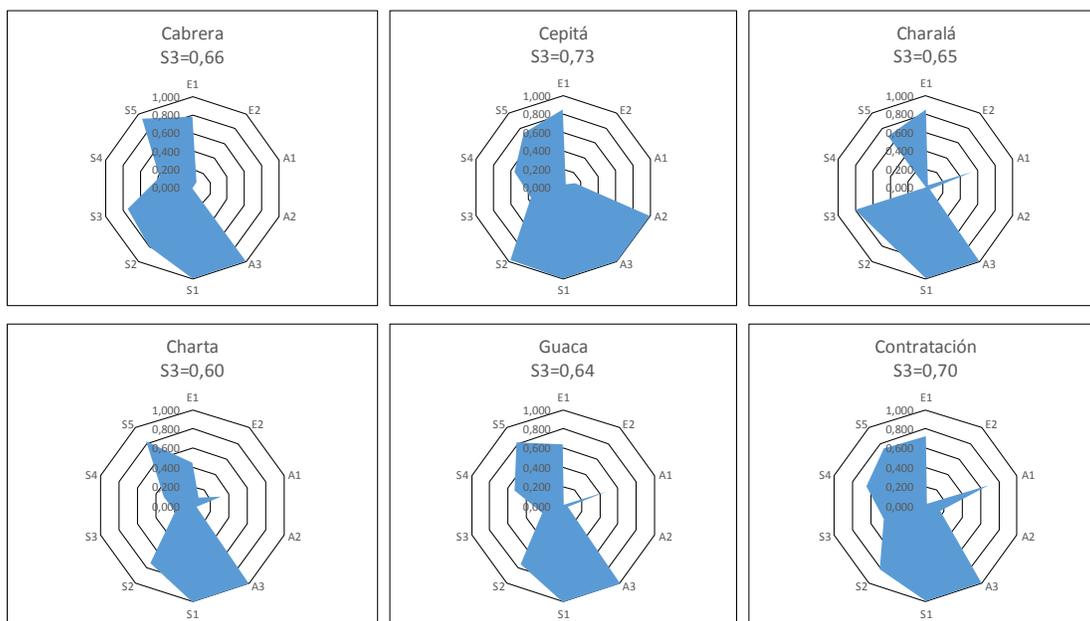


Nota. Elaboración propia.

4.6.3.6. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios productores de Gravas

En la figura 83 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar que los municipios que solamente producen gravas, encontrando que Charta presenta un estado muy cercano al inestable, con baja calificación en indicadores de agua potable, consumo de energía y analfabetismo. Los demás municipios se encuentran en estado de desarrollo sostenible, estable, con afectaciones relacionadas con el agua tanto para suministro como en evacuación.

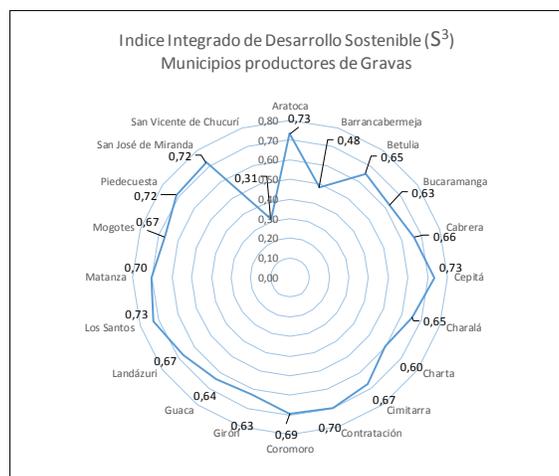
Figura 83. Biogramas de municipios productores de gravas en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 84 se observa una representación gráfica del estado del sistema de todos los municipios productores de arena incluidos aquellos que producen también otro material, se destacan a los municipios de Cepita, San José de Miranda y Piedecuesta por tener el más alto índice y con preocupación el municipio de San Vicente de Chucurí que se encuentra en estado crítico, y Barrancabermeja que está muy cerca del estado crítico.

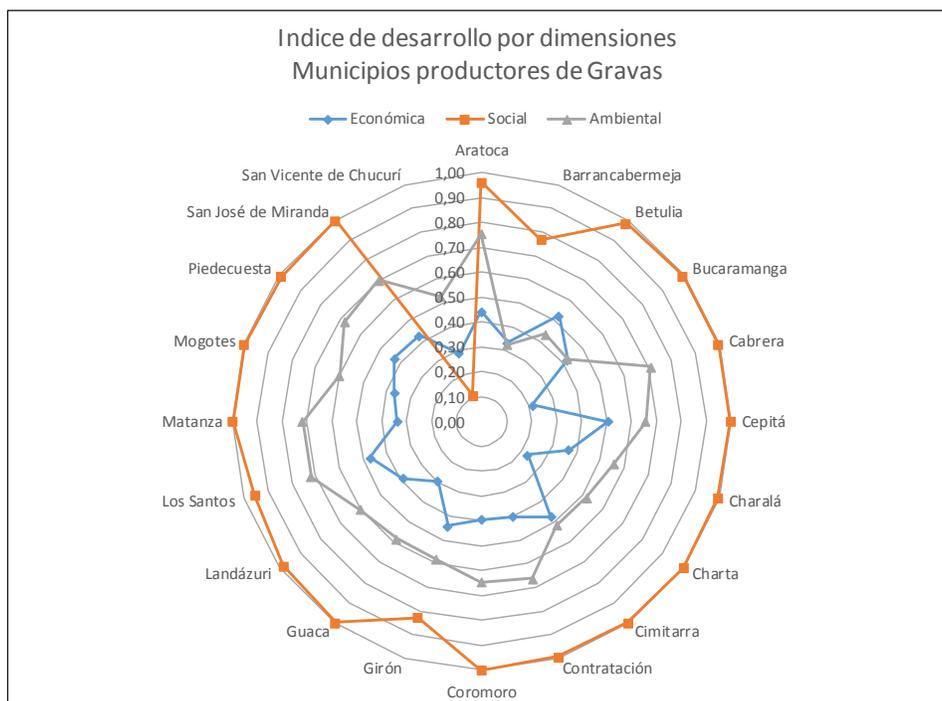
Figura 84. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de gravas en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 85, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económico, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos y buenos resultados en los índices sociales exceptuando a San Vicente de Chucurí. En los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de San Vicente de Chucurí y Cimitarra.

Figura 85. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de gravas en Santander

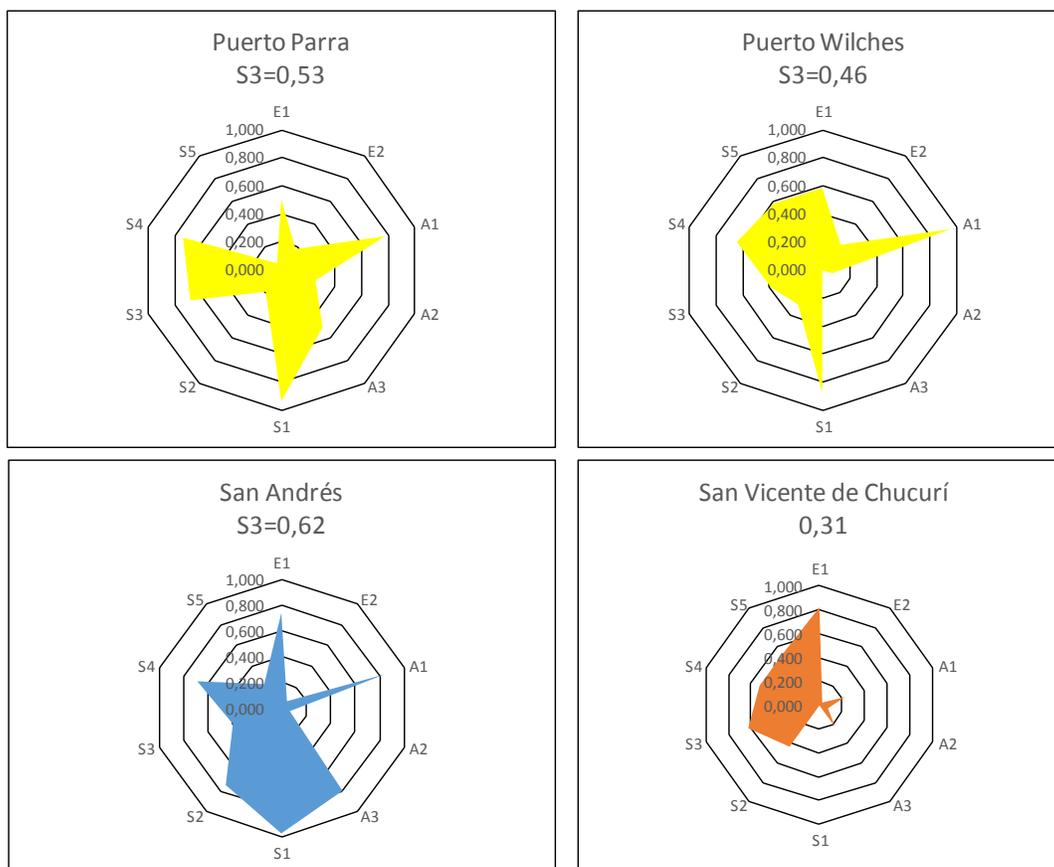


Nota. Elaboración propia.

4.6.3.7. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios productores de Material de origen Vegetal

En la figura 86 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar los municipios que solamente producen madera, en estos biogramas se identifica el de menor índice que es San Vicente de Chucurí con problemas asociados a la mayoría de indicadores, en estado crítico están los municipios de Puerto Parra y Puerto Wilches y estado de desarrollo sostenible, estable San Andres. El deficit cuantitativo de vivienda, es uno de los indicadores más estables.

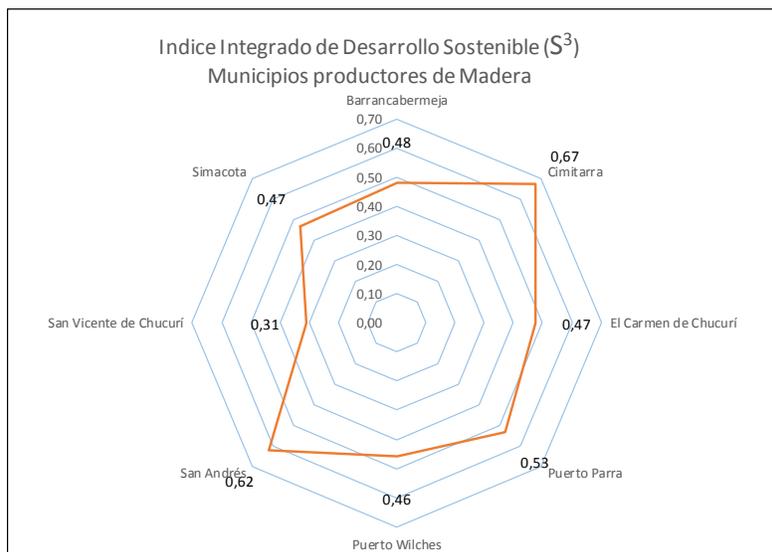
Figura 86. Biogramas de municipios proveedores de madera en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 87 se observa una representación gráfica del estado del sistema de todos los municipios productores de madera incluidos aquellos que producen también otro material, se destacan el municipio de Cimitarra y con alta preocupación el municipio de San Vicente de Chucurí que se encuentra en estado crítico, Simacota y Barrancabermeja que está muy cerca del estado crítico. Esta región en Santander, se conoce como la del Magdalena Medio, por estar en la rivera del río Magdalena.

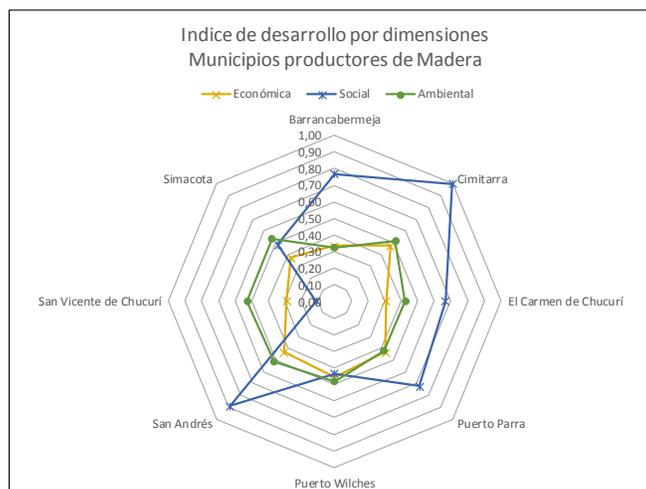
Figura 87. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de madera en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 88, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económico, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos y los índices sociales exceptuando a Cimitarra. En los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de Barrancabermeja y Puerto Parra.

Figura 88. Índice Integrado de desarrollo sostenible, para los municipios productores de Santander

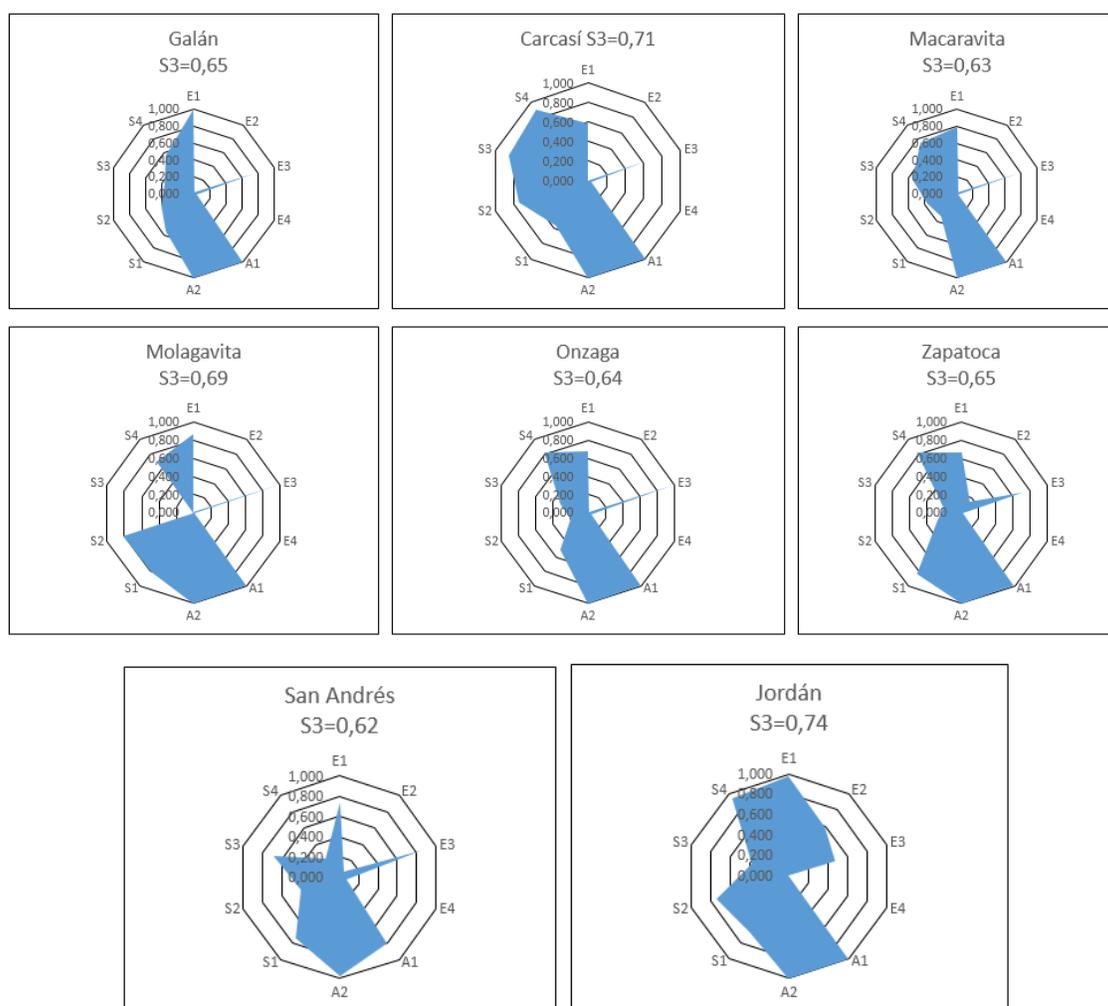


Nota. Elaboración propia.

4.6.3.8. Biograma e Índice de Desarrollo Sostenible para los municipios con uso de la tierra estabilizada como material de construcción

En la figura 89 elaborada por el autor del proyecto, con base en los datos calculados en el apéndice H se pueden visualizar que el municipio que presenta un estado cerca al inestable es San Andrés, con baja calificación en indicadores de suministro de alcantarillado y afiliación a entidades prestadoras de salud. Los demás municipios se encuentran en estado de desarrollo sostenible, estable.

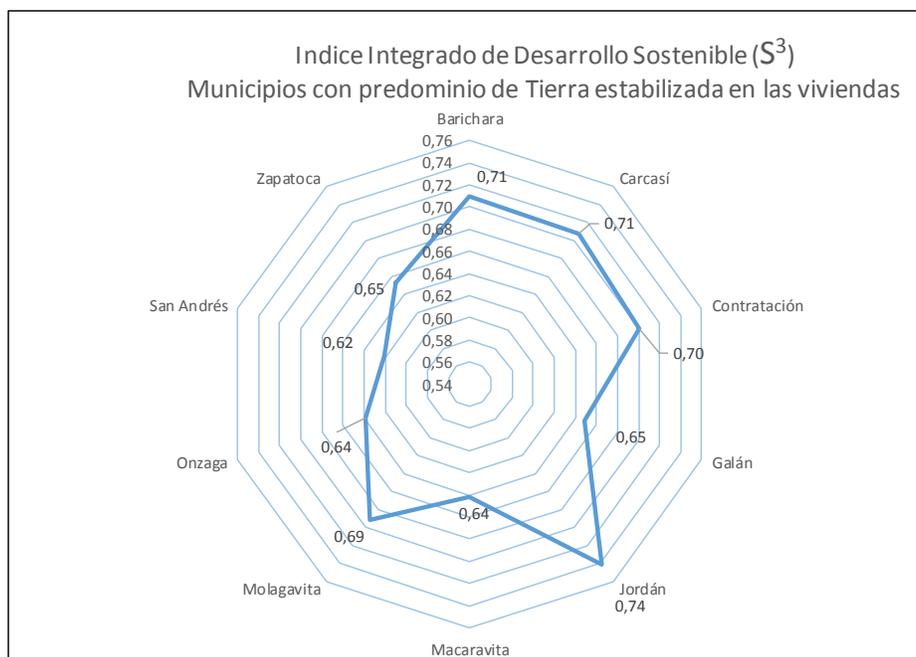
Figura 89. Biogramas de municipios con predominio de tierra estabilizada en la construcción de viviendas en Santander



Nota. Elaboración propia.

En la figura 90 se observa una representación gráfica del estado del sistema de todos los municipios con predominio de tierra estabilizada en las viviendas y que también producen otro material, se destacan los municipios de Jordán, Barichara y Carcasí y con alta preocupación el municipio de San Andrés y Galán.

Figura 90. Índice Integrado de desarrollo sostenible, en los municipios con predominio de tierra estabilizada en la construcción de viviendas en Santander.

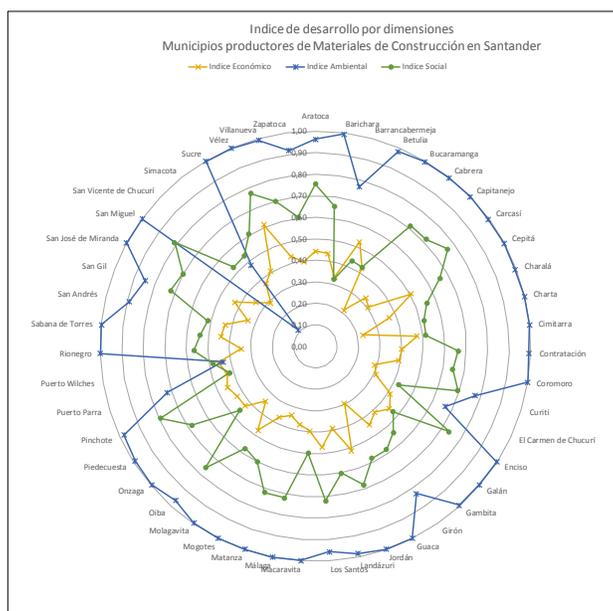


Nota. Elaboración propia.

En la figura 91, se encuentra una comparación por cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible, económica, social y ambiental, reflejando que, en su mayoría, los municipios analizados tienen bajos resultados en los índices económicos, mejores resultados en los índices sociales y en los índices ambientales, se debe trabajar en los municipios de Galán y Macaravita.

En la figura 93 se pueden encontrar los índices de cada municipio, por cada una de las dimensiones, reflejando que los más bajos resultados en la dimensión económica están en Cabrera y Charta, en la dimensión ambiental en San Vicente de Chucurí y Puerto Wilches y en la dimensión social en San Vicente de Chucurí y Puerto Wilches. Los más altos índices en la dimensión económica son para Vélez y Betulia, en la dimensión ambiental para Vélez y Malaga y en la dimensión social San Miguel, Pinchote y Vélez.

Figura 93. Índice de desarrollo por dimensiones, para los municipios productores de materiales de construcción para viviendas en Santander



Nota. Elaboración propia.

4.6.4. Análisis del rendimiento

Estudio de comparación de beneficio/costo de la construcción de vivienda con materiales tradicionales y de la construcción de vivienda con materiales convencionales, en el departamento de Santander.

Para tal fin se utiliza la caracterización de la tipología de vivienda, que se desarrolló anteriormente. La cual sirve de base para el estudio de los costos asociados a una vivienda realizada por construcción tradicional y una vivienda por construcción convencional. El consumo de materiales, se analiza teniendo en cuenta el proceso constructivo, así como los respectivos impactos generados en las posibilidades respectivas.

El análisis costo/beneficio se realiza en las siguientes técnicas constructivas:

- Muros en mampostería de ladrillo cocido
- Muros en tapia pisada
- Muros en adobe

En todos los sistemas, existe una cimentación, que es obligatoria de realizar con concreto reforzado por normas sismo resistentes, por lo que no se tendrán en cuenta los sistemas de fundaciones de las viviendas en la comparación. En cuanto a los acabados, entre los que se encuentran (revestimientos, cerámicas de pared, pinturas, enchapes, revoques, pañetes) tienen un comportamiento similar, y no se ofrecen en el mercado condiciones que puedan diferenciarse en la construcción tradicional o la convencional, solamente podrían considerarse, dejar los materiales a la vista, situación que depende de la estética de las viviendas, por lo tal para el análisis de los costos no se tendrán en cuenta.

Por ser la tipología de viviendas de un solo nivel y al poderse utilizarse sistemas de muros auto portantes en los dos casos, es decir tanto en vivienda convencional como en vivienda tradicional, no se tendrá en cuenta en el análisis estructuras aporricadas de concreto reforzado, y en cuando a cubiertas, en los dos tipos de viviendas, se pueden realizar los mismos análisis de tejados, en madera y tejas de barro, por lo tanto, no se incluyen en el análisis.

En conclusión, el factor diferenciador se centra en las paredes interiores y exteriores, construidas con ladrillo cocido, en tapia pisada, en Bloque de tierra compactada.

Materiales de construcción utilizados: para el cálculo del costo por metro cuadrado de pared interna o externa, se utilizará la metodología de análisis de precios unitarios, para cada una de las técnicas utilizadas:

4.6.4.1. Mampostería con ladrillo cocido. Se supone el uso de un ladrillo macizo cocido de dimensiones 24,5 cm x 12 cm x 5,5 cm, que es la categoría de material permitida para muros autoportantes.

En la tabla 41 se puede visualizar el análisis de precios unitario por cada metro cuadrado de un muro construido en ladrillo macizo confinado, estos cálculos fueron realizados por el autor

del proyecto utilizando el software Construdata. El precio total del metro cuadrado de muro de ladrillo es de \$93.322 pesos.

Tabla 33. *Análisis de precios unitario de un metro de muro en ladrillo*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Ladrillo macizo prensado (24,5X12X5,5_Cm)	unid	66	\$775	\$51.150
Herramienta menor	%	5	\$4.438	\$4.444
Mortero 1:4	m ³	0,03	\$409.949	\$12.298
Hora cuadrilla AA de Albañilería (Oficial + Ayudante)	Hc	1,3	\$19.561	\$25.429
Total				\$93.322

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del software Construdata. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2612/presupuestar>

En la tabla 42 se presenta el análisis de precios unitarios por metro cúbico de mortero 1:4, estos cálculos fueron realizados por el autor del proyecto utilizando el software Construdata. El precio total del metro cúbico de mortero es de \$409.949 pesos.

Tabla 34. *Análisis de precios unitario de un metro cúbico de mortero*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Agua	Lt	220	\$20	\$4.400
Arena fina	m ³	1,16	\$162.000	\$187.920
Cemento gris	Kg	364	\$490	\$178.360
Concretadora de trompo	d	0,13	\$107.100	\$13.923
Herramienta menor	%	2	\$2.892	\$5.783
Hora cuadrilla AA de Albañilería (Oficial + Ayudante)	Hc	1	\$19.563	\$19.563
Total				\$409.949

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del software Construdata. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:2612/presupuestar>

4.6.4.2. Muro en tapia pisada. Se analizan los precios para las actividades que componen la construcción de un metro cuadrado de tapia pisada de 70 cm de espesor.

En la tabla 43 se presenta el cálculo de precios unitarios para conocer el precio total de un metro cuadrado de tapia pisada. Los datos fueron elaborados por el autor del proyecto basado en el curso básico de construcciones en tierra del arquitecto Jaime Higuera Reyes. El precio total del metro cuadrado de tapia pisada es de \$136.050 pesos.

Tabla 35. *Análisis de precios unitario de un metro cuadrado de tapia pisada*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Herramienta menor	Glb	1	\$800	\$800
Formaleta para muros en tapia	m2	1	\$1.200	\$1.200
Cemento gris	Bulto	1,55	\$35.955	\$55.730
Tierra	M3	0,7	\$-	\$-
Cal	Kg	4,4	\$250	\$1.100
Mano de obra Pisón	Día	0,22	\$135.000	\$29.700
Mano de obra Contrapisón	Día	0,22	\$117.000	\$25.740
Mano de obra Ayudante	Día	0,22	\$99.000	\$21.780
Total				\$136.050

Nota. Elaboración propia con base en registros tomados del Curso básico Construcciones en Tierra, por Arq. J. Higuera.

4.6.4.3. Muro en adobe. Se analizan los precios para un muro construido con Bloques de Tierra Compactada BTC.

En la tabla 44 se presenta el análisis de precios unitario por metro cuadrado de BTC. Los cálculos fueron elaborados por el autor del proyecto con base en el curso básico de construcciones en tierra del arq. Jaime Higuera Reyes. El precio total del metro cuadrado de BTC es de \$76. 383 pesos.

Tabla 36. *Análisis de precios unitario de un metro cuadrado muro de BTC*

Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Estabilizantes (260 Gr de Cemento y 100 Gr de cal)	unid	50	\$132	\$6.585
Bloque de tierra compactada (14X9X28_cm)	unid	50	\$450	\$22.500

Mano de obra por unidad	unid	50	\$700	\$35.000
Mortero	m ³	0,03	\$409.949	\$12.298
Total				\$76.383

Nota. Elaboración propia con base en registro tomado del curso básico Construcciones en tierra, por Arq. J. Higuera.

4.6.5. Análisis beneficio costo

Para el análisis beneficio costo y basados en la vivienda tipo de 40 m² descrita anteriormente en la tabla 31, se tiene la siguiente información:

- **Por costo:**

En la tabla 45 se visualizan los costos de un metro cuadrado de muro construido por técnicas tradicionales y convencionales, tomando como referencia cierta cantidad de metros cuadrados de paredes construidas en la vivienda.

Tabla 37. Costos económicos de un metro cuadrado de muro construido por técnicas convencionales y tradicionales

Cantidad de metros cuadrados de paredes internas y externas	Costo de M2 de muro en ladrillo confinado	Valor Muros de la vivienda en Ladrillo	Costo de M2 de muro en tapia pisada	Valor Muros de la vivienda en Tapia Pisada	Costo de M2 de muro en Bloque de tierra compactada	Valor de muros de la vivienda en Bloque de tierra compactada
127	\$93.321,67	\$11.851.852,47	\$136.050,25	\$17.278.381,75	\$76.383,48	\$9.700.702,44

Nota. Elaboración propia.

Por costo directo, se establece en orden de prioridad de acuerdo a los costos la vivienda construida por técnica tradicional de Bloque de tierra compactada, en segundo lugar, por técnica convencional de ladrillo macizo y en tercer lugar por técnica tradicional de tapia pisada. Los costos de tapia y bloque de tierra se referencian utilizando tierra del mismo sitio de la obra.

- **Por beneficios:**

En la tabla 46 se presentan los consumos de energía y emisiones de CO₂ que genera un metro cúbico de mortero. Las emisiones de CO₂ para el mortero son de 802,3 kg de CO₂ y el consumo de energía es de 4.018,8 MJ.

Tabla 38. Emisiones de CO₂ y consumo de energía de un metro cúbico de mortero

Impacto Ambiental por Metro Cúbico de Mortero			Emisiones de CO ₂ (kg)		Consumo de energía (MJ)	
Mortero 1:4			802,3		4.018,8	
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Emisión Unitaria	Emisión total	Consumo Unitario	Consumo total
Arena fina	Tn	1,80	16	28,77	150	269,70
Cemento gris	Tn	0,36	2.080	757,12	10.146	3.693,14
Concretadora de trompo	Hr	1	16,40	16,40	55,95	55,95

Nota. Elaboración propia. Con base en datos de International Cement Review. (2013).

En la tabla 47 se presenta el consumo energía y las emisiones de CO₂ generadas por cada metro cuadrado de ladrillo macizo confinado. Los datos resultantes de emisiones de CO₂ del ladrillo es de 12.168,07 kg y el consumo de energía es de 119.732,36 MJ.

Tabla 39. Emisiones de CO₂ y consumo de energía de un metro cuadrado de ladrillo macizo confinado

Impacto Ambiental por Metro Cuadrado de Muro en Ladrillo Macizo Confinado			Emisiones de CO ₂ (kg)		Consumo de energía (MJ)	
M2 Muro de ladrillo Macizo Confinado			12168,07		119732,36	
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Emisión Unitaria	Emisión total	Consumo Unitario	Consumo total
ladrillo macizo prensado (24,5X12X5,5_Cm)	unid	66	184	12144	1812,3	119611,8
Mortero 1:4	m ³	0,03	802,29	24,07	4018,79	120,56

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 48 se presenta las emisiones de CO₂ y el consumo de energía generado por cada metro cuadrado de tapia pisada. Como resultado se tiene que las emisiones de CO₂ de la tapia pisada son de 91,27 kg de CO₂ y el consumo de energía es de 308,45 MJ.

Tabla 40. Emisiones de CO₂ y consumo de energía de un metro cuadrado de tapia pisada

Impacto Ambiental por Metro Cuadrado de Muro en Tapia Pisada			Emisiones de CO ₂ (kg)		Consumo de energía (MJ)	
M2 Muro de Tapia Pisada			91,27		308,45	
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Emisión Unitaria	Emisión total	Consumo Unitario	Consumo total
Cemento gris	Bulto	1,55	52	80,6	199	308,45
Tierra	M3	1,1	9,7	10,67	0	0

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 49 se presenta el consumo de energía y las emisiones de CO₂ generadas por cada metro cuadrado de bloque de tierra compactada. Los resultados que se obtiene del bloque de tierra compactada es que las emisiones de CO₂ equivalen a 54,70 kg y el consumo de energía equivale a 252,06 MJ.

Tabla 41. Emisiones de CO₂ y consumo de energía de un metro cuadrado de Bloque de tierra compactada

Impacto Ambiental por Metro Cuadrado de Muro en Bloque de tierra compactada				Emisiones de CO ₂ (kg)		Consumo de energía (MJ)	
M2 Muro de Bloque de Tierra Compactada				54,70		252,06	
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Emisión Unitaria	Emisión total	Consumo Unitario	Consumo total	
Estabilizantes (260 Gr de Cemento por unidad)	unid	50	0,27	13,52	2,63	131,5	
Bloque de tierra compactada (14X9X28_cm)	m ³	1,76	9,7	17,11	0	0	
Mortero	m ³	0,03	802,29	24,07	4018,79	120,56	

Nota. Elaboración propia.

Por lo anterior las emisiones totales y el consumo de energía total de la vivienda de 40m² se muestran en la tabla 50 tomando como base las tres técnicas de construcción que son: ladrillo macizo confinado, tapia pisada y bloque de tierra compactada, organizadas de forma descendente de acuerdo al impacto que generan.

Tabla 42. Emisiones de CO2 y consumo de energía de una vivienda tipo de 40 M2

Técnica de construcción	Metros cuadrados construidos		Emisiones de CO2 (kg)		Consumo de energía (MJ)	
	Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Emisión Unitaria	Emisión total	Consumo Unitario
Ladrillo Macizo Confinado	M2	127	12.168,07	1.545.344,72	119.732,36	15.206.010,21
Tapia Pisada	M2	127	91,27	11.591,29	308,45	39.173,15
Bloque de tierra compactada	M2	127	54,70	6.946,83	252,06	32.012,11

Nota. Elaboración propia.

Por beneficio, se tiene como parámetro de comparación las emisiones de CO2 en Kg (Kilogramos) y el consumo de energía en MJ (Mega Julios), se evidencia que para la construcción de una vivienda de 40 M2, por técnicas constructivas tradicionales como la tapia y el bloque de tierra compactada, se emiten 11.591,29 Kg de CO2 y 6.946,83 Kg de CO2, en cuanto a la energía se tiene un consumo de 39.173,15 MJ para la tapia pisada y 32.012,11 para el Bloque de tierra compactado. A diferencia del Ladrillo Macizo confinado que genera unas emisiones de 1.545.344,72 Kg de CO2 y un consumo de energía de 15.206.010,21 MJ.

5. Conclusiones

- El estudio encontró que, en referencia al uso de la tierra estabilizada en construcción de viviendas, en el departamento de Santander, el 24,64% de la población encuestada, habita en casas construidas con técnicas tradicionales, que hacen de sus municipios lugares agradables, con una conjugación entre el pasado y el futuro, promotores de la preservación de la construcción ancestral y el fomento de la protección del patrimonio cultural lo que le da identidad, apropiación social y territorialidad. Los estilos arquitectónicos que conforman una vivienda tradicional en Santander, están basados en principios básicos, con modelos de arquitectura vernácula, donde se caracterizan las viviendas con formas geométricas sencillas, de fácil interpretación e implementación. Esto genera un ambiente exclusivo de los pueblos de Santander, especialmente los que presentan cantidades menores de 1000 viviendas, que es en los que predomina el uso de la tapia pisada, bloques de tierra compactada y en menor proporción el bahareque.

La comunidad reconoce en el uso de la tierra estabilizada, un material de construcción ambientalmente amigable, que le genera sensación de seguridad y durabilidad, con un alto grado de colaboración para la preservación y conservación del patrimonio cultural material e inmaterial de la región y accesible a poblaciones que presenten escasos recursos económicos para satisfacer el déficit de sus viviendas. Sin embargo, las técnicas de construcción con el uso de la tierra estabilizada, mantienen en la comunidad, especialmente en las ciudades de mayor tamaño creencias relacionadas con estigmatizaciones peyorativas dirigidas a considerar estas viviendas utilizables presentan olores característicos, humedades y que únicamente son para personas de escasos recursos económicos, limitando las posibilidades para su efectiva contribución al desarrollo regional.

- El cuanto, al uso de la madera en la construcción de viviendas en Santander, un gran porcentaje de las viviendas del departamento, la utilizan en las estructuras de soporte de los techados y cubiertas, ya sean como vigas o viguetas, o como cielo raso, también se usan como columnas en las viviendas tradicionales. Solo en algunas zonas del departamento, en especial los municipios cercanos a las riveras del río Magdalena, tienen paredes de las viviendas construidas en madera. La percepción general de la población, es que el uso de la madera en las viviendas, mejora los aspectos estéticos, si es obtenida de forma legal es ambientalmente

amigable, controla adecuadamente la temperatura y los costos son aceptables por su rapidez en la construcción.

Las viviendas totalmente construidas en madera, están limitadas por la percepción de la comunidad, relacionadas con los altos riesgos de incendio, la inseguridad en el componente estructural y en la vulnerabilidad de accesos, la dificultad para el control de insectos y olores, y la complejidad de conseguir personal especializado para el desarrollo de procesos constructivos y de mantenimiento.

- El uso de residuos industriales en el desarrollo de proyectos de vivienda en Santander, no representa un porcentaje significativo en el departamento, en ninguna de las encuestas realizadas ni con las sociedades ni con las empresas, se evidenció la existencia de viviendas construidas con residuos industriales, en algunos lugares del departamento, se encuentran obras de contención con el uso de llantas reutilizadas, pero no existen desarrollos formales de vivienda con materiales reutilizados o reciclados. Las empresas constructoras, tampoco contemplan la realización de proyectos con la utilización de estos materiales.

Se evidencia un desconocimiento en la comunidad de las innovaciones y desarrollo logrados por las tecnologías emergentes para la producción de materiales alternativos para la industria de la construcción, que involucran de forma segura, materiales derivados de otros procesos industriales o agroindustriales, como materia prima para nuevos productos utilizados en la construcción de viviendas. La mayoría de población considera que, aunque desarrollar una vivienda con este tipo de materiales puede representar una ventaja de tipo económica, no representan aportes estéticos a las construcciones, ni tampoco de seguridad estructural ni de accesibilidad, así mismo considera que realizar este tipo de inversiones impide los procesos de comercialización y presuponen la existencia de olores y bajos niveles de control de temperatura al interior de las construcciones.

- El departamento de Santander, presenta unos buenos niveles de competitividad en relación al país, que lo hace una región próspera y con visión de futuro. Con un déficit cuantitativo de vivienda urbana del 10,37% (Ver apéndice A), presenta unas buenas condiciones de habitabilidad y de estructura de las viviendas en el área urbana que abarca un 72,2% de la población, sin embargo, al revisar los resultados de la presente investigación, en las regiones rurales de los municipios donde se desarrollan proyectos de explotación y producción de

materiales de construcción, se evidencia, una evaluación del desempeño socioeconómico inadecuado con efectos ligeramente indiferentes, preocupa la gran cantidad de indicadores con efectos negativos y muy negativos, los altos niveles de contaminación ambiental por emisiones de gases de efecto invernadero como el CO₂ y altos consumos de energía, derivados de la producción de estos materiales. Así mismo, no se refleja una correlación adecuada entre las cantidades de materiales que se extraen de los recursos naturales y los recursos financieros disponibles para las regiones por recepción de las regalías, que se supone, permitirían realizar inversiones físicas y sociales que mejoren el nivel de la calidad de vida de esas comunidades.

La preferencia de la población para construir su vivienda, según el presente estudio, está muy influenciada en materiales usados masivamente en los siglos XX y XXI para el desarrollo de las técnicas constructivas convencionales, entre estos predomina el ladrillo y el concreto, su prelación se basa principalmente en condiciones de seguridad, confiabilidad, facilidad de consecución y durabilidad, el comportamiento en el uso de estos materiales crece con una preocupante tendencia lineal sin tener en cuenta factores sociales ni ambientales, al momento de la toma de decisiones. Esta situación genera un gran consumo de estos materiales, con una incidencia compleja de manejar por las altas emisiones de CO₂ a la atmosfera y consumo de energía para la generación de estos productos. De no revertirse la tendencia en los municipios, aumentará la problemática regional con reducidas posibilidades de desarrollo especialmente en la población más vulnerable y con efectos e impactos muy negativos para el planeta.

- En el análisis beneficio costo de la construcción de viviendas con materiales convencionales y materiales tradicionales, se encontró que en los Bloques de Tierra Compactada (BTC) se presenta la mejor opción por cuanto representan un ahorro del 43,9% con referencia a la construcción en Tapia Pisada y 18,2 % con relación a los ladrillos convencionales y una disminución de 99,78% de emisiones de CO₂ a la atmosfera comparada con los ladrillos tradicionales y de 18,28% con relación a la tapia pisada. Es decir, que, en cuanto a costos y contaminación, el Bloque de Tierra compactada presenta la mejor opción. La construcción de vivienda con BTC también es socialmente una gran oportunidad de generación de mano de obra local al poder hacerse los bloques en obra, por las mismas personas que desarrollen el proyecto de vivienda.

La tapia pisada, representa de igual forma una excelente alternativa desde la dimensión ambiental teniendo en cuenta que disminuye en un 99,74% las emisiones de CO₂ al ambiente

comparadas con las producidas por los ladrillos convencionales, también es favorable en la dimensión social por la contratación de mano de obra local del sitio donde se desarrollen las construcciones y por cuanto todos los procesos se pueden llevar sin la intervención de maquinaria. No es tan favorable desde la dimensión económica, teniendo en cuenta que los bajos rendimientos de obra, aumentan los costos de mano de obra, un ítem representativo en este tipo de construcciones.

Por lo anterior se puede afirmar que las técnicas convencionales son 133 veces más contaminantes que la tapia y 222 veces más contaminantes que el BTC, en relación a las emisiones de Kg de CO₂ y en relación con el consumo de energía, las técnicas convencionales consumen 388 veces más energía que la tapia pisada y 475 veces más energía que el BTC, en la construcción de una vivienda de 40 metros cuadrados.

- La evaluación del desarrollo sostenible a través del índice integrado, permitió observar que todos los municipios donde predomina el uso de tierra estabilizada para la construcción de viviendas, presentan un estado del sistema de sostenibilidad “Estable” al encontrarse sus índices integrados de desarrollo sostenible entre 0.6 y 0.8.

Los municipios donde existe algún uso de residuos industriales en la construcción de viviendas, también presentan un estado del sistema de sostenibilidad “Estable” al encontrarse sus índices integrados de desarrollo sostenible entre 0.6 y 0.8, exceptuando únicamente el caso de El Carmén de Chucurí el cual presenta un estado del sistema “Inestable”.

Con excepción de Landázuri que presenta un estado del sistema “Estable”, los demás municipios donde existen viviendas construidas con materiales de origen vegetal en sus paredes, presentan un estado del sistema “Inestable” por encontrarse su índice integrado de desarrollo sostenible entre 0.4 y 0.6.

En el caso estudiado, se evidencia que el uso de tierra estabilizada y residuos industriales en la construcción de vivienda aporta al desarrollo sostenible en las dimensiones económica, social y ambiental.

En cuanto al uso de la madera, no se refleja un aporte al desarrollo sostenible, situación además de los resultados en que según el informe del Pacto sectorial para la Madera Legal en Colombia

2018, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el 80% de las maderas que consume el país para la construcción proviene de bosques naturales, con fuentes desconocidas o ilegales. Esta situación desequilibra el sistema de sostenibilidad y se refleja tanto en la evaluación de impactos socioeconómicos y ambientales realizada en el presente estudio, como en los índices integrados de desarrollo sostenible.

Por lo anterior, se puede concluir que la evaluación del sistema de sostenibilidad a través del índice integrado, es una metodología que comprueba el aporte o no, del uso de un material en la construcción de viviendas en relación al desarrollo sostenible, comprobando el supuesto de la presente investigación.

- La metodología presentada en el estudio, se puede aplicar en nuevas investigaciones en donde se involucren todos los municipios del departamento, ampliando su campo de acción a entornos urbanos y rurales. De igual forma, las nuevas investigaciones, pueden tener la descripción de la población de manera más específica y poder ampliar los indicadores especialmente en la dimensión ambiental, que es donde más se evidencia la ausencia de datos.

6. Recomendaciones

Una gran problemática del país en realización de los Planes de Desarrollo Municipal, los esquemas y/o planes de ordenamiento territorial, y las diferentes políticas públicas relacionadas con el desarrollo territorial, es la ausencia de instrumentos que permitan monitorear los indicadores de sostenibilidad contenidos en los objetivos de desarrollo sostenible, posiblemente por la ausencia de datos históricos relevantes, especialmente en municipios pequeños del departamento de Santander. Por lo anterior, la presente investigación, entrega de una forma ágil y eficiente las formas para obtener una comparación significativa entre indicadores en las diferentes dimensiones ambientales, sociales y económicas para una región específica con una unidad de análisis específica.

Este trabajo, puede servir como base para la definición de inversiones sociales, ambientales y económicas, en los municipios más necesitados, de tal manera que los administradores departamentales y municipales, encuentren herramientas útiles y equitativas al momento de tomar decisiones, aprobar proyectos y canalizar recursos.

Es necesario aumentar la divulgación de las bondades de la construcción con elementos básicos como la tierra, que independiente de la técnica constructiva a utilizar, se encuentra disponible en cualquier lugar de la geografía local, regional y mundial, por lo tanto, es un recurso asequible, de fácil interpretación y que se adapta a las condiciones geográficas, climáticas, sociales, económicas y ambientales de cualquier comunidad, por lo tanto no es consecuente que en un país como Colombia y específicamente en el departamento de Santander, exista déficit de viviendas en las comunidades rurales, las cuales con el acompañamiento de Universidades y del Gobierno, podrían implementar técnicas de autoconstrucción, con uso responsable de los recursos y obtener viviendas acordes a unas características adecuadas en cuanto a habitabilidad, confort, seguridad y durabilidad.

La construcción de viviendas con madera, es una opción que se convierte para el departamento de Santander en una gran oportunidad y que se recomienda a las instituciones realizar inversiones en ciencia y tecnología, de tal manera que logren mejorar las condiciones de producción de una forma organizada, legal y con responsabilidad social y ambiental. Es importante minimizar el uso de paneles compuestos de materia primas contaminantes, el uso de elementos de PVC y el metal en puertas, marcos y ventanas de viviendas y láminas metálicas y

elementos estructurales de acero como soportes de cubiertas, que poco a poco van reduciendo el uso de la madera en las viviendas, pero van aumentando la contaminación en los municipios productores de acero.

Las universidades, centros de investigación y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, que promuevan el uso de materiales de construcción con materia primas provenientes de residuos industriales, deben promover y divulgar los resultados de sus investigaciones, para aumentar la confianza en estos nuevos desarrollos, que se visionan como oportunidades de reducir los indicadores de necesidades básicas insatisfechas en las comunidades locales.

Finalmente, se deja la recomendación para que la evaluación del desarrollo sostenible de municipios productores de materiales de construcción a partir de un índice integrado, se pueda fortalecer con indicadores, que deben realizarse a partir de otras investigaciones y estudios científicos realizados en el territorio y verificados en laboratorios especializados, de tal manera que se pueda contar con mayor número de datos en las dimensiones ambiental, social y económica de la unidad analizada. Así mismo las nuevas investigaciones puedan considerar un mayor número de municipios para analizar desde los contextos departamental, nacional e internacional y motivando también la realización investigaciones en otras actividades de los sectores productivos de la sociedad.

Somos responsables del futuro de la humanidad, y en cada uno de nosotros como ciudadanos del mundo, recae la obligación de hacer aportes al Desarrollo Sostenible.

Referencias Bibliográficas

- Addis, B. (2006). *Building with Reclaimed Components and Materials*. London: Routledge,.
<https://doi.org/10.4324/9781849770637>
- Agencia Nacional de Minería. (2020). *Minería con Innovación: nuevas iniciativas ANM*.
<https://www.anm.gov.co/>
- Aguilar, B. (2008). *Construir con adobe: fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo*. México: Trillas.
- Almeida, B. S., Muscio, E., Iparreño, L., y Anaya, J. (2019). Panel prefabricado de guadua-acero-mortero microvibrado con ceniza de cáscara de arroz para vivienda de interés social. *Anales de edificación*, 51-65.
- Álvarez, C. (2010). *Lo que contamina un ladrillo*. El país semanal. <https://blogs.elpais.com/ecolab/2010/07/lo-que-contamina-un-ladrillo.html>
- Alvarez, L. (2003). Edificación y desarrollo sostenible GBC: Un método para la evaluación ambiental de edificios. *Informes de la Construcción*, 55(468), 63 -70.
- Aranda, Y. G., y Suárez, E. J. (2014). Diseño de muros mololítico para un prototipo de vivienda sustentable. *Contexto: revista de la Facultad de Arquitectura Universidad Autónoma de Nuevo León*, 67 -76.
- Araujo, L., Molina, S., y Noguera, L. (2018). Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de la construcción: revisión bibliográfica. *Agunkuyâa*.
- Ardila, I. (1986). *El pueblo de los Guanes*. Bogotá. Instituto Colombiano de Cultura.
- Arias, F. (2006). Desarrollo sostenible y sus indicadores. *Sociedad y Economía*, 200-229.
- Arquitectura e ingeniería de tierra. (2020). *Facebook*. <https://es-la.facebook.com/arquitierra/>
- Arquitectura Nativa. (2020). <http://arquitecturanativa.org/>

- Arteaga, K. T., Humberto, Ó., y Gutiérrez, Ó. J. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Facultad de ingeniería UPTC*, 55-68.
- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2010). *Enfoque para la reconciliación de financiamiento de fábricas de cemento con objetivos referentes al cambio climático*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Banco Mundial. (2008). *Marco Estratégico sobre Desarrollo y Cambio Climático*.
- Baño, A., y Vigil, A. (2005). Guía de construcción sostenible. *Guía*. Paralelo Edición.
- BAsD and BID. (2012). *Shaping the future of the Asia-Latin America and the Caribbean Relationship*.
- Battistelli, A. (2005). *Tecnología y patrimonio en tierra cruda en Colombia: el caso de Brichara Santander*. Politecnico di Torino.
- Bausela, E. (2003). Metodología de la investigación evaluativa: Modelo CIPP. *Complutense de educación*, 14(2), 361-376.
- Bedoya, C. (2013). *Del bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de suelo geopolimerizado (BSG)*. (Tesis en maestría de construcción). Universidad Nacional de Colombia.
- Bedoya, C. M. (2011). *Construcción Sostenible, para volver al camino*: Biblioteca jurídica Diké.
- Bedoya, C. M., Yepes, O. N., y Gómez, J. D. (2012). Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento (BCS) al bloque de tierra con geopolimeros (BTG). *Apuntes*, vol.25, n2, pp 240-267. ISSN 1657-9763.
- Bellart, M., y Mesa, S. (2009). *Impacto ambiental y ciclo de vida de los materiales de construcción*. Escuela Politecnica Superior, Universidad Politecnica de Cataluña.
- Berlingieri, R. R. (2017). *Caracterización de Bloques Suelo Cemento como mampuesto* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Cordoba.
- Bestraten, S., Hormías, E., y Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el Siglo XXI. *Informes de la construcción*, 63(523), 5-20. doi:10.3989/ic.10.046

- Bolaños, S. R. (2007). El Uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. *Apuntes*, Vol 20, núm 2 (354-363).
- Borrás, X. (2010). *Breve historia de la madera como material de construcción*. Inter empresas: <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html>
- Cabo, M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción*. Obtenido de Universidad Pública de Navarra: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf?sequence=1#:~:text=El%20ecoladrillo%20adem%C3%A1s%20de%20una,que%20no%20requieren%20de%20cocci%C3%B3n.>
- Camara de Comercio de Bucaramanga. (2018). *Índice de Competitividad Municipal Santander*. Observatorio de competitividad en Provincia.
- Camino, M. S., Jové, F., y Llorente, A. (2010). *La arquitectura construida en tierra. Tradición e Innovación*. Univerdidad de Valladolid.
- Campos G., A., Holm, N., Diaz, C., Rubiano, D. M., Costa, C., Ramirez, F., y Dickson, E. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Un aporte para la construcción de políticas públicas*. Bogotá Colombia: Banco Mundial.
- Carvalho, A. (2001). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Censo Nacional Agropecuario [CNA]. (2016). *Tercer Censo Nacional Agropecuario: La mayor operación estadística del campo colombiano en los últimos 45 años*. GIT área de comunicación DANE.
- Censo Nacional de Población y Vivienda [CNPV]. (2018). *Acceso a Metadatos y Microdatos anonimizados*. DANE: <https://sitios.dane.gov.co/anda-index/>
- Centro de los objetivos de desarrollo sostenible para América Latina y el Caribe [CODS]. (2020). *Índice ODS 2019 para América Latina y el Caribe*. Bogotá, Colombia: CODS.

- Cid, J., Mazarrón, F. R., y Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de construcción*, 63(523), 159 - 169. doi:10.3989/ic.10.011
- Ciroth, A., & Franze, J. (2011). *LCA of an Ecolabeled Notebook, Consideration of social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle*. Bruselas, Bélgica.: GreenDelta Tc.
- Ciudad, M. (2011). Manual de superadobe. *Manual*. Banyoles, Girona.
- Civit, B., Lopez, M., Curadelli, S., y Plastrellini, R. (2016). Cocción sostenible en la producción de ladrillos cerámicos artesanales. *ResearchGate*, 8.
- CO Colombia. (s.f.). *Guía red turística de pueblos patrimonio de Colombia*. CO Colombia.
- Cobrerros, C. (s.f.). Uso de fibras vegetales procedientes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible. *Uso de fibras vegetales procedientes de explotaciones agrícolas en la edificación sostenible*. Universidad politécnica de Cataluña.
- CONAMA. (2018). *Economía circular en el sector de la construcción*. Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo [UNCTAD]. (2016). *Demand for iron ore levelled off in 2015, reflecting weak growth in world steel production, UNCTAD report shows*. United Nations Conference on Trade and Development: <https://unctad.org/press-material/demand-iron-ore-levelled-2015-reflecting-weak-growth-world-steel-production-unctad>
- Consejo de la Construcción Ecológica de los Estados Unidos. (2009). Guía de estudio de LEED AP Diseño y Construcción de edificios del USGBC.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2018). *Estrategia para la implementación de los onjetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia*. Documento CONPES 3918, Departamento Nacional de Planeación.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2018). *Política nacional de edificaciones sostenibles*. República de Colombia.

- Consejo Privado de Competitividad. (2019). *Índice Departamental de Competitividad* .
Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia.: Compite.
- Consejo Privado de Competitividad Ciudades. (2019). *Índice de competitividad de ciudades* .
Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.
- Cruz, R. A., Franco, D. M., y Pérez, L. (2014). Reemplazo del Agregado Fino por Escoria de Horno de Cubilote para la fabricación de concreto. *INGE CUC*, 83-88.
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. DANE información para todos:
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/cuantos-somos>
- Decreto 1713 de 2002 [Presidencia de la República de Colombia]. *Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Agosto 07 de 2002.
- De la peña, D. (1997). *Adobe, características y sus principales usos en la construcción* (Tesis de grado, Ingeniero Constructor). Instituto Tecnológico de la Construcción. .
- De la tierra. (2020). *Turismo cultural*. 6 maneras diferentes de disfrutar Barichara:
<https://www.facebook.com/delatierra.turismocultural/>
- Delvasto, S., Perdomo, F., y Mejía, R. (2001). Ecolaminados de pead-fibras de fique. *Ciencia y tecnología*, 3(01), 43-49.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2009). *Metodología Déficit de Vivienda*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Deruyttere, A. (2003). *Pueblos indígenas, recursos naturales y desarrollo con identidad: Riesgos y oportunidades en tiempos de globalización*.
- Devia, F., y Suárez, C. D. (2016). Evaluación de la huella de carbono en la producción de bloque de arcilla en ladrillera "Los crsitaes". *Tesis de grado*. Universidad Libre Colombia.

- Días, C., y Ramirez, J. (2011). *Guías de Asistencias Técnicas para Vivienda de Interés Social*, no.2. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Díaz, C. A., Luna, J. A., y Aincol. (2011). *Los Materiales en la construcción de vivienda de interés social*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Nuevas Ediciones S.A.
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., y Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista Scielo*.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732014000300002#back
- Favale, R. D. (2005). *El imperio Inca*. Comercio exterior Universidad de Barcelona:
https://www.comercioexterior.ub.edu/latinoamerica/lecturas07_08/Incas/elimperio_inca.pdf
- Federación Colombiana de Arroz. (s.f.). *Consumo de arroz en Colombia desde 2000 hasta 2020 kg*. Obtenido de Fedearroz: <http://www.fedearroz.com.co/new/consumo.php>
- Flores, J. (2001). Construir con desechos ¿Una alternativa sostenible? *Con criterio, Arquitectura y Urbanismo*, Vol XXII, No 4.
- Francisca, F. M. (2010). Comportamiento de limos loessicos contaminados con hidrocarburos estabilizados y solidificados con cemento Portland. *Boletín Geológico y Minero*, Vol 121 No 2, pá 131-138.
- Fundación Tierra Viva. (2020). *Fundación para la preservación, la innovación y el desarrollo de la arquitectura en tierra*. <http://www.fundaciontierraviva.org/>
- Galarza, M. (1996). La tapia valenciana: Una técnica constructiva poco conocida. *Actas del primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. CEHOPU.
- Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra, estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra*. Universidad politécnica de Catalunya.
- GBCe. (2020). Verde edificios 2020. *Guía de evaluación*.

- Geoportal DANE. (2019). *Geovisor directorio de empresas 2019*.
<https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/economia/directorio-estadistico-de-empresas/?lt=4.456007353293281&lg=-73.2781601239999&z=5>
- Global Data Lab [GDL]. (2019). *Índice de desarrollo humano subnacional (4.0)*. Global data lab:
https://globaldatalab.org/shdi/shdi/COL/?levels=1%2B4&interpolation=0&extrapolation=0&nearest_real=0&years=2018
- Gobernación de Santander. (2016-2019). *Plan de Desarrollo Departamental: Santander nos une*.
Gobernación de Santander.
- Gobernación de Santander. (2019). *Plan de Desarrollo Municipal*.
<https://www.santander.gov.co/index.php/gobernacion/documentacion>
- Gobernación de Santander, USTA. (2015). *Lienamientos y directrices de Ordenamiento Territorial del Departamentod e Santander*. Universidad Santo Tomas.
- Gobierno colombiano. (2014). *Informe de seguimiento de los objetivos de desarrollo del milenio*.
- Graham, P. (2005). *Adobe: cómo construir fácilmente*. México: Trillas.
- Guerrero, A. A. (2015). *Economía y territorio: Santander visión prospectiva 2030*. Universidad Industrial de Santander.
- Guerrero, L. (2016). Rammed Cob for Sustainable Building. *Arquitectura y Santiago*, 56-73.
- Guevara, M. S. (2013). *Desarrollo de nuevos materiales cementantes utilizando residuos vítreos, mediante activación mecano-química* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Guillaud, H., Houben, H., y Doat, P. (1985). *Arquitecturas de Tierra: El arte de construir con tierra el pasado, presente y porvenir*. Centro Georges Pompidou: INAH.
- GYB Constructora. (2020). <https://www.gybconstructora.com/>
- Hernández, J. (2016). *Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal*. Departamento de tecnología de la arquitectura.

- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2016). *Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero-Colombia. Tercera comunicación nacional cambio climático.* Puntoaparte Bookvertising.
- International Cement Review. (2013). *The Global Cement Report.*
- ISO 14040:2006. (s.f.). *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia.*
- Jensen, J., y Luchsinger, G. (2019). *Un asunto pendiente, la defensa de los derechos humanos y la libertad de decidir de todas las personas.* New York: UNFPA.
- Juárez, L. A., Caballero, T., y Morales, V. (2010). Ventajas del reforzamiento de muros de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales. *Informes de la construcción*, 62(518), 25 - 32. doi:10.3989/ic.08.000
- Kwok, A. G., y Grondzik, W. T. (2015). *Manual de Diseño Ecológico en Arquitectura.* México: Trillas.
- Lara, J., Falfán, L., y Villa, A. (2012). *Huella ecológica, datos y rostros.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Llorente, T., y Blasco, A. (2018). Nuevos materiales de construcción provenientes de desechos agrícolas. *Conama*, 1-9.
- Luna, L. M., Ríos, C. A., y Quintero, L. A. (2014). Reciclaje de residuos sólidos agroindustriales como aditivos en la fabricación de ladrillos para el desarrollo sostenible de materiales de construcción. *DYNA*, 81(188), 34 - 41. doi:http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n188.39717
- MacDonald, S. (1999). *Una introducción visual a la construcción de fardos de paja.* Builders without Borders.
- Marín, J. L. (2000). *Arquitectura Prehistórica Europea.* México: Trillas.
- Martínez, A. (2016). *Arquitectura Alternativa II: Construcción Low Cost. Reciclar y reconstruir el desecho* (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Valencia.

- Mayor, A. (2005). *Inventos y patentes en Colombia 1930-2000*. Fondo Editorial ITM.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The limits to growth. A report for the Club of Rome's projects on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.
- Medina, F. (2001). *Consideraciones sobre el índice de Gini para medir la concentración del ingreso*. Naciones Unidas.
- Melendez, S. J. (2011). *Arquitectura Sustentable*. México: Trillas.
- Minambiente. (2015). *Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial del Departamento de Santander 2030*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Mincomercio. (2020). *Información: Perfiles Económicos Departamentales*. Oficina de estudios económicos.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2012). *Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana*. MADS.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]. (2015). *Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial del Departamento de Santander 2030*. Bogotá, Colombia: UT CAEM-E3 (Consultor). Obtenido de <https://www.e3asesorias.com/wp-content/uploads/documentos/santander.pdf>
- Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. NSR-10*. Cultura recreación y deporte: https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/sites/default/files/reglamento_construccion_sismo_resistente.pdf
- Ministerio de Minas y Energía [MinMinas]. (2013). *Explotación de Materiales de Construcción, canteras y materiales de arrastre*. Colombia: Minminas.
- Minke, G. (2005). *Manual de Construcción en Tierra*. Fin de Siglo.
- Moreno, L., Galvis, M., y García, R. J. (2012). Biomímesis en Arquitectura e Ingeniería Estructural. *M*, 78-101.

- Naciones Unidas. (1987). *Desarrollo y cooperación económica internacional: Medio ambiente*. Secretaría general.
- Naciones Unidas. (2004). *¿Por qué adoptar un enfoque de ciclo de vida?*. PNUMA.
- Naciones Unidas. (2012). *EL futuro que queremos*.
- Naciones Unidas. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Una oportunidad para América latina y el Caribe*. Publicación de las Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Ocampo, J. (2007). *Grandes Culturas indígenas de América*. Plaza y Janes.
- Ordenanza No. 09 de 2019 [Asamblea del departamento de Santander]. *Por medio de la cual se crean las provincias administrativas y de planificación de Santander - PAP - de conformidad con la ley 1454 de 2011 y se dictan otras disposiciones*. Mayo 15 de 2019.
- Pauli, G. (2014). *La economía azul*. Tusquets Editores.
- Piedecausa, B. (2011). La vivienda excavada: Evolución tipológica, condiciones ambientales y adaptación geográfica. El caso de crevillente (alicante). *Universidad de Alicante*, 397-414.
- Presidencia de la República de Colombia. (2018). *Elija madera legal, compre responsable. Pacto intersectorial por la madera legal de Colombia*. Presidencia de la República.
- Programa de las Naciones Unidas. (2019). *Informe sobre desarrollo humano 2019. Más allá del ingreso, más allá de los promedios, más allá del presente: desigualdades del desarrollo humano en el siglo XXI*. PNUD.
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo [CYTED]. (2003). *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Proterra.
- Punhagui, k. (2014). *Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera* (Tesis doctoral). Universidad Politecnica de Cataluña y Universidad de Sao Paulo.

- Rivera, R. (2016). Etnoarquitectura latinoamericana departamento de Santander, Colombia. *Universidad Autónoma Chapingo*, 92-107.
- Rivera, R. (2017). *Etnoarquitectura y sistemas constructivos en México*. Eudemed.
- Rivero, S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. *Apuntes*, 20(2), 354-363.
- Rodriguez, E. (s.f.). *Obtención de nano-sílice a partir de la cascarilla de arroz por método sol-gel para aplicación en morteros de cemento*. Todo es ciencia. Minciencias: http://todoesciencia.minciencias.gov.co/sites/default/files/paperelianacabrera_0.pdf
- Rodriguez, M. (2012). *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. Limusa S.A.
- Romina, O., y Carrillo, O. (2017). *Construcción en quincha liviana. Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial*. DITEC.
- Rosales, M. A., Rincón, F. J., y Millán, L. H. (2016). Relación entre arquitectura - ambiente y los principios de la sustentabilidad. *Multiciencias*, 259-264.
- Salas, E. (2006). *Actualidad y Futuro de la Arquitectura de bambu en Colombia*. Simón Velez "Simbolo y busqueda de lo primitivo" (tesis de doctorado). Universidad Politecnica de Cataluña.
- Sanches, M., y Frías, M. (2008). Aprovechamiento del cascote cerámico como material puzolánico. *Cemento Hormigón*, 32-41.
- Sánchez, C. E. (2007). La arquitectura de tierra en Colombia, procesos y culturas constructivas. *Apuntes*, 20(2), 242 - 255.
- Schuschny, A., y Soto, H. (2009). *Guía metodológica: Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Naciones Unidas.
- Senosiain, J. (1998). *Bio Arquitectura: En busca de un espacio*. Noriega Editores.
- Sepulveda, S. (2008). *Biograma: metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios*. Instituto Interamericano de Cooperación Para la Agricultura.
- Serna, C. A., y Lopez, F. J. (2004). *Ciencia, método e investigación*. Universidad de Manizales.

- Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios [SUI]. (s.f.). *Ingreso para usuarios*. <http://www.sui.gov.co/SUIAuth/logon.jsp>
- Solís, J. (2013). Metodología para determinar la huella ecológica de la construcción de edificios de uso residencial en España. *Universidad de Sevilla*, 369 - 393.
- Taller de Arquitectura de Bogotá [TAB]. (2020). <http://tab.net.co/>
- Taylor, M., Tam, C., & Gielen, D. (2016). Energy Efficiency and CO2 Emissions from the Global Cement Industry. *Energy Efficiency and CO2 Emission Reduction Potentials and Policies in the Cement Industry*. IEA.
- Teneche, G. (2007). *Guadua y bambú Colombia (GBC)*. ¿Que es la Guadua?: <https://guaduaibambu.es.tl/Que-es-la-Guadua.htm>
- Tierra TEC. (2020). *Arquitectura de tierra*. <http://tierratec.com/>
- UNEP SECTAC. (2013). *The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)*.
- Unidad Querétaro. (1989). *Líneas de investigación*. Gobierno de Mexico: <http://www.qro.cinvestav.mx/15-posgrados/materiales>
- Universidad Católica de Colombia. (2018). Arquitectura. *Revista de arquitectura*, 20(1), 1-17.
- Universidad Industrial de Santander [UIS]. (2018). *Línea base: Objetivos de desarrollo sostenible. Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta, Barbosa, Barrancabermeja, Málaga y San Gil - Departamento de Santander*.
- Uribe, J. (1994). *Manual de Historia de Colombia*. Procultura.
- Vásquez, L. C. (2011). *Manual BREEAM es vivienda 2011 V.B*. Breeam España.
- Vasquez, E. I. (2018). *Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos*. Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>

- Vega, R. (2015). *Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de construcción industrializados de fachada en edificios de vivienda colectiva (Tesis doctoral)*. Universidad politécnica de Madrid.
- Viñuales, G. M. (2013). *Arquitectura Vernácula Iberoamericana*. RedAVI.
- Viñuales, G. M., Martins, C. M., Flores, M. O., y Rios, L. S. (2003). Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica. *Habiterra*, 13-135.
https://issuu.com/juanmiguelvidela/docs/arquitectura_de_tierra_en_iberamer_52bf256ad975cd
- Wadel, G., y Cuchí, A. (2010). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales*. Informes de la construcción.
- World Bank Group. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Urban Development Series.
- World Business Council for Sustainable Development [WBCSD]. (2018). *Getting the Numbers Right*. <https://gccassociation.org/gnr/>
- World Economic Forum. (2019). *The Global Competitiveness Report*. Geneva, Switzerland: Committed to improving the state of the world.
- World Wildlife Fund [WWF]. (2020). *Informe planeta vivo 2020. Revertir la curva de la pérdida de biodiversidad*. WWF Colombia.
- Yuste, B. (2016). *Arquitectura de tierra, caracterización de los tipos edificatorios*. Universitat Politècnica de Catalunya: https://www.aie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/26-Beatriz-Yuste-Miguel-Arquitectura-de-tierra_COMPLETO.pdf
- Zabalza, I., y Aranda, A. (2011). *Ecodiseño en la edificación*. Pressas Universitarias de Zaragoza.
- Zabalza, I. (2011). *Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético ambiental de la edificación en España*. (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza.

Zabalza, I., Días, S., Aranda, A., y Scarpellini, S. (2020). *Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida*. EcoHabitar: <https://ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>