

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS CÓRDOBA**

**POSTGRADO EN PAISAJE Y TURISMO RURAL**

**DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CASCARÓN RETICULAR CON BAMBÚ EN  
PROYECTOS DE TURISMO RURAL**

**FRANCISCO JAVIER GALLEGOS DÁVILA**

**TESINA**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN PAISAJE Y TURISMO RURAL**

**AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO**

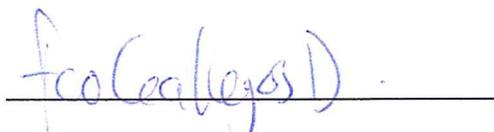
**2018**

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS  
COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Francisco Javier Gallegos Dávila**, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del profesor **Dr. Fernando Carlos Gómez-Merino**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesina intitulada **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CASCARÓN RETICULAR CON BAMBÚ EN PROYECTOS DE TURISMO RURAL.**

Y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Profesor Consejero y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Amatlán de los Reyes, Veracruz, a **23 de agosto de 2018.**

  
**Francisco Javier Gallegos Dávila**

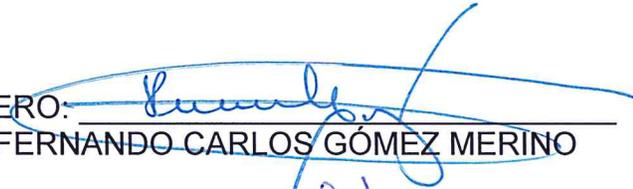
Visto Bueno del Profesor Consejero

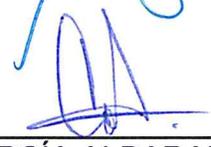
  
**Dr. Fernando Carlos Gómez-Merino**

La presente tesina, titulada: **DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CASCARÓN RETICULAR CON BAMBÚ EN PROYECTOS DE TURISMO RURAL**, realizada por el alumno: **FRANCISCO JAVIER GALLEGOS DÁVILA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN PAISAJE Y TURISMO RURAL**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:   
DR. FERNANDO CARLOS GÓMEZ MERINO

ASESOR:   
DR. J. CRUZ GARCÍA ALBARADO

ASESOR:   
DR. JUAN ANTONIO PÉREZ SATO

ASESOR:   
DR. ARTURO PÉREZ VÁZQUEZ

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Agosto de 2018

# DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CASCARÓN RETICULAR CON BAMBÚ EN PROYECTOS DE TURISMO RURAL

Francisco Javier Gallegos Dávila, MP  
Colegio de Postgraduados, 2018

## Resumen

El turismo rural es un sector que está creciendo de manera acelerada llamando la atención del mercado global. En México, el turismo es una de las industrias más importantes, aunque el turismo rural es un rubro en proceso de desarrollo que enfrenta problemáticas importantes, especialmente de carácter económico, aspecto que se manifiesta desde el diseño y la calidad de las construcciones donde se ofrecen los servicios al público. Por este motivo, la presente investigación plantea la construcción de cascarones reticulares con bambú, lo cual ofrece una solución integral a múltiples problemas sociales contemporáneos, incluyendo la pobreza rural que se acentúa con la presencia de desastres naturales. El objetivo de esta propuesta es ofrecer una alternativa constructiva económica, versátil, de fácil y rápida ejecución, con el potencial de crecimiento modular enriquecida con la aplicación de técnicas constructivas vernáculas en contextos contemporáneos. El empleo de estas estructuras permite la diversificación de actividades económicas a un bajo costo sin comprometer la esencia de los proyectos. La propuesta es una solución constructiva asequible con un enfoque de diseño contemporáneo, eficiente en términos estructurales y energéticos, y respetuosos del paisaje y el contexto social en el que se inserta.

**Palabras clave:** Bambú, sustentabilidad, turismo rural, cascarones reticulares, madake.

# **BAMBOO GRID SHELL STRUCTURES DESIGN IN RURAL TOURISM PROJECTS**

Francisco Javier Gallegos Dávila, MP  
Colegio de Postgraduados, 2018

## **Abstract**

Rural tourism is a sector that is proliferating, attracting the attention of the global market. In Mexico, tourism is one of the essential industries; however, rural tourism is an area in development that faces severe problems, especially of an economic nature, an aspect that manifests itself from the design and quality of constructions where services are offered to the public. For this reason, the present investigation proposes the construction of bamboo grid shells, which offers an integral solution to multiple contemporary social problems, including rural poverty that is accentuated by the presence of natural disasters. The objective of this proposal is to offer a constructive economic alternative, versatile, easy and fast execution, with the potential of modular growth enriched with the application of vernacular construction techniques in contemporary contexts. The use of these structures allows the diversification of economic activities at a low cost without compromising the essence of the projects. The proposal is an affordable constructive solution with a contemporary design approach, efficient in structural and energetic terms and respectful of the landscape and the social context in which it could be inserted.

**Keywords:** Bamboo, gridshells, rural tourism, sustainability, madake.

## **Agradecimientos**

Agradezco al CONACYT por la beca de maestría otorgada.

Agradezco al Colegio de Postgraduados por el apoyo a esta investigación, particularmente a mi Consejero Particular por todo su apoyo durante la maestría y a los investigadores que amablemente dedicaron parte de su tiempo para leer y corregir este trabajo.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a su Facultad de Arquitectura y al Laboratorio de Estructuras por el apoyo brindado durante mi Estancia de Vinculación.

## CONTENIDO

	Página
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura.....	4
2.1. Estado general en áreas rurales .....	6
2.2. Innovación en México, en el sector rural y en la educación. ....	8
2.3. Oportunidades para el turismo rural.....	12
2.4. Turismo rural .....	14
2.5. La faceta cambiante del turismo rural .....	16
2.6. Construcciones vernáculas a partir de retículas estructurales .....	19
2.7. El bambú .....	23
2.7.1. Características biológicas .....	25
2.7.2. Mercado actual del bambú.....	25
2.7.3. Características ecológicas .....	27
2.7.4. <i>Phyllostachys bambusoide</i> .....	28
2.8. Estructuras de bambú en Veracruz.....	29
2.9. Cascarones reticulares.....	37
2.10. Cascarones reticulares de bambú.....	43
2.11. Futuro técnico de las construcciones con bambú .....	48
3. Justificación, Hipótesis, Objetivos .....	51
3.1 Justificación.....	51
3.2 Hipótesis .....	52
3.3 Objetivos .....	55
4. Materiales y Métodos .....	56
4.1. El contexto .....	59
4.1.1. El territorio.....	59
4.1.2. Veracruz .....	60
4.1.3. Zona de estudio: Playa La Junta y Ojo de Agua Grande (California) ...	64
4.1.4. El contexto cultural .....	77
4.1.5. El contexto socio-económico de la zona de estudio.....	81

5.	Resultados y discusión.....	83
5.1.	Diseño de un cascarón reticular con bambú para contextos rurales .....	83
5.1.2.	Geometría, fundamento matemático y proceso de diseño .....	87
5.1.3.	Metodología utilizada para obtener el catenaroide de doble curvatura ...	88
5.1.4.	Dimensiones, características y diseño de los módulos.....	91
5.1.5.	Diferentes disposiciones estructurales (nodos / intersecciones) .....	93
5.1.6.	Adaptabilidad al terreno .....	96
5.2.	Opciones de materiales para techos .....	97
5.2.1.	Aplicaciones como cimbra para cascarones de concreto .....	101
6.	Conclusiones.....	104
7.	Literatura citada.....	107
8.	Anexos .....	112

## Lista de figuras

	Página
Figura 1. Casa maya.....	20
Figura 2. Temazcal. ....	21
Figura 3. Casa Huave. ....	21
Figura 4. Taller y almacén de bambú. ....	30
Figura 5. Cobertizo para ganado. ....	31
Figura 6. Viga de alma abierta con bambú. ....	32
Figura 7. Vista panorámica del quiosco. ....	33
Figura 8. Estructura interior del quiosco. ....	34
Figura 9. Techo tradicional con estructura de bambú.....	35
Figura 10. Interiorismo de bambú. ....	35
Figura 11. Vista general del quiosco principal. ....	36
Figura 12. Detalles estructurales quiosco. ....	36
Figura 13. Mannheim Bundesgartenschau Multihalle, 1973. ....	38
Figura 14. Pabellón Japonés, Expo Hannover, 2000.....	39
Figura 15. Weald and Downland Museum, 2002. ....	39
Figura 16. Proceso de montaje para un cascarón reticular. ....	40
Figura 17. Armado de retícula en el suelo. ....	41
Figura 18. Levantamiento de la retícula de bambú.....	42
Figura 19. Proceso de anclaje. ....	42
Figura 20. Cascarón reticular en construcción, UNAM. ....	43
Figura 21. Cascarón reticular en construcción, UNAM. ....	44
Figura 22. Cascarón reticular con cubierta, UNAM.....	44
Figura 23. Ubicación de Veracruz.....	60
Figura 24. Regiones geográficas de Veracruz. ....	61
Figura 25. Región central, Veracruz. ....	62
Figura 26. Zona Altas Montañas.....	63
Figura 27. Ubicación de la zona de estudio. ....	64
Figura 28. Usos de suelo. ....	66
Figura 29. Suelos y erosión. ....	69
Figura 30. Rasgos topográficos. ....	70
Figura 31. Zonas de riesgo. ....	71
Figura 32. Predio 1. ....	72
Figura 33. Predio 1. ....	72
Figura 34. Predio 1. ....	73
Figura 35. Predio 1. ....	73
Figura 36. Predio 2. ....	74
Figura 37. Predio 2. ....	74
Figura 38. Predio 2. ....	75
Figura 39. Predio 3. ....	75
Figura 40. Predio 3. ....	76
Figura 41. Predio 3. Ladera de la montaña. ....	76
Figura 42. Esquema del arco tipo de bambú. ....	86

Figura 43. Curvado del bambú con soplete. ....	86
Figura 44. Arcos de bambú armados. ....	87
Figura 45. Definición gráfica del catenaroide obtenida a partir de la fórmula matemática. ....	89
Figura 46. Arcos catenarios paralelos. ....	89
Figura 47. Pares de arcos rotados sobre el eje central para generar la retícula. ....	90
Figura 48. Planos de corte del catenaroide. ....	90
Figura 49. Estructura de crecimiento modular. ....	91
Figura 50. Vista lateral de la propuesta. ....	92
Figura 51. Crecimiento modular siguiendo el perfil de una curva de coseno. ....	92
Figura 52. Propuesta de integración de diversos materiales de cubierta. ....	92
Figura 53. Arcos a 45°. ....	94
Figura 54. Arcos a 10°. ....	94
Figura 55. Concentración de nodos. ....	95
Figura 56. Propuesta de cimentación modular. ....	95
Figura 57. Adaptabilidad al terreno. ....	96
Figura 58. Corte transversal en terreno irregular. ....	97
Figura 59. Armado de las distintas piezas de adobe. ....	98
Figura 60. Vista externa del arco de adobe. ....	99
Figura 61. Guías de bambú. Esquema de armado de la bóveda de adobe. ....	99
Figura 62. Variaciones de cubiertas. ....	101
Figura 63. Sistema de cimbra típica de madera de los cascarones de concreto. ....	102
Figura 64. Propuesta de cimbra curva con bambú. ....	103
Figura 65. Cascarón reticular de concreto. ....	103
Figura 66. Maqueta 1. Papel. Proceso constructivo. ....	112
Figura 67. Maqueta 1 finalizada. ....	113
Figura 68. Maqueta 2. Arcos de madera. ....	113
Figura 69. Prueba de carga a la maqueta 2. ....	114
Figura 70. Sistema de curvado de arcos de madera para maqueta 3. ....	114
Figura 71. Curvado de arcos para maqueta 3. ....	115
Figura 72. Variación del sistema de curvado de arcos para maqueta 4. ....	115
Figura 73. Producción en serie de arcos para maqueta 4. ....	116
Figura 74. Material para arcos en distintas fases del proceso de curvado. ....	116
Figura 75. Maqueta 3. ....	117
Figura 76. Maqueta 3. ....	117
Figura 77. Maqueta 4. ....	117
Figura 78. Croquis de variaciones estructurales. ....	118
Figura 79. Sistema de curvado de arcos de bambú. ....	119
Figura 80. Persianas de bambú. ....	120
Figura 81. Maqueta 5 y su nodo a escala 1:25. ....	120
Figura 82. Variaciones de nodos. ....	121
Figura 83. Sistema de curvado de tubería 5/32 para nodos. Antes. ....	121
Figura 84. Sistema de curvado de tubería 5/32 para nodos. Después. ....	122
Figura 85. Prototipo para la maqueta final. ....	122
Figura 86. Detalle de materiales. ....	123
Figura 87. Detalle bloques de adobe. ....	123
Figura 88. Esquema y prototipo de armado de arcos. ....	124
Figura 89. Arco completo de adobe. ....	124

Figura 90. Croquis de las maquetas finales..... 125

Figura 91. Croquis de variaciones en las maquetas finales..... 125

Figura 92. Propuesta 1 de crecimiento modular. .... 126

Figura 93. Geometría de módulo base. .... 126

Figura 94. Alzado de módulo base en terreno irregular. .... 126

Figura 95. Geometría de los arcos dobles. .... 127

Figura 96. Planta del módulo base en terreno irregular. .... 127

Figura 97. Propuesta Centro Cultural con estructura de cascarón reticular de bambú. .. 128

Figura 98. Propuesta de Jardín Botánico dentro de un cascarón reticular de bambú. .... 128

Figura 99. Maqueta final. Alzado lateral..... 129

Figura 100. Maqueta final. Perspectiva interior..... 129

Figura 101. Maqueta final. Vista frontal. .... 130

Figura 102. Maqueta final. Detalle interior. .... 131

Figura 103. Maqueta final. Interior. .... 131

Figura 104. Maqueta final. Detalle estructural. .... 132

Figura 105. Maqueta final. Detalle cimentación. .... 132

Figura 106. Maqueta final. Detalle cimentación. .... 133

Figura 107. Maqueta final. Perspectiva interior..... 133

## 1. Introducción

En la presente investigación se plantea el potencial de los cascarones reticulares con bambú en contextos rurales, lo cual puede ofrecer una solución integral a múltiples problemas sociales contemporáneos, incluyendo la pobreza rural que se acentúa con la presencia de desastres naturales. La propuesta, es una solución constructiva asequible que respeta el paisaje y el contexto social ofreciendo una solución eficiente en términos estructurales y energéticos.

Esta investigación está basada en una teoría arquitectónica muy sólida: la forma y la función siguen al clima. De esta manera, la propuesta otorga herramientas a los usuarios para adaptar las estructuras a sus necesidades específicas. El diseño posibilita la diversidad y la modificación de las cubiertas de acuerdo a los requerimientos y a los materiales constructivos locales disponibles.

El bambú, también conocido como “el acero vegetal”, es un recurso natural que las comunidades pueden producir fácilmente en su territorio, ofrece beneficios ecológicos y estructurales, es el material de construcción ideal por su acelerado crecimiento y su accesibilidad. Utilizar cascarones reticulares de bambú es una opción con un alto potencial de desarrollo.

Las estructuras de cascarón reticulado de bambú tienen el potencial para modificar el sector constructivo en áreas rurales generando una nueva visión de edificaciones sustentables en áreas con recursos limitados. Por otro lado, su uso

diversifica y amplía las líneas de investigación tanto para arquitectos como para ingenieros.

El objetivo central de esta propuesta es ofrecer una alternativa económica, versátil, de fácil y rápida ejecución, con el potencial de crecimiento modular enriquecida con la aplicación de técnicas constructivas vernáculas en contextos contemporáneos. El empleo de estas estructuras permite la diversificación de actividades económicas a un bajo costo sin comprometer la esencia de los proyectos.

Este documento está integrado por ocho secciones o capítulos que profundizan en cada aspecto implicado en esta investigación. Como el objetivo central de esta tesis es proponer, diseñar y construir un módulo que pueda ser utilizado por diversas comunidades en sus proyectos de turismo rural, el proceso de diseño y de construcción representan los apartados más importantes de este trabajo. De esta manera, la primera sección es la introducción al documento. En la segunda sección se hace una revisión de literatura con el objetivo de familiarizar al lector con el contexto en el cual se desarrolló la investigación, poniendo especial énfasis en el estado actual del sector rural, de la educación y el potencial del turismo rural como generador de cambio en las comunidades aprovechando los beneficios que ofrece el bambú como material constructivo, poniendo especial énfasis en la especie *Phyllostachys bambusoide*. Después se enuncian los objetivos e hipótesis de la tesis. Posteriormente, en la sección de materiales y métodos se aborda el análisis de la región donde se realizó la investigación y se explican las razones que motivaron la propuesta desarrollada. En el apartado de resultados y discusión

se profundiza en la metodología de diseño de la propuesta arquitectónica de esta tesis y en el proceso de diseño que se siguió para llegar al resultado final. En el apartado de Conclusiones se hace una reflexión general de los resultados a los que se llegó en esta tesis y se plantean el potencial de algunas ramas de investigación para proyectos futuros. Finalmente están las secciones de literatura citada para profundizar en distintos temas si el lector está interesado y una sección de Anexos en la cual se incluyen documentos adicionales que complementan al documento principal.

## 2. Revisión de literatura

En México, la construcción con bambú no ha sido una actividad desarrollada a pesar de la variedad de especies nativas que crecen en el territorio. El material se ha asociado históricamente con pobreza, marginación, suciedad, entre otras. No obstante, en las últimas décadas, con el aumento de las catástrofes naturales, el cambio climático y la búsqueda del aprovechamiento de los recursos naturales de manera sustentable, ha cambiado la percepción sobre dicho material. Un sector importante de la sociedad lo percibe como un cultivo que tiene el potencial para sacar al sector rural del atraso en que se encuentra, tanto por sus beneficios ambientales como por sus propiedades estructurales. Esto último se ha estudiado rigurosamente en diversas instituciones para probar su potencial constructivo, teniendo resultados muy positivos, de ahí su comparación con el acero y su designación como “el acero vegetal”.

Incrementar el uso de este recurso natural también podría beneficiar al ambiente. Algunas de las ventajas que se pueden obtener con el bambú incluyen: su capacidad para absorber altos niveles de dióxido de carbono; su uso como agente para estabilizar suelos afectados por la erosión; su crecimiento rápido, dado que el tiempo que necesita para crecer antes de ser cosechado es más corto que otros materiales relacionados con la madera, permitiendo ser cortado varias veces antes de terminar su ciclo de vida. Otra de las ventajas que ofrece el material es la diversificación de las actividades económicas de una comunidad rural y la contribución al ajuste del ciclo hidrológico (Flores-Méndez et al., 2014). Sin embargo, promover su uso en áreas rurales junto con otros materiales de

construcción naturales es una tarea desafiante debido a la percepción social negativa que ha tenido durante décadas. Dado que México está tratando de alcanzar el objetivo de convertirse en un país desarrollado, el uso de materiales industrializados ha sido una prioridad, llegando a convertirse en el símbolo de la modernidad y el progreso (Vizcarra de los Reyes, 2017). Afortunadamente, el bambú ha despertado el interés de muchos arquitectos, ingenieros y diseñadores contemporáneos que están interesados en la sostenibilidad, junto con otros intereses multidisciplinarios que intentan preservar y recuperar elementos de identidad de la arquitectura vernácula. Los desafíos son muchos. Al tratar de desarrollar proyectos sostenibles, la pobreza rural es la más difícil de abordar debido a la compleja geografía, historia y cultura. Además, el apoyo gubernamental insuficiente o inexistente para mejorar la calidad de vida en estas regiones. Desafortunadamente, el escenario rural nacional es similar en la mayoría de los países de América Latina.

Esta investigación surge como una respuesta a problemas específicos del contexto rural en México donde la pobreza, el deterioro ambiental y la falta de educación son constantes. La situación económica para las familias rurales es difícil, especialmente en las regiones montañosas, debido a la falta de recursos monetarios para construir algo que pueda ayudarlos a diversificar sus actividades de ingresos. Resolver este tipo de proyectos presenta un desafío de diseño porque tiene que ser lo más versátil posible para explorar diferentes soluciones comerciales hasta que se encuentre una solución rentable sin gastar mucho tiempo y recursos en el proceso de rediseño. Estos requisitos previos limitan la

propuesta de simplificar la complejidad del diseño a los procesos de construcción más elementales para beneficiarse de los trabajadores no especializados. Por lo tanto, la aplicación de este tipo de proyectos puede tener beneficios sociales, económicos y ecológicos al utilizar materiales y mano de obra local, así como respetar el contexto social, cultural y ambiental donde podrían desarrollarse los proyectos. El enfoque fundamental de esta propuesta surge del uso del arco funicular, que debido a sus características estructurales de transmisión de carga ofrece una mayor seguridad en el uso de diferentes materiales para techos. De forma similar, para simplificar y hacer más eficiente el proceso de construcción, se explora el método de usar solo un arco base único, con el que se resuelven todas las variables consideradas en esta investigación.

## 2.1. Estado general en áreas rurales

El CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) estimó que el 36% de la población mexicana vive en áreas rurales, lo que significa aproximadamente 38 millones de habitantes, mientras que el 63% de la población con pobreza alimentaria vive dentro de estas regiones (CONEVAL, 2017). Una de las principales causas de esta situación se debe a la falta de alternativas para generar un ingreso sostenible. Los municipios con mayor índice de pobreza se encuentran en regiones montañosas de difícil acceso, pero con grandes recursos naturales. Esos entornos son atractivos para la aventura, que pueden incluir actividades como la observación de aves, el *trekking* y el *rafting*, entre otros, e incluso la comunidad científica está buscando investigar allí. Los recursos económicos que quedan después de las actividades turísticas en las comunidades

cercanas a los sitios de atracciones son mínimos, debido a la falta de infraestructura y capacitación formal para brindar servicios profesionales. Este problema agrava la situación de pobreza en el contexto rural. Uno de los principales desafíos para desarrollar el turismo sostenible es lograr el equilibrio entre los ingresos generados por las actividades y los recursos económicos que los habitantes pueden conservar para preservar el sitio y mejorar su bienestar. Las comunidades pueden aprovechar las oportunidades que los turistas traen a un área natural para generar ingresos adicionales que pueden ayudar a diversificar las actividades económicas en el mismo. Dicha estrategia puede permitirles la posibilidad de vender sus productos directamente al consumidor, evitando así a terceros involucrados en el proceso. Este panorama podría asegurar costos razonables y un uso sostenible de los recursos naturales.

Otro desafío al que se enfrenta México en este momento es la reinserción de los inmigrantes deportados por el gobierno de los Estados Unidos, como resultado de su cambio en las políticas migratorias (Durand, 2017). Es una situación complicada dado que la mayoría de ellos cruzó la frontera en busca de mejores oportunidades. Regresar a sus comunidades es una situación delicada para muchos trabajadores debido a los ingresos que estaban acostumbrados a percibir en los Estados Unidos, y el panorama laboral de México es limitado. El gobierno mexicano está tratando de resolver este problema ayudando a la creación de pequeñas empresas familiares (Romero-Sánchez, 2017). Sin embargo, el proceso de integración en las comunidades rurales es más complicado que crear empleos; tiene que tratar con la integración cultural y las expectativas personales. Y puede

ser una transición bastante suave si se utilizan las habilidades adquiridas por los individuos. Por ejemplo, algunos de los migrantes que regresan tendrán un nivel de inglés competente, que pueden ser empleados en proyectos de turismo rural para trabajar con visitantes internacionales. Esto abre nuevas posibilidades de negocio sin poner en peligro la identidad de las comunidades o la explotación indiscriminada de los recursos locales. Esta propuesta puede evitar una crisis social debido a un colapso cultural o la falta de oportunidades de trabajo.

## 2.2. Innovación en México, en el sector rural y en la educación.

El sector agropecuario en México históricamente siempre ha sido muy golpeado por las decisiones administrativas gubernamentales. Los recortes presupuestales que se realizan año con año afectan a este sector en particular más que a los demás. Para el 2018 se adjudicó un recorte de casi el 9% menor al del año anterior (Romero-Sánchez, 2017). Esto ha propiciado que el campo mexicano dependa cada vez más del flujo de recursos de remesas internacionales. Y, en general, la relación de investigadores que existen en el país por el total de la población es diez veces menor a lo que tienen los países más competitivos en investigación (PECITI, 2010). Hacen falta más investigadores y mejor seguimiento de proyectos. El análisis realizado por Villavicencio *et al* (Villavicencio, Bañuelos, y Guadarrama-Atrizco, 2010) respecto al rubro de la investigación y transferencia de tecnología del sector agropecuario es claro y contundente en sus números.

Uno de los principales retos detectado es lo específicos y diversos que son las problemáticas a resolver en cada uno de las ramas productivas. Son nichos de

mercado muy específico que requieren soluciones particulares. La mayoría de la población que se considera en pobreza y pobreza extrema habita en el sector rural. Los productores agropecuarios de estas zonas rurales tienen que competir contra multinacionales e intermediarios de la cadena productiva que van inflando el valor de los insumos sin beneficiar al productor. Es la razón por la cual es tan importante la transferencia de tecnología a los sectores de la población menos favorecidos. Pero las capacitaciones no son suficientes. En paralelo, los investigadores necesitan preparar las condiciones de mercado para que los pequeños productores puedan ver un beneficio real e inmediato y puedan dedicarse de lleno a la aplicación de sus nuevas capacidades. Si no hay un beneficio económico real que repercuta en la calidad de vida de los productores, difícilmente se van a tener resultados relevantes respecto a los proyectos de transferencia tecnológica.

La innovación en el sector depende de muchos factores. En especial de entender el mercado y de implementar nuevas formas de crear capital con responsabilidad ecológica y social. Para esto es necesario enfocar la problemática desde una perspectiva más global y menos especializada. Hay diversas ramas productivas que comparten problemáticas en común y que, con un enfoque no tan convencional, pueden beneficiar a productores de autoconsumo diversificando sus ingresos. Por ejemplo: el turismo rural, el ecoturismo y demás actividades económicas parecidas tienen un objetivo en común: atraer turistas a lugares poco convencionales. Esto se traduce en la posibilidad de una derrama económica para la zona, en la cual los productores pueden vender directamente a los consumidores sus productos locales a precios justos. Existen otras posibilidades

de ingreso económico como ofrecer alojamiento, alimentos preparados, visitas guiadas, actividades especializadas, etc. Parte de estos ingresos, bien administrados, podrían irse a la preservación de los ecosistemas locales, otra a la capacitación de los actores involucrados en las actividades económicas, otra parte al mejoramiento de la comunidad y, finalmente, a mejorar la calidad de vida de las comunidades. El reto está en diseñar una experiencia que incite al visitante a gastar sin reparar en los precios.

En estos tiempos de grandes avances tecnológicos es imperativo que las estrategias de producción y venta no se queden rezagadas. Y más si se pretende el cuidado de la biodiversidad. Esto implica que se requieren otro tipo de capacitaciones en paralelo a las técnicas de producción. Y deben abarcar, no solo a los interesados, a la comunidad en general.

Las investigaciones realizadas por el Fondo Sectorial de Investigación en Materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos, fideicomiso creado entre la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Pesqueros y Alimentos (SAGARPA) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), son de gran importancia para el desarrollo del sector rural y el objetivo de tener un país con suficiencia alimentaria, pero hay un problema que no se está atendiendo: el proceso de transferencia tecnológica sigue sin modificarse, sigue un argumento y unos objetivos planteados hace veinte años. Si se quiere adquirir resultados tangibles y en corto plazo las innovaciones no deben limitarse a la tecnología, deben abarcar también el proceso de enseñanza y capacitación. En especial hacia las comunidades rurales e indígenas. Es necesario que, en los sectores más vulnerables de la sociedad, la

SAGARPA se apoye de instituciones antropológicas y educativas que puedan diseñar metodologías de enseñanza para cada comunidad adaptándose a sus necesidades, prioridades e inquietudes sin generar imposición. Esto es con el objetivo que todo el conocimiento en los laboratorios e instituciones de investigación tenga el mayor efecto posible en la sociedad, no solo a nivel económico. Los problemas del sector rural son complejos y diversos. Para hablar de innovación en estos tiempos de grandes cambios sociales, culturales y tecnológicos, los problemas a resolver deben tener una nueva perspectiva teórica en la cual la sociedad y el medio ambiente se beneficien ambos de los avances del conocimiento. El beneficio económico es importante, pero a largo plazo, el cuidado del medio ambiente es más importante.

En conclusión, la transferencia de tecnología en el sector rural no solo depende de los mecanismos institucionales de evaluación y seguimiento de proyectos, dependen de un objetivo en común que deben compartir todas las dependencias de todos los sectores. Si se trata de generar innovación en la generación del conocimiento, se debe realizar un replanteamiento teórico de las estrategias que se están siguiendo para obtener resultados. La efectividad del proceso de transferencia tecnológica no es lineal, de las instituciones a la sociedad, sino circular, donde todas las partes involucradas se retroalimentan para mejorar. El reto de la transferencia tecnológica no radica en el conocimiento técnico que se pretende impartir a los productores; está en el beneficio y capacitación de las comunidades para adoptar y aplicar dicho conocimiento en su vida diaria sin que sea el resultado de una imposición gubernamental.

### 2.3. Oportunidades para el turismo rural

Hoy en día, el interés en practicar el turismo sostenible ha aumentado. Este concepto abarca diferentes enfoques y actividades como el ecoturismo, el turismo rural y el geoturismo, entre otros. El ideal que todas estas actividades tienen en común es la responsabilidad social y ecológica al realizar cualquier actividad económicamente viable. Se trata de la experiencia que una persona puede obtener al tiempo que se crea conciencia sobre los problemas de sostenibilidad locales y globales (UNEP y WTO, 2005). El perfil turístico que está interesado en experimentar cualquiera de estas actividades está muy bien definido: las personas que se sienten atraídas por la naturaleza, por las diferentes expresiones culturales, están interesadas en aprender cosas nuevas y son respetuosas con las personas y sus creencias. Crea un panorama fascinante para desarrollar proyectos centrados en la evaluación vernácula de recuperación y técnicas de construcción tradicionales en cualquier país. El año 2017 fue declarado por la Organización Mundial del Turismo (OMT) como el Año Internacional del Turismo Sostenible para el Desarrollo. Además, las metas para alcanzar hasta 2030 son: crecimiento económico inclusivo y sostenible; inclusión social, empleo y reducción de la pobreza; eficiencia de recursos, protección ambiental y cambio climático; valores culturales, diversidad y herencia; y entendimiento mutuo, paz y seguridad (UNWTO, 2016). Los objetivos establecidos en este proyecto para desarrollar construcciones de bambú, pero especialmente las capas de rejilla de bambú, pueden responder de la manera más eficiente a los objetivos que la Organización Mundial del Comercio (OMC) está tratando de alcanzar para alentar el turismo

sostenible. Muchas de las comunidades rurales más económicamente marginadas se encuentran en lugares de difícil acceso. El desafío es poder edificar construcciones rápidamente, con un alto nivel de seguridad técnica, higiene y con un costo mínimo. Y debe abordarse de la manera más profesional, responsable y sostenible posible. La mejor opción es utilizar materiales naturales locales como madera, follaje, bambú y tierra. El objetivo principal es lograr con estos materiales simples un diseño de alta calidad que pueda ser atractivo para el turista mientras ayuda a aumentar los ingresos de las comunidades que brindan los servicios. Es en este punto donde se puede apreciar el potencial de los cascarones reticulares de bambú: pueden construirse en un período de tiempo pequeño, lo que las hace prácticas. Además, son estructuras livianas que pueden ser transportadas manualmente por unas pocas personas en cualquier lugar. Al construirse con materiales locales, armonizan con el paisaje; puede ayudar a la integración social dentro de las comunidades rurales a través de actividades productivas. Estas construcciones pueden contribuir a fomentar el uso sostenible de los recursos naturales al tiempo que ayudan a la reforestación. Los cascarones reticulares de bambú pueden industrializarse o construirse *in situ*. El claro puede ser tan amplio como sea necesario, y la gama de actividades que pueden ocurrir bajo la estructura puede adaptarse a diferentes tipos de condiciones climáticas controlando la altura de la cubierta. Otro punto interesante sobre el uso de bambú en los cascarones reticulares es que apenas está empezando a explorarse, por lo que hay una gran oportunidad para el diseño y la construcción de este tipo de estructuras (Rockwood, 2014).

## 2.4. Turismo rural

Desde finales del siglo XX han estado surgiendo alrededor del mundo diversas corrientes de nuevas actividades recreativas. Muchas de ellas se han localizado en áreas con paisajes atractivos y han empezado a generar derrama económica en las comunidades cercanas a esos polos de atracción. Es por eso que se ha tratado de clasificar esas nuevas corrientes de actividades, en especial para poder crear una mercadotecnia efectiva para su promoción y estudio. Algunos ejemplos son el turismo de aventura, el turismo científico, el turismo sostenible. Estos últimos también surgen como una respuesta social ante el daño que el turismo de playa (o de masas) ocasiona al medio ambiente. Se trata de crear una generación de turistas más educados y sensibles a temas ambientales y sociales. Tradicionalmente actividades recreativas como caminar o el disfrute de la naturaleza eran vistos como poco atractivos, actividades que realizaban solo adultos mayores. Recientemente bicicleta de montaña y otras actividades de mayor complejidad tecnológica y mayor esfuerzo físico están sustituyendo a éstas, atrayendo a un público más joven. Todas las actividades antes mencionadas solo son un ejemplo de actividades que están surgiendo, pero para fines prácticos son consideradas como Turismo Rural por que se llevan a cabo en zonas rurales, y es allí donde dejan su mayor derrama económica. El turismo es de suma importancia para las economías rurales por la creación de empleo que genera, por la diversidad económica que propicia, por el aporte de recursos para la inversión en los negocios agrarios y, finalmente, contribuye a que la población rural cambia su

percepción en cuanto a su entorno y se preocupe por preservarlo para generaciones futuras.

Con todas las nuevas actividades, surgen innovaciones generadoras de cambio en el turismo rural, lo cual implica nuevos retos, no solo a nivel organización local, sino también gubernamental y de servicios para su regularización con el objetivo de ofrecer los servicios lo más profesionales posible.

- Innovación requerida por el sector rural: Transporte, cadena de suministros, aumento de demanda urbana en la calidad de productos agrícolas.
- Innovación generada por el sector rural: preservación del paisaje y el patrimonio
- Innovación con un fin común: GPS, Internet.

La Innovación en turismo rural es distintiva:

Es moldeada por la interacción entre el proveedor de servicios y los turistas.

La interacción directa con clientes puede ser una fuente directa de innovación a partir del usuario.

El Turismo Rural depende mucho de las temporadas por las actividades al aire libre que se pueden realizar. Es clave tener herramientas que faciliten una buena administración para evitar tener un mercado muy dispar a lo largo del año.

Es necesario incluir a la comunidad local en las actividades recreativas para tener un proyecto que no solo sea un negocio.

El turismo depende en gran medida del entorno natural. Hay muchos retos a resolver, en especial referentes a sustentabilidad.

## 2.5. La faceta cambiante del turismo rural

Las áreas rurales son atractivas para un público muy definido que tiende a tener habilidades y un nivel de educación superior a los locales, con muchas conexiones en redes urbanas y que migra hacia estas zonas. Las personas retiradas o que se retiraron prematuramente son atraídas a las áreas rurales por estilos de vida alternativos y precios accesibles de inmuebles. Contrastando, las áreas rurales continuamente pierden capital humano por la migración de la población joven. En gran parte de los proyectos, quienes ofrecen los servicios al visitante son grupos de mujeres que necesitan ser económicamente activas para generar ingresos a sus familias. Casi todos los hombres de las comunidades han ido a trabajar a los grandes centros urbanos o ha migrado al extranjero y desde allá envían remesas a sus familiares.

El incremento en la demanda de servicios por los periodos vacacionales a lo largo del año, ha generado un aumento en la gama de actividades recreativas. Uno de los principales obstáculos en la implementación de la innovación en el turismo rural es la dificultad de proteger la propiedad intelectual porque el tiempo que tarda la competencia en imitar cualquier innovación se reduce a una temporada.

Existen tres tipos de tecnología que han impactado de mayor manera en la innovación en zonas rurales:

- Tecnologías de la información y la comunicación (TICS).
- Tecnologías de transporte.
- Tecnologías sustentables.

Haciendo un análisis de los potenciales del turismo rural para poder desarrollar la propuesta arquitectónica de esta tesis, se ubicaron las siguientes fortalezas y debilidades de la innovación en los proyectos de turismo rural:

#### Fortalezas

- Mercados con un crecimiento rápido.
- Nichos u oportunidades de mercado. La cantidad de actividades a realizar en zonas rurales se incrementa proporcionalmente en relación al número de atractivos naturales o al contexto histórico y cultural de la región.
- Aumento en la conexión (Internet) para favorecer el marketing de los lugares o proyectos.

#### Debilidades

- La demanda de turismo rural es por temporadas.
- La infraestructura sigue siendo un problema debido a los escasos recursos económicos para poder implementar mejoras de servicio.
- Pequeños negocios pueden tener problemas de financiamiento por la falta de desconocimiento de programas de apoyo social existentes.
- El aislamiento geográfico puede ser una desventaja por la dificultad de vías de comunicación.
- La poca preparación del personal sigue prevaleciendo en la industria, en especial en las comunidades donde el promedio de años de educación en adultos no pasa del nivel primaria.

Existen nuevas oportunidades de implementar innovación en el turismo rural, pero especialmente en la calidad de vida. El interés en el incremento de la calidad en

zonas rurales es continuo, contribuye a la expansión de cadenas de producción en la cual pueden participar los productores rurales y los distribuidores urbanos de manera innovadora, abriendo nuevos mercados que antes no existían.

Migrantes que regresan en su mayoría de Estados Unidos con habilidades requeridas para la generación de negocios y, en muchos casos, con el conocimiento de otro idioma (inglés) para ofrecer servicios a un mercado más amplio, en este caso internacional y no solo local.

Una reflexión muy pertinente y realista referente al turismo alternativo (opciones de viajes y actividades distintas al turismo de playa) y sus alcances es que pretende presentar una imagen de “desarrollo sostenible”. Se considera una herramienta con un gran potencial para generar un cambio en países en desarrollo. La realidad es distinta porque que causa un crecimiento turístico y no un desarrollo equilibrado de la región donde se realizan las actividades. Se puede cuestionar el ecoturismo como un ardid publicitario al no mostrar cambios tangibles en el desarrollo logrado por los proyectos (Gómez Nieves, 2008). Es por esto que los proyectos que se desarrollan de turismo rural deben ser muy realistas con el impacto que pueden generar en una región, tanto beneficios como aspectos negativos. Esto solo puede lograrse a través del desarrollo de proyectos interdisciplinarios, donde la problemática a resolver se aborde desde perspectivas distintas. Así se enriquece la generación de nuevo conocimiento y se lleva a cabo un proyecto lo más realista posible.

## 2.6. Construcciones vernáculas a partir de retículas estructurales

Gran parte de los esfuerzos constructivos dedicados a las comunidades rurales a lo largo de los años se han centrado en la vivienda, la educación y la salud, los aspectos fundamentales de una sociedad inclusiva. Sin embargo, las actividades económicas han sido relegadas a un segundo plano. El turismo rural es una opción para ayudar a las comunidades a administrar sus recursos naturales de manera responsable a la vez que generan ingresos adicionales. Los atractivos paisajísticos de sus lugares de origen pueden ser el detonante inicial que brinda la oportunidad de vender productos directamente al visitante, evitando intermediarios y asegurando un precio justo. La experiencia del turista se puede enriquecer con la presencia armoniosa de un diseño de calidad del punto de venta, añadiendo valor al producto, haciendo que el lugar sea más atractivo y la derrama económica sea mayor.

Como se mencionó anteriormente, el uso del bambú en la construcción de vivienda en México ha sido materia prima desde tiempos precolombinos. Sin embargo, con la llegada de los españoles, nuevas técnicas constructivas (bahareque, ladrillo cocido, teja, adobe) sustituyeron a las autóctonas y, al ser impuestas como símbolo de cultura y progreso, imprimieron un sello de atraso a las técnicas autóctonas de construcción que se percibe hasta nuestros días. Las siguientes maquetas son una muestra de algunas de las técnicas constructivas vernáculas que todavía se mantienen en uso, en las cuales se puede apreciar el uso de retículas de distintos tipos para resolver un problema estructural. En la mayoría de los casos para colocar la techumbre de una vivienda. Fueron

elaboradas por el Laboratorio de Procesos y Sistemas Constructivos Tradicionales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El objetivo de mostrar estas construcciones es señalar que las comunidades rurales están familiarizadas con el concepto de estructuras reticulares, ya sea en geometrías ortogonales o en domos. Esto es un tema fundamental del desarrollo de esta tesis porque facilita el proceso de transferencia tecnológica de la propuesta ya que permite que las comunidades se apropien del sistema constructivo con mayor rapidez y lo puedan asociar con sus tradiciones, evitando que se interprete como una imposición cultural por parte de la sociedad.



**Figura 1.** Casa maya.  
Maqueta de madera, tierra y fibras vegetales.



**Figura 2.** Temazcal.  
Maqueta de madera y fibras vegetales.



**Figura 3.** Casa Huave.  
Maqueta de madera y fibras vegetales.

La UNAM, a través del Laboratorio de Sistemas y Procedimientos de Construcción Tradicional, está desarrollando investigación, documentación y difusión de estos temas para rescatar este conocimiento (Vizcarra de los Reyes, 2017). La metodología de documentación y análisis que han desarrollado considera tres aspectos esenciales: la técnica y la memoria constructiva; la sociedad y la cultura; y el medio ambiente. Estos son temas fundamentales para comprender las sutilezas que implican cada proceso de construcción. Las soluciones genéricas deben evitarse. Las estructuras deben adaptarse al clima y las necesidades específicas de cada usuario. Deben integrarse armónicamente en el paisaje, y cada decisión en el diseño debe estar bien fundamentada y ejecutarse de tal manera que el resultado se base en el contexto, reflejando la identidad de las comunidades. El objetivo ideal de este proyecto sería que, una vez que los beneficios profesionales de los cascarones reticulares hechos de bambú se hayan demostrado profesionalmente, las comunidades lo hagan suyo y comiencen a experimentar con las formas y sus dimensiones hasta que puedan expresar en sus construcciones sus ideas, sus preocupaciones, sus intereses. Con este enfoque, es posible aprovechar el turismo rural como una plataforma para recuperar técnicas constructivas vernáculas, que el público en general las aprecie y, al mismo tiempo, le den un valor agregado a los proyectos que se implementen.

## 2.7. El bambú

El bambú en la industria de la construcción es poco usado actualmente porque, al ser un material biológico, sus características no son homogéneas. Cambia el diámetro de vara a vara, el espesor y la densidad de las fibras cambian dependiendo del entorno geográfico de producción, etc. Es un material complicado de trabajar por la incertidumbre que causan sus características.

Uno de los mayores nichos de negocio que existen es en el diseño de una variedad de bambú que reduzca todas estas variables a un mínimo y sea lo más constante posible. Con esto se reducen costos de construcción, aumenta la confiabilidad en los cálculos estructurales de las edificaciones, aumenta la capacidad de producción por hectárea y se vuelve una cosecha rentable.

Tener el conocimiento para aprovechar de manera sustentable los recursos naturales locales representa una oportunidad para combatir la pobreza y el atraso social en los sectores rurales. Entender las características que tienen las distintas especies de bambú nacional que se dan en cada clima pueden reflejarse en un uso industrial que puede permitir la generación de empleos y la producción de un cultivo con el menor costo posible.

Gran parte del conocimiento y uso de las variedades de bambú por las comunidades locales ha sido transmitido de generación en generación. Esta información se ve reflejada muchas veces en las construcciones vernáculas hechas con materiales vegetales. Se está tratando de rescatar y preservar dicho conocimiento. Pero para que no se pierda, las técnicas constructivas vernáculas deben seguir aplicándose en la práctica. Se tienen que diseñar construcciones

contemporáneas que respeten la identidad, la cultura, las tradiciones. Que hagan sentir orgullosos a sus habitantes y erradiquen la asociación de pobreza a los materiales.

Hay muchas posturas teóricas respecto a la forma de diseñar y muchas dependen del contexto histórico, político y económico (Stroeter, 2008) , pero una cosa es un hecho: quienes más necesitan el respeto y la revalorización de sus usos y costumbres, son las comunidades rurales e indígenas de México. No se les puede imponer construcciones ajenas a su historia y a sus costumbres, pero al mismo tiempo se debe de asegurar el confort térmico, la higiene y la seguridad estructural (Vizcarra de los Reyes, 2017). Todo esto mientras se mantienen los costos al mínimo. La única manera de lograr esto es con el uso de materiales locales. El bambú tiene el potencial de generar este cambio.

En México, el bambú ha sido aprovechado desde tiempos precolombinos: los totonacas en Veracruz, en los estados de Tamaulipas e Hidalgo los huastecos, en el altiplano central los mexicas y los teotihuacanos, en Tabasco los maya-chontales. Todas estas culturas aprovecharon las ventajas estructurales del bambú para construir sus casas, y algunas comunidades todavía lo siguen aprovechando debido a su abundancia, la facilidad de corte, las condiciones de confort térmico que proporciona en climas tropicales con mucho calor y humedad. Es por eso que la construcción de viviendas se beneficia de este recurso natural.

### 2.7.1. Características biológicas

#### Especies en México

Existen ocho géneros y 35 especies de bambúes leñosos y tres géneros con cuatro especies de bambusoides herbáceos que habitan principalmente en los estados del sureste de México, a una altitud que va desde el nivel del mar hasta los 3000 m (Cruz et al., 2017). Estos géneros son los siguientes: *Aulonemia*, *Arthrostylidium*, *Guadua*, *Chusquea*, *Merostachys*, *Olmecca*, *Otatea*, y *Rhipidocladum*.

De acuerdo con Arista González y Ortiz (2010), las siguientes especies se pueden considerar como las más adecuadas en construcción:

*Guadua aculeata*

*Guadua amplexifolia* (Mayor presencia en la Huasteca Potosina)

*Guadua longifolia*

Las siguientes especies son de menor dimensión, por lo tanto, son aprovechadas de mejor forma en la elaboración de artesanías y mobiliario:

*Guadua paniculata*

*Guadua vellutina*

### 2.7.2. Mercado actual del bambú

El bambú es muy versátil en sus usos. Puede servir para construir edificios o fabricar muebles. Puede servir como comida o como guías de plantas en distintos

tipos de cultivos. Puede industrializarse y generar materia prima para la fabricación de ropa, puede servir para diseñar instrumentos musicales, para la producción de artesanías locales e incluso producción de celulosa para papel. Muchos lo utilizan como una alternativa para carbón vegetal.

La demanda apenas empieza pues usar bambú en proyectos es visto como sinónimo de sustentabilidad y eso, ante la sociedad, es algo altamente atractivo.

La posibilidad de exportación a países industrializados con poca capacidad de producción de bambú es otro mercado altamente rentable (Minke, 2012).

Especies de bambú comerciales:

#### *Bambusa*

- *Bambusa balcoa*
- *Bambusa disimulator*
- *Bambusa edilis*
- *Bambusa polymorpha*
- *Bambusa stenostachya*
- *Bambusa vulgaris*
- *Bambusa bambas*
- *Bambusa nepalensis*
- *Bambusa olhami* Munro
- *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland

#### *Chusquea*

- *Chusquea culeou*
- *Chusquea culeou* Desvaux

- *Chusquea quila* Kunth

#### *Guadua*

- *Guadua angustifolia* Kunth
- *Guadua aculeata*
- *Guadua chacoensis*
- *Guadua paniculata* Munro
- *Guadua superba* Huber

#### *Phyllostachys*

- *Phyllostachys aurea*
- *Phyllostachys bambusoides*
- *Phyllostachys nigra*

### 2.7.3. Características ecológicas

Problemas que se resuelven con sistemas agroforestales de bambú

- Producción de biomasa
- Reducción de erosión de suelos
- Retención de agua
- Regulación de los flujos hídricos
- Reducción de temperatura
- Captación de CO<sub>2</sub>
- Menor consumo energético en proceso de producción
- Generación de empleos en el sector rural

#### 2.7.4. *Phyllostachys bambusoide*

Para el desarrollo de la propuesta de esta tesis se eligió esta especie de bambú por sus características físico-mecánicas ya que es una de las pocas especies que puede curvarse sin que truene el culmo.

La especie *Phyllostachys bambusoide* es la más cultivada en Japón y es usada principalmente para fines industriales y ornamentales. Por lo general crece con una caña recta y ancha que presenta paredes robustas. Crece en ciclos anuales y sus cañas llegan a crecer hasta 100 cm por día. Su vida promedio es de 20 años, llegando a duplicar a la mayoría de las otras especies de su mismo género. Por sus cualidades físicas y de producción es muy apreciado en la construcción, especialmente en países asiáticos.

Una de las desventajas de esta especie es que es invasiva. Si no se controla su producción puede propagarse con mucha rapidez.

#### **Taxonomía**

Reino: Plantae

División: Angiospermae

Clase: Monocotyledoneae

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Graminae o Poaceae

Género y Especie: *Phyllostachys bambusoides*

Nombre común: Madake

Nombre en inglés: Japanese timber bamboo

Altura máxima: 23 m

Diámetro máximo: 15 cm

## 2.8. Estructuras de bambú en Veracruz

Las siguientes imágenes son tomadas del Rancho San Ricardo, ubicado a los pies de la sierra de Zongolica, dentro de una zona de cultivo de caña en las inmediaciones del Ingenio La Margarita, en el municipio de Tierra Blanca. En 2012 dio inicio un proyecto para rediseñar las 73 hectáreas del rancho. El objetivo central del proyecto es implementar técnicas de restauración ambiental y de regeneración de suelos que aporten soluciones prácticas a algunos de los principales problemas que enfrentan los agricultores y las comunidades humanas de la región (Ruiz Lavalle, 2016). Todo el bambú que se utiliza en las construcciones se produce dentro del rancho para reducir costos. El rancho cuenta también con un taller para construir todas las estructuras que sean necesarias como infraestructura. Cuentan con un almacén de bambú y maquinaria para fabricar latas o listones de bambú para los techos. La razón por la cual se muestra este proyecto es porque son los constructores de estructuras de bambú en la región con mayor propuesta de diversidad en estructuras, tienen un alto manejo de calidad del material, cuentan con un proceso de diseño arquitectónico profesional y el proyecto tiene el sistema integrado de producción, tratamiento, armado, montaje y mantenimiento de estructuras con bambú.



**Figura 4.** Taller y almacén de bambú.

Taller y almacén del Rancho San Ricardo. Se aprecian las zonas de almacenaje de bambú, la maquinaria para procesar los listones de bambú y, al fondo, la armadura curva de una estructura en proceso de armado. Las dimensiones de un taller de este tipo deben ser muy amplias para poder trabajar y manipular el material con facilidad.



**Figura 5.** Cobertizo para ganado.

Estructura de bambú usada como techumbre para ganado. En las bases de las columnas se nota el uso por frotamiento que le dan los animales a las columnas, arriesgando la integridad estructural de las columnas de bambú. Lo ideal sería diseñar una cubierta que no dependiera de apoyos intermedios para librar el claro total. Eso evitaría el riesgo de daño estructural, pero al mismo tiempo la acumulación de suciedad en las esquinas e interiores de las columnas para mayor higiene. Así se puede reducir el riesgo de enfermedades de los animales.



**Figura 6.** Viga de alma abierta con bambú.

Estructura de bambú donde se utiliza el material para replicar el sistema de estructuras de acero convencionales. Es un proceso constructivo muy tardado y artesanal que requiere de mano de obra especializada, lo cual encarece los precios y queda al alcance de pocos productores. Se recomienda evitar el diseño de uniones complejas como las bocas de pescado, y en su lugar recurrir a cortes rectos. El material tiene el potencial para explorar otros sistemas constructivos más ligeros y con mayor versatilidad, en especial las estructuras ligeras.



**Figura 7.** Vista panorámica del quiosco.

Quiosco que explora el uso de distintas geometrías. Es una estructura muy estética con un solo problema: es una cápsula de calor. Está ubicada en una región donde no es raro tener temperaturas que rondan los 40°C con una humedad promedio de 70%. Las dimensiones del diseño están pensadas para un clima más templado. El calor queda atrapado dentro de la estructura y, a pesar de las aberturas que dejan fluir el aire, es más fresco estar debajo de un árbol. Este es un error de diseño recurrente cuando se toman decisiones de diseño más por razones estéticas que prácticas.



**Figura 8.** Estructura interior del quiosco.

Detalles constructivos de la estructura del quiosco. Se cuenta en la región con artesanos muy hábiles.



**Figura 9.** Techo tradicional con estructura de bambú.

Construcción de una casa habitación usando técnicas constructivas tradicionales.

La estructura de la techumbre utilizó bambú en vez de madera.



**Figura 10.** Interiorismo de bambú.

El entrepiso y las escaleras de la casa están resueltas con tramos rectos de bambú.



**Figura 11.** Vista general del quiosco principal.

Estructura diseñada para actividades grupales. Las dimensiones son mayores que el ejemplo anterior, pero a pesar de tener más altura y estar a la sombra del follaje de árboles cercanos, la acumulación de calor es notable.



**Figura 12.** Detalles estructurales quiosco.

Se usaron arcos de bambú como elemento principal de carga. Además, se incluyeron distintos diámetros de bambú según la importancia estructural.

## 2.9. Cascarones reticulares

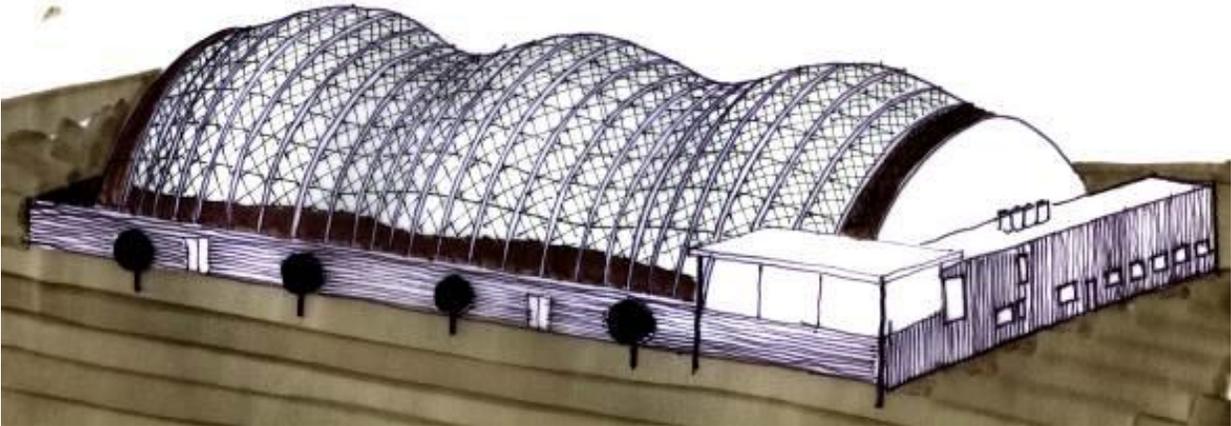
En la actualidad, existen muchos sistemas estructurales más eficientes que los usados en los ejemplos anteriores, sobre todo teniendo en cuenta la relación claro-peso de la estructura- cantidad de material usado. De todas ellas los cascarones son los más eficientes a nivel estructural. Una estructura de cascarón es una estructura de superficie activa que resiste las cargas aplicadas gracias a su forma tridimensional continua. Su nombre se inspira en la geometría de los huevos, que pueden soportar mucho peso sobre ellos sin romperse gracias a la transmisión de cargas de manera uniforme debido a su diseño geométrico (Rockwood, 2014). Se caracterizan por ser estructuras con una sección muy delgada para los claros que libran, a comparación de otros sistemas constructivos. La eficiencia estructural que se refleja en el ahorro de material por un buen cálculo geométrico y estructural es notable y puede ayudar a reducir costos de obra. Es por esto que son estructuras muy atractivas en términos de inversión. Las estructuras de cascarón idealmente trabajan como estructuras a compresión pura. Sin embargo, hay un límite teórico. Las estructuras de cascarón en la vida real se enfrentan cargas vivas y muertas que actúan en distintos puntos de la superficie, y sus efectos se reflejan como esfuerzos de compresión, tensión y cortante; si el cascarón no está bien diseñado, calculado o construido el riesgo que colapse es alto. Esta es una de las razones por las cuales son pocos los profesionistas que se especializan en este tipo de estructuras.

Los cascarones reticulares pueden visualizarse como un cascarón al que se le han ido substrayendo partes, dando como resultado una retícula de huecos regulares. Si se visualiza el cascarón reticular como un proceso aditivo, como se plantea en este trabajo, se puede definir la estructura como una red de elementos curvos lineales unidos mediante nodos (Rockwood, 2014). Algunos ejemplos de estas estructuras son las siguientes:



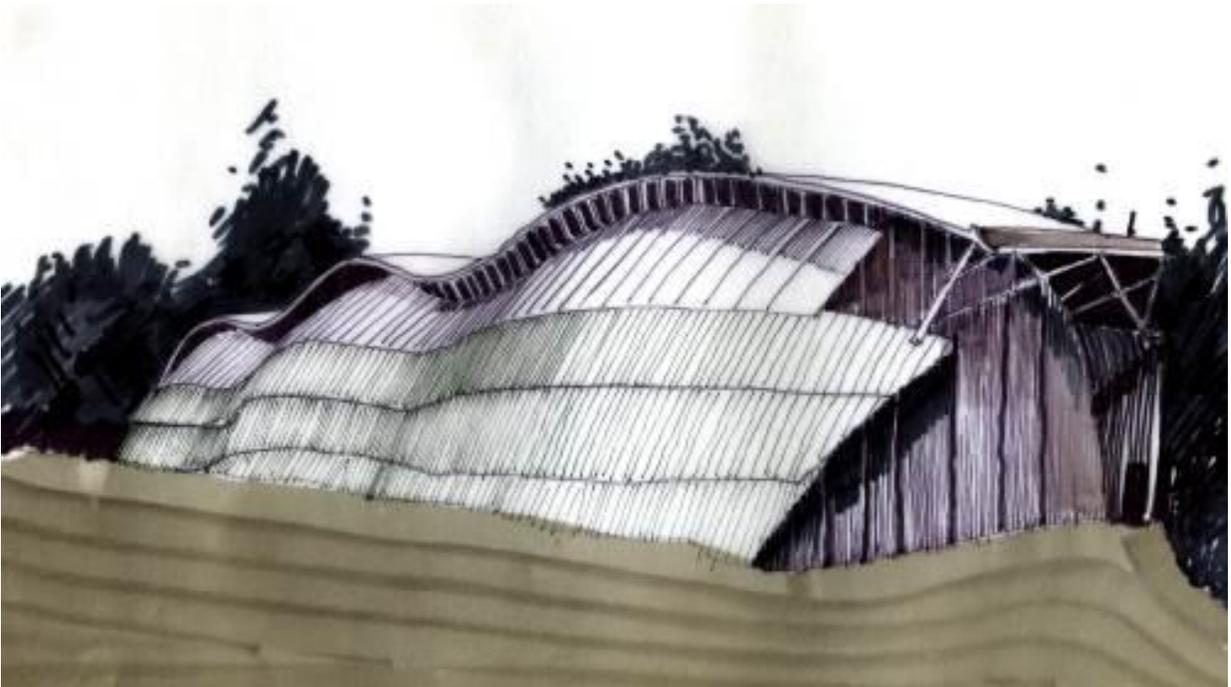
**Figura 13.** Mannheim Bundestgartenschau Multihalle, 1973.

Frei Otto (Arquitecto), Ove Arup y Ted Happold (Ingeniería Estructural).



**Figura 14.** Pabellón Japonés, Expo Hannover, 2000.

Shigeru Ban (Arquitecto), Buro Happold (Ingeniería Estructural), y Frei Otto (Consultor Estructural).



**Figura 15.** Weald and Downland Museum, 2002.

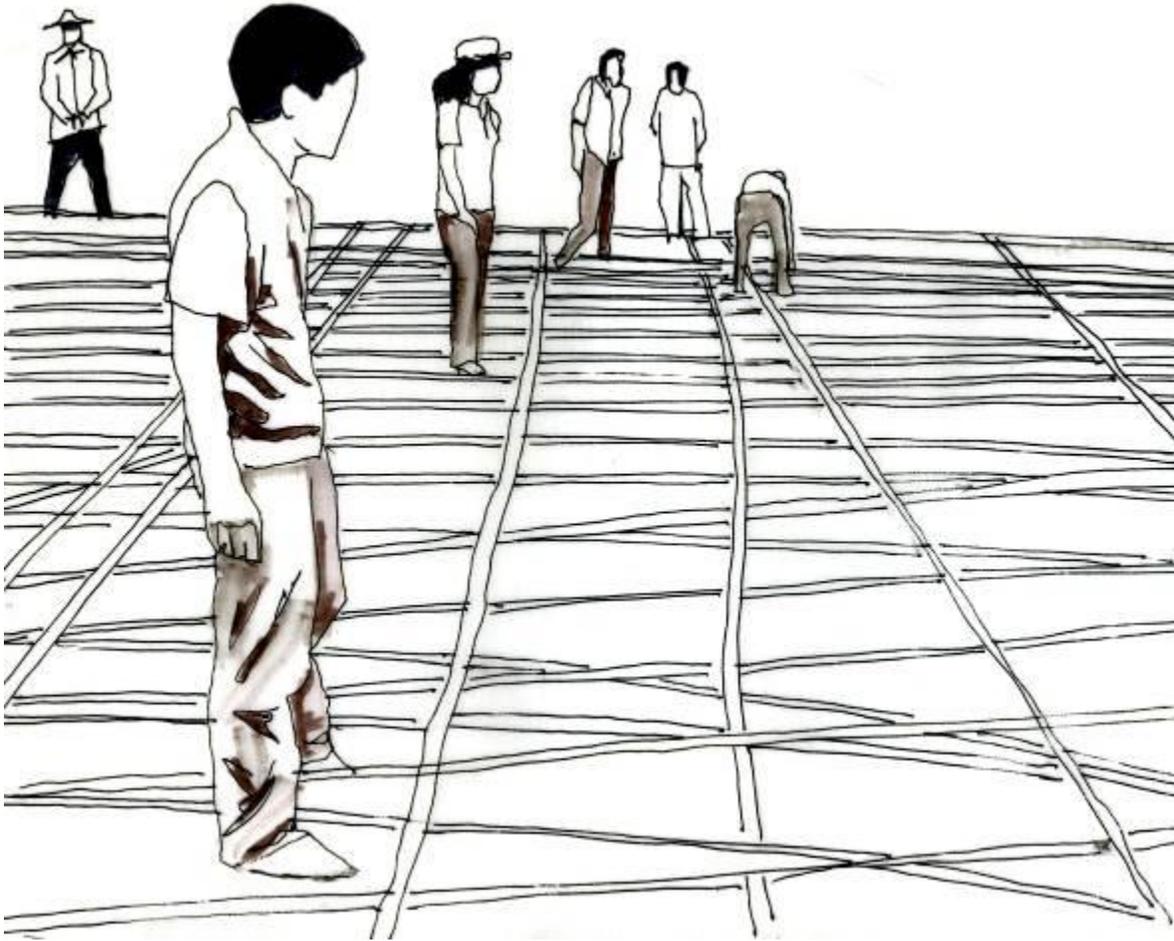
Edward Cullinan (Arquitecto), Buro Happold (Ingeniería Estructural).



**Figura 16.** Proceso de montaje para un cascarón reticular.

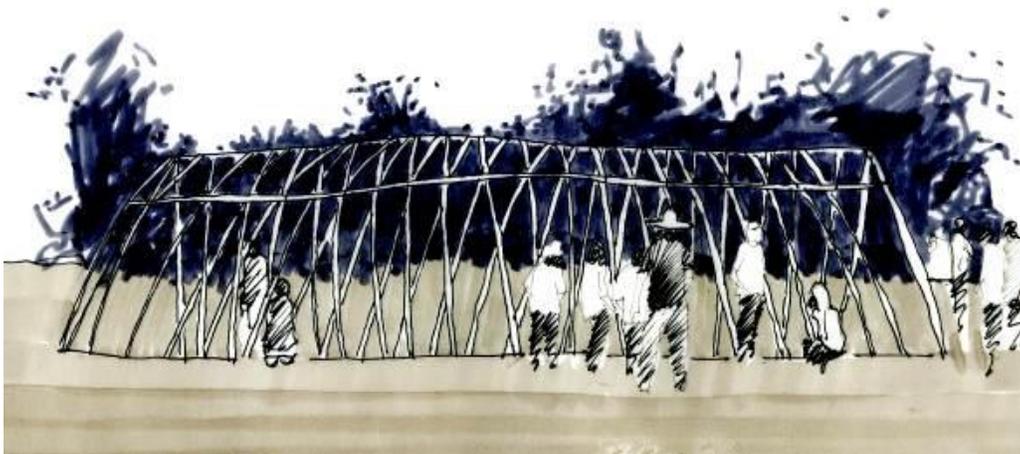
El proceso constructivo que normalmente se usa en los cascarones reticulares de madera consiste en armar en el suelo la retícula de elementos estructurales para, progresivamente, ir la levantando y ajustando hasta obtener la forma deseada. La desventaja con este procedimiento es que requiere de elementos prefabricados, mano de obra muy especializada y maquinaria que no está al alcance de cualquier constructor que desee armar una estructura de dimensiones considerables.

Además, estas estructuras solo son autoportantes, por lo que su capacidad de carga es reducida, lo que reduce el número de materiales distintos de cubiertas que se le pueden poner.



**Figura 17.** Armado de retícula en el suelo.

En este ejemplo se muestra el proceso de armado en el suelo de una retícula de latas de bambú (segmentos longitudinales cortados directamente de los culmos de bambú). Esta cubierta fue hecha de forma manual y artesanal por alumnos de arquitectura de Vietnam para explorar las posibilidades del bambú como elemento estructural en el sistema estructural de cascarones reticulares. La razón por la cual utilizaron las lajas es porque son mucho más flexibles que el cilindro de bambú, lo que tiene una ventaja constructiva con el proceso que siguieron (Rockwood, 2014).



**Figura 18.** Levantamiento de la retícula de bambú.

Montaje del cascarón reticular con latas de bambú. Se necesita ir afianzando los laterales de la estructura según se van acercando los bordes al eje central para evitar que colapse. Es un trabajo progresivo en el cual hay que esperar a que el material se adapte a su nueva geometría. No puede ser una transición rápida pues se corre el riesgo que la estructura se rompa en varios puntos críticos.



**Figura 19.** Proceso de anclaje.

Todo el proceso de armado y montaje se realiza artesanalmente.

## 2.10. Cascarones reticulares de bambú



**Figura 20.** Cascarón reticular en construcción, UNAM.

Pabellón para celebrar el centenario de la UNAM. Proyecto asesorado por el Dr. Juan Gerardo Oliva del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Arquitectura. La empresa constructora fue BambuVer, originaria de Huatusco, Veracruz (Casares-Cortina y Hernández-Rodríguez, 2011). Este proyecto sirvió como base para el desarrollo de la propuesta, explorando algunas de las soluciones constructivas con bambú. La estancia de vinculación que se realizó en esta investigación fue en Laboratorio de Estructuras para poder contar con la asesoría de los especialistas en estructuras ligeras (Imagen cortesía del Laboratorio de Estructuras, UNAM).



**Figura 21.** Cascarón reticular en construcción, UNAM.

Proceso constructivo de la cubierta de cascarón reticular con bambú (Imagen cortesía del Laboratorio de Estructuras, UNAM).



**Figura 22.** Cascarón reticular con cubierta, UNAM.

La estructura con una membrana plástica de cubierta. Los claros que se pueden librar son de un alto atractivo utilitario en el sector rural (Imagen cortesía del Laboratorio de Estructuras, UNAM).

Esta investigación surge como una respuesta a problemas específicos del contexto rural en México donde la pobreza, el deterioro ambiental y la falta de educación son constantes. La situación económica para las familias rurales es difícil, especialmente en las regiones montañosas, debido a la falta de recursos monetarios para construir algo que pueda ayudarlos a diversificar sus actividades de ingresos. Resolver este tipo de proyectos presenta un desafío de diseño porque tiene que ser lo más versátil posible para explorar diferentes variantes de negocio hasta encontrar una solución rentable sin gastar mucho tiempo y recursos en el proceso de rediseño. Estos requisitos orillan a las propuestas a simplificar la complejidad del diseño hasta llegar a los procesos de construcción más elementales para aprovechar de la mano de obra de los trabajadores no especializados. Por lo tanto, la aplicación de este tipo de proyectos puede tener beneficios sociales, económicos y ecológicos al utilizar materiales y mano de obra local, así como respetar el contexto social, cultural y ambiental donde podrían desarrollarse los proyectos. El enfoque fundamental de esta propuesta surge del uso del arco funicular que, debido a sus características geométricas estructurales de transmisión de carga, ofrece una mayor seguridad en el uso de diferentes materiales para techos. De forma similar, para simplificar y hacer más eficiente el proceso de construcción, se explora el método de usar solo un arco base único, con el que se resuelven todas las variables consideradas en esta investigación.

Los cascarones reticulares con bambú tienen la ventaja de adaptarse a múltiples usos. Cambiar el material del techo es suficiente para expandir sus posibilidades

permitiendo desarrollar todo tipo de actividades bajo la estructura. La economía familiar de las comunidades rurales es diversa. A veces las actividades realizadas por cada uno de sus miembros son diferentes, en otros casos, toda la familia está involucrada exclusivamente en una sola empresa que genera conflicto para adaptar el mismo espacio para cubrir diferentes requisitos. Estas características presentan un gran desafío para la mayoría de los proyectos: la adaptabilidad a las necesidades de los usuarios, a veces de manera radical. En un contexto económico incierto, hay actividades que en un momento dado ya no son rentables para los usuarios; es entonces cuando tienen que abandonar las construcciones que han dejado de generar ingresos y buscar nuevas alternativas. Esto resulta en pérdida de inversión. El punto clave para resolver este problema radica en comprender el funcionamiento de la economía familiar; es un proceso de prueba y error en el cual el negocio gira regularmente. Es por eso que las soluciones constructivas tienen que responder a estas demandas. Para lograr tal objetivo, deben tener como característica principal la versatilidad al tiempo que ofrecen comodidad térmica, eficiencia energética y seguridad estructural. Por todas estas razones, el potencial de las estructuras de cascarón reticular con bambú es enorme: pueden responder de manera eficiente al contexto climático, social, cultural y económico. Pueden generar muchos cambios beneficiosos en lugares que se están desarrollando.

El mayor desafío en el diseño es encontrar la forma correcta para estas construcciones ligeras. A lo largo del siglo XX, los conceptos de modernidad y progreso, que tanta controversia suscitaron, se basaron en una discusión teórica sobre la arquitectura: ¿qué es más importante: la forma o la función? ¿la forma

depende de la función de la construcción o la función se adapta a la forma final de la edificación? Posturas teóricas realmente revolucionarias pero que dejaba de lado un factor fundamental: el contexto. Los problemas actuales generados por el cambio climático requieren soluciones integrales a nivel mundial. Se habla mucho de los conceptos de eficiencia energética, edificios sostenibles, actividades ecológicas, etc., pero el proceso de diseño todavía no refleja de manera concluyente su contribución para revertir el daño generado al medio ambiente. Por eso es conveniente ver el proceso de diseño con otra perspectiva: la forma y la función siguen el clima (García-Germán, 2010). Todos los lugares del mundo tienen diferentes características con respecto a la temperatura, la humedad, la luz, el viento y la lluvia. Estas características particulares fueron las que determinaron el éxito o el fracaso de diferentes civilizaciones a lo largo de la historia, su capacidad para comprender su entorno y adaptarse a él. La arquitectura vernácula responde instintivamente a estos principios. La forma y función de los edificios dependía principalmente de las actividades que favorecían el clima, los materiales, típicos del lugar, respondían para cubrir estas demandas. Lo que este trabajo propone no es volver al pasado, sino aprovechar todos los avances tecnológicos que existen en la actualidad. El software de cálculo y diseño es esencial para reevaluar y aplicar en un contexto contemporáneo técnicas y procesos constructivos que han demostrado su eficacia a lo largo de cientos de años, para preservar la identidad de las comunidades, generar transferencia de conocimiento y tecnología y, también, promover a los responsables uso de recursos naturales. Todas estas intenciones se pueden lograr de manera rápida y efectiva utilizando el potencial del turismo en México, que en el año 2014

contribuyó con el 8.6% del PIB (INEGI, 2016), siendo una de las actividades económicas más destacadas del país en los últimos años.

Estamos viviendo un momento de grandes cambios y grandes desafíos, tanto a nivel mundial como a nivel nacional. La contribución que la arquitectura puede tener para abordar los problemas sociales más allá de la vivienda es mucho. Los problemas de los sectores rurales deben resolverse de manera multidisciplinaria, pero las soluciones también deben implementarse de manera inmediata, eficiente y económica. El sistema estructural de cascarones reticulares de bambú presenta características que ningún otro sistema constructivo biodegradable tiene: la posibilidad de adaptación a su contexto social, cultural y climático. La tecnología moderna puede proporcionar todos los parámetros de seguridad de la construcción y el confort climático adecuados para cada región. Una vez que se establecen las pautas de diseño, las comunidades tienen la posibilidad de hacerse cargo del sistema y hacerlo suyo, experimentando con el tamaño, la forma y los materiales, mientras generan una identidad propia de acuerdo con sus ideales estéticos y sus necesidades económicas.

#### 2.11. Futuro técnico de las construcciones con bambú

En el artículo "Estado actual de la construcción con bambú" publicado como parte del XIX Simposio Nacional de Ingeniería Estructural realizado en México en 2014 (Flores-Méndez et al., 2014), se propuso la idea de un Reglamento Mexicano de Construcción con bambú, que tendría importantes beneficios para la sociedad en general y la industria de la construcción en particular debido a los beneficios del

material. Una cuestión crucial que debe abordarse es la adaptación de las estructuras de bambú a diferentes climas y contextos. Además, con el cambio climático y todas las implicaciones que esto conlleva, es necesario anticipar problemas futuros. No solo los cálculos estructurales (con mayores huracanes en el océano Pacífico y el océano Atlántico presentan mayores desafíos de diseño), también deben considerarse los sistemas de recolección de agua de lluvia para diferentes áreas debido a la posibilidad de sequías, inundaciones e incendios que representan un peligro para las comunidades de las zonas rurales y su economía. La publicación de un documento que explora la relación entre el bambú y las técnicas de construcción de fibra natural tiene el potencial de eliminar el estigma de la pobreza y el atraso que se ha asociado durante siglos con los edificios de materiales vegetales y el suelo. La regulación propuesta tiene como precedente la Normativa Colombiana Sismo Resistente de Bahareque Encementado publicada en 2002 y ampliada en 2010 con un capítulo referente a Estructuras de madera y Estructuras de Guadua. Estas iniciativas responden al uso generalizado del bahareque en las construcciones vernáculas de Colombia y a la identidad que genera en el paisaje urbano.

El mayor reto que enfrenta México en la implementación del uso del bambú como material estructural y constructivo radica en que las especies con mayor difusión comercial que se encuentran en el mercado son originarias de países asiáticos o sudamericanos. Se ha explorado muy poco sobre las características de los bambúes nacionales, incluso, apenas se generó el registro genético de los Bambúes nativos de México como un proyecto del Instituto de Ecología, a cargo de Dra. María Teresa Mejía, en el jardín botánico “Francisco Javier Clavijero” con

el objetivo de formar la Colección Nacional de Bambúes Nativos. Infortunadamente, se sabe poco sobre las características de los bambúes nacionales y su potencial para aprovecharse en distintas industrias. El objetivo del estudio de las especies nativas es producir el conocimiento necesario para poder aprovechar los recursos naturales locales de manera sustentable.

La limitante principal que enfrenta la aplicación de las técnicas de construcción vernáculas es el tiempo. Son cada vez menos los constructores que utilizan el conocimiento técnico constructivo desarrollado por generaciones. Es necesario aplicar este conocimiento a un contexto contemporáneo aprovechando los avances tecnológicos, los avances en los procesos de diseño y cálculo y retransferir ese conocimiento a las comunidades rurales para que puedan usarlo de manera práctica en su vida cotidiana.

### **3. Justificación, Hipótesis, Objetivos**

#### 3.1 Justificación

La premisa de que parte esta investigación es que las construcciones deben ser adaptadas al clima. Bajo esta premisa se busca demostrar la versatilidad de uso de los cascarones reticulares con bambú y su aplicación a problemas de gran complejidad, en este caso, referentes a la diversificación económica en proyectos de turismo rural en zonas tropicales, donde el clima presenta altas temperaturas y humedad relativa.

La finalidad que se persigue con este estudio es el desarrollo e implementación de una metodología de diseño enfocada a los cascarones reticulares con bambú a partir de condiciones climáticas específicas previamente dadas, a partir de las cuales se pueda desarrollar una estructura que responda de manera eficiente a esas premisas de diseño. Esta metodología puede servir como referente para resolver otros problemas de alta complejidad como es caso de refugios de emergencia.

Los resultados de esta investigación tienen la finalidad que, en caso de poder resolver todos los problemas planteados, pueda llegar a implementarse como un sistema de módulos de producción asequibles a todos los productores de flora ornamental y proyectos de turismo rural para que puedan aprovechar este conocimiento en beneficio de mejoras en su calidad y capacidad de producción.

### 3.2 Hipótesis

La hipótesis de trabajo a probar en esta investigación es el potencial de la aplicación de estructuras de cascarón reticular con bambú en contextos rurales para la diversificación de actividades económicas, reduciendo costos de construcción gracias al cambio del material de la cubierta aprovechando la geometría y la capacidad de carga del sistema constructivo propuesto.

En la arquitectura contemporánea existen diversas corrientes teóricas que tratan de resolver el mismo problema desde distintos enfoques: ¿cómo diseñar edificaciones sustentables? Unos tratan de entender y replicar edificando ejemplos que se dan en la naturaleza a distintos niveles de complejidad: visualizando la construcción como un organismo (el edificio aislado y su funcionamiento interno diseñado para cubrir funciones como si fuera un ser vivo); tratando de replicar el comportamiento o interacción de un organismo con su entorno para adaptarse de la manera más eficaz a su entorno; y a nivel ecosistema donde las redes de interacción se vuelven mucho más complejas y se trabaja a otra escala. A esta corriente de pensamiento se le conoce como biomimetic architecture o arquitectura biomimética, propuesta por Janine Benyus en 1997. La principal diferencia entre las posturas teóricas de Phillip Rham y Janine Benyus es el nivel de abstracción de las propuestas: uno propone una búsqueda de formas nuevas insospechadas que puedan surgir de la creación humana y otra aboga por buscar la respuesta a los problemas contemporáneos inspirándose en la naturaleza. Ambas tienen sus atractivos y dependerá del arquitecto, diseñador o ingeniero qué postura decida seguir. Sin embargo, toda

esta búsqueda de construcciones sustentables tiene sus raíces en la arquitectura vernácula. Todas las sociedades, a lo largo de generaciones, han tenido que adaptarse a su clima y su contexto para poder sobrevivir y desarrollarse como culturas. Esta adaptación de los seres humanos al medio en que les tocó desarrollarse aprovechando los materiales disponibles en el lugar, es uno de los ideales que se trata de conseguir en las sociedades contemporáneas: el respeto a la historia, al medio ambiente y a la cultura.

El turismo rural enfrenta muchos retos en México, principalmente económicos. Una solución viable es la diversificación económica para tener proyectos competitivos, siendo la producción de flora ornamental una opción con mucho potencial de desarrollo, especialmente en la zona central de Veracruz.

Usando el bambú como recurso natural para la construcción de una estructura de cascarón reticular mediante el cálculo estructural y térmico óptimo, se podría reducir la inversión inicial en la implementación de una estructura de producción bajo techo, volviendo más competitivo un proyecto y reduciendo los tiempos de recuperación económica, teniendo como valor agregado la calidad del diseño. La producción de materia prima puede darse de manera natural dentro de los terrenos de las comunidades.

La aseveración que hace Philippe Rahm donde “la forma y la función siguen al clima” es muy certera porque se tiene que entender a profundidad el lugar en el cual se plantea el objeto arquitectónico para aprovechar los recursos que ofrece el sitio. Rahm plantea además una arquitectura libre de predeterminaciones formales y funcionales, que esté abierta a los cambios meteorológicos y estacionales,

donde la forma pudiera surgir de manera espontánea a partir del clima. Este enfoque de cómo abordar los nuevos problemas arquitectónicos es muy relevante para esta investigación porque el objetivo final es plantear las condiciones ideales para que el usuario pueda desarrollar sus actividades en las mejores circunstancias posibles, en el momento que desee, que se adapte al sitio donde habita (García-Germán, 2010). Con esta concepción teórica se pretende abordar el problema del diseño de un módulo que pueda adaptarse a las necesidades específicas del usuario: contando con las condiciones teóricas ideales en el interior del módulo para la producción de flora ornamental, respondiendo a las características del entorno geográfico, se puede proceder a resolver las problemáticas de la climatización interna por métodos pasivos, donde la estructura y la cubierta puedan resolver, como una unidad, los problemas planteados.

### 3.3 Objetivos

#### General

Crear una estructura versátil y sustentable de bambú con potencial para uso y protección del ser humano que se integren de manera armónica al paisaje.

#### Específicos

- i. Usar las propiedades físico-mecánicas del bambú en la construcción de estructuras.
- ii. Proponer la creación de construcciones eficientes tanto en uso material como en estructura (forma).
- iii. Actualizar técnicas de construcción con bambú a un contexto contemporáneo (proceso).

#### 4. Materiales y Métodos

Para lograr los objetivos planteados se han planteado las siguientes actividades:

a) Estudiar, comparar y analizar los sistemas y técnicas de construcción de la arquitectura vernácula de la región centro de México.

b) Realizar un levantamiento y análisis del sitio donde se propone el módulo y generar conclusiones de las características de diseño que debe cumplir. (Comunidad de Ojo de Agua Grande, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México).

c) Realizar algunas sesiones de diseño participativo para definir: terreno, dimensiones, uso y presupuesto de los módulos a realizar. Mesías y Romero (2004) propone un enfoque teórico transdisciplinario para comprender los procesos de producción del espacio construido y por otro, proponer alternativas de intervención y de evaluación de los técnicos y profesionistas de estos procesos. Se pretende ofrecer una variedad de métodos, técnicas y herramientas de diseño participativo y su posible aplicación en diferentes contextos. Puntos clave:

- Desarrollo y transferencia de tecnologías sociales participativas de diseño.
- Métodos y técnicas de diseño participativo.

d) Revisión bibliográfica exhaustiva de los cascarones reticulares de bambú y sus características para generar la propuesta arquitectónica que se va a diseñar.

e) Desarrollar la solución de la cubierta y su envolvente perimetral tomando como factor fundamental el aprovechamiento del viento como recurso principal para la climatización pasiva y el diseño estructural.

f) A partir del análisis por medio de maquetas a escala, con unas características de diseño previamente asignadas (altura, anchura, longitud), se tratará de llegar a una forma del módulo que responda de manera óptima todo el año al recorrido del sol para el máximo aprovechamiento de la luz solar, a los cambios de humedad y temperatura externos generados por las estaciones y el cambio climático según las predicciones científicas, a las diferentes velocidades del viento para su aprovechamiento como sistema de calefacción pasiva y a los distintos niveles de precipitación pluvial para el uso de agua de lluvia como materia prima en el uso del módulo.

g) Realización de una estancia de vinculación en Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Arquitectura de la UNAM para poder contar con la asesoría de los especialistas en estructuras ligeras.

h) A través del uso de programas de modelado digital, será necesario determinar la forma óptima de un módulo que resuelva el problema de la climatización pasiva por viento.

i) Generar maquetas de trabajo para el análisis físico de la propuesta y sus problemas técnicos

j) Diseñar el cascarón reticular con bambú implementando todas las características de diseño determinadas en el paso anterior. El objetivo es crear una estructura de que sea eficiente tanto estructural como energéticamente, un módulo integral que no necesite del uso de energía eléctrica para el control climático. Programas a utilizar para el diseño del módulo:

- Rhino (Versión 6.0, Robert McNeel & Associates)

- Grasshopper (Incluido en Rhino 6, Robert McNeel & Associates)
- Autocad (Versión 2016, Autodesk)

## 4.1. El contexto

### 4.1.1. El territorio

Estudiar y analizar el paisaje es complejo. El territorio presenta la intervención del hombre a través de los pocos miles de años de evolución que han llevado al desarrollo de la sociedad moderna. Se puede leer en el contexto la historia de adaptación y supervivencia que han enfrentado tanto los seres humanos como el resto de los integrantes de los ecosistemas con los que hemos interactuado.

Analizar un paisaje es un proceso que debe realizarse desde tres escalas distintas para entender la vinculación con el patrimonio y el territorio:

- A una escala macro donde se pueda entender el territorio al tamaño municipal o el paisaje concreto tomándolo como unidad básica.
- A escala urbana en los núcleos habitados y
- A escala arquitectónica. De esta manera se comprenderá e interpretará el paisaje como una síntesis del territorio “basada en la vida y el trabajo acumulado sobre un espacio (en sus diferentes aspectos: histórico, antropológico y geográfico)” (Rivera, 2010).

El paisaje, cuando es analizado bajo los parámetros anteriormente citados, permite entender las distintas relaciones entre el ser humano y el territorio a lo largo de la historia y las implicaciones que esto ha tenido y tendrán en un futuro con las condiciones físicas del contexto.

#### 4.1.2. Veracruz

##### Localización

En el estado de Veracruz coinciden una vasta variedad de parámetros geográficos y físicos que propician una gran diversidad de ambientes, originando una alta biodiversidad biológica y riqueza de recursos naturales.

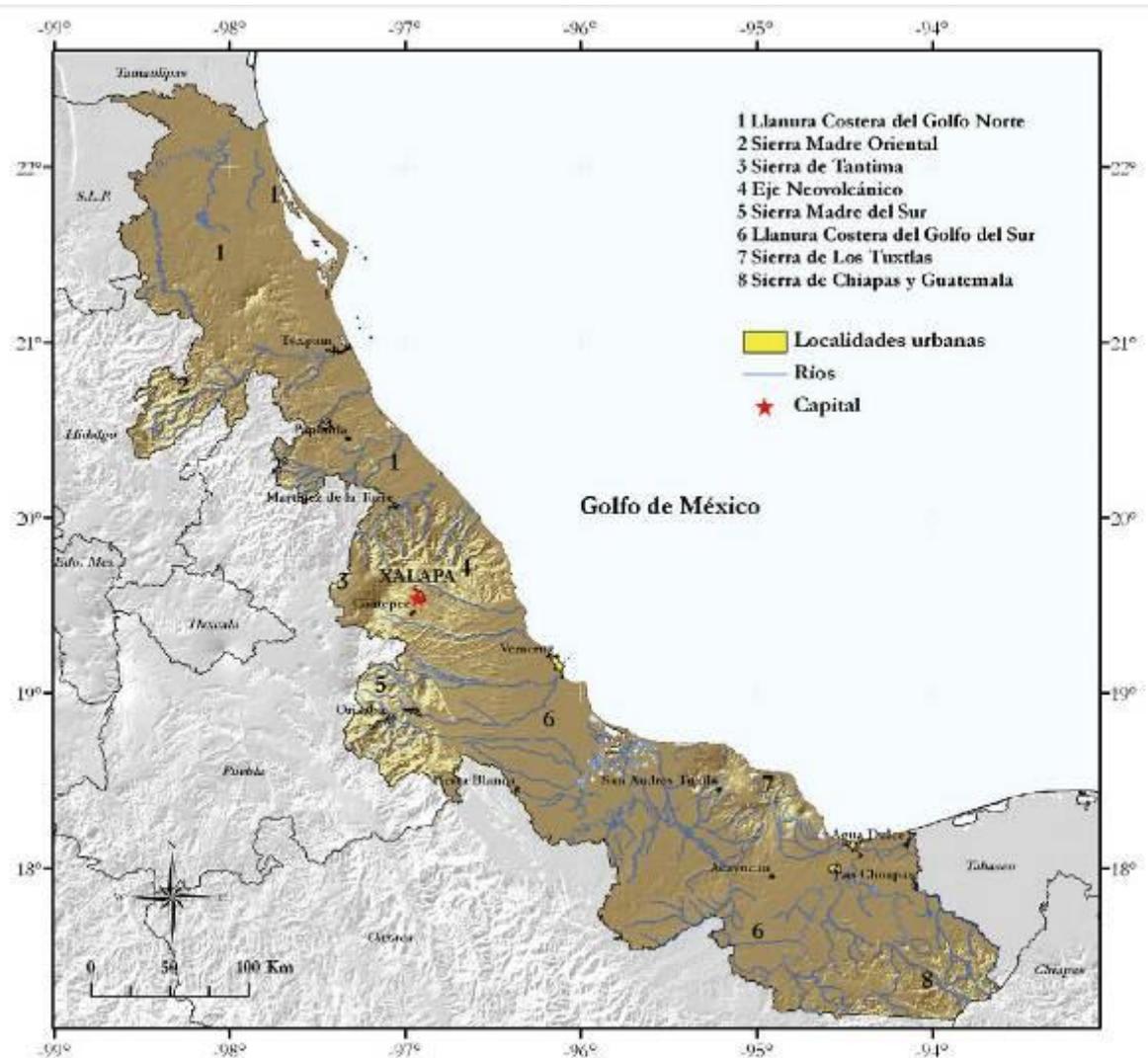
Veracruz se localiza en la parte este de la República Mexicana, entre los paralelos 17° 10' al 22° 15' de latitud norte y los meridianos 93° 35' al 98° 34' de longitud oeste, generando una franja de aproximadamente 790 km de largo y un ancho que varía en su parte más angosta de 33 km hasta 183 km. Limita al norte con el estado de Tamaulipas, al este con el Golfo de México y el estado de Tabasco, al sureste con el de Chiapas, al sur con el de Oaxaca y al oeste con los estados de Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí (CONABIO, 2011).



**Figura 23.** Ubicación de Veracruz.  
Reprografía CONABIO, 2011.

## Configuración territorial

La configuración del terreno de la entidad veracruzana está dada por dos extensas planicies, una situada al norte y otra al sur, y separadas por las estribaciones montañosas del Eje Neovolcánico, que penetra prácticamente hasta la costa constituyendo una barrera climática muy importante (CONABIO, 2011).



**Figura 24.** Regiones geográficas de Veracruz. Reprografía CONABIO, 2011.

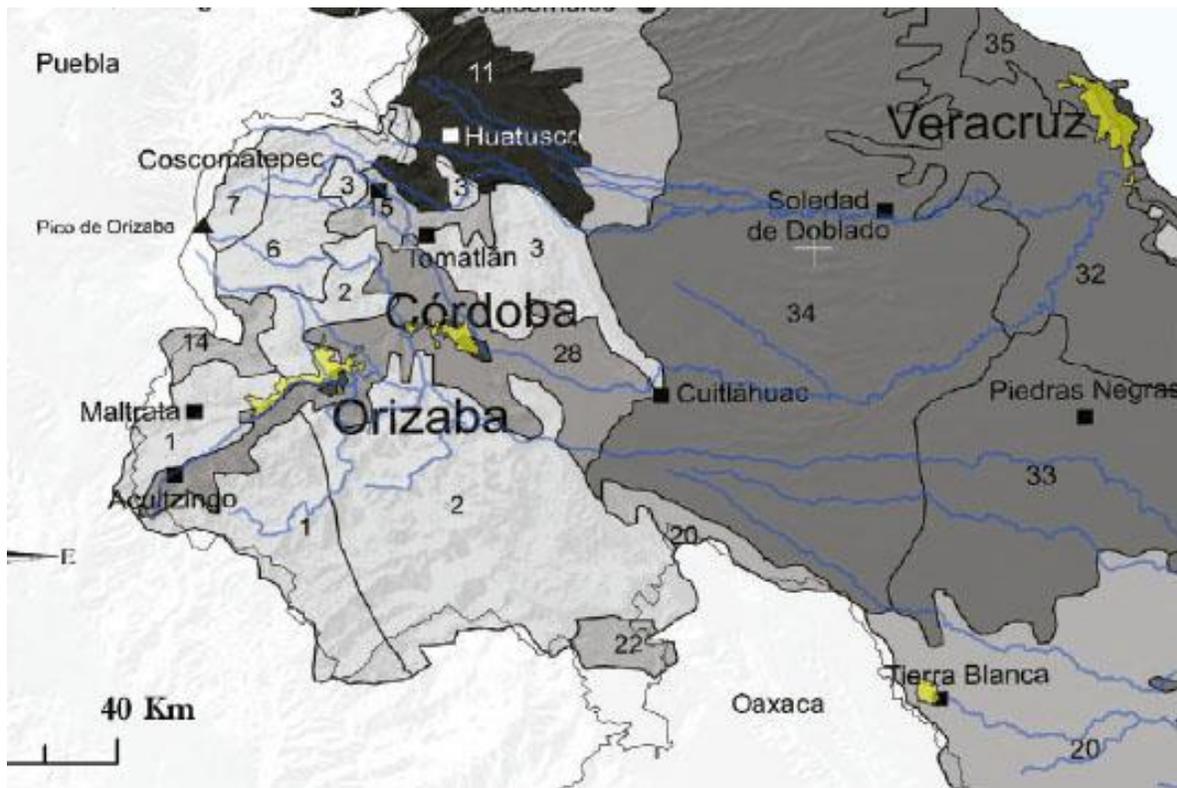
De las zonas montañosas, la más extensa corresponde a la sierra Pico de Orizaba–Cofre de Perote, que marca el límite entre las planicies costeras y el altiplano mexicano. Estas sierras pertenecen al Eje Neovolcánico, sistema montañoso que atraviesa de oeste a este la República Mexicana, y que termina en dos grandes volcanes: el Cofre de Perote o Nauhcampatépetl (4,250 msnm) y el Pico de Orizaba o Citlaltépetl, el de mayor altura en el país (5,747 msnm).

Al suroeste se erige la Sierra de Zongolica, formando el extremo nororiental de la Sierra Madre del Sur, cuyas altitudes son superiores a los 2,500 m (CONABIO, 2011).



**Figura 25 .** Región central, Veracruz.  
Reprografía CONABIO, 2011.

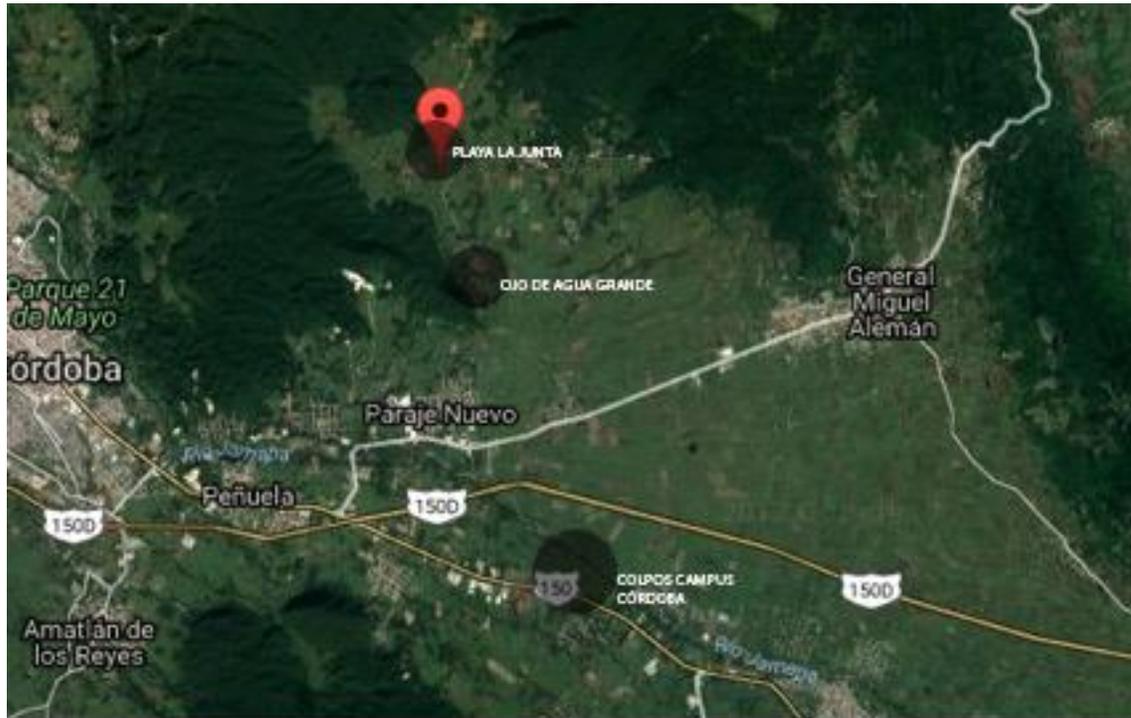
## Región de las Altas Montañas



**Figura 26.** Zona Altas Montañas.

Ubicación de la zona de las altas montañas. Reprografía CONABIO, 2011.

#### 4.1.3. Zona de estudio: Playa La Junta y Ojo de Agua Grande (California)



**Figura 27.** Ubicación de la zona de estudio.

Playa La Junta y la Comunidad Ojo de Agua Grande (California), Amatlán de los Reyes, Veracruz.

Se realizó en equipo un análisis de la zona de trabajo en la cuál se iban a desarrollar diversas propuestas de proyectos de maestría. Este acercamiento académico al territorio resultó de vital importancia para sensibilizar hacia las necesidades específicas de la región y su potencial para desarrollo futuro con proyectos de turismo rural. En base a este análisis es que se tomaron varias decisiones de diseño relevantes para el desarrollo de la investigación. Todos los mapas presentados en esta sección fueron elaborados por Gilberto González Kuk

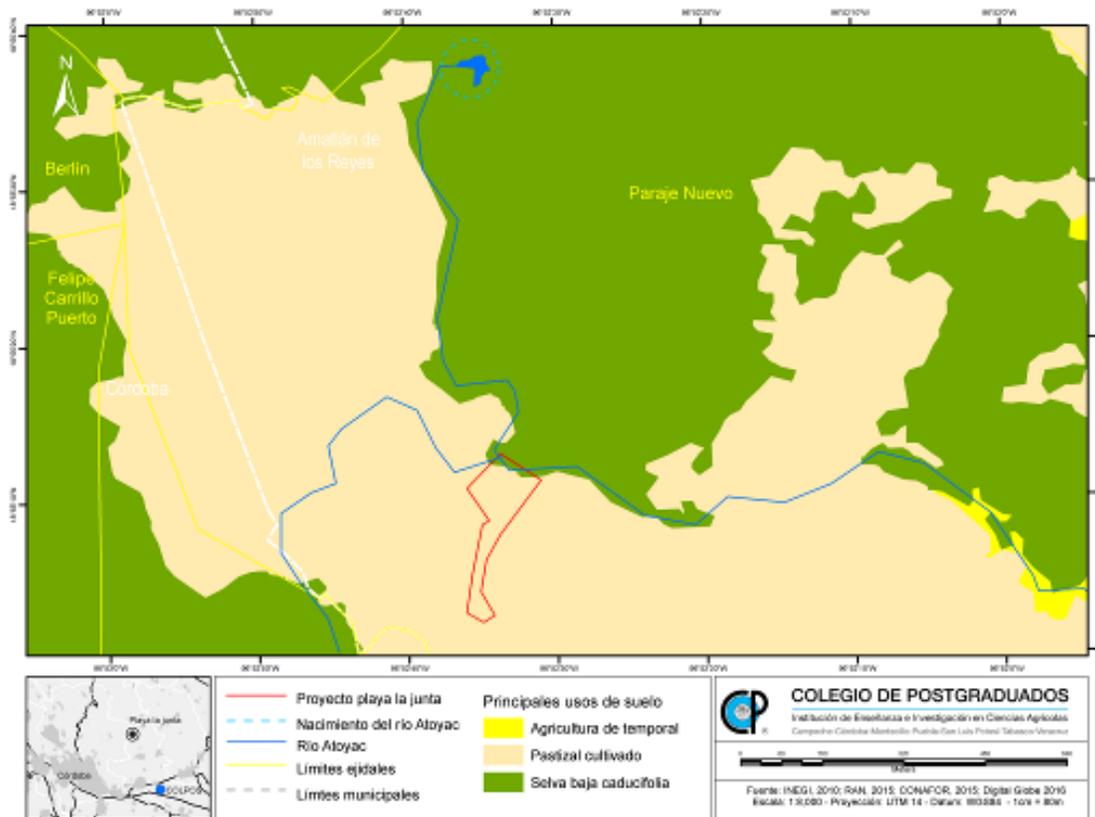
en los cuales se resume la información desarrollada por el equipo en el ejercicio académico.

La zona de estudio se encuentra al noreste de la ciudad de Córdoba, estado de Veracruz. En esta región se localizan distintos proyectos de turismo rural. El más conocido de la zona es Playa La Junta y se encuentra a 13 km del Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus Córdoba, al interior del municipio de Amatlán de los Reyes y dentro del núcleo ejidal de Paraje Nuevo, el cual se encuentra en un 70% parcelado y con escasas áreas de uso común. Los proyectos ecoturísticos y balnearios están teniendo mucho auge gracias al éxito del proyecto de Playa La Junta, aprovechando como atracción principal el nacimiento del río Atoyac, el cual abastece a diferentes poblaciones del municipio de Amatlán y atraviesa la zona de análisis. El río Atoyac funge como el principal recurso de la región, el cual no solo alimenta las poblaciones circundantes, sino que también permite la existencia de la diversidad biológica de la zona, como las diferentes especies de flora y fauna. Sin embargo, un factor de relevancia es la presencia de suelo productivo extensivo en la zona, lo cual lo convierte en un factor de riesgo para la consideración en la permanencia del proyecto.

#### Unidades climáticas

Se presentan dos unidades climáticas en la zona, las cuales son un parteaguas para la subsistencia de la vegetación y la fauna que la habita. Estas unidades son un clima cálido húmedo y un clima semicálido húmedo, ambos climas conforman

una zona de transición climática la cual es condicionada por el relieve y genera microclimas al interior de la zona de selva (CONABIO, 2011).



**Figura 28.** Usos de suelo.

### Usos de suelo y vegetación

La vegetación local más relevante se subdivide en tres tipos, de acuerdo al estudio generado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) en 2012 denominado Inventario Nacional Forestal. Estos son: Pastizales cultivados, agricultura de temporal y la selva baja caducifolia.

### Pastizal cultivado

Es el que se ha introducido intencionalmente en una región y para su establecimiento y conservación se realizan algunas labores de cultivo y manejo. Son pastos originarios de diferentes partes del mundo como: *Digitaria decumbens* (zacate pangola), *Pennisetum ciliaris* (zacate buffel), *Panicum maximum* (zacate Guinea o privilegio), *Panicum purpurascens* (zacate pará), entre otras muchas especies. Estos pastizales son los que generalmente forman los llamados potreros en zonas tropicales, por lo general con buenos coeficientes de agostadero (Relación área-unidad animal, adecuada para mantener una explotación ganadera en forma económica y productiva permanente) (CONAFOR, 2012).

### Agricultura de temporal

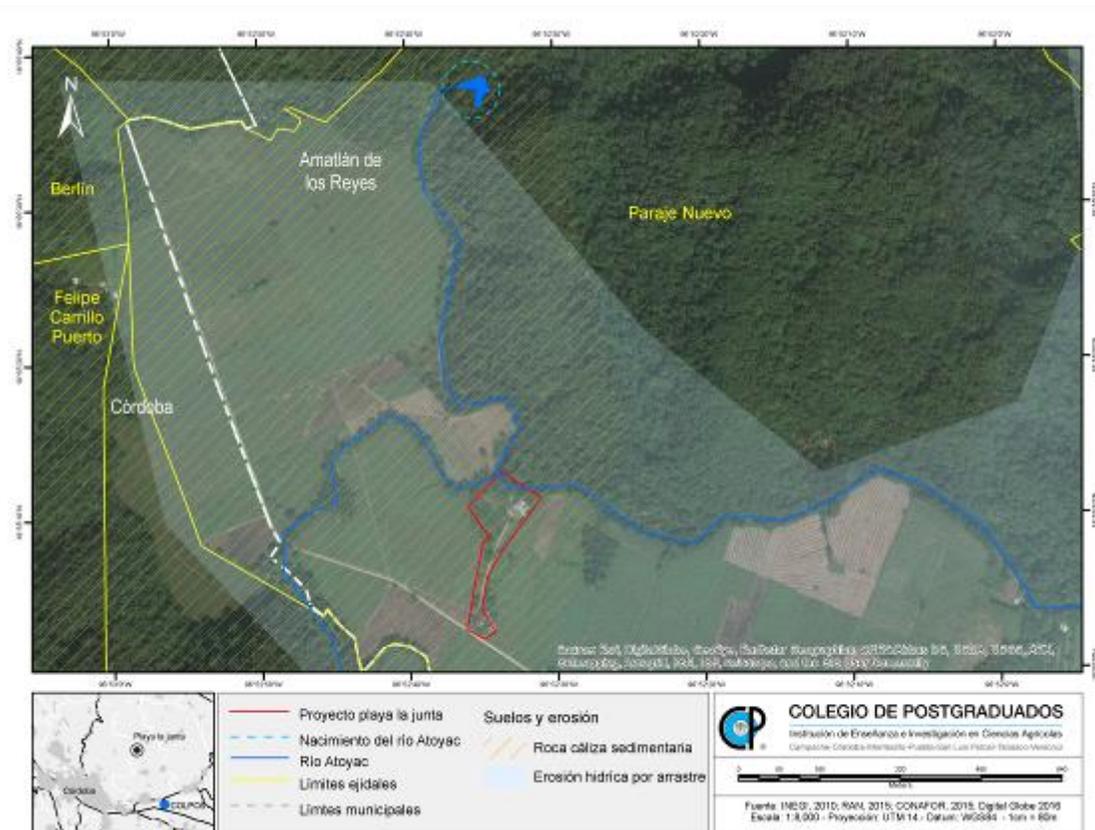
Son los diferentes sistemas manejados por el hombre y que constituyen una cubierta de vegetación; la agricultura podrá ser permanente o nómada, de acuerdo al tiempo de ocupación del terreno, mientras que por el tiempo de duración del cultivo y la disponibilidad de agua podrá clasificarse en temporal, de riego o de humedad. Para el caso de la zona de estudio, gran parte de las áreas de cultivo aledañas están sujetas a una agricultura de humedad y el río Atoyac provee el agua necesaria para la producción de los diferentes cultivos, los cuales son: caña de azúcar, café, plátano, etc. Aunque también existen cultivos a temporales, como el maíz que están sujetos a lluvias y riego (dependiendo de la especie) (CONAFOR, 2012).

## Selva baja caducifolia

Se desarrolla en condiciones climáticas en donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos. El más común es Aw, aunque también se presenta Bs y Cw. El promedio de temperaturas anuales es superior a 20° C. Las precipitaciones anuales son de 1,200 mm como máximo, teniendo como mínimo a los 600 mm con una temporada seca bien marcada, que puede durar hasta 7 u 8 meses y que es muy severa. Desde el nivel del mar hasta unos 1,700 m, rara vez hasta 1,900 se le encuentra a este tipo de selva, principalmente sobre laderas de cerros con suelos de buen drenaje. Esta selva presenta corta altura de sus componentes arbóreos normalmente de 4 a 10 m. El estrato herbáceo es bastante reducido y sólo se puede apreciar después de que ha empezado claramente la época de lluvias y retoñan o germinan las especies herbáceas (CONAFOR, 2012).

## Alteración del paisaje

Existen dos factores de gran relevancia en las alteraciones dadas al paisaje, las cuales pueden afectar a largo plazo las condiciones de la zona de estudio: la erosión hídrica y los escurrimientos (corrientes alimentadoras). Algunas alteraciones benéficas del paisaje a corto plazo que se pueden considerar: otorgar capacitaciones para el manejo adecuado de residuos para evitar que estos pueden terminar en el río y ocasionar que éste se contamine (SEMARNAT, 2012).

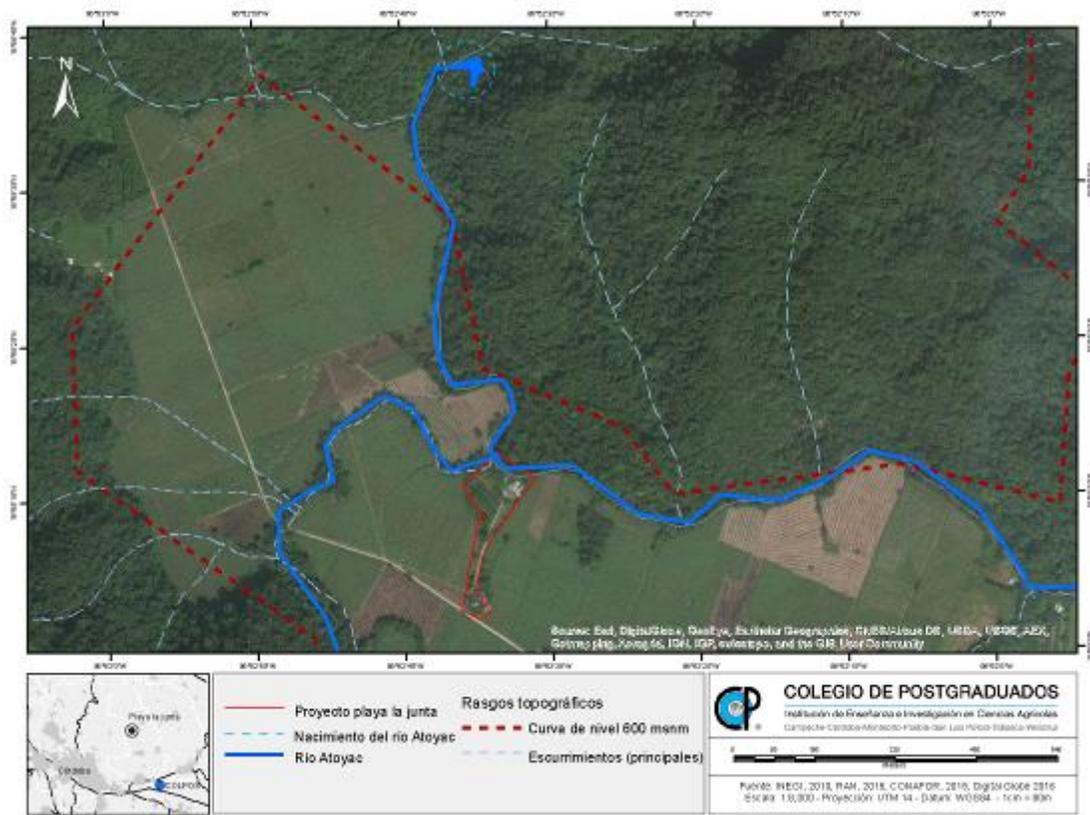


**Figura 29.** Suelos y erosión.

### Erosión hídrica

Ésta se presenta por el proceso de deslave o sustracción de suelo y roca ocasionados por el flujo de agua que circula de manera constante en una determinada superficie. A largo plazo puede provocar un desgaste de la superficie sólida y provocar diferentes procesos de acumulación de masa o suelo en determinadas zonas y deslaves en otras, así como la necesidad de desazolve del río. De igual manera el clima (precipitaciones y humedad) y la topografía de la región juegan un papel importante para este tipo de erosión. Aunque a

consideración es la presencia de suelo calizo en la zona, compuesto por diferentes tipos de sales y minerales, así como de materiales arcillosos y rocosos, lo cual evita una rápida erosión (SEMARNAT, 2012).

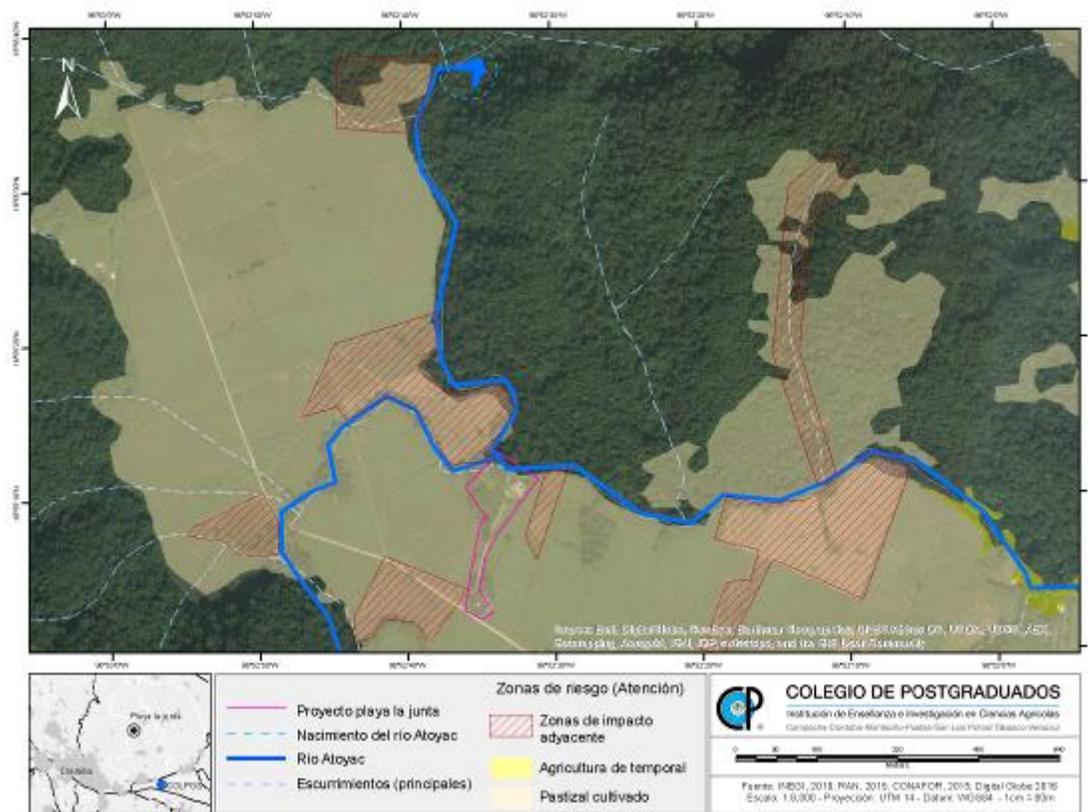


**Figura 30.** Rasgos topográficos.

### Predicciones y transformaciones

La zona de estudio cuenta con un plan maestro a largo plazo de distintos proyectos de turismo rural que han tratado de implementarse paulatinamente. Esta una región en la cual el paisaje presenta diferentes dinámicas antrópicas, principalmente orientadas a la producción agrícola, lo cual puede fungir como un

factor de deterioro para el ambiente y la permanencia del proyecto. Sin embargo, las condicionantes ambientales también juegan un papel importante a consideración. Con base a los análisis anteriores se pueden establecer de manera general zonas de atención prioritaria (riesgo), las cuales pueden ser focos clave para evitar daños severos en el paisaje, la contaminación del río Atoyac y la degradación de la selva (SEMARNAT, 2012).



**Figura 31.** Zonas de riesgo.

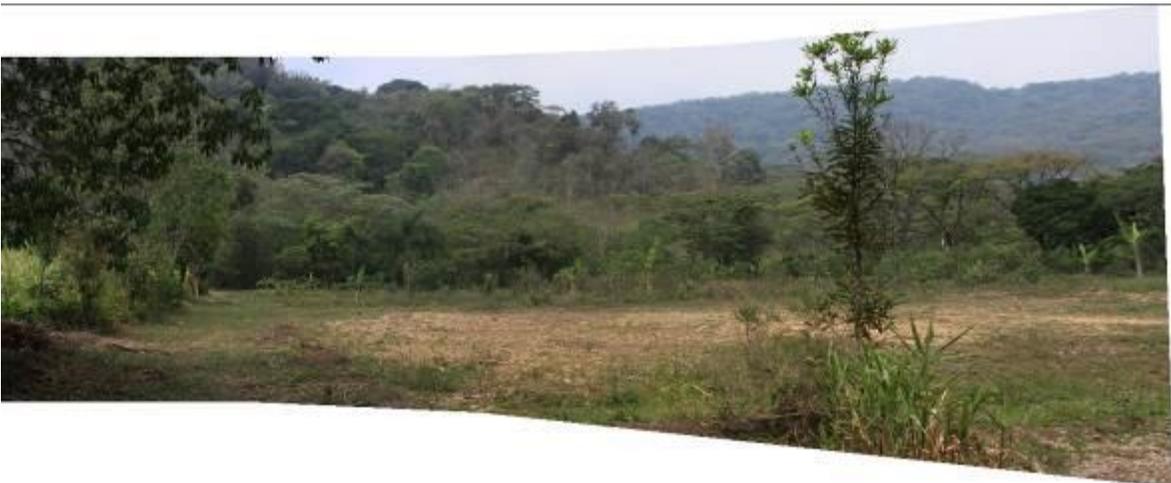
Cabe mencionar que estas diferentes zonas de riesgo están asociadas a las principales áreas de cultivo adyacentes a los distintos proyectos debido al

crecimiento del río durante la temporada de lluvias; también se prevé la introducción de las zonas de cultivo a la selva, afectando dos principales escurrimientos del río Atoyac, propiciando erosión y deslaves.

Durante el desarrollo de la presente investigación se contactó a distintos ejidatarios que estaban interesados en la construcción de estructuras con bambú. Las siguientes fotos son de los tres predios que se visitaron y analizaron como sitios con potencial para su implementación.



**Figura 32.** Predio 1. Vista preexistencias.  
Vista desde la entrada del terreno. Zona habitacional.



**Figura 33.** Predio 1. Vista del terreno y zona de intervención.



**Figura 34.** Predio 1. Vista del terreno a intervenir desde el lecho de un río.



**Figura 35.** Predio 1.

Panorámica del Predio 1 en la comunidad de Ojo de Agua Grande.

El Predio 1 es un terreno en el cual se está tratando de implementar estrategias de permacultura. Está al borde de un río de temporal y a las afueras de la comunidad. Llega inundarse la parte baja del terreno en época de lluvias.

Presenta una pendiente pronunciada. La idea del dueño es tener una cubierta que sirva de invernadero y que también proteja el meliponario (colmenas de abejas meliponas, la variedad que no tienen agujón).



**Figura 36.** Predio 2. Vista general del predio a intervenir.

El Predio 2 es un terreno en el cual ya existen construcciones previas. La forma del espacio a intervenir es irregular. Está en medio de la comunidad y al borde de un canal de desagüe de la calle principal. Cuenta con una casa principal y un taller en el cual se fabrican muebles con bambú. La idea del dueño es construir una cubierta para poner un restaurante. No cuenta con un plan de negocios o ideas claras respecto al tipo de giro del restaurante.



**Figura 37.** Predio 2. Vista de la fachada principal.



**Figura 38.** Predio 2. Vista de la fachada lateral.



**Figura 39.** Predio 3. Vista del estanque de producción de peces.



**Figura 40.** Predio 3. Panorámica desde la zona más alta del terreno.

En un día despejado se ve hasta la costa.



**Figura 41.** Predio 3. Ladera de la montaña.

Este predio se ubica en una municipalidad distinta, con otro tipo de clima y de suelo. Está al pie de una montaña y presenta una superficie muy accidentada. Consta de 6.5 hectáreas, son tierras de temporal y se dedican a la producción de

frutales para venta local y autoconsumo. El dueño quiere aprovechar las vistas privilegiadas hacia la costa que tiene su terreno y quiere implementar un proyecto de turismo rural. Su idea es desarrollar un hotel ecoturístico y ofrecer, al mismo tiempo, una zona techada para eventos o reuniones.

Por razones de presupuesto, ninguna de estas propuestas específicas de cubierta se desarrolló para construirse, pero las necesidades y los requerimientos de los dueños sirvieron de base para el desarrollo de la propuesta final. Se tomó en cuenta el tipo de terreno: llano, agreste y con preexistencias construidas; el cambio de clima y las aspiraciones de cada dueño para poder llegar a un producto final versátil, que se pueda adaptar a cualquier actividad económica que se desee, barata, con materiales locales y mano de obra no especializada.

#### 4.1.4. El contexto cultural

La interacción a lo largo del tiempo entre el hombre, la naturaleza y el contexto físico dan como resultado paisajes con patrimonio cultural. Refleja la relación estrecha que existe entre el desarrollo de sociedades y su medio ambiente. Estos son aspectos prioritarios de conservación, preservación y desarrollo. La implementación de proyectos económicos que buscan explotar los recursos locales debe integrar los valores materiales e intangibles de la región. Se debe respetar el carácter histórico del paisaje. En muchas sociedades, el paisaje está íntimamente relacionado con los territorios urbanos cercanos, influyendo estos en las actividades económicas de las comunidades rurales (Besse, 2006). Esto

implica el establecimiento de vínculos con el contexto construido de las ciudades, los municipios y las comunidades.

El desarrollo sostenible de regiones y localidades con actividades económicas, ecológicas y su respectiva integración del paisaje con valores culturales requiere de un entendimiento profundo de las relaciones de todos estos aspectos en el tiempo, y más si se pretende la conservación de paisajes donde los valores sociales, culturales y estéticos estén presentes.

En este contexto de búsqueda de un equilibrio entre los aspectos pasados y las problemáticas contemporáneas es que se trata de desarrollar proyectos integrales de turismo rural que impacten benéficamente a la sociedad y al territorio evitando las malas prácticas del turismo masivo.

Existen muchas definiciones del concepto de turismo rural, pero la más aceptada a nivel internacional es la siguiente: “las actividades turísticas que se realizan en el espacio rural y que tienen como fin interactuar con la vida rural, conocer las tradiciones y la forma de vivir de la gente y los atractivos de la zona” (UNWTO, 2018).

El concepto de rural o ruralidad ha sido objeto de menosprecio social en diversas culturas. Sin embargo, lo rural en la actualidad está siendo revalorado por su importancia en la riqueza cultural de una sociedad. Por lo general, se define en términos de áreas en donde predominan los usos de suelo extensivos, existen asentamientos pequeños (los cuales presentan una estrecha relación entre la construcción y el paisaje extenso) y se crean formas de vida caracterizadas por una identidad basada en las cualidades o atributos del medio natural.

En la búsqueda de la sociedad moderna por implementar proyectos sustentables, que respeten el contexto físico, geográfico, histórico y social, es necesario ahondar en conceptos básicos para sensibilizar el desarrollo de propuestas que puedan abarcar los temas antes mencionados de la manera más profesional posible.

Para empezar, es necesario entender la percepción histórica que la gente tiene o ha tenido de un lugar y como se derivó en la cultura local, volviéndose algo único y distinto de cualquier otro sitio.

Profundizando, el vocablo cultura se remonta a un concepto latino cuya acepción implica la acción y efecto de cultivar, que también puede ser sinónimo de desarrollar, fomentar o ejercitar dotes, cualidades o facultades en el plano social, aunque para muchos estudiosos representa los valores de una sociedad, sus costumbres e instituciones. Pero el término de cultura ha ido enriqueciéndose conforme las distintas ramas del conocimiento aportan sus puntos de vista, pasando de tener un enfoque etnográfico a ser la interpretación de una interpretación. La definición de cultura desarrollada por la antropología me parece muy completa: “la cultura es el flujo continuo de significados que las personas crean, combinan e intercambian. La cultura hace posible construir herencias culturales en cuyo seno adquirimos un sentido de nosotros mismos. Nos permite reconocer lazos con la familia, la comunidad, los grupos afines, las naciones y el conjunto más vasto de la humanidad” (Arizpe, 2011). Los puntos que toca esta definición son de suma importancia puesto que la cultura, sea cual sea, siempre se adapta a las nuevas circunstancias, evoluciona, no está estática.

La cultura se hereda de generación en generación y uno de los objetivos principales de esta actividad es la preservación del conocimiento desarrollado anteriormente. A esto se le conoce como patrimonio. El concepto proviene del vocablo latín *patrimonium* y se refiere a todo aquello que viene de los padres, también es el conjunto de pertenencias o bienes que posee una persona. Aunque por lo general también puede asociarse con el término de herencia, el cual se relaciona con el traspaso de estos bienes a generaciones futuras, ya sea de cosas materiales o elementos intangibles, abstractos o espirituales (Arista-González y Ortiz, 2010).

Existe un aspecto de suma importancia en entender el concepto de patrimonio y es que es un activo de gran valor que transcurre del pasado al futuro ligando y relacionando distintas generaciones (Ballart-Hernández y Tresserras, 2014).

Las distintas disciplinas académicas que estudian el patrimonio son las siguientes: patrimonio histórico-artístico; patrimonio construido y patrimonio arqueológico; patrimonio natural y pasaje cultural; patrimonio etnológico, antropológico o etnográfico y patrimonio inmaterial; patrimonio documental y bibliográfico (González-Varas, 2015).

El patrimonio cultural consiste en un legado, una herencia que recibimos y que nos corresponde reconocerla y conservarla, en especial porque sirve para construir nuestra historia como individuos o como comunidad o sociedad. Pero también implica la selección crítica de los elementos culturales: todo aquello que se desea conservar, valorar o reconocer de la cultura.

Como se puede apreciar, el término de patrimonio cultural es de suma importancia para cualquier comunidad porque le otorga una identidad, un valor especial a su existencia dentro de un contexto geográfico y temporal. Debido a la profunda conexión que existe entre naturaleza y cultura, se están realizando esfuerzos por preservar la biodiversidad mundial del deterioro y la explotación comercial de los recursos naturales con el fin de asegurar una gestión armónica del territorio y así preservar el patrimonio natural (González-Varas, 2015). Es por eso que se visualiza al turismo rural como una alternativa de actividades económicas y de preservación que, bien manejadas, pueden dar pingües beneficios.

#### 4.1.5. El contexto socio-económico de la zona de estudio

La sociedad veracruzana del siglo XXI está en un proceso de reorganización social como consecuencia de las dinámicas de liberalización económica que afectan al país en general. La población se ha empezado a redistribuir en el territorio. A finales del siglo XX y en los inicios del XXI, ha habido una disminución del crecimiento demográfico, la cual se asocia a los flujos migratorios de las comunidades hacia las zonas urbanas de distintos estados o a Estados Unidos. Esto ha tenido como consecuencia que algunas regiones de Veracruz se hayan detenido en su crecimiento mientras que la zona centro del estado (Xalapa, Córdoba, Orizaba y Veracruz) todavía experimentan un crecimiento debido a esos flujos migratorios. La población rural que no encuentra una ocupación productiva en el medio agrícola se ve obligada a trasladarse hacia las zonas urbanas en busca de un ingreso económico estable. Estos procesos migratorios generalmente

empiezan con los hombres que van a buscar trabajo, dejando a mujeres, niños y ancianos en las comunidades. Esta población también está tratando de buscar actividades económicas rentables. La mayor parte de los proyectos de turismo rural que se han implementado en el estado tienen como fuerza laboral a las mujeres. Y la forma en la que se organizan para crear empresas es en núcleos familiares. Sin embargo, la carencia de oportunidades de trabajo ha causado un aumento en la pobreza y, en consecuencia, un aumento en los procesos de emigración.

A lo largo de las últimas décadas Veracruz se ha acabado con sus recursos forestales y cuerpos de agua por el poco cuidado y la mala administración. Sumándole a estas problemáticas las prácticas corruptas de los gobernantes en turno, la situación económica del estado está en una situación crítica.

Veracruz cuenta con la posibilidad de revertir los severos procesos de deterioro y vulnerabilidad que enfrenta gracias a su posición geográfica estratégica y a la gran diversidad de ecosistemas y recursos naturales con los que todavía cuenta. Para acelerar este proceso buscando la sustentabilidad, es fundamental el reordenamiento territorial y la incorporación productiva de las poblaciones que históricamente han sido marginadas, en especial las del sector rural para poder incluirlas en un proceso de desarrollo social integral (CONABIO, 2011).

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Diseño de un cascarón reticular con bambú para contextos rurales

Se diseñó una estructura de crecimiento modular que pudiera adaptarse a posibles escenarios futuros de uso según las necesidades de cada negocio. El diseño contempla un módulo base que puede ser replicado cuantas veces sea necesario y en distintos tipos de terrenos.

El material elegido para el proyecto es el bambú de la especie *Phyllostachys bambusoide*, la cual crece en muchas zonas climáticas del planeta, lo que amplía la posibilidad de que el proyecto se replique en diferentes partes del mundo con resultados positivos y sostenibles. Este material estructural ha sido ampliamente estudiado por sus múltiples beneficios en diversas áreas, tanto humanas (cadena productiva) como ambientales (ventajas ecológicas como la alta absorción de CO<sub>2</sub>, la infiltración de agua de lluvia en el subsuelo, la reforestación, etc.) (Rockwood, 2014). Seleccionar una especie de bambú para la construcción depende de múltiples factores, pero en general, las variedades producidas localmente se eligen para reducir los costos. Existen numerosas especies de bambú que se utilizan en todo el mundo en la construcción; algunos han sido equiparados con el acero debido a sus propiedades estructurales. Sin embargo, uno de los mayores desafíos para calcular estructuras con este material es determinar las características mecánicas de cada especie. La especie elegida para esta investigación es *Phyllostachys bambusoide* (comúnmente llamada madake), que se cosecha en la zona central de México, específicamente en la

región de Huatusco, Veracruz. La razón principal detrás de esta decisión es su capacidad para doblarse por calor sin romperse, una característica que solo unas pocas especies de bambú tienen. Esto es fundamental para la fabricación de arcos estructurales.

De acuerdo a los resultados de la investigación realizada por el Laboratorio de Estructuras de la UNAM en 2009 (Casares-Cortina y Hernández-Rodríguez, 2011) referente a determinar los esfuerzos de diseño de bambú con esta especie, los datos obtenidos de pruebas de laboratorio para las muestras procedentes de Huatusco, Veracruz son los siguientes:

Esfuerzo a tensión=  $475.33 \text{ kgf/cm}^2$

Esfuerzo a compresión=  $567 \text{ kgf/cm}^2$

Esfuerzo cortante=  $200 \text{ kgf/cm}^2$

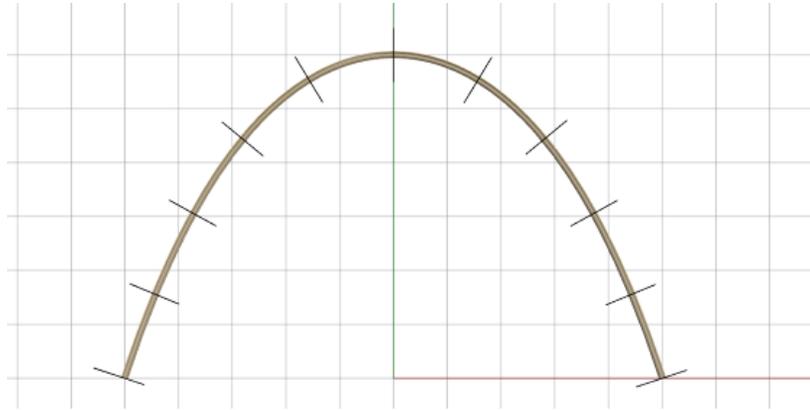
Módulo elástico= 80,000

Módulo de Poisson= 0.4

Módulo de densidad=  $0.62 \text{ g/cm}^3$

Existen algunas normas de construcción con bambú en América Latina. Sobre el tema, Colombia y Perú tienen documentos relevantes. Infortunadamente, hasta ahora no hay regulación de la construcción con este material en México y ninguno de los existentes se refiere al proceso de curvado de bambú y sus características estructurales durante y después del tratamiento. El bambú es un material leñoso similar a la madera (está hecho de los mismos componentes químicos, y aproximadamente en las mismas proporciones: 50-70% de celulosa, 20-30% de hemicelulosa y 20-30% de lignina, dependiendo de la especie) (Schott, 2006). En la mayoría de los casos, solo la mitad inferior o el primer tercio del culmo del

bambú se utiliza para propósitos estructurales de transmisión de carga en construcciones, lo que se traduce aproximadamente en secciones de 6 m de largo (Minke, 2012). Con la mayoría de las especies de bambú, los culmos son prácticamente rígidos y no se pueden curvar de forma natural. Por lo tanto, se utilizan diferentes técnicas para obtener la forma deseada. Los diferentes procesos para lograr la curvatura final del bambú y su aplicación dependerán del contexto geográfico y social en el que se levanta la construcción, así como del resultado estético que se desea obtener. Los procesos más relevantes para doblar son: a) doblado en caliente (por inmersión en agua caliente para luego depositar el bambú en un molde con la curva deseada y esperar a que se seque para adoptar la geometría impuesta, por combustión con una antorcha y llenar el taller con arena para evitar carbonizar la superficie, transmitiendo calor uniformemente); b) flexión en frío (por muescas a lo largo del culmo y por haces de tiras de bambú) (Maurina, 2015). El proceso de doblado de bambú es muy artesanal con poco o ningún control de todas las variables. Es un proceso de prueba y error donde la experiencia del artesano es el activo más valioso que selecciona los tallos más adecuados y cómo doblarlos hasta obtener la forma deseada.



**Figura 42.** Esquema del arco tipo de bambú.

La curvatura del arco tipo está basada en la geometría de la catenaria para una transmisión de cargas eficiente. La catenaria es la curva que se genera cuando se cuelga una cadena de sus dos extremos. De esta forma la cadena trabaja a tensión porque la gravedad jala el peso hacia abajo. Cuando esa geometría se invierte trabaja a compresión pura, transmitiendo el peso de la estructura de forma continua. Las líneas de corte son perpendiculares a la curva para facilitar el proceso constructivo y garantizar la continuidad de la transmisión de cargas. Cortes rectos para abaratar costos mediante procesos de construcción simples.



**Figura 43.** Curvado del bambú con soplete.

Proceso artesanal de curvado de bambú con soplete. El proceso requiere mucho conocimiento y control por parte del artesano (Imagen cortesía del Laboratorio de Estructuras, UNAM).



**Figura 44.** Arcos de bambú armados.

Arcos de bambú a base de segmentos utilizados en el pabellón de la UNAM.

Detalle estructural de unión de segmentos de arco (la pieza de unión entre los segmentos de arco es un niple de *Dendrocalamus strictus* y pernos de acero de 1/4") (Imagen cortesía del Laboratorio de Estructuras, UNAM).

#### 5.1.2. Geometría, fundamento matemático y proceso de diseño

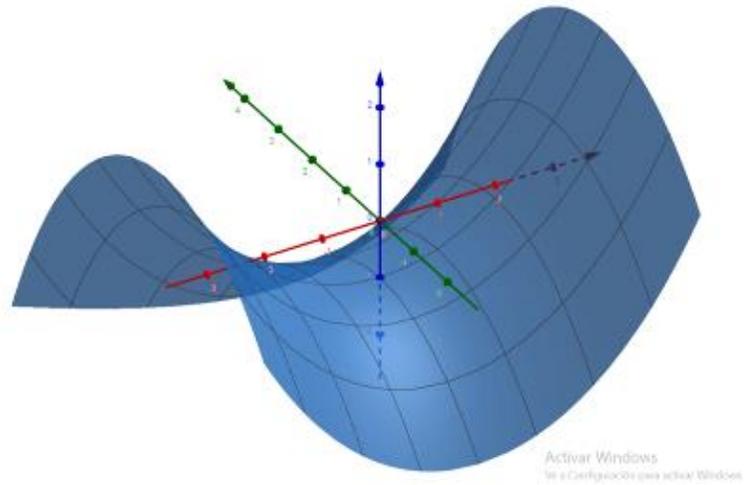
La mayoría de los cascarones reticulares diseñados y construidos en la actualidad requieren un método complejo de diseño, cálculo, preparación y ensamblaje que solo están disponibles para los especialistas, al contrario del contexto rural donde no hay mano de obra especializada y los recursos para los nuevos proyectos son muy limitados. El objetivo de esta investigación es proponer una metodología de

diseño que esté disponible para el público en general, buscando aprovechar al máximo las múltiples ventajas estructurales que ofrecen los cascarones reticulares para resolver problemas constructivos de manera rápida, económica y eficiente con bambú.

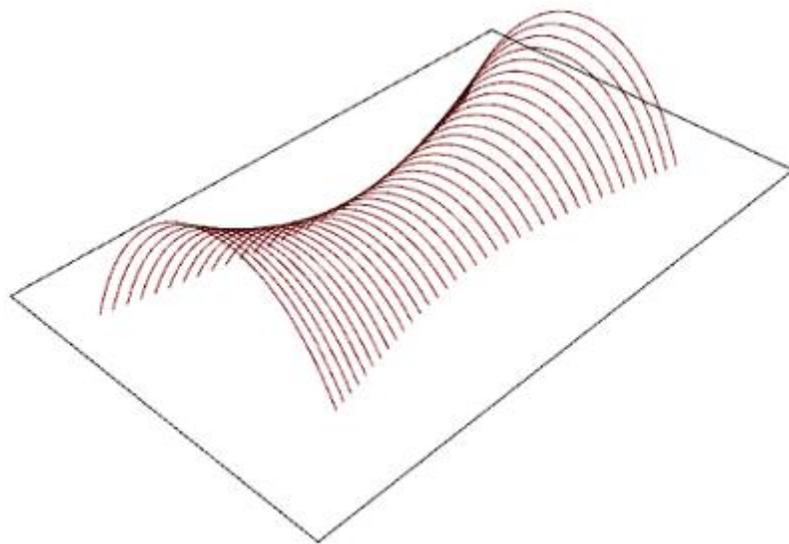
### 5.1.3. Metodología utilizada para obtener el catenaroides de doble curvatura

Se eligió una superficie de doble curvatura ya que, debido a su geometría, las características de resistencia estructural aumentan considerablemente. El método aplicado por Carolina Carmona-Aparicio, del trabajo desarrollado en su tesis (Carmona-Aparicio, 2008), logra un paraboloides hiperbólico. Se cambió la definición de la parábola a la de una catenaria para que la geometría de la estructura trabaje a solo a compresión. Una vez que la descripción geométrica se adaptó a los objetivos de esta investigación, se creó una sucesión de catenarias y, posteriormente, se rotó sobre un eje central. Esa secuencia se duplicó, y el mismo ángulo se volvió en la dirección opuesta. Finalmente, al cortar por planos, se definieron los bordes geométricos de la propuesta. La fórmula utilizada para obtener la geometría es la siguiente:

$$z = \left( 2.73318 * \cosh \frac{x}{2.73318} \right) 5 \text{sen}(y)$$

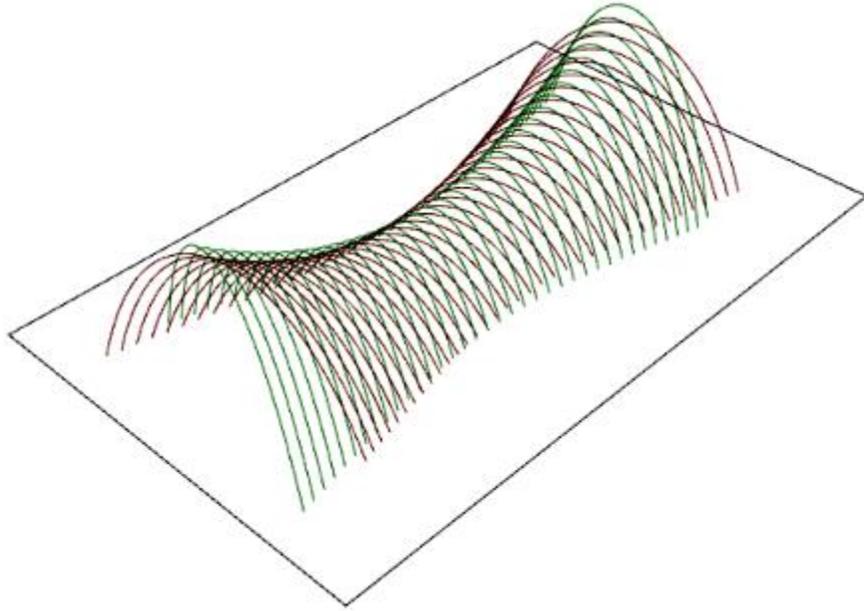


**Figura 45.** Definición gráfica del catenaroides obtenida a partir de la fórmula matemática.

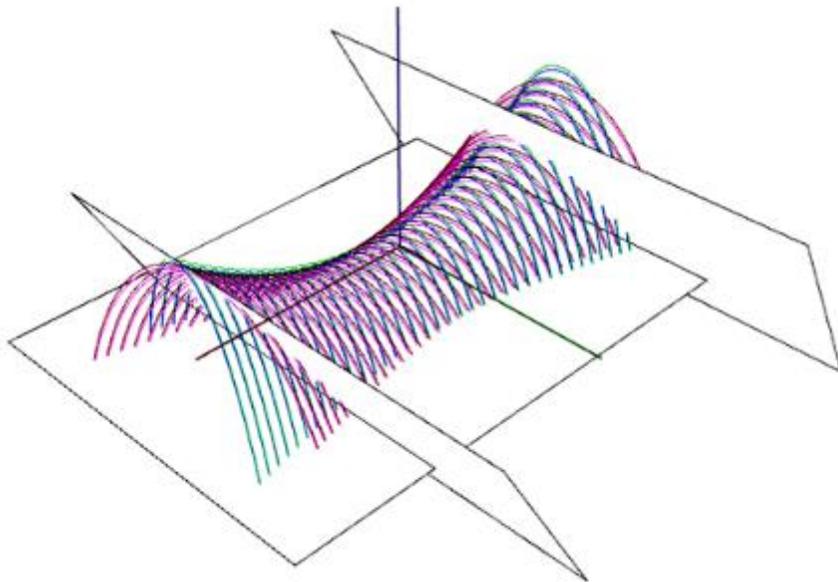


**Figura 46.** Arcos catenarios paralelos.

Cambian progresivamente de altura para obtener la doble curvatura. Siguen un eje central. Se cortan en la base con un plano.



**Figura 47.** Pares de arcos rotados sobre el eje central para generar la retícula.

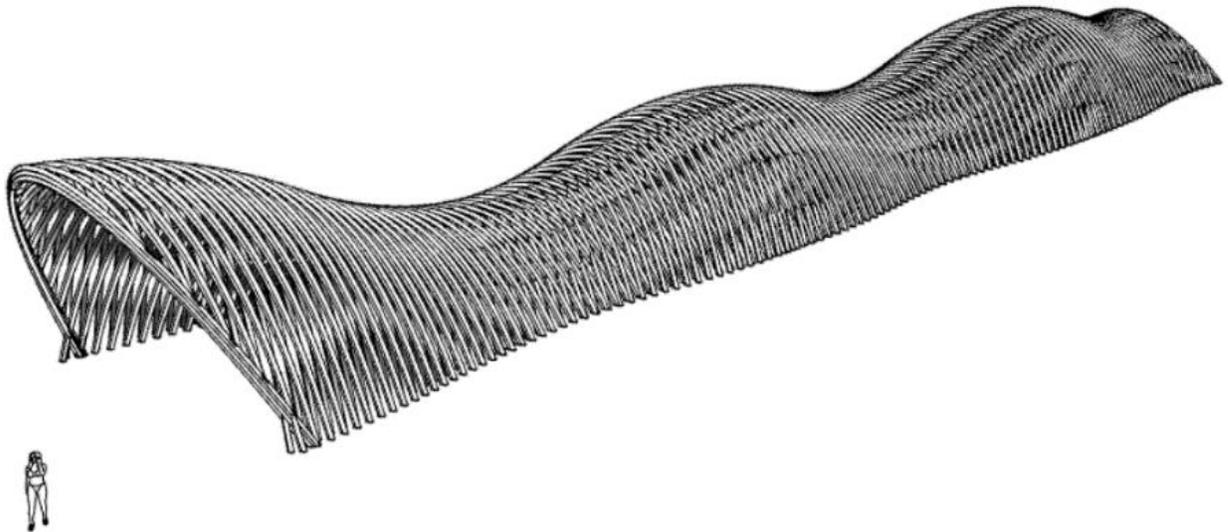


**Figura 48.** Planos de corte del catenaróide.

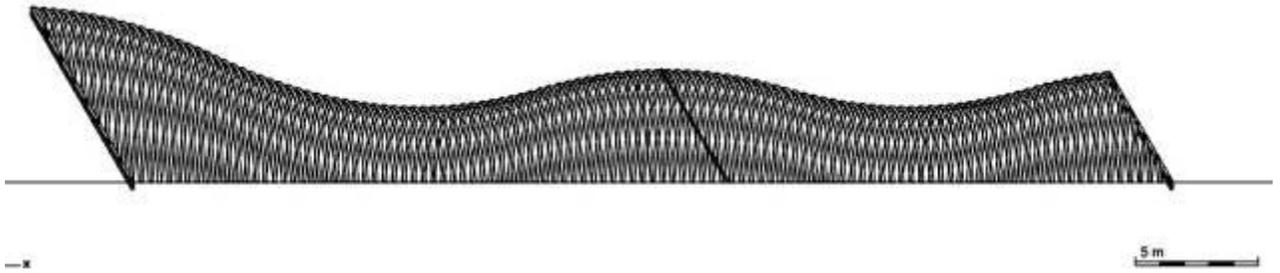
Proceso de obtención de la geometría del módulo base.

#### 5.1.4. Dimensiones, características y diseño de los módulos

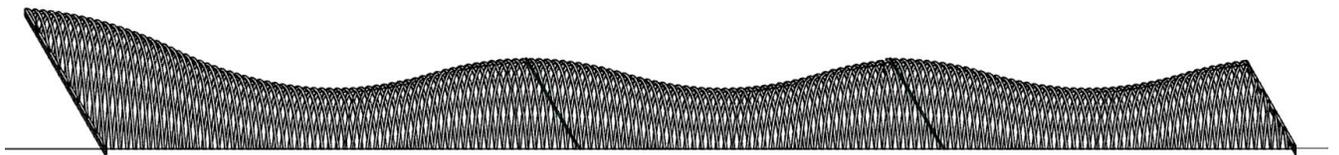
Las dimensiones establecidas para el módulo derivan de las medidas promedio de los invernaderos para poder aprovechar el interior como área de producción agrícola: 10 m de ancho con una altura de 4-5 m en el cenit. La longitud propuesta es de 20 m para tener la mayor versatilidad de uso, especialmente para actividades de producción, venta o almacenamiento. En un extremo, la altura alcanza hasta 6 m para mostrar un elemento jerárquico que indica la entrada al sistema modular. El problema principal que se debió abordar fue el número de uniones que cada estructura presenta para un funcionamiento estructural adecuado, como una malla de arcos funiculares. En este caso, los arcos dobles resultaron ser la mejor solución para aumentar la resistencia. Al cortar la red de arcos funiculares con planos, fue necesario configurar arcos de arista para garantizar la continuidad estructural en el borde de los módulos.



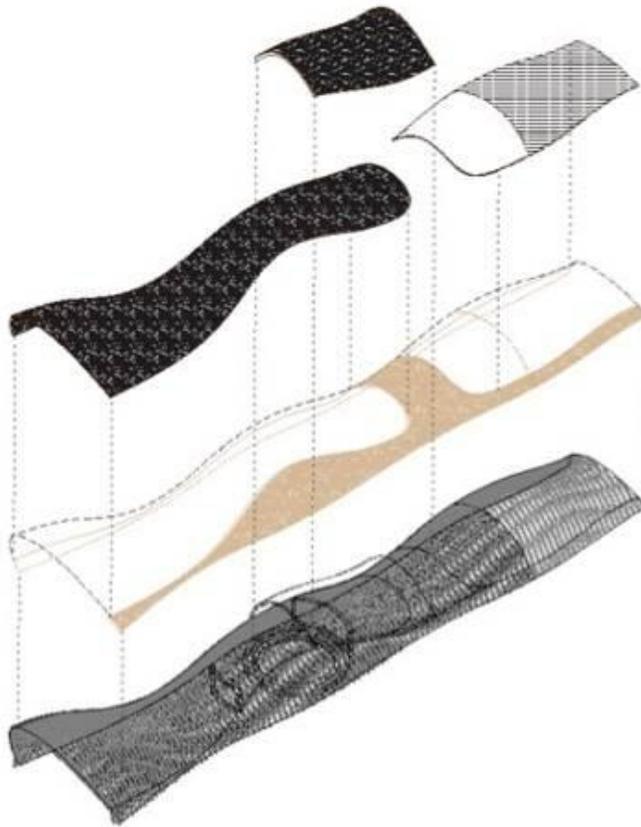
**Figura 49.** Estructura de crecimiento modular.



**Figura 50.** Vista lateral de la propuesta.



**Figura 51.** Crecimiento modular siguiendo el perfil de una curva de coseno.

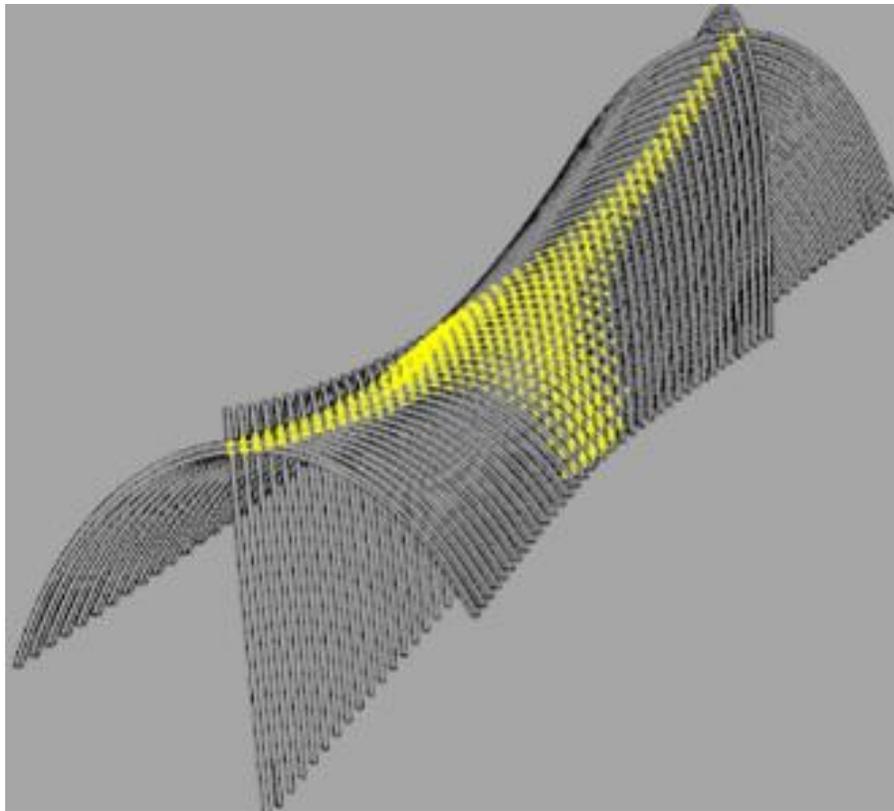


**Figura 52.** Propuesta de integración de diversos materiales de cubierta.

Cascarón reticular de bambú para la estructura, paredes perimetrales de adobe para el aislamiento térmico y acústico y cubierta vegetal como techumbre.

#### 5.1.5. Diferentes disposiciones estructurales (nodos / intersecciones)

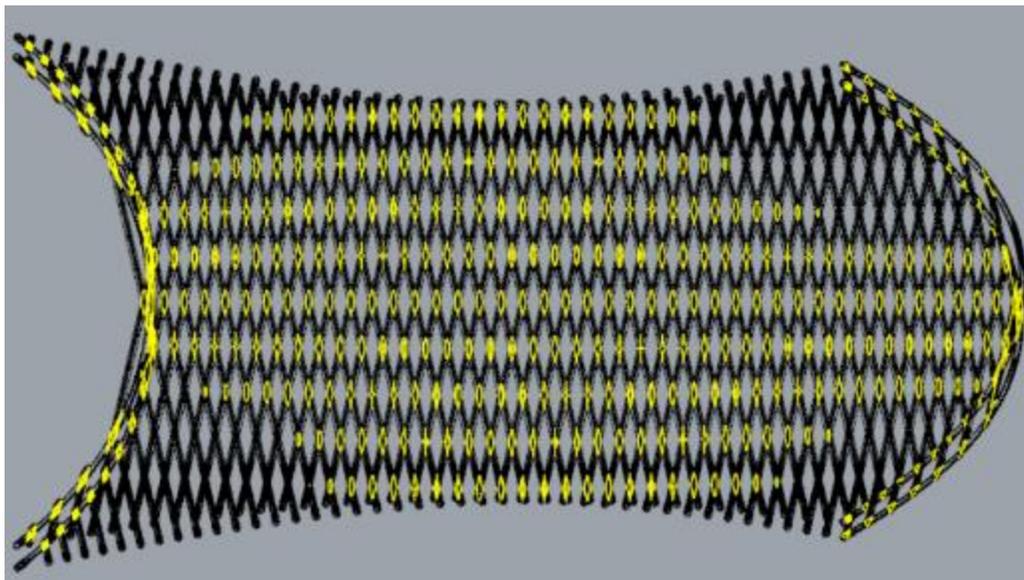
Para corroborar la versatilidad estructural de la propuesta, los cálculos geométricos se realizaron con diferentes disposiciones de los arcos del funicular. Un problema de diseño crítico fue demostrar el número de uniones en toda la geometría con el fin de analizar el comportamiento estructural. En primera imagen, los arcos del funicular están a  $45^\circ$ , y el número de intersecciones es mínimo. En las imágenes subsecuentes, el ángulo de rotación se redujo a  $10^\circ$ , y el número de intersecciones aumentó considerablemente.



**Figura 53.** Arcos a  $45^\circ$ .

Los arcos funiculares (catenarios) están orientados a  $45^\circ$  uno respecto del otro.

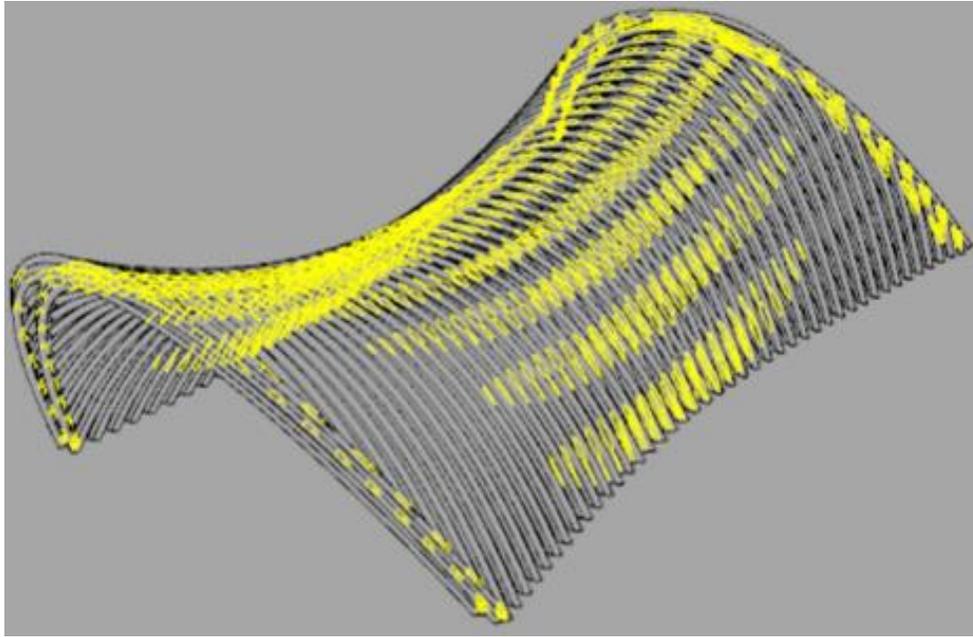
Se aprecia los pocos puntos de contacto en el arreglo estructural.



**Figura 54.** Arcos a  $10^\circ$ .

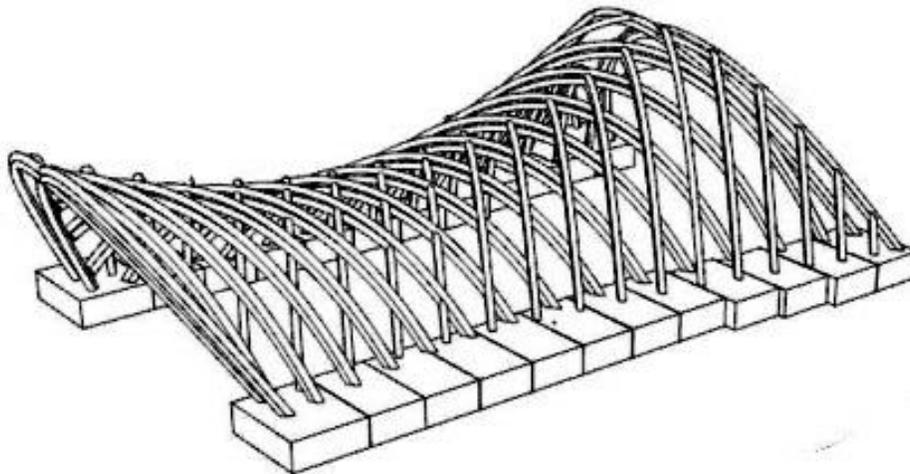
El ángulo de rotación de los arcos se redujo a  $10^\circ$ . Se aprecia el aumento del

número de intersecciones.



**Figura 55.** Concentración de nodos.

La zona de mayor concentración de intersecciones se encuentra en la sección central de la doble curvatura.

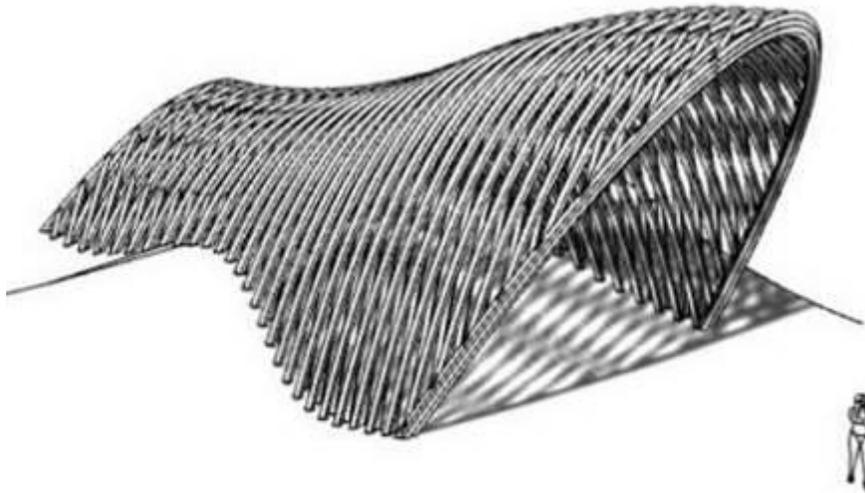


**Figura 56.** Propuesta de cimentación modular.

El módulo base con mayor espaciado entre arcos y la exploración de una propuesta de cimentación modular.

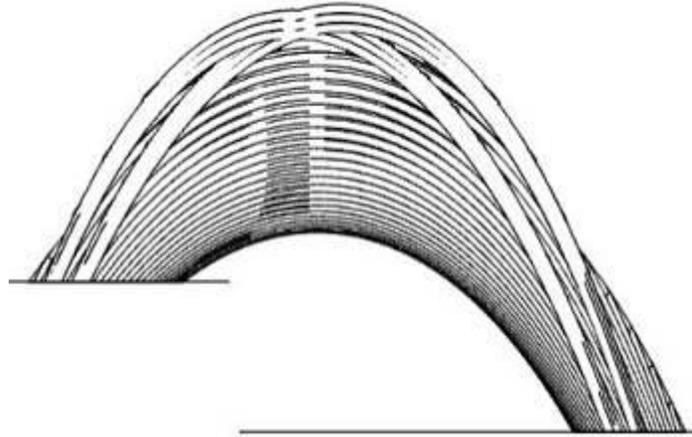
### 5.1.6. Adaptabilidad al terreno

En las áreas rurales hay regiones donde el terreno es irregular y los proyectos convencionales a menudo requieren aplanar la superficie para facilitar el proceso de construcción, aumentando el costo, la complejidad y el impacto ambiental. Tener una propuesta de paisaje no intrusivo requiere adaptarse a diferentes condiciones del terreno sin soluciones de ensamblaje complicadas. Al tener una estructura hecha de arcos independientes, cada elemento se puede adaptar a diferentes alturas sin comprometer la integridad estructural del módulo. Esta posibilidad abre oportunidades para construir conchas de rejilla de bambú en regiones montañosas donde el terreno puede presentar drásticamente cambios de altitud.



**Figura 57.** Adaptabilidad al terreno.

El terreno cambia, pero al tener una solución de arcos independientes, se puede adaptar cada elemento a alturas distintas sin comprometer la integridad estructural del módulo.



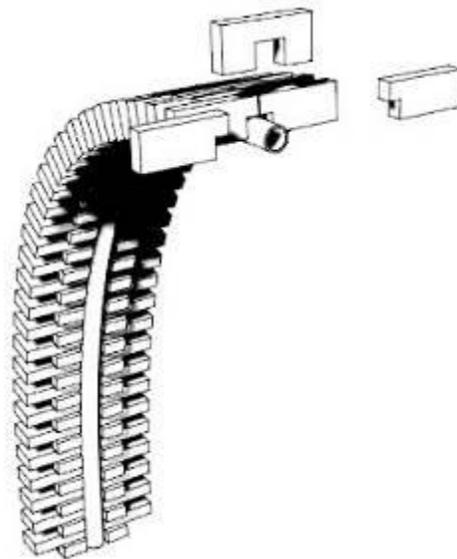
**Figura 58.** Corte transversal en terreno irregular.

Corte transversal de la estructura donde se muestra la adaptabilidad a distintas alturas de la propuesta. La propuesta está utilizando arcos dobles para mayor resistencia estructural.

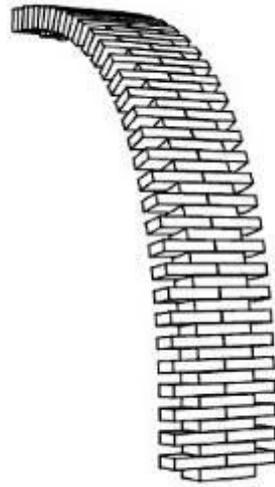
## 5.2. Opciones de materiales para techos

La elección de los materiales para techos depende de varios factores, como el clima, el presupuesto disponible y la actividad destinada a la construcción. El potencial de un sistema estructural que puede cubrirse con diferentes materiales de acuerdo con las necesidades del usuario ofrece un sistema esquelético que puede pasar de ser temporal a permanente, dependiendo de la situación económica. Es una característica deseable para la economía rural, que busca maximizar la inversión en una estructura al intentar diferentes soluciones hasta que se encuentre el mejor ajuste y se lo haga permanente. El abandono de los invernaderos en el campo es el mejor ejemplo de estructuras en desuso debido a la naturaleza no flexible de las construcciones. Algunas de las posibilidades consideradas para esta investigación son las siguientes:

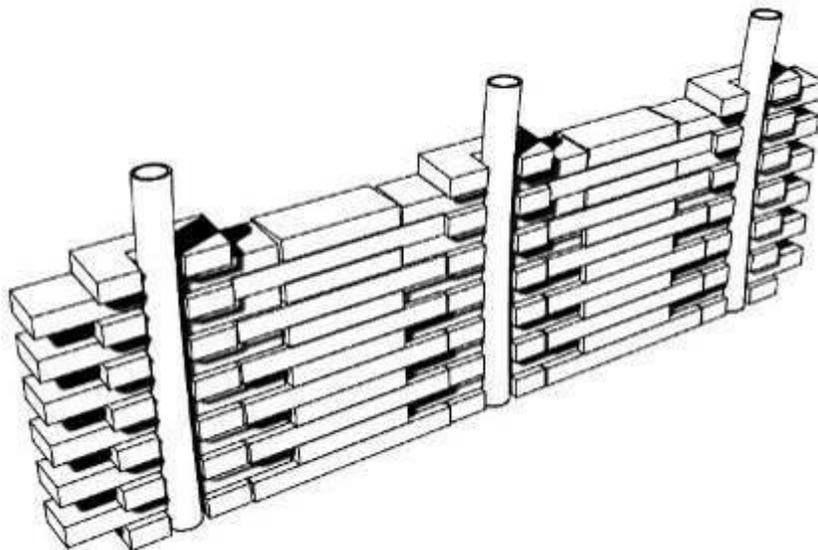
Plástico para invernaderos (recolección de alimentos): la producción de alimentos es vital para el abastecimiento de las familias o como fuente de ingresos. Ofrecer estas dos alternativas a las familias que no tienen recursos o han perdido sus activos puede acelerar el proceso de estabilidad financiera. Adobe (aislamiento térmico, privacidad, almacenamiento): algunas actividades requieren, según el contexto, un mayor aislamiento térmico, como el almacenamiento de artículos perecederos. O, en el caso de la vivienda en áreas calientes, la masa térmica de adobe puede ayudar a proporcionar frescura a sus habitantes. La propuesta retoma un sistema de construcción de bóvedas antisísmicas explorado por el Building Research Laboratory (FEB) en la Universidad de Kassel entre 1981 y 1983 (Minke, 2012). Este sistema utiliza una caña de bambú como guía para diseñar los ladrillos de adobe (Dunkelberg, 2001).



**Figura 59.** Armado de las distintas piezas de adobe.



**Figura 60.** Vista externa del arco de adobe.



**Figura 61.** Guías de bambú. Esquema de armado de la bóveda de adobe.

**Bahareque** (aislamiento térmico): este sistema de construcción sismorresistente que combina diferentes tipos de vegetación unidos con arcilla puede aprovechar la estructura de la rejilla de bambú. Es un sistema tradicional de bajo costo que no requiere mano de obra especializada. Esta solución también se puede explorar como una posibilidad de vivienda.

**Cubierta de follaje vegetal** (actividades económicas y sociales): diferentes especies de plantas pueden utilizarse como techo, según el contexto en el que se construya el módulo. Estos materiales responden más a las especies de plantas locales, siempre que se obtengan de manera responsable y controlada.

**Listones de bambú:** al seleccionar los culmos que se usarán en la construcción, se descartan las piezas irregulares. Estas secciones se pueden usar para cubrir los módulos con diferentes propósitos, agregando la posibilidad de utilizar también especies locales de bambú que no cumplen con las características estructurales deseables. Cuando se corta el bambú con el separador de bambú (*Splitter*), se obtienen elementos rectos que, ya sea al tratarse con maquinaria especializada o de forma artesanal, pueden eliminar toda curvatura, nudos e imperfecciones para que puedan utilizarse aprovechando las características flexibles del material para adaptarse a cualquier geometría. A estas piezas resultantes también se les conoce como latas.

**Cascarones reticulares de bambú como cimbra para los cascarones de concreto:** Las principales limitaciones a la hora de evaluar la construcción de una estructura de cascarón de concreto son el costo y la mano de obra altamente calificada necesaria para el proceso de encofrado (Meyer y Sheer, 2005). Además de explorar las posibilidades de los listones de bambú, existe el potencial de desarrollar un sistema de cascarones reticulares de bambú de forma activa que se utilizará como encofrado para las cáscaras de hormigón, donde los costos y las cantidades de material se pueden reducir y, al mismo tiempo, beneficiar al medio ambiente y el sector de producción forestal mediante el uso de un recurso

sostenible. El sistema de carcasa de rejilla de bambú puede explorar el tramo y la capacidad estructural aumentando la sección al agregar tantas capas de bambú como sea necesario. Esta propuesta, si es factible, tiene el potencial de reducir los costos de construcción de los caparzones de concreto, haciéndolos más accesibles para futuros proyectos arquitectónicos permanentes.



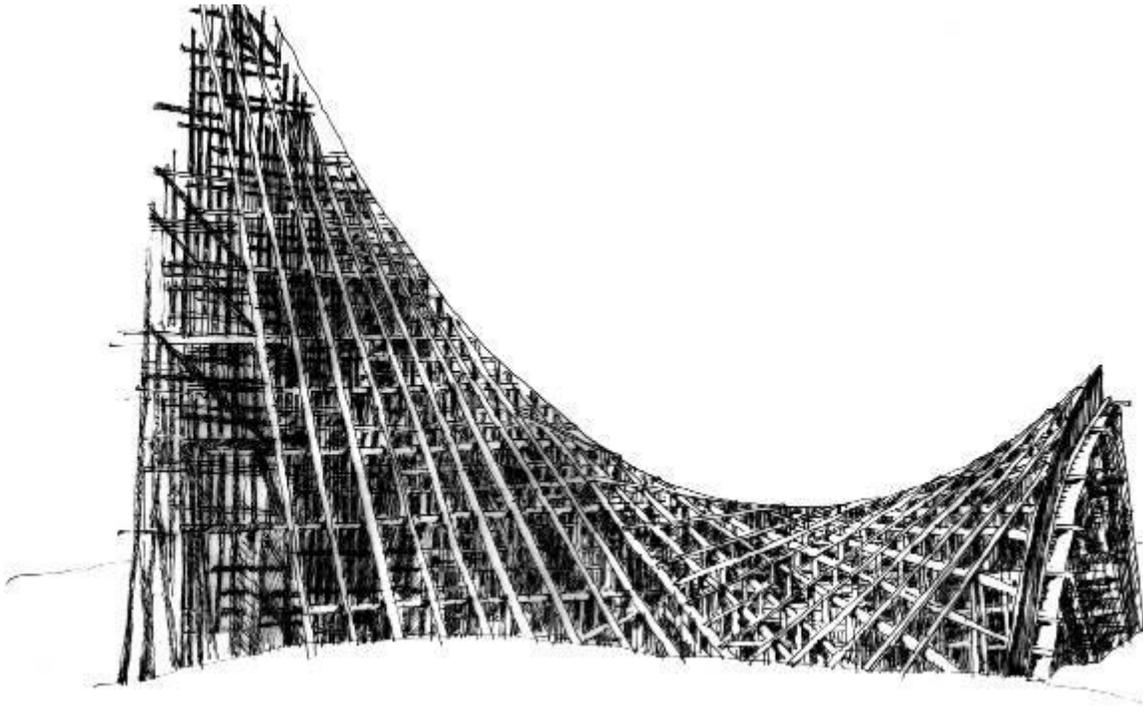
**Figura 62.** Variaciones de cubiertas.

Representación de un sistema modular con distintos materiales.

#### 5.2.1. Aplicaciones como cimbra para cascarones de concreto

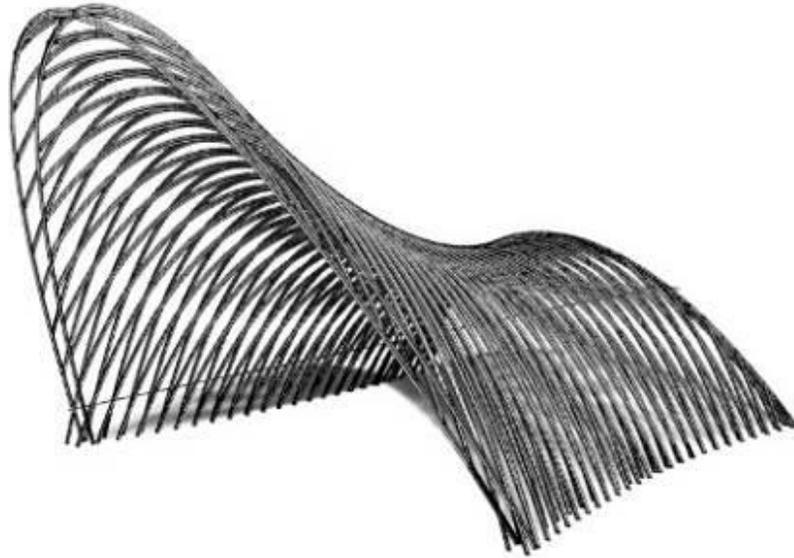
El costo y la mano de obra altamente especializada para el proceso de encofrado son la principal limitante a la hora de evaluar la edificación de una estructura de cascarón de concreto. Este sistema de cascarones reticulares de forma activa puede reducir costos y, al mismo tiempo, beneficiar al medio ambiente y al sector de producción forestal mediante el aprovechamiento de un recurso sustentable que, bien trabajado, pueda generar el mayor nivel de calidad constructiva internacional.

Se puede aprovechar la geometría del cascarón reticular de bambú para generar entradas de luz y ventilación en el diseño. Las estructuras pueden adaptarse al clima y promover la eficiencia energética además de la eficiencia estructural.



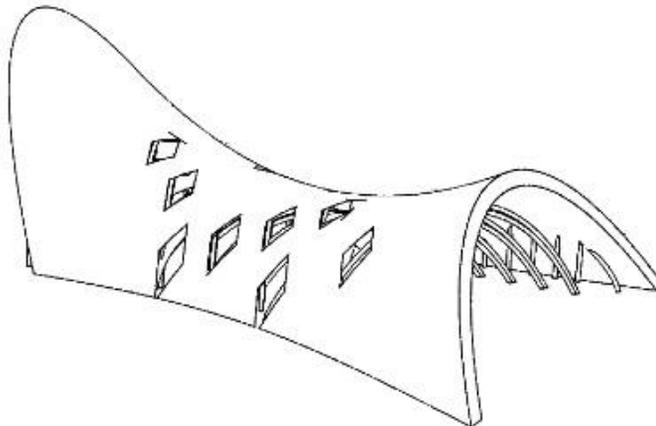
**Figura 63.** Sistema de cimbra típica de madera de los cascarones de concreto.

Uno de los constructores más famosos de cascarones de concreto, Félix Candela, utilizaba cimbra de madera en altas cantidades. Tanto la estructura que iba a aguantar el colado como la superficie en contacto con el concreto. A mediados del siglo XX esto era viable por lo barato del material y la mano de obra. Actualmente no es sustentable este método, por eso la opción de utilizar bambú como sistema de cimbra puede traer múltiples beneficios, tanto económicos como ecológicos. En la imagen se aprecia un dibujo del sistema de cimbra utilizado en la construcción de la capilla de Palmira en Cuernavaca, Morelos.



**Figura 64.** Propuesta de cimbra curva con bambú.

La estructura de la capilla, con mismas dimensiones y geometría, pero utilizando un cascarón reticular con bambú como cimbra. La reducción de material es notable.



**Figura 65.** Cascarón reticular de concreto.

Se puede aprovechar la geometría de la retícula del cascarón de bambú para diseñar vanos en el cascarón de concreto, ampliando la gama de iluminación y ventilación.

## 6. Conclusiones

De manera tradicional el uso del bambú como material de construcción se ha asociado con pobreza y atraso. Sin embargo, en la actualidad se cuenta con tecnología avanzada para el diseño y la construcción de soluciones altamente eficientes en términos estructurales y energéticos que modifican la percepción de las obras realizadas con este material. El conocimiento que se ha generado en las últimas décadas puede beneficiar en gran medida a sectores rurales marginados respetando sus tradiciones e identidad cultural al preservar y revalorar las técnicas de construcción vernácula incrementando así el atractivo de las comunidades para participar en proyectos de turismo rural.

Así mismo, el turismo rural puede ser una actividad altamente redituable que de manera práctica y eficiente contribuya a crear conciencia en el uso adecuado de los recursos naturales y al mismo tiempo fomente el intercambio y la integración entre comunidades ayudando a la preservación de su identidad cultural y, sobre todo a reducir los índices de pobreza.

El interés turístico internacional puede ser un incentivo para que se incrementen los apoyos económicos gubernamentales destinados a desarrollar proyectos sustentables y responsables socialmente; finalmente, la arquitectura es la cara pública de los proyectos, es ahí donde se cristalizan y se transmiten los ideales de manera clara y práctica de una sociedad.

Por otro lado, las estructuras planteadas en este proyecto pueden considerarse como cimbras habitables que ofrecen la posibilidad de transformarse en estructuras permanentes o bien como un bloque de construcción con

posibilidades de crecimiento. El objetivo de este planteamiento es aumentar la adaptabilidad y la eficiencia del sistema de cascarón reticular de bambú. En la mayoría de los casos, los materiales empleados pueden reciclarse (bambú, vegetación y tierra), reduciendo considerablemente la huella de carbono de los módulos. El sistema tiene el potencial de explorar diferentes soluciones a problemas contemporáneos complejos en el sector rural, incluido el problema de la vivienda. La exploración de este planteamiento es una nueva línea de investigación que habrá que estudiar con detenimiento.

Otra rama de investigación con mucho potencial es acerca de las propiedades físico-mecánicas del bambú. Hay mucha información sobre algunas especies, en especial de países asiáticos o sudamericanos, pero acerca de los bambúes nativos de México poco se ha escrito o investigado formalmente. La iniciativa de crear un reglamento de construcción especializado para el país es imperativa si se quiere explorar el potencial de nuevas estructuras que sean útiles para las condiciones constructivas complejas y extremas que se tienen que resolver en México: sismos frecuentes y huracanes. El potencial que tiene la investigación de las propiedades mecánicas del bambú requiere de la atención conjunta de diversas instituciones, en especial las universidades de investigación agrícola que dominan el tema de producción y las instituciones de investigación de mecánica de materiales para determinar las condiciones ideales de producción de una especie de bambú para su mayor eficiencia estructural. Esto puede tener repercusiones benéficas para diversas industrias, con el potencial de tener un desarrollo sustentable a gran escala.

Las construcciones actuales con bambú son poco eficientes en el uso de material y en costos. Al tratar de utilizar los culmos como un elemento recto (en especial como vigas), se requiere reforzar todos los elementos estructurales para una mayor estabilidad por la tendencia natural del material a curvarse. Si se quiere llegar a estructuras que sean eficientes en construcción, geometría y costos es necesario explorar nuevos sistemas estructurales que entiendan las características mecánicas del bambú, explotando su potencial para curvarse. Esto plantea otro tema de investigación con mucho potencial: la comparación de sistemas estructurales ortogonales con bambú con su contraparte curva, no solo en relación a la estabilidad y capacidad de carga, también en costos y complejidad de mano de obra.

Las técnicas de construcción han evolucionado a lo largo de la historia y seguirán avanzando conforme las investigaciones y la tecnología lo permitan. Para que las construcciones contemporáneas provean soluciones a los problemas derivados del cambio climático se tiene que plantear más bien un cambio en la metodología de diseño antes que la implementación de nuevas tecnologías solo por el hecho de ser novedosas. Lo más importante es entender que no hay soluciones genéricas. Cada construcción interactúa de manera distinta con el contexto en el cual se plantea y debe solucionar los problemas formulados de una manera óptima.

## 7. Literatura citada

Arista-González, G. J., y R. Ortiz. 2010. Características físicas y mecánicas del bambú para el diseño de estructuras y construcciones sustentables.

Obtenido de Universidad Autónoma de San Luis Potosí:

<http://evirtual.uaslp.mx/Habitat/innobitat01/CAHS/SS%20Arq%20Arista/Proyectos%20de%20Investigaci%C3%B3n/Conjuntos/Caracter%C3%A1sticas%20f%C3%ADsicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20del%20bamb%C3%BA%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20estructuras%20y%20construcciones>

Arizpe, L. 2011. El patrimonio cultural inmaterial de México. Ritos y festividades. CDMX: MAPORRUA.

Ballart-Hernández, J., y J. J. Tresserras. 2014. Gestión del patrimonio cultural. Barcelona: Ariel Patrimonio.

Besse, J.-M. 2006. Las cinco puertas del paisaje. Ensayo de una cartografía de las problemáticas paisajeras contemporáneas. Madrid, España: ABADA.

Carmona-Aparicio, C. 2008. Estudio sobre el diseño del paraboloide hiperbólico. Tesis. México, D.F., México: UNAM. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2008/agosto/0630314/Index.html>

Casares-Cortina, A., y E. A. Hernández-Rodríguez. 2011. Pabellón de bambú para el centenario de la Universidad Nacional de México. Tesis. México, D.F., México: UNAM. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptb2011/marzo/0667212/Index.html>

COLPOS. 2001. Lineamientos de protección, difusión, uso y explotación de obras en materia de propiedad intelectual, en el centro público de investigación, Colegio de Postgraduados (COLPOS). Texcoco: COLPOS.

- Obtenido de  
[http://www.colpos.mx/wb\\_pdf/norma\\_interna/LINEAMIENTOS\\_PROTECCION\\_PROPIEDAD\\_INTELECTUAL\\_COLPOS.pdf](http://www.colpos.mx/wb_pdf/norma_interna/LINEAMIENTOS_PROTECCION_PROPIEDAD_INTELECTUAL_COLPOS.pdf)
- CONABIO. 2011. La biodiversidad en Veracruz: Estudio de estado (Vol. I). Instituto de Ecología A.C.
- CONAFOR. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009. Zapopan: CONAFOR. Obtenido de  
[http://www.ccmss.org.mx/descargas/Inventario\\_nacional\\_forestal\\_y\\_de\\_suelos\\_informe\\_2004\\_-\\_2009\\_.pdf](http://www.ccmss.org.mx/descargas/Inventario_nacional_forestal_y_de_suelos_informe_2004_-_2009_.pdf)
- CONEVAL. 2017. CONEVAL. Obtenido de  
<https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Comunicadosprensa/Documents/Comunicado-09-medicion-pobreza-2016.pdf>
- Cruz, R. H., S. L. Gallaga, J.A. Pérez, V. Morales, y F.C. Gómez. 2017. Paquete Tecnológico del Bambú para México. Texcoco: COLPOS.
- Dunkelberg, K. 2001. Bambus als Baustoff. Mittellungen des Instituts für leichte Flächentragwerke (IL) (Vol. 31). Stuttgart: University of Stuttgart. Obtenido de <http://bambus.rwth-aachen.de/eng/PDF-Files/IL%2031.pdf>
- Durand, J. 2017). Los migrantes frente a la administración Trump. *La Jornada*. Obtenido de <http://www.jornada.unam.mx/2017/03/05/opinion/015a2pol>
- Flores-Méndez, E., V. M. Correa., M. Queiroz., y V.R. Ordóñez. 2014. Estado actual de la construcción con bambú. *XIX Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Puerto Vallarta, Jalisco: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- García-Germán, J. 2010. De lo mecánico a lo termodinámico. Por una definición energética de la arquitectura y del territorio. España: GG.

- Gómez-Nieves, S. 2008. Ciencia y desarrollo turístico en México. *Estudios y perspectivas en turismo*, 340-348. Buenos Aires, Argentina: Centro de investigaciones y estudios Turísticos. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180713895004>
- González-Varas, I. 2015. Patrimonio cultural. Conceptos, debates y problemas. Madrid, España: Cátedra.
- INEGI. 2016. Estadísticas a propósito del día mundial del turismo (27 de Septiembre) Datos nacionales. Obtenido de [http://fec-chiapas.com.mx/sistema/noticias\\_files/turismo2017\\_Nal.pdf](http://fec-chiapas.com.mx/sistema/noticias_files/turismo2017_Nal.pdf)
- Maurina, A. 2015. Curved Bamboo Structural Element. International Conference and Workshop on Parahyangan Bamboo Nation 2 “Resilient Building Design and Material for Future”. Jatiluhur. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/314500689\\_Curved\\_Bamboo\\_Structural\\_Element](https://www.researchgate.net/publication/314500689_Curved_Bamboo_Structural_Element)
- Mesías, R., y G. Romero. 2004. La participación en el diseño urbano y arquitectónico en la producción social del hábitat. Ciudad de México, México: CYTED.
- Meyer, C., y M. H. Sheer. 2005. Do Concrete Shells Deserve Another Look? *Concrete International*, 43-50. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.517.8316&rep=rep1&type=pdf>
- Minke, G. 2012. Building with Bamboo. Design and Technology of a Sustainable Architecture. Basel: Birkhäuser.
- Rivera-Blanco, J. 2010. Paisaje y patrimonio. En J. Rivera Blanco, *Paisaje y patrimonio. Pensar el paisaje*. Madrid, España: ABADA.

- Rockwood, D. 2014. Bamboo gridshells. USA: Routledge.
- Romero-Sánchez, G. 2017. Creará el gobierno fuentes de empleo para migrantes en retorno, dice el Ejecutivo local. *La Jornada*, pág. 32.  
Obtenido de <http://www.jornada.unam.mx/2017/01/20/capital/032n3cap>
- Ruiz-Lavalle, P. 2016. Rancho San Ricardo. *La Jornada del Campo. Suplemento Informativo*. Obtenido de  
<http://www.jornada.unam.mx/2016/04/16/cam-rancho.html>
- Schott, W. 2006. Bamboo in the laboratory. A few observations on heat-treating of bamboo for rod making purposes. *Power Fibers Online Magazine*.  
Obtenido de  
[http://www.powerfibers.com/BAMBOO\\_IN\\_THE\\_LABORATORY.pdf](http://www.powerfibers.com/BAMBOO_IN_THE_LABORATORY.pdf)
- SEMARNAT. 2012. Informe sobre la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. CDMX: SEMARNAT. Obtenido de  
[http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/00\\_intros/pdf.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/00_intros/pdf.html)
- Stroeter, J. 2008. Teorías sobre arquitectura. México: Trillas.
- UNEP, and WTO. 2005. Making tourism more sustainable. A guide for policy makers. (G. Carbone, & E. Yunis, Edits.) Obtenido de  
[www.unep.fr/shared/publications/pdf/dtix0592xpa-tourismpolicyen.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/dtix0592xpa-tourismpolicyen.pdf)
- UNWTO. 2016. 2017 is the International Year of Sustainable Tourism for Development. Obtenido de <http://media.unwto.org/press-release/2017-01-03/2017-international-year-sustainable-tourism-development>
- UNWTO. 2018. UNWTO. Obtenido de  
<http://media.unwto.org/es/content/entender-el-turismo-glosario-basico>

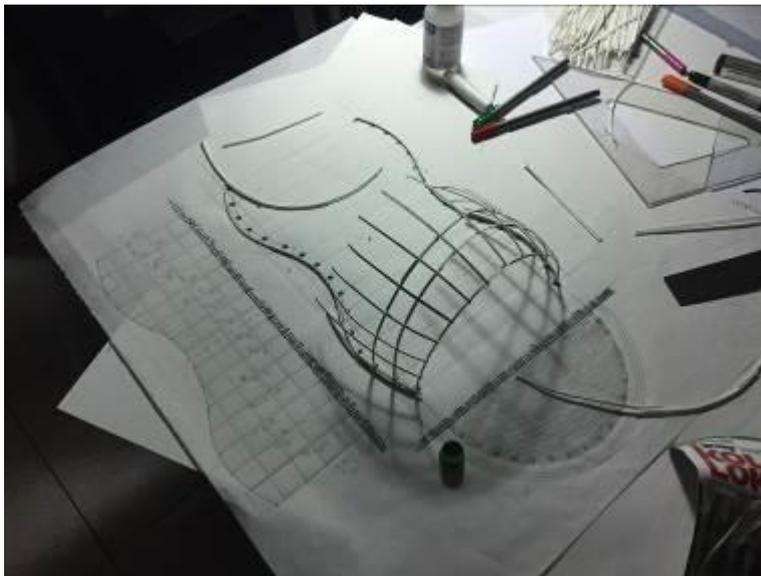
Villavicencio, C. D., V. D. Bañuelos, y V. H. Guadarrama-Atrizco. 2010. Impacto del fondo sectorial SAGARPA-CONACYT en el sector agropecuario: transferencia de conocimiento y atención de prioridades. *5º Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad*. Guanajuato. Obtenido de [http://www.academia.edu/3147605/Impacto\\_del\\_fondo\\_sectorial\\_SAGARPA-CONACYT\\_en\\_el\\_sector\\_agropecuario\\_transferencia\\_del\\_conocimiento\\_y\\_atenci%C3%B3n\\_de\\_prioridades](http://www.academia.edu/3147605/Impacto_del_fondo_sectorial_SAGARPA-CONACYT_en_el_sector_agropecuario_transferencia_del_conocimiento_y_atenci%C3%B3n_de_prioridades)

Vizcarra de los Reyes, M.(2017). *Naturaleza en el habitar. Tradiciones constructivas en madera y fibras naturales* (Vol. 01). México: UNAM.

## 8. Anexos

### Proceso de diseño/ construcción de maquetas

En esta sección se muestra el proceso de creación y desarrollo de la propuesta, desde sus inicios hasta la propuesta final. Se exploraron distintos materiales con el objetivo de acercar el proceso lo más posible a una situación real donde se pudiera industrializar la propuesta con el objetivo de reducir costos y tener menor gasto en mano de obra especializada. A lo largo de la investigación se utilizó papel, madera y bambú para explorar la geometría y el proceso constructivo.



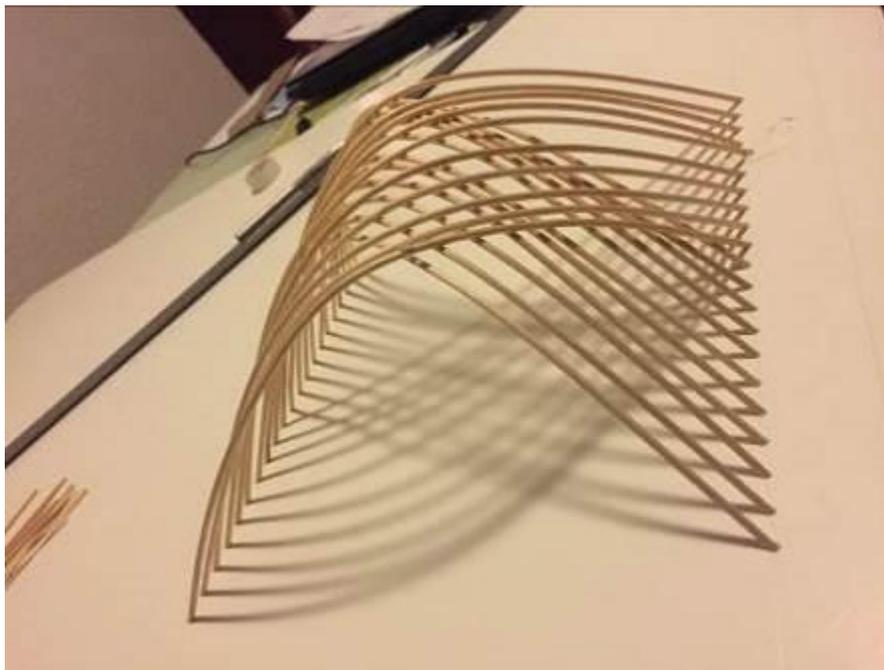
**Figura 66.** Maqueta 1. Papel. Proceso constructivo.

Primera maqueta de exploración del sistema estructural. Está hecha con tiras de papel reforzado para darle mayor rigidez. Nótese que la disposición geométrica es ortogonal ( $90^\circ$  entre sus elementos), con un deficiente comportamiento estructural.



**Figura 67.** Maqueta 1 finalizada.

La estructura ya terminada. Su capacidad de carga es nula.



**Figura 68.** Maqueta 2. Arcos de madera.

El primer experimento estructural con arcos pre-curvados de madera para analizar la capacidad de carga de la geometría.



**Figura 69.** Prueba de carga a la maqueta 2.

Prueba de carga de la estructura. Las posibilidades de uso del sistema estructural como cubierta que soporte cargas muertas pesadas son prometedoras.



**Figura 70.** Sistema de curvado de arcos de madera para maqueta 3.

Inicialmente los arcos se fabricaron con madera. El proceso de curvado homogéneo de todas las piezas implicó diseñar sistemas que pudieran ir generando la curvatura paulatinamente para evitar el mayor número de rupturas posible en el material.



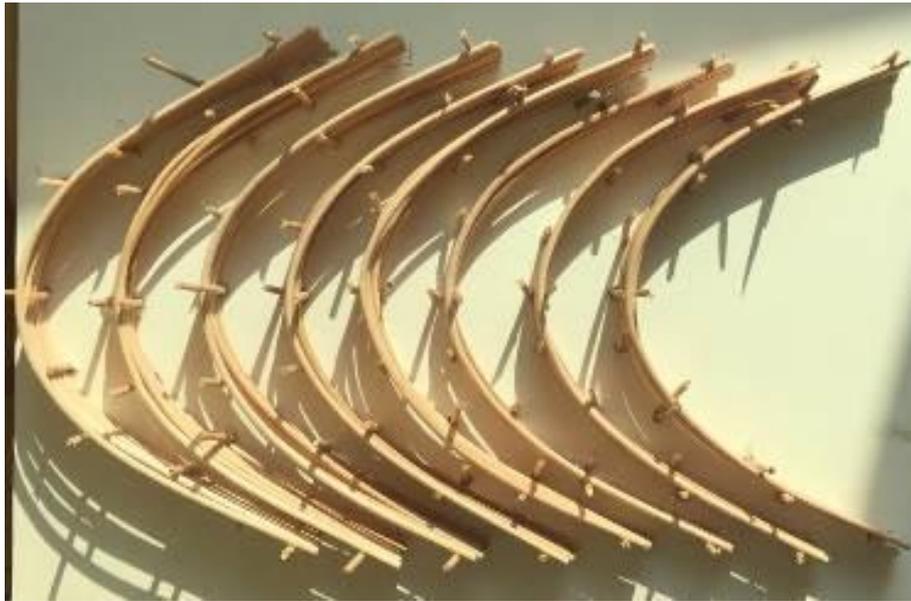
**Figura 71.** Curvado de arcos para maqueta 3.

Se ideó un sistema de producción en serie de arcos tratando de replicar los retos de industrialización en la vida real.



**Figura 72.** Variación del sistema de curvado de arcos para maqueta 4.

Se experimentó con distintos tiempos de remojo de la madera en agua fría y caliente respectivamente para determinar la facilidad del proceso de curvado.



**Figura 73.** Producción en serie de arcos para maqueta 4.

Se ubicaron distintos puntos de control claves en la curva que se quería obtener con los segmentos para facilitar el proceso de acomodo, controlar con mayor exactitud la curva deseada y reducir el tiempo de secado de los arcos.



**Figura 74.** Material para arcos en distintas fases del proceso de curvado.

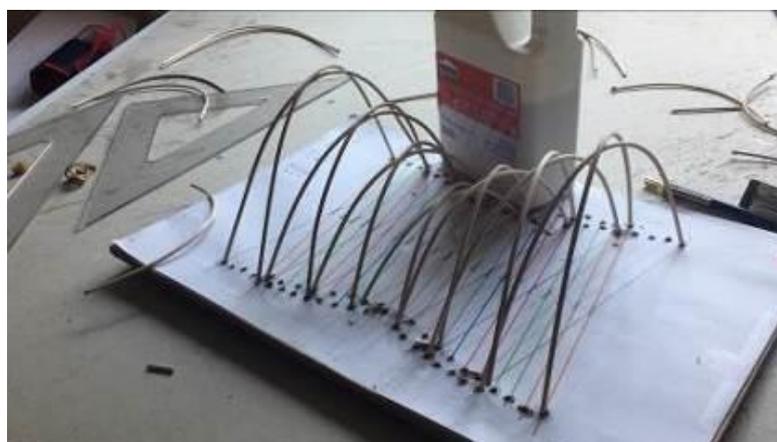
Los arcos se curvaron en húmedo para aumentar la flexibilidad de las fibras de la madera y después se dejaron secar en un molde para que adoptaran la geometría final.



**Figura 75.** Maqueta 3.



**Figura 76.** Maqueta 3.



**Figura 77.** Maqueta 4.

Experimentos del proceso constructivo. Se logra generar la doble curvatura con solo controlar la altura de los arcos.

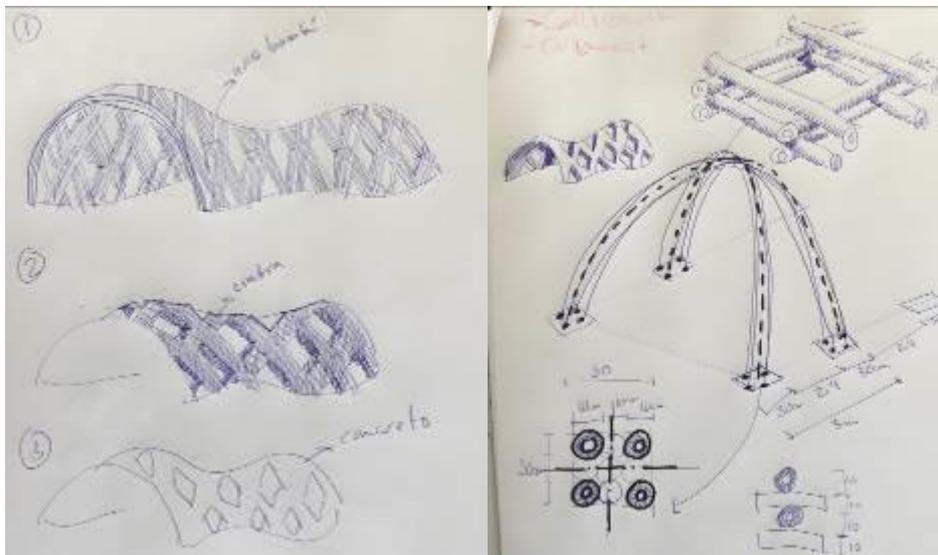


Figura 78. Croquis de variaciones estructurales.

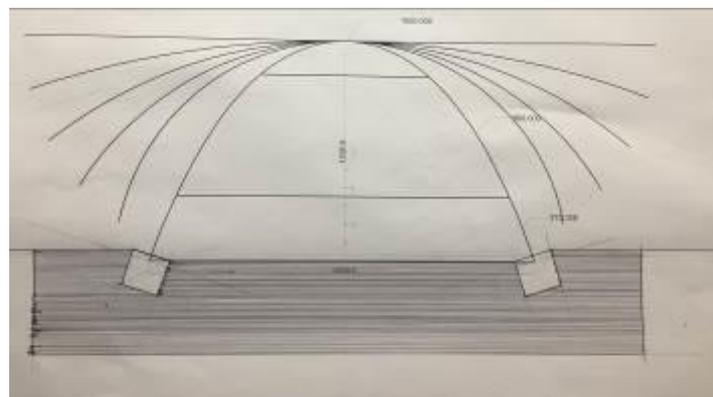


Figura 78. Croquis del proceso de curvado y montaje en cimentación.



**Figura 79.** Croquis de desplante y organización de los arcos.



**Figura 79.** Sistema de curvado de arcos de bambú.

Se experimentó también con segmentos de bambú, tratando de replicar lo más fielmente posible el comportamiento del material en un escenario real.



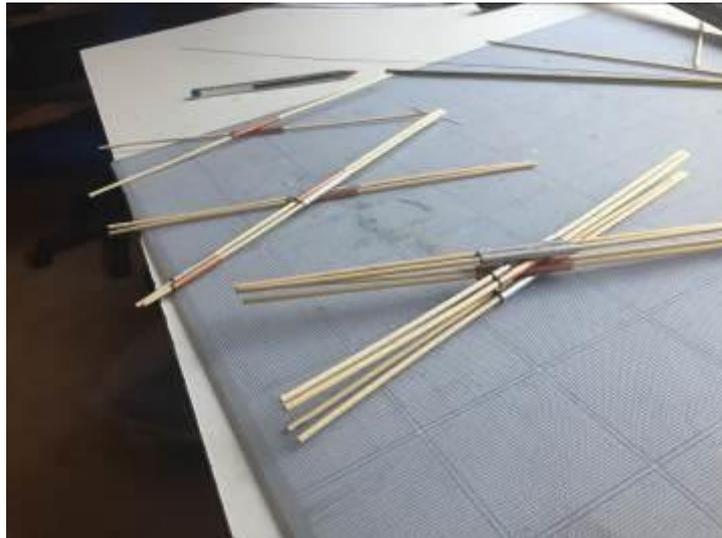
**Figura 80.** Persianas de bambú.

Después del hallazgo de persianas de bambú con una longitud considerable y con el mismo diámetro de pieza que se trabajó en las maquetas anteriores, se decidió armar la maqueta final en escala 1:25.



**Figura 81.** Maqueta 5 y su nodo a escala 1:25.

Se exploraron distintas soluciones estructurales con el aumento de arcos para analizar el comportamiento geométrico y la capacidad de carga.



**Figura 82.** Variaciones de nodos.

Se optó por diseñar los nodos de las estructuras con segmentos de tubería de cobre y latón para asegurar la estabilidad estructural, facilitar el proceso constructivo y mantener una curvatura constante en los arcos de bambú.



**Figura 83.** Sistema de curvado de tubería 5/32 para nodos. Antes.



**Figura 84.** Sistema de curvado de tubería 5/32 para nodos. Después.

El proceso de curvado de la tubería de metal es complejo para evitar fallas estructurales, es por eso que se diseñó un aparato especial para mantener un radio y una presión constante en todas las piezas de los nodos.



**Figura 85.** Prototipo para la maqueta final.

Prueba de la maqueta final para analizar materiales, paleta de colores, complejidad constructiva, dimensiones, proceso de armado.



**Figura 86.** Detalle de materiales.

Detalle de la base de la maqueta, el armado de arcos de adobe y la cimentación.



**Figura 87.** Detalle bloques de adobe.

Textura externa del armado de los arcos de adobe. Nótese el cuatrapeo de las piezas para evitar falla estructural.



**Figura 88.** Esquema y prototipo de armado de arcos.



**Figura 89.** Arco completo de adobe.

Proceso constructivo del armado de un arco de adobe con bambú como guía.

Es necesario tener piezas clave que puedan absorber la curvatura del arco en puntos críticos para evitar el colapso del armado. Y más en arcos catenarios.



Figura 90. Croquis de las maquetas finales.

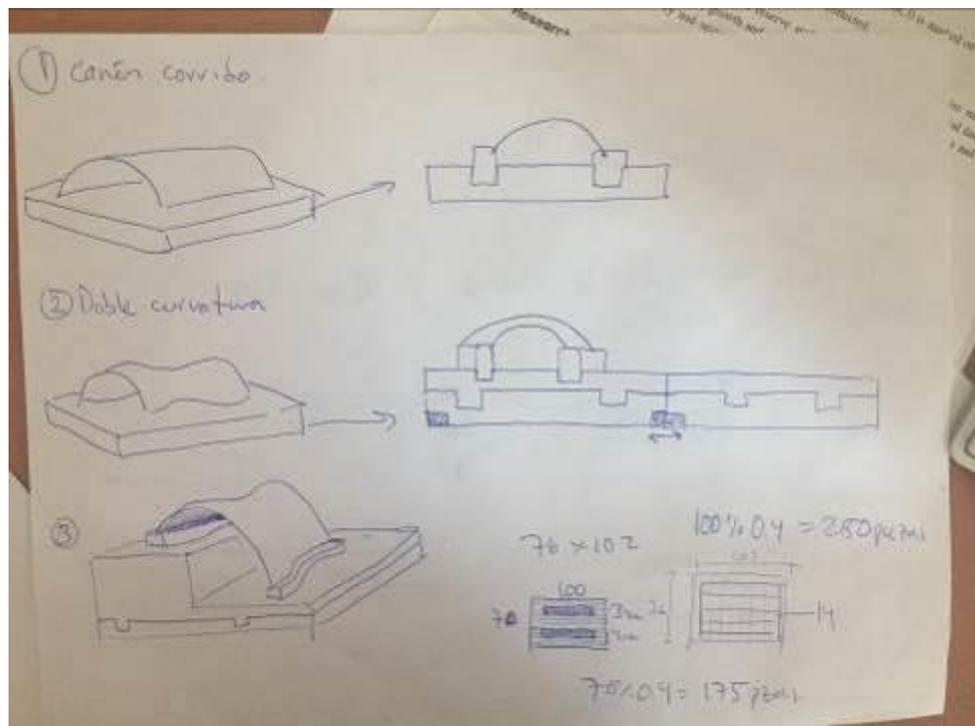
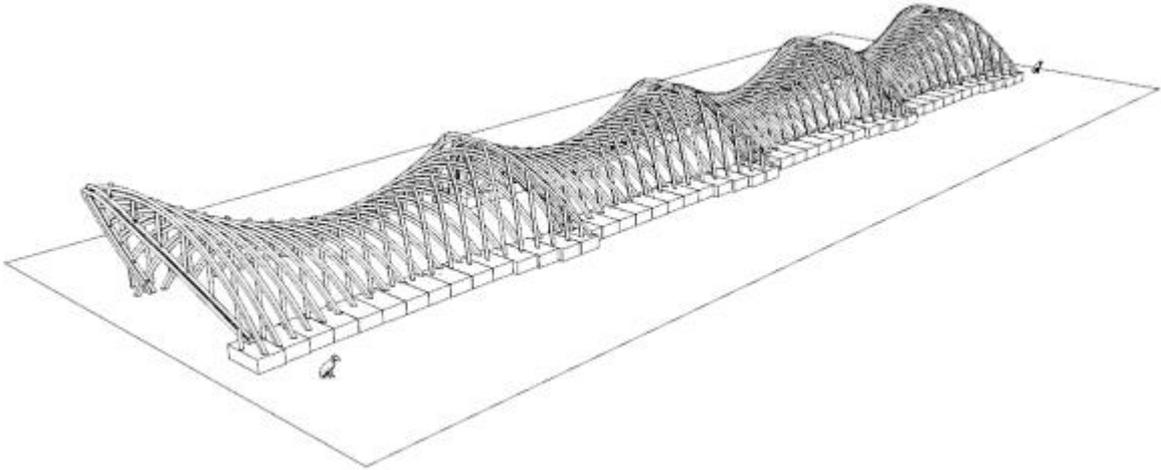
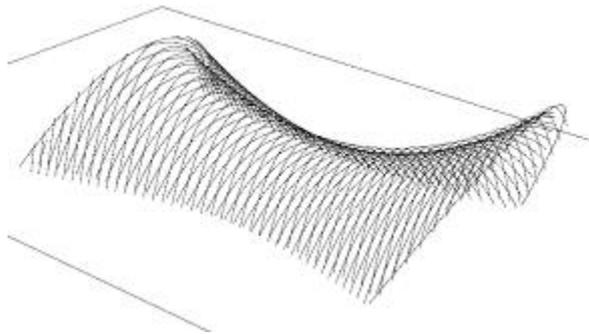


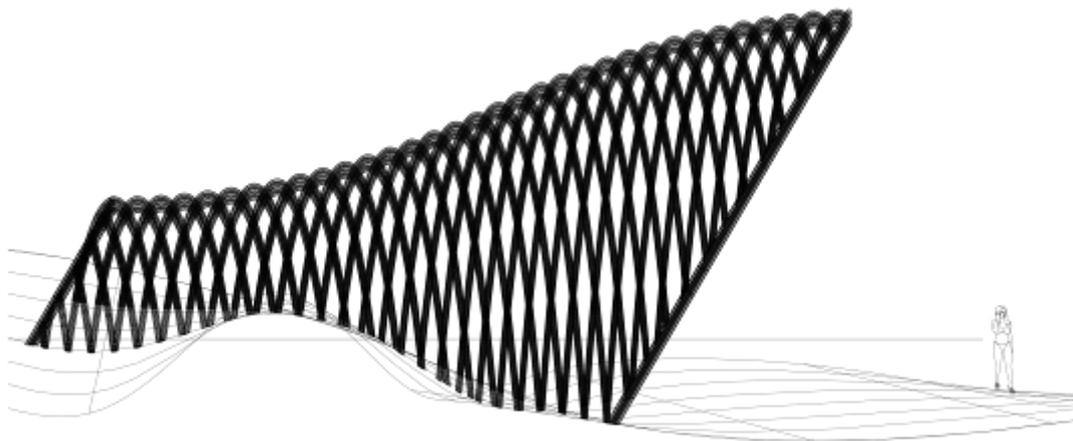
Figura 91. Croquis de variaciones en las maquetas finales.



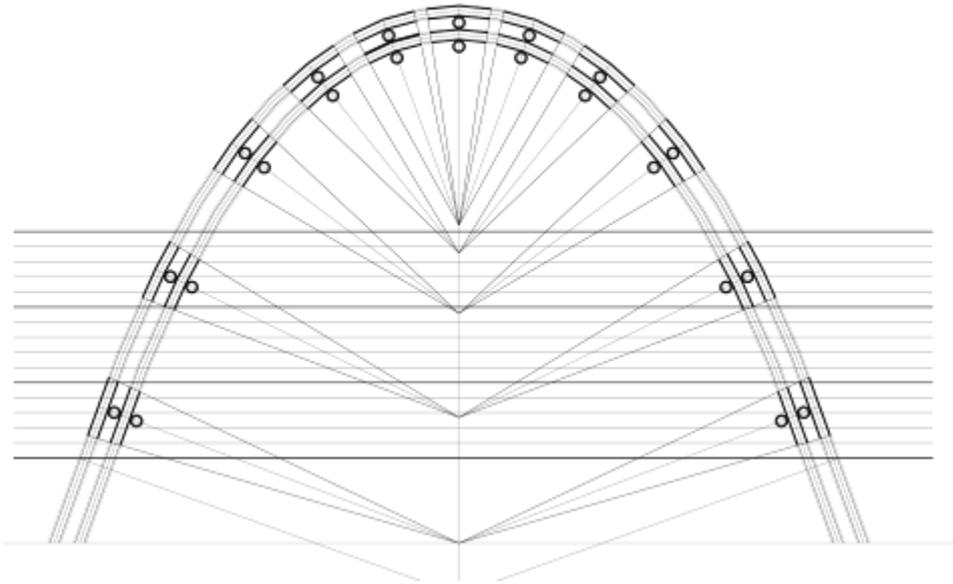
**Figura 92.** Propuesta 1 de crecimiento modular.



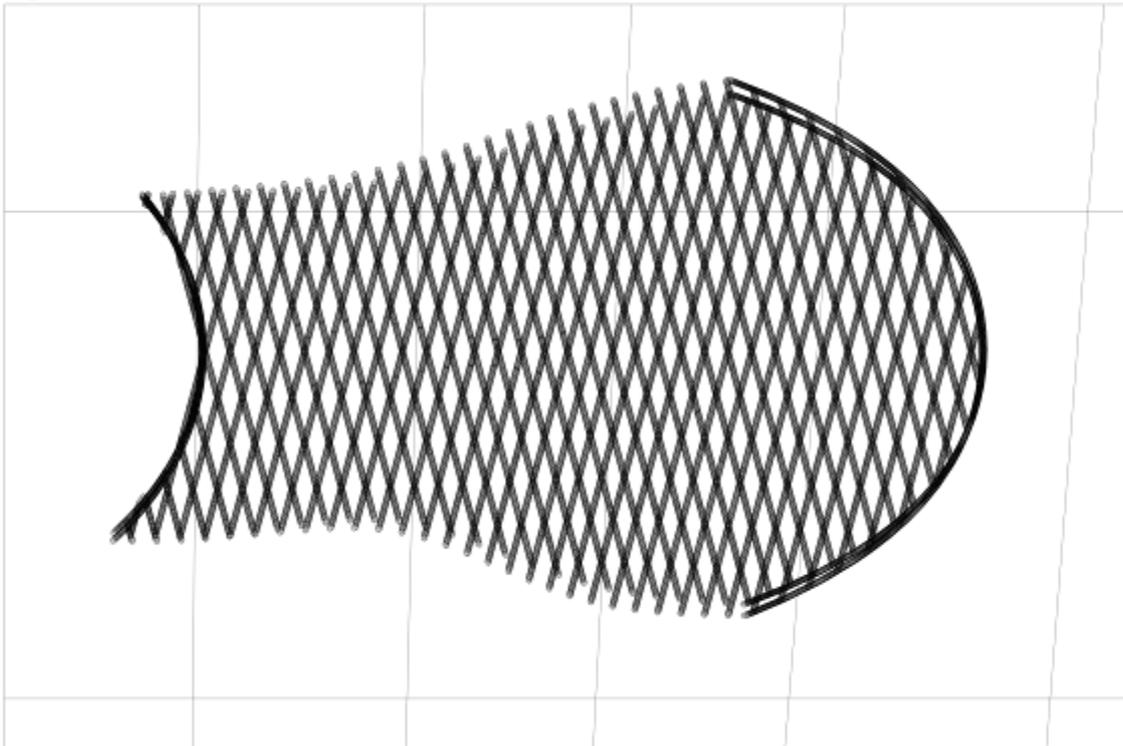
**Figura 93.** Geometría de módulo base.



**Figura 94.** Alzado de módulo base en terreno irregular.



**Figura 95.** Geometría de los arcos dobles.



**Figura 96.** Planta del módulo base en terreno irregular.



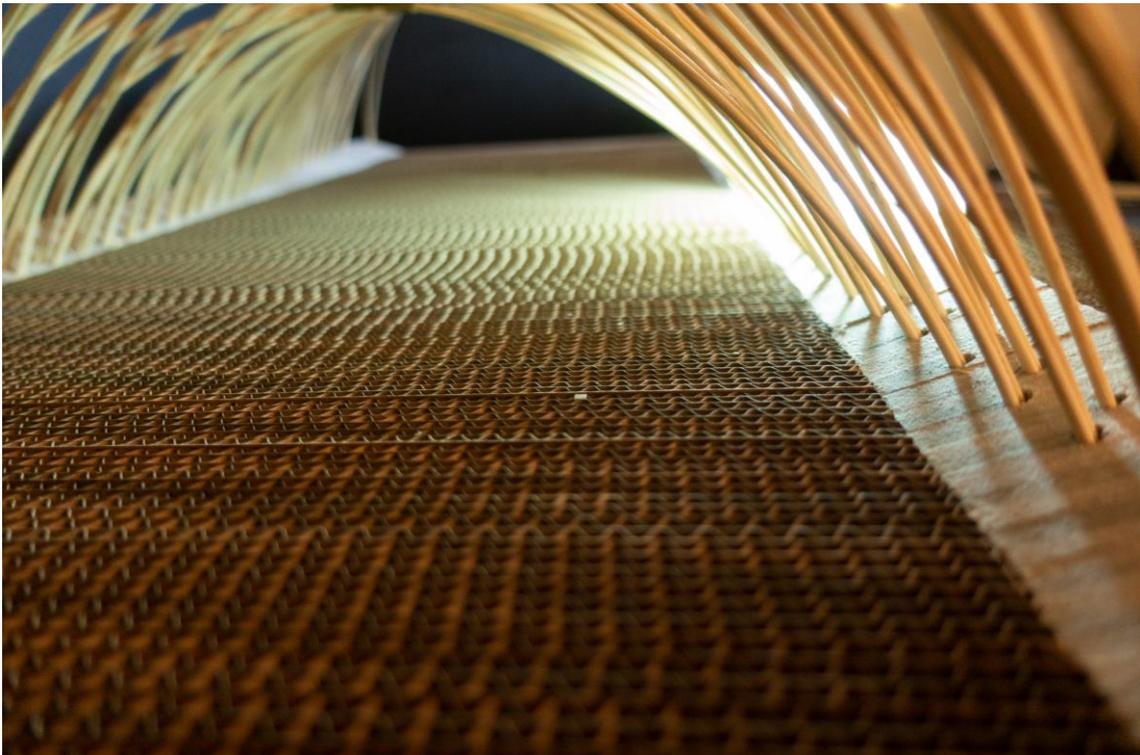
**Figura 97.** Propuesta Centro Cultural con estructura de cascarón reticular de bambú.



**Figura 98.** Propuesta de Jardín Botánico dentro de un cascarón reticular de bambú.



**Figura 99.** Maqueta final. Alzado lateral.



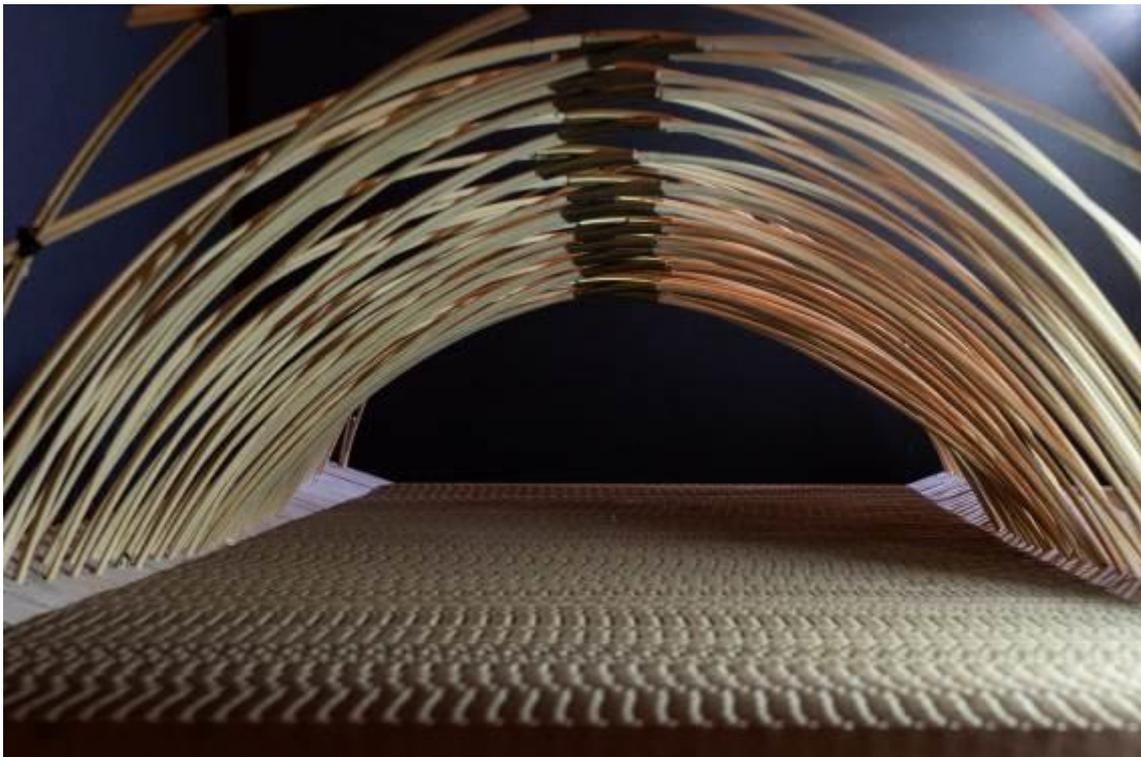
**Figura 100.** Maqueta final. Perspectiva interior.



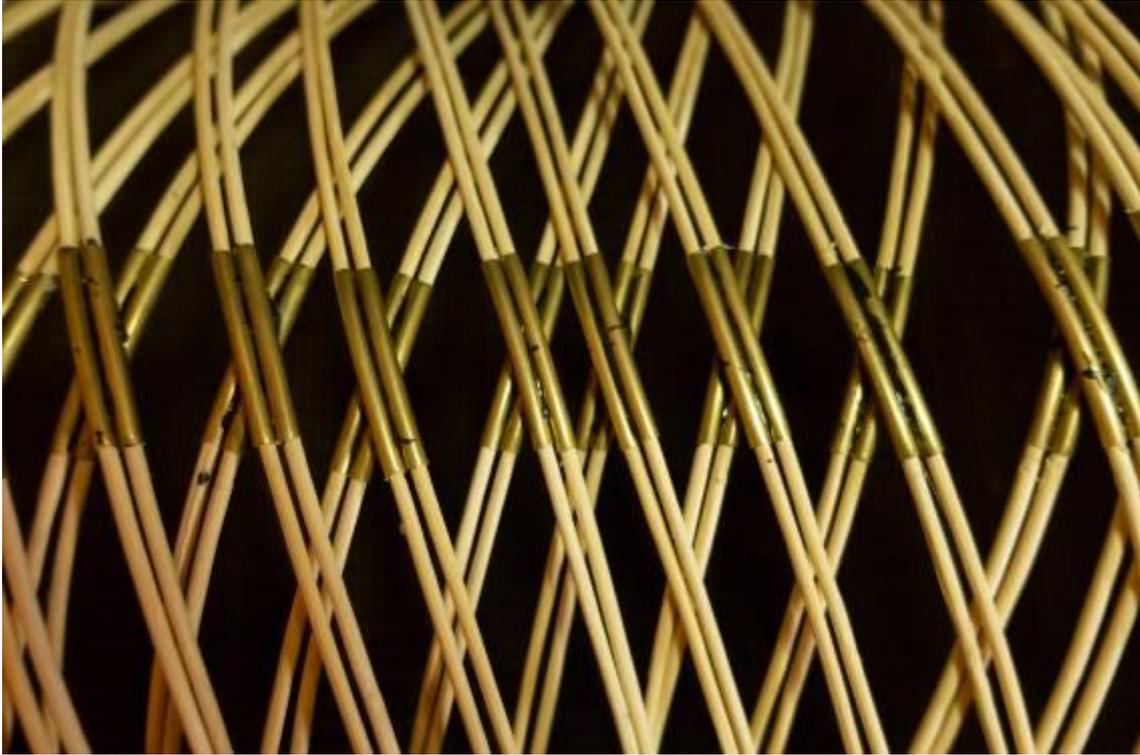
**Figura 101.** Maqueta final. Vista frontal.



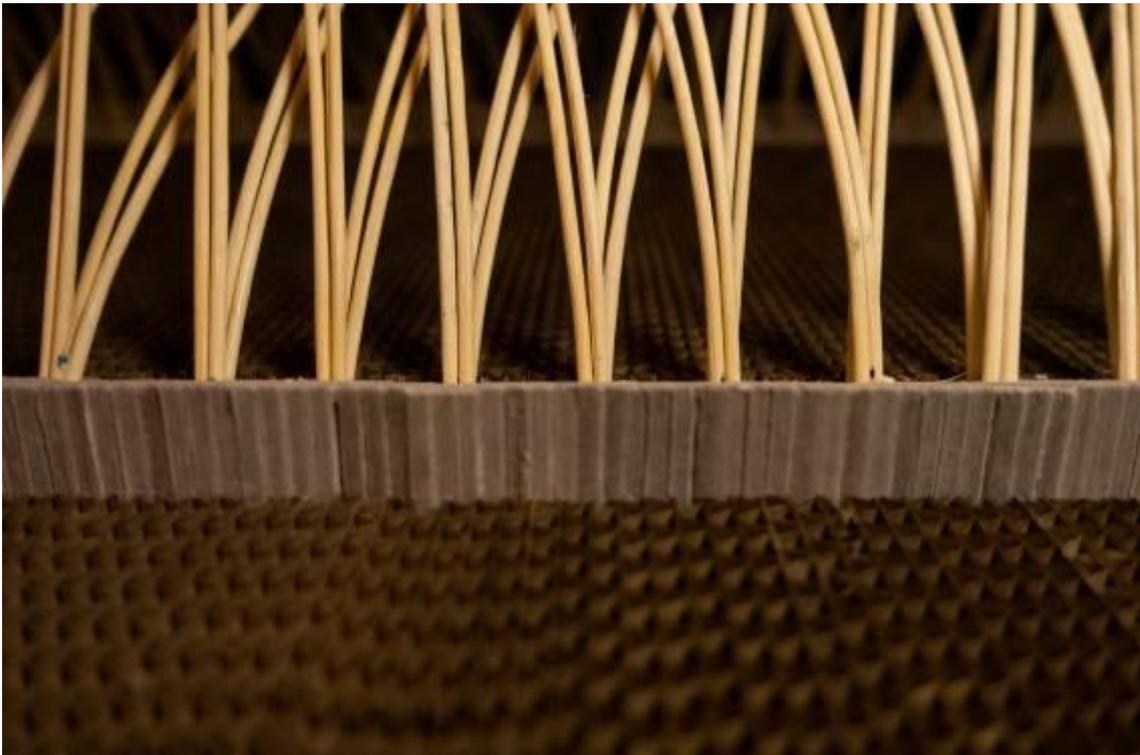
**Figura 102.** Maqueta final. Detalle interior.



**Figura 103.** Maqueta final. Interior.



**Figura 104.** Maqueta final. Detalle estructural.



**Figura 105.** Maqueta final. Detalle cimentación.



**Figura 106.** Maqueta final. Detalle cimentación.



**Figura 107.** Maqueta final. Perspectiva interior.

En términos prácticos, esta tesis concluye con la construcción de una maqueta, diseñada con todo el soporte técnico-metodológico para su implementación práctica en siguientes fases. Lo se ha desarrollado hasta ahora cuenta con el respaldo y valoración de expertos en el tema.