

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**



**Análisis del costo de fabricación de la estructura de un invernadero geodésico**

**Por:**

**Alexander Gomez Aparicio**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2024**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

**Análisis del costo de fabricación de la estructura de un invernadero geodésico**

Por:

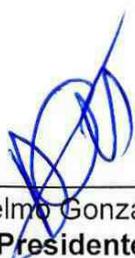
**Alexander Gomez Aparicio**

**TESIS**

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

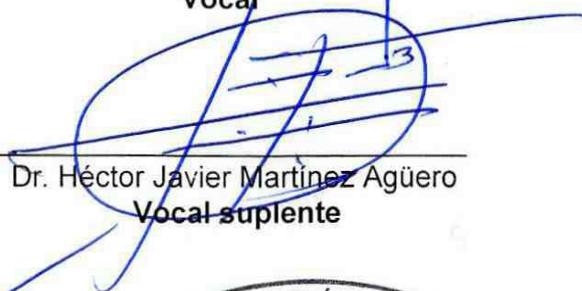
**INGENIERO AGRÓNOMO**

Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Anselmo González Torres  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
M.C Rafael Ávila Cisneros  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Leonardo Rocha Quiñones  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Héctor Javier Martínez Agüero  
**Vocal suplente**

  
\_\_\_\_\_  
M.E. Javier López Hernández  
**Coordinador interino de la División de Carreras Agrícolas**



Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2024

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO**

Análisis del costo de fabricación de la estructura de un invernadero geodésico

Por:

**Alexander Gomez Aparicio**

**TESIS**

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Aprobado por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Anselmo González Torres  
**Asesor Principal**

  
\_\_\_\_\_  
M.C Rafael Avila Cisneros  
**Coasesor**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Leonardo Rocha Quiñones  
**Coasesor**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Héctor Javier Martínez Agüero  
**Coasesor**

  
\_\_\_\_\_  
M.E. Javier López Hernández  
Coordinador interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2024

## AGRADECIMIENTOS

**A Jehová**, por darme la sabiduría, perseverancia y libertad de culminar una meta más en mi vida, por hacerme un hombre de buenas costumbres y de pensamientos libres:.

**A mis amados padres**, Jose Luis Gomez Arroyo y Martina Aparicio Agustín, por su gran amor y apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria universitaria. Gracias a su perseverancia me encuentro culminando mi carrera. Esta tesis es un reflejo de todo lo que me han dado.

**A mis abuelos** Luis Aparicio, Cecilia Agustin, Alfonso Gomez, Tomasa Arroyo por su cariño, amor y enseñanzas que nunca faltaron durante esta etapa. Sin lugar a duda son un parteaguas en mi formación.

**A Arizbeth Zamora** por ser parte esencial en mi carrera, por acompañarme en cada aventura, por ser mi apoyo incondicional, eres la inspiración que me ayudó e impulsó en cada etapa.

**A mis Tíos** Isabella Aparicio y Jose Manuel Gonzalez, por todos los ánimos, consejos, por estar al pendiente de mí.

**Al Dr. Anselmo** Gonzales y al M.C Rafael Ávila por su confianza en trabajar en conjunto con este proyecto de investigación, gracias por su guía.

**A mi Alma mater** por darme la oportunidad de forjarme como un profesionalista, siempre enalteciendo su nombre.

## DEDICATORIAS

*A la vida, que en su infinita sabiduría me ha enseñado que los mayores desafíos son las oportunidades más valiosas de crecimiento.*

*A todas aquellas personas que me inspiraron a luchar por mis sueños, que desde muy pequeño me han guiado a través de las luces y sombras de la vida.*

*A quienes ya no están, pero cuya influencia y amor perdurarán en cada paso que doy.*

*A mi familia, que han sido y son mi gran pilar y refugio en momentos de incertidumbre y alegrías.*

*A mis amigos que ya saben quiénes son, por siempre ser de gran apoyo, por comprenderme, por su paciencia, han sido invaluable.*

*Esta tesis es el resultado de las experiencias y todas las personas que me han marcado, A todos ustedes con infinita gratitud dedico este logro.*

## ÍNDICE

RESUMEN .....	v
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación. ....	2
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 General .....	3
1.2.2 Específico .....	3
1.3 Hipótesis .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA. ....	4
2.1 Descripción de domos geodésicos .....	4
2.2 Antecedentes de los domos geodésicos.....	4
2.3 Viabilidad .....	5
2.4 Frecuencias .....	7
2.5 Diseño.....	8
2.5.1 Oruga.....	9
2.5.2 Rounded .....	9
2.6 Beneficios .....	9
2.6.1 Menor costo.....	9
2.6.2 Seguridad .....	9
2.6.3 Tarifas bajas en aseguradoras .....	9
2.6.4 Ventilación .....	10
2.6.5 Calefacción y refrigeración .....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Ubicación geográfica del trabajo experimental. ....	11
3.2 Construcción. ....	11
3.2.1 Cálculos previos: .....	11
3.3 Diagnóstico de la situación actual.....	11
3.3.1 Invernaderos en México .....	11
3.4. Principales invernaderos utilizados en México.....	12
3.4.1 invernadero gótico: .....	12
3.4.2 invernadero túnel: .....	12
3.4.3 invernadero Asimétrico: .....	13
3.4.4 Invernadero tipo capilla.....	13

3.5 Comparativa significativa entre invernaderos convencionales y invernadero geodésico.....	13
3.5.1 Invernadero convencional.....	13
3.5.2 Invernadero geodésico .....	14
3.6 Costos de construcción.....	15
3.6.1 Materiales .....	15
3.6.2 Tiempo de construcción:.....	15
3.7 Diseño experimental .....	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
V. CONCLUSIONES .....	26
VI. LITERATURA CITADA.....	28

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna ubicado en el campo experimental de la universidad, en la ciudad de Torreón Coahuila. Es una investigación que tiene como objetivo el análisis de los costos de fabricación de un invernadero geodésico, en respuesta a la problemática de generar una actividad agrícola sustentable basado en métodos más productivos y rentables.

Los invernaderos Geodésicos se definen como una estructura de media esfera construida a partir de la unión de barras y nodos que dan como resultado una red de triángulos, que a su vez dan paso a la formación de polígonos hexagonales y pentagonales lo que permite dar curvatura a lo que se le nombra domo, que a su vez ordena y dirige las cargas manera eficiente en toda la estructura; En la construcción se consideraron factores como materia prima requerida, mano de obra utilizada, etc. Adicionalmente se investigó los beneficios de la estructura resaltando que los invernaderos geodésicos tienen como característica una relación idónea entre volumen y superficie, al no contener estructuras internas de sostén, genera un volumen mayor utilizable en menor superficie y con menores costos para al final concluir que económicamente es viable llevar a cabo este tipo de construcción ya que el costo de inversión es significativamente menor comparado con el beneficio que se obtendrá.

**Palabras clave:** Agricultura protegida, Cúpula Geodésica, Costos de construcción, Diseño de Invernadero

## I. INTRODUCCIÓN

En México el cambio climático representa el principal desafío para la seguridad alimentaria, año con año son más los cultivos que se ven afectados por los climas extremos y la constante aparición de plagas y enfermedades (*SIAP, 2023*).

Necesitamos una transformación de los métodos actuales de producción, si bien la agricultura se enfrenta a métodos sostenibles y eficientes aún se necesitan soluciones para satisfacer la demanda alimentaria. Actualmente los invernaderos son un parteaguas para la productividad agrícola, sin embargo, no está al alcance de todos, principalmente por los altos costos de inversión y la complejidad de la estructura.

En México se tiene registro de una superficie de invernadero de 15,747.74 Hectáreas (*SIAP, 2023*), teniendo costos promedios según fideicomisos instituidos en relación con la agricultura (*FIRA*), en 2011 el metro cuadrado de un invernadero convencional era de \$350.00MXN/m<sup>2</sup> - 550.00MXN/m<sup>2</sup>. En consecuencia, los productores se enfrentaban y enfrentan con un retorno de inversión a largo plazo, lo que, en mayoría, con las variantes críticas de precios en el mercado se podría generar un periodo de amortización extendida, lo que conlleva generalmente al cierre de operaciones.

La Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos A.C. (*Fira, 2011*), menciona que en México alrededor del 50 por ciento de invernaderos en cualquiera de sus clasificaciones y que en su mayoría son impulsados por el gobierno federal tienden a declararse en quiebra, como principal motivo por la deuda generada en la adquisición del invernadero. Según *Sánchez, F. (2014)*, enfatiza que el 60 por ciento de los invernaderos convencionales en México fracasan por temas de mala

capacitación y planeación. Por lo que una mala inversión inicial repercute posteriormente en todo el proyecto y modelo de negocio.

La demanda alimentaria representa evidentes desafíos para la producción con la constante disminución de recursos y el aumento extremo de temperaturas, lluvias, heladas, etc.; De acuerdo con el grupo consultor de mercados agrícolas (GCMA), México aumento las importaciones de alimento en un 5.9 por ciento en el cierre 2023 respecto al 2022, lo que monetariamente represento un total de compra con valor de 16,672 millones de dólares.

Una de las soluciones es producir con agricultura protegida. Actualmente producir en ambientes controlados resulta tener ventajas considerables, no obstante, los productores enfrentan desventajas a fuentes de capital inicial y posterior a los aumentos de energía elevados que demandan los invernaderos.

### **1.1 Justificación.**

En respuesta las cúpulas geodésicas entran como una alternativa práctica por su diseño innovador, formado por triángulos interconectados que se unen con facilidad al estar hechos de materiales ligeros, soportando inclemencias climáticas, adaptativos a cualquier región, puede soportar varias toneladas de nieve sobre él sin colapsar y de lograr mantener una estabilidad estructural ante ráfagas de viento de 150 km/h o más (*Wang, et al. 2019*).

Representa menores costos iniciales, reduciendo los costos estructurales, gracias al diseño semiesférico que aprovecha el espacio en un 30 por ciento; así mismo, reduce el costo energía (hasta el 50 por ciento) brindando beneficios en términos, volumen y una mayor resistencia. Otra característica que resaltar sobre los invernaderos geodésicos es, cuanto más grande es más fuerte se vuelve. (*Huenchuman, 2019*).

Estos no solo representan cambios significativos en diseño estructural, sino que contribuirán a una mejor regulación de temperatura y a un mejor aprovechamiento de luz solar (*Durango, R. 2022*).

No obstante, en México no se cuenta con el establecimiento de domos geodésicos para el sector agrícola por lo que se tiene pocos estudios que indaguen de manera precisa el costo-beneficio de la implementación de las cúpulas en relación con los invernaderos convencionales.

En esta investigación tiene como objetivo determinar la viabilidad económica de la estructura de invernaderos geodésicos dando como resultado una mayor rentabilidad ya que el costo es poco comparado con el beneficio que de ellos se obtendrá.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

El objetivo del presente trabajo fue analizar el costo de fabricación de una estructura geodésica V3 para su posterior uso como invernadero.

### **1.2.2 Específico**

Analizar el costo beneficio de la fabricación de la estructura de un invernadero geodésico contemplando la viabilidad de su uso en la agricultura.

## **1.3 Hipótesis**

La fabricación estructural de un invernadero geodésico representará significativamente un valor económico menor en comparación con la fabricación de un invernadero convencional.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA.

### 2.1 Descripción de domos geodésicos

Los domos geodésicos son una estructura de media esfera armada a partir de la unión de barras y nodos que dan como resultado una serie de triángulos que a su vez forman polígonos hexagonales y pentagonales que en conjunto dan origen a una red tridimensional. De esta manera, se crea un poliedro cuyos vértices dan origen a una esfera, parábola, o un elipsoide. Por este último es nombrado geodésico. (*Campos et al., 2014*)

### 2.2 Antecedentes de los domos geodésicos

El concepto geodésico fue implementado por Aristoteles, dando alusión a las divisiones geométricas de la tierra; en el siglo XIX se realizaron los primeros domos geodésicos (*Peinador A, 2023*) Sin embargo fue Platón quien dio inicio al estudio de la esfera en el análisis de la geometría de sólidos (*Quezada, C. 2006*).

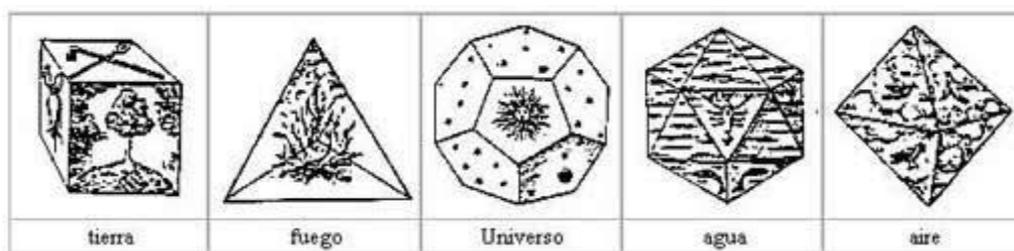


Figura 1. Tratado *Mysterium Cosmographicum* de Johannes Kepler.

Los sólidos platónicos se hace referencia al grupo de 5 poliedros convexos regulares (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro), se caracterizan por que todas las caras que los conforma son polígonos regulares idénticos entre sí, y en que todos los ángulos sólidos son iguales (*Lagos, R. 2015*), sus simetrías eran conocidas por ser perfectas, se les conocía en la antigua Grecia como cuerpos cósmicos. A su vez cada

poliedro era asociado con la naturaleza geométrica, estética, simbólica, mística y cósmica (Gonzales, P. 2013). Esto dio paso a la geometría sagrada. ver figura 1.

Dentro de los sólidos el icosaedro se caracteriza por la formación de triángulos, subdivide en caras o lados en pequeños elementos siendo idóneo para la fabricación de domos geodésicos. Dependiendo del número de subdivisiones de cada cara del icosaedro tenemos distintos tipos de estructuras geodésicas.

Richard Buckminster Fuller considerado el padre de las cúpulas geodésicas, logró patentar el concepto en la década de los 50, Su idea se centraba en aprovechar la mayor luz posible con el menor peso de estructura, es decir, reducir la relación peso/m<sup>2</sup>. Su obra sublime de Fuller es el pabellón de EEUU fabricado para la exposición de Montreal en 1967.

Estas estructuras tienen como principal ventaja su gran rigidez, acumulación de luz y calor (Barba J. 2019).

### **2.3 Viabilidad**

La innovación tecnológica en la agricultura debe ser obligatoria a medida que avanza la demanda alimentaria, para el 2050 se requerirá un aumento de alimentos del 60-70 por ciento (FAO, 2018). Lo que representa un evidente desafío para la producción con la constante disminución de recursos y el aumento considerable de los costos de producción; Producir más con menos en condiciones naturales resulta ser muy complejo, sin embargo, producir en ambientes controlados resulta tener una inversión considerable por los elevados precios de la infraestructura, así como, la dificultad de la instalación y manejo.

Actualmente en México se tiene una superficie de invernadero de 15,747.74 Hectáreas (SIAP, 2023), teniendo costos promedios en invernaderos de baja

tecnología de \$350.00MXN/ m<sup>2</sup>, mientras que los invernaderos de alta tecnología o automatizados oscilan 550.00MXN/m<sup>2</sup> (FIRA, 2011), No obstante, en la actualidad los tabuladores de costos suelen ser muy variados, los rangos son desde \$600.00MXN/m<sup>2</sup> - \$1200.00MXN/m<sup>2</sup> o más de acuerdo a las zonas o empresas constructoras en el ramo de la agricultura protegida. Factores como diseño, tipo de cubiertas, materiales de la estructura, condiciones climáticas, oferta y demanda son los que influyen en el costo final, además de las tecnificaciones adicionales. (Novagric,2024)

Ante evidente problemática los invernaderos geodésicos resultan ser una opción viable, las estructuras prefabricadas resultan ser prácticas en cuanto a la construcción generando, optimizando los recursos energéticos y humanos. El tipo de diseño permite una alternativa para la producción de alimento favoreciendo los presupuestos en comparación a otros invernaderos.

Este tipo de infraestructura generalmente es fabricada con vigas y chapas de aluminio lo que genera una estructura fuerte y ligera cuya vida útil puede superar los 25 años (Campos et al., 2014)

La utilización de domos o cúpulas geodésicas en el sector agrícola comenzó a ganar relevancia por las ventajas que representaba comparado a otros invernaderos convencionales, como su eficiencia estructural, rentabilidad, practicidad (Huenchuman, 2019). Los domos con finalidad de invernaderos dieron como resultado una capacidad constante de microclima, lo que repercute en el desarrollo de las plantas. Esto es debido a la idoneidad de la cúpula de optimizar la recepción y distribución de la luz solar (Tries D, 2022.)

*Silva (2009)* agrega que el patrimonio agrícola se construye en la interacción entre el ser humano y la tierra; lo que da a lugar al patrimonio inmaterial de constante transformación, y es a través de la historia de la agroalimentación que se consigue apreciar su valor social, ecológico y económico.

Los invernaderos geodésicos tienen como característica una relación idónea entre volumen superficie, al no contener estructuras internas de sostén como columnas o pilares, lo que genera un volumen mayor utilizable en menor superficie; las cúpulas disminuyen un 50%-70% de materiales (*Barba J, 2019*). Lo que representa un menor costo en la construcción, por lo tanto, menor huella de carbono y retorno económico. Los domos geodésicos figuran de propiedades que los hacen factibles en la agricultura por su concentración de luz, calor, buena ventilación, flujo de aire; lo que resalta como una alternativa de huertos zonas urbanas por los bajos costos que representan, así como, la facilidad de operación. Dentro de las ventajas de las cúpulas resaltan la resistencia estructural a vientos, compresión, sismos, lluvias, etc. permitiendo obtener alimentos como verduras y hortalizas a lo largo del año.

Respecto a la contaminación de los invernaderos geodésicos queda analizar el impacto ambiental de los diferentes materiales de las estructuras comparando la huella de carbono directa o indirecta, ya que como huerto permite disminuir particular atmosféricas (*Huenchuman,2019*).

## **2.4 Frecuencias**

Las frecuencias en los domos, indica la cantidad de veces que se divide cada uno de los triángulos que conforman la estructura del domo. Por ejemplo los domos o cupulas se clasifican en frecuencia baja y frecuencia alta, los de frecuencia baja se conocen como 1V o 2V, que hacen referencia a un domo estructurado por número limitado de triángulos de gran tamaño, resultando ser más fáciles de construir, aunque, suelen

ser más pequeños, con una forma menos estética y menos suave; Mientras que las cúpulas denominadas de alta frecuencia a partir de 3V o 4V en adelante, tiende a tener un mayor número de triángulos solo que en menor tamaño, lo que origina un domo más redondeado, suave, de mayor tamaño, mas resistentes y mejor estéticamente.

En otras palabras, las frecuencias hacen referencia a la cantidad de divisiones o subdivisiones que se generan o se hacen en toda el área que da origen a la cúpula al unir los vértices de los triángulos. Existen diferentes frecuencias, entre mayor sean, las divisiones aumentaran, mayor será su capacidad de carga al igual que la calidad de la curvatura, no obstante, la complejidad de la construcción incrementará, por ejemplo, en la elaboración de un domo de frecuencia 4v se requiere 250 barras.



Figura 2. Frecuencia de domos geodésicos.

## 2.5 Diseño

Actualmente los domos geodésicos cuentan con distintos diseños de acuerdo con las necesidades en las que se requieren, con esto se ha logrado ganar más reconocimiento abriéndose ampliar su uso en distintas áreas. Dentro de los diseños se encuentran los siguientes:

### **2.5.1 Oruga**

Este este diseño se enfatiza por un espacio longitudinal extendido gracias su forma alargada por la unión de cúpulas, esto se genera al dividir el domo generalmente en 2 domos posteriormente unidos por una especie de pasillo semiesférico lo que se asemeja a una oruga.

### **2.5.2 Rounded**

El diseño rounded dentro de los domos geodésicos se caracteriza por la división de cuatro partes del domo, separándose simétricamente para su posterior instauración como en tipo oruga, dando como resultado una estructura tipo rectangular, pero sin ángulos rectos, lo que proyecta una suavidad con ángulos menos pronunciados.

## **2.6 Beneficios**

### **2.6.1 Menor costo.**

Los domos reducen costos de materiales al no contener soportes de sostén debido a la estructura esférica aprovechando el espacio en un 30 por ciento, lo que repercute en el ahorro de un 50-70 por ciento de materiales (*Barba J, 2019*).

### **2.6.2 Seguridad**

La forma geodésica tiene como premisa optimizar la carga o presión, debido al desplazamiento de fuerzas en toda la cúpula lo que lo hace resistente a vientos, tormentas, sismos y nieve.

### **2.6.3 Tarifas bajas en aseguradoras**

Aunque para los pequeños productores que poseen invernaderos, el uso de aseguradoras no es común, es de importancia mencionar que los domos geodésicos gracias a su estructura, minimiza significativamente el riesgo de algún daño en

algunas de sus partes o de toda la edificación, convirtiéndolos en una opción constructiva altamente eficiente, dada dicha estabilidad, las aseguradoras tienden a ofrecer tarifas bajas respetando los códigos o normas como las NTC-DS.

#### **2.6.4 Ventilación**

La estructura tiene una eficiente circulación de aire por el aprovechamiento del espacio al no contener bordes o rincones no se produce un estancamiento, al introducir aberturas en el cenit, base o medio generamos un adecuado movimiento de aire y regulación de la temperatura.

#### **2.6.5 Calefacción y refrigeración**

Gracias al diseño se permite un flujo constante de aire permitiendo una estabilidad térmica y energética.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación geográfica del trabajo experimental.

El estudio de investigación se efectuó en el campo experimental de ciencias básicas en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL) en Torreón, Coahuila. Esta área se sitúa entre los paralelos ( $25^{\circ} 42'$  y  $24^{\circ} 48' N$ ) y entre los meridianos ( $103^{\circ} 31'$  y  $102^{\circ} 58' O$ ) a una altura de 1,120 msnm. Teniendo un clima seco, semi cálido, con una precipitación media anual de 400 milímetros y una temperatura promedio que varía entre 18 a 22.3 c (INEGI, 2023).

#### 3.2 Construcción.

##### 3.2.1 Cálculos previos:

Para la construcción del invernadero geodésico debemos tener en cuenta la determinación de tamaños de vértices y números de triángulos lo que en otras palabras es determinar la frecuencia a utilizar.

lo que delimitará el número de divisiones de en el triángulo icosaedro, entre mayor sea la frecuencia el número de divisiones aumentará, en consecuencia, tendríamos más resistencia por metro cuadrado, aunque la complejidad de su construcción. (ver figura 2)

#### 3.3 Diagnóstico de la situación actual.

##### 3.3.1 Invernaderos en México

Los invernaderos han tomado relevancia dentro de la agricultura protegida, caracterizados por sus estructuras cerradas, con distintos grados de tecnificación con el propósito de controlar efectos medioambientales, orientados a ser eficientes en la

producción agroalimentaria aumentando la calidad y rendimientos en las cosechas, así como, la maximizando de recursos principalmente el agua o a cubrir condiciones específicas de la zona donde se establezcan. *(Hernández, J. 2020)*.

Resultan ser una herramienta primordial para garantizar la seguridad alimentaria por la disponibilidad de producir fuera de temporada, cortación de ciclos vegetativos, mayor precocidad, aumentos de rendimientos, entre otras ventajas, esto se logra mediante a una atmósfera interior artificial controlada. La constante diversificación en tiempos actuales nos indica la necesaria mejora sustentable de los sistemas de producción que pueda estar al alcance de más productores en distintas regiones de México.

### **3.4. Principales invernaderos utilizados en México**

#### **3.4.1 invernadero gótico:**

Los invernaderos tipos góticos se distinguen por la parte superior de sus arcos ojivales, los cuales permiten contener un mayor volumen de aire, mejorando el microclima y la iluminación dentro del invernadero, esta pensado para funcionar eficientemente en condiciones climáticas extremas. Este diseño resulta adecuado para todo tipo de cultivos, especialmente los suspendidos. *(InfoAgro, 2016)*

#### **3.4.2 invernadero túnel:**

Es un invernadero generalmente de tamaño pequeño a mediano, un punto peculiar es la falta de estructuras rectas siendo totalmente curvo o en algunas ocasiones sus arcos pueden ser ojiva desde la parte inferior hasta la cumbre. Están compuestos por una serie de módulos lo que facilita la instalación, ofrecen un adecuado volumen de aire y una buena resistencia a lluvias.

### **3.4.3 invernadero Asimétrico:**

Los invernaderos asimétricos o conocidos como tropicales tienen como función la adaptabilidad a climas húmedos, con tendencia a temperaturas cálidas y vientos suaves, estructuralmente se diferencia del tipo capilla y gótico por la geometría desigual ya que puede tener ángulos o lados desbalanceados, teniendo una característica en particular que unos de los lados de la cubierta tengan un Angulo de inclinación mayor que el otro (*Novagric,2024*)

### **3.4.4 Invernadero tipo capilla**

El invernadero capilla o igual conocido como multicapilla, trata de una de las estructuras utilizadas en climas cálidos y templados, se caracteriza por su cubierta de arcos semicirculares y su estructura completamente metálica, se incluye en la categoría de invernaderos multitudes, junto con los modelos gótico y asimétrico, su instalación se asemeja a un sistema modular tipo mecano ya que las distintas partes se ensamblan mediante tuercas y tornillos, eliminando la necesidad de soldaduras para si montaje . (*Novagric,2024*).

## **3.5 Comparativa significativa entre invernaderos convencionales y invernadero geodésico.**

La región de Torreón Coahuila no cuenta con la implementación de invernaderos geodésicos, debido a que se implementa el uso de otros sistemas como el invernadero tipo túnel y el acolchado. Dentro de las características comparativas Invernadero convencional y el invernadero geodésico se destacan las siguientes:

### **3.5.1 Invernadero convencional**

Ventajas

- Incremento de la productividad.

- Mejora en los niveles de rendimiento.
- Mitigación de los riesgos asociados a la producción.
- Uso más eficiente de insumos.
- control integral y eficaz de plagas, malezas y enfermedades.
- Capacidad de operar en un ciclo de producción anual ininterrumpido.

#### Desventajas

- Alta demanda de capital inicial.
- Falta de conocimiento en las especificaciones estructurales.
- Costos de operación elevados.
- Demanda de capacitación técnica.
- Ambiente favorable para la proliferación de patógenos.
- Dependencia significativa del mercado.

### **3.5.2 Invernadero geodésico**

#### Ventajas.

- Las estructuras esféricas tienen la mejor relación volumen-superficie.
- Cada vez que el diámetro de un domo se multiplica, su superficie se expande.
- Una construcción rápida y eficiente.
- Resistencia estructural capaz de soportar cargas de viento, así como, cargas dinámicas y estáticas.
- Conservación térmica.
- Ahorro energético significativo, con máximo aprovechamiento de recursos naturales como la luz solar.

- Flexibilidad en el diseño, permitiendo libertad creativa en la estructura de los domos.
- La estructura principal esta formada por una malla de triángulos, lo que facilita la prefabricación y reduce los tiempos de ensamblaje.

#### Desventajas

- Espacio limitado: el diseño esférico de la cúpula geodésica reduce el área interior útil.
- Desafíos en puertas y ventanas: adaptar puertas y ventanas al diseño cuervo de las cupulas geodésicas puede resultar complicado.
- Tramitar los permisos de construcción para cupulas geodésicas puede ser complejo por el desconocimiento de las mismas en muchas zonas.
- Financiar y venta: Los invernaderos geodésicos al ser un inusuales, pueden presentar dificultades para obtener un financiamiento de parte de bancos o inversores particulares, y las valoraciones pueden ser complicadas al establecer su valor de mercado.

### **3.6 Costos de construcción**

#### **3.6.1 Materiales**

Dentro de los costos de construcción del invernadero geodésico, los materiales implican un punto significativo en la inversión inicial, en este caso los domos representan un ahorro por la falta de soportes en el interior, así como, un ahorro de un 30% en el techo de la cúpula.

#### **3.6.2 Tiempo de construcción:**

Otro aspecto clave a considerar es el tiempo de fabricación, un domo 50 o 60 m<sup>2</sup> puede construirse en un periodo de 20 días a 3 semanas máximo.

### 3.7 Diseño experimental

Las dimensiones del invernadero geodésico son:

- Diámetro= 10m
- Radio= 5m
- Frecuencia=  $\sqrt{3}$

Con las medidas establecidas se procedió al cálculo estructural a través de una plataforma *desert domes*, obteniendo el siguiente resultado:

Strut	Length	3/8	5/8	Sphere
A	1.743	30	30	60
B	2.017	40	55	90
C	2.062	50	80	120
4-way connectors		15	15	0
5-way connectors		6	6	12
6-way connectors		25	40	80

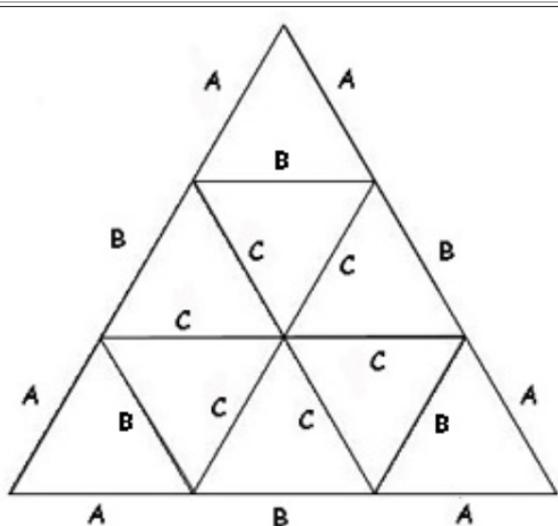


Figura 3. cálculos. Domo geodésico/medidas.

Con esta información se procedió con 5/8 de esfera alcanzando una altura de 6.25 m.

El volumen del domo está dado por:  $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = V = \frac{4}{3}\pi(5)^3 = 523.6\text{m}^3$

Por lo tanto, multiplicando por 5/8 de esfera=  $327.25\text{m}^3$ ; siendo este el volumen final del domo que se construirá a partir de un polígono formado por una red de triángulos interconectados con las siguientes medidas.

A= 1.743m      30 piezas

B= 2.017m      55 piezas

C= 2.062m      80 piezas

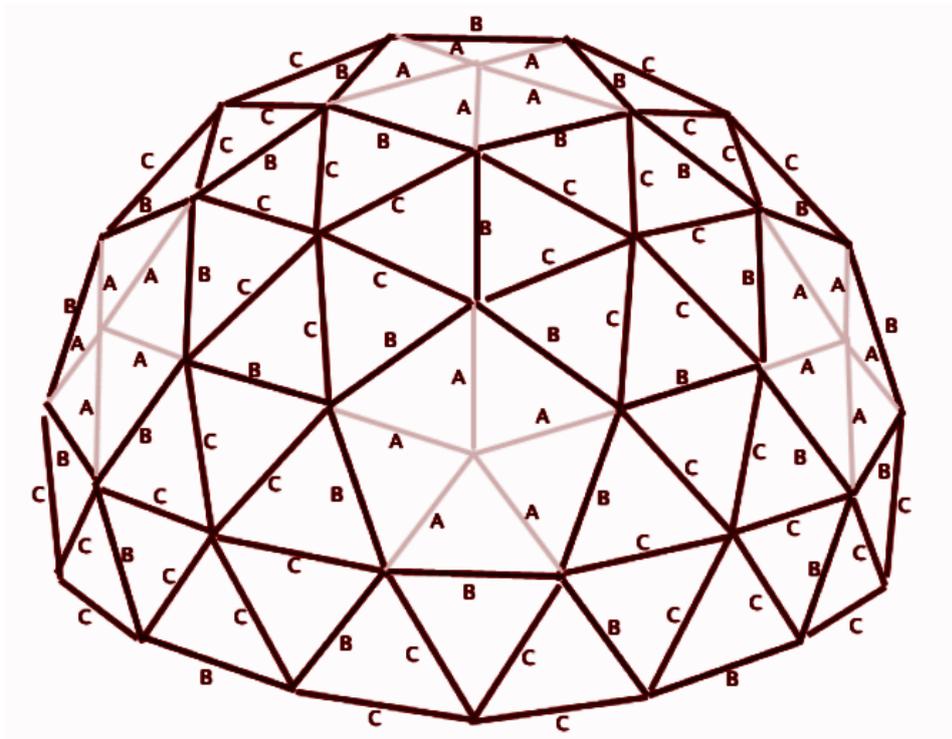


Figura 4. Plano de Domo geodésico. (Tomado del programa desert domes)

Posteriormente se calculó la superficie en metros cuadrados de los 5/8 de esfera utilizados con la siguiente fórmula:

$$S = 4 \pi r^2 = 4 \pi (5)^2 = 314.15 \text{ m}^2$$

Finalmente multiplicando  $\frac{5}{8}$  de esfera = 196.4 m<sup>2</sup> de superficie.

Se requirió 55 perfiles rectangulares cedula 75 calibre 20 con un costo de \$116 pesos el tramo de 6 m, adquiridos de Ventacero de la Cd. De Torreón Coahuila México el día 18 de abril del 2024. Las cotizaciones se realizaron en diversas comercializadoras

de la ciudad, escogiendo la mejor opción costo beneficio, es importante recalcar que para dicha decisión se consideraron materiales nacionales, ya que adquirir perfiles extranjeros implicaría pagar un porcentaje más costo debido a que México aplicó una serie de aranceles temporales en abril de 2024 a la importación de mercancías como acero, aluminio, textiles y más. Como uno de los planes para apoyar a la competitividad de industrias nacionales, no obstante, estas medidas generaron una fluctuación de precios en estos productos, generando ajustes en los precios locales.

Los perfiles representaron un costo de:

55x116= \$6,380.00 MXN

La Tornillería empleada incluyó 100 Tornillos hexagonales con arandelas planas y de presión, cada uno con su tuerca, sumando \$500 pesos.

Pintura y brochas \$1000 pesos

2 discos de corte y 1 broca \$500 pesos

Cubierta plástica de 6.2 m x 32 m; se utilizó plástico de polietileno (PE), al ser el más utilizable para cubiertas en invernaderos convencionales de México.

Personal laboral de 2 personas durante una semana \$600 pesos diarios, totalizando \$4200 pesos (\$600 X 7 días)

Renta de andamio por un día \$1000 pesos.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del análisis de costos de la estructura de un invernadero geodésico resultaron ser los siguientes presentados en el cuadro 1.0, donde se describieron y clasificaron por concepto de materiales utilizados con sus costos finales.

***Cuadro 1.0 - costos realizados en la construcción de la estructura de un invernadero geodésico.***

CONCEPTO	COSTO
Perfil	\$6,380.00
Tornillería	\$500.00
Pinturas y brochas	\$1,000.00
Discos de Corte y brocas	\$500,00
Cubierta Plástica	\$2,976.00
Renta de andamios por un día	\$1,000.00
Mano de Obra de 2 personas por 1 semana	\$4,200.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$16,556.00</b>

Como podemos observar en los datos, el costo de fabricación de nuestro invernadero geodésico de 10m de diámetro es de \$16,556.00 MXN considerando precios de Abril de 2024, indicando el cumplimiento de la hipótesis planteada ya que económicamente es viable llevar a cabo este tipo de estructuras. Para llegar a esta afirmación analizamos todos los costos cuantitativos en la construcción del invernadero

geodésico, como costos de materiales, mano de obra, renta de equipos para la instalación, entre otros factores.

Analizamos los siguientes parámetros a partir del razonamiento de las áreas aprovechables del invernadero:

$$\text{Área base} = \pi r^2$$

$$\text{Área base} = \pi (5^2) = 78.53\text{m}^2$$

De acuerdo con el análisis obtuvimos que por metro cuadrado tenemos un costo de \$210.82 MXN/m<sup>2</sup>, resultado obtenido a partir de:

$$\text{Costo por metro cuadrado} = \text{Inversión total} / \text{m}^2$$

$$\$16,556.00 / 78.53\text{m}^2 = \$210.82 \text{ MXN/m}^2.$$

Esto es referenciado a los metros cuadrados de la base de la estructura, en otras palabras se considera el área total en el plano horizontal que puede ser utilizado para el desarrollo agrícola, aunque sabemos que el invernadero geodésico al ser proporcional a una esfera los valores debería ser en precios volumétricos o al menos superficiales, sin embargo, los cálculos se convirtieron a metros cuadrados al ser más práctico y directo de calcular, al considerar parámetros en la industria de la construcción ya que en metros cuadrados es una medida estandarizada para la cotización y ejecución de proyectos.

La agricultura protegida (AP) resulta ser de vital importancia nacional, no solo para garantizar la seguridad alimentaria, además, representa un valor económico significativo en la producción agrícola, tan solo la producción bajo cubierta ha logrado posicionar a México dentro de los principales países en producir frutas y hortalizas con valor de 63 mil millones de pesos (inv.+ Ms. + Mt), no obstante, de estos valores

tan solo el 44 por ciento solo es proveniente de invernaderos (SIAP, 2023). ver cuadro 2.0.

*Cuadro 2.0 - Agricultura Protegida en México 2023(SIAP, 2023).*

<i>AGRICULTURA PROTEGIDA</i>	<i>SUPERFICIE ha</i>	<i>VALOR(MXN)</i>
Malla Sombra	21,477.43	\$20,342,212.00
Macro Túnel	15,222.50	\$15,660,768.00
Invernadero	15,222.50	\$27,811,427.00

Algo importante que mencionar en el costo por metro cuadrado es que se tiene una perspectiva o se plantea un enfoque de autoconstrucción, donde los propietarios asuman la planificación y ejecución de la obra, con la idea de optimizar nuestro capital, sin la necesidad de consultar a una empresa en el ramo de construcción de invernaderos, ya que aparte de ser complicado que una empresa del giro AP, se dediquen o tengan la disponibilidad de realizar una estructura como un invernadero geodésico; Nos aumentaría el valor de la construcción puesto que en general los precios que manejan ya son precios utilitarios o comerciales. Tienen un margen de ganancia que van desde un 10 por ciento al 30 por ciento del valor total de la infraestructura independientemente de un incremento adicional que suelen tener para cubrir imprevistos o ajustes necesarios durante la ejecución de un proyecto (ver cuadro 3.0), Estas proyecciones son de acuerdo con la cámara mexicana de ingeniería y construcción (CMIC,2024); Lo que sin lugar a dudas tendrá un aumento considerable en nuestra inversión. Aunque considerando estos factores podemos analizar lo siguiente, Si nuestro invernadero geodésico es elaborado por una empresa en el giro de la AP.

Tendríamos que considerar lo siguiente:

- Margen de ganancia: 20%
- Costo indirecto: 10%
- contingencias: 5%
- Impuesto: 16%

Estos valores o costos adicionales se incorporan al presupuesto final de la cotización del proyecto para determinar el precio total de la obra o precio unitario (CMIC, 2024), claramente habiendo considerado ya los costos antes mencionados, como lugar, materiales, mano de obra, tecnificación, etc.

Una vez sabiendo esto podemos estimar o presupuestar el costo que tendría un invernadero geodésico si se necesitara recurrir a una empresa constructora de invernaderos o bien simplemente de construcción en general.

Los costos indirectos que se consideran para la realización de una obra son todos aquellos que como su nombre lo indica no están directamente relacionados con la ejecución del proyecto, pero que si repercuten en la gestión de la obra, considerando temas como personal administrativo, transporte y logística, seguros y licencias, desgaste de quipos etc; Se considero un porcentaje intermedio utilizado por constructoras del 10 por ciento del costo del proyecto, lo que significa un incremento de \$1,655.60 MXN.

En la realización de obras en general se incluye un porcentaje adicional para contingencias, utilizados para cubrir gastos imprevistos o situaciones inesperadas que garantiza que se cuente con fondos adicionales sin que se afecten los márgenes de ganancia, en este caso se considerara un 5 por ciento lo que representa \$827.80 MXN.

El margen de ganancia en las empresas constructoras se basa en el costo de la construcción, para esto se emplea una fórmula especial (Guerrero et, 2012), la cual determina significativamente las ganancias o utilidad de las empresas.

$$P = \frac{C}{1 - Mg}$$

P= \$19,039.40 / 1-0.2= \$23,799.25 MXN

Mg directo= \$4,759.85 MXN

Donde C es el costo por unidad o bien el costo total de la estructura considerando los costos directos, indirectos y de contingencia; Mg es el margen de ganancia requerido expresado como un porcentaje, en esta situación se consideró el margen de un 20% como promedio utilizado por constructoras. Esta fórmula resulta ser una de las más empleadas para la determinación de precios en bienes y servicios, sin embargo, no se considera la reacción del mercado al precio establecido. ver cuadro 3.0.

***Cuadro 3.0 - Valor final preliminar de la estructura de un invernadero geodésico hecho por una constructora tomando nuestro costo unitario de elaboración \$16,556.00 MXN***

<b>MARGEN</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>VALOR</b>
Gasto indirecto	10%	\$1,655.60
Contingencias.	5%	\$827.80
Margen de ganancia	20%	\$4,139.00
Subtotal	-	\$23,799.25
Impuesto	16%	\$3,807.88
<b>TOTAL</b>		<b>\$27,607.13 MXN</b>

Obteniendo como resultado preliminar el precio por metro cuadrado de un invernadero geodésico es desde \$351.54 MXN/m<sup>2</sup>; si es fabricado por una empresa dedicada al

giro de la agricultura protegida en México, considerando este precio unitario la diferencia de un invernadero geodésico base respecto a uno convencional aun siendo elaborado por un externo es de \$248.46 MXN/ m<sup>2</sup> lo que representa un 41.41 por ciento más económico, en comparación al precio base del invernadero convencional que ronda los \$600.00MXN/ m<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} \text{➤ Diferencia porcentual: } & \left( \frac{\text{Precio mayor} - \text{precio menor}}{\text{precio mayor}} \right) * 100 \\ & = \left( \frac{\$600 - \$351.54}{\$600} \right) * 100 = 41.41\% \end{aligned}$$

Esta fórmula se utiliza para conocer cuanto más barato es el precio menor en comparación con el mayor.

Ahora Si lo que queremos es comparar que tan caro es el invernadero convencional respecto al geodésico, es necesario implementar la siguiente formula.

$$\begin{aligned} \text{➤ Diferencia porcentual: } & \left( \frac{\text{Precio mayor} - \text{precio menor}}{\text{precio menor}} \right) * 100 \\ & = \left( \frac{\$600 - \$351.54}{\$351.54} \right) * 100 = 70.67\% \end{aligned}$$

Construir un invernadero no está al alcance de todos, principalmente por los altos costos de construcción y de mantenimiento. Actualmente la industria de los invernaderos la acaparan las grandes multinacionales, aunque no hay datos exactos del porcentaje que estas abarcan, se tiene claro que una porción significativa está dominada por ellas las cuales tienen accesos a tecnologías extranjeras, créditos, operaciones a grandes escalas, etc. (Gutiérrez, M. & Rodríguez J. 2019), en consecuencia, influyen en los incrementos de tecnificación, mantenimientos, y financiamiento. Limitando a los pequeños productores avanzar en este tipo de tecnologías (Rivera L. 2018).

Dentro de los principales retos que se enfrentan es el elevado costo inicial. La mayoría de los productores no pueden permitirse los costos de la estructura. Es por ello por lo que los invernaderos geodésicos llegan a ser una alternativa sustentable en la agricultura protegida.

## V. CONCLUSIONES

El análisis realizado en esta tesis arrojó resultados sobre los costos involucrados en la investigación de la fabricación estructural de un invernadero geodésico frecuencia 3, siendo esta significativamente económica, teniendo un costo unitario de \$351.54 MXN/m<sup>2</sup> vs los \$600.00MXN/m<sup>2</sup> de un invernadero convencional.

Magnificamos la importancia económica de construir nuestras propias estructuras, obteniendo una diferencia de \$140.72 MXN/m<sup>2</sup> si comparamos el precio de \$210.82 MXN/m<sup>2</sup> a partir de la autoconstrucción, respecto a la estimación de \$351.54 MXN/ m<sup>2</sup>, si recurrimos a una empresa para su ejecución. No obstante, pensemos en lo siguiente, tomando el precio del invernadero geodésico elaborado por nosotros mismos, significaría un 64.86 por ciento más económico en comparativa con los \$600.00MXN/m<sup>2</sup> en invernaderos convencionales o si lo queremos ver desde el punto de que tan caro es el invernadero convencional respecto al geodésico, existe una diferencia de 184.60 porciento.

La reducción de costos en la estructura de un invernadero permitirá a los productores destinar esos recursos a áreas de mejora dentro del mismo, como insumos agrícolas, sistemas de riegos y tecnologías. Los invernaderos Geodésicos refuerzan la idea de una gestión eficiente, generando oportunidades para el desarrollo agrícola.

Llevar a cabo este tipo de estructuras no sólo tiene beneficios monetarios sino proporciona una opción viable para la producción en la agrícola protegida, dado que su implementación genera mejores condiciones, aportando una mayor eficiencia,

durabilidad, volumen y ahorro energético; llevando o así un sistema más sostenible al alcance de todos, ya que puede ser utilizado como huertos urbanos.

La importancia de la innovación es crear nuevas soluciones que impacten a nuestro entorno, la agricultura resalta cada vez más y con ello el deseo inherente de mejorar los procesos de producción; Lo hoy planteado no solo debe quedar en un ámbito en términos de costos estructurales, más bien debemos buscar la posibilidad de llevar estudios más avanzados, como puntos de retorno, puntos de equilibrio. Inclusive la combinación de estas estructuras con estudios olvidados, las cupulas geodésicas fueron inspiradas partir de la geometría sagrada, la cual consistía de lo tangible a lo no comprensible, con los estudios e investigaciones antiquísimas en combinación con las aportaciones actuales se puede generar más beneficios a la agricultura, como lo es evaluar la respuesta de los cultivos respecto a los materiales estructurales, uno de ellos el cobre tomando como base los resultados positivos que género en la electrocultura (*Atienza, M. 1871*). Métodos poco ortodoxos, que para la comunidad científica sería cuestionable, creer en una verdad absoluta solo es caer en nuestra propia ignorancia.

## VI. LITERATURA CITADA

Armendáriz, B. (2017). “Nivel tecnológico de invernadero y riesgo para la salud de los jornaleros”. *Nova Scientia*, 9(18), pp. 21-42. DOI: <https://doi.org/10.21640/ns.v9i18.730>

Atienza, M. (1878). *Elemental de la agricultura*. Málaga. Librería de Rafael Mena, Mártires, pp 48-52

Barba Marcos, J. (2019). *Cúpula geodésica destinada a la implantación de huertos urbanos*. Trabajo de Fin de grado. Universidad Carlos III de Madrid.

Balanda, T. (2005). *Contabilidad de costos*. (1ª ed.) Editorial Universitaria de las Universidad Nacional de Misiones. P 12-16.

Bernal R, Oscar J., & De Hoyos M. (2006). "Geometría, vida y diseño". *Legado de Arquitectura y Diseño*, 3(3), pp.73-90. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4779/477976539005.pdf>

Campos Y, Blanco R, & Cabral L. (2015). “Algoritmo para la creación del modelo alámbrico de un techo fijo para tanque de almacenamiento de combustible en forma de domo geodésico esférico”. *Centró De Azúcar*. 42(1) p 9-21. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v42n1/caz02115.pdf>

Correa Velásquez, J. (2022) *Actividades tecnológicas escolares: recursos didácticos para el desarrollo de competencias tecnológicas a través del diseño y construcción de domos geodésicos*. Trabajo de Maestría. Universidad distrital francisco José de caldas.

CMIC. (2024). Costos de obra en México. Cámara mexicana de la industria de la construcción. Disponible en: <https://www.cmic.org/> [Consultado 04-06-24]

Durango López, R. (2022) *Diseño de invernadero para un cultivo de vegetales*. Trabajo de Fin de Grado. Universitaria Agustiniiana Facultad de Ingeniería.

Durán J., Cutipa D., Quispe H, Amézaga C., Salcedo A., (2016) *Guía de construcción y manejo de invernaderos para la producción de hortalizas y frutas en zonas alto andinas*. Perú. Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas, pp 24-25

FAO. (2018). *El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050* (2ª ed.). Roma. PP 224.

Espinoza, Y. (2013). “Evaluación geotécnica de objetos industriales a partir de mediciones geodésicas reiteradas”. *Ciencias Holguín*. 19(2) pp 1-12

Estrada J, J. (2012). *Guía para la construcción de invernaderos o fitotoldo. Preparación y reducción de riesgos en respuesta a los eventos climáticos extremos y los problemas de*

*disponibilidad de agua en comunidades vulnerables del altiplano de Bolivia y Perú.* Bolivia, Julio 2012. FAO. Pp 84.

FIRA (2021). *Agrocostos Interactivos.* Gobierno De México. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/agrocostosApp/AgroApp.jsp?q=invernaderos> [Consultado en 22-08-24]

FIRA. (2011). *Consejos prácticos para invertir en invernaderos* (14<sup>a</sup> ed.). Edgar Torres Garrido. Morelia Michoacán. PP 50

FIRA. (2010.) *Oportunidades de Negocio en la Agricultura Protegida.* Boletín Informativo Nueva Época. 7(1). p 12

Flores, J., & Ojeda, W. (2015). *Consideraciones agronómicas para el diseño de invernaderos típicos de México.* (1<sup>a</sup> ed.) Morelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. P 33-41.

García, R. A., & Escobar, R. A. (2020). "Retos y Oportunidades para la Agricultura Protegida en México." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 11(5), pp. 987-998.

Gitman, J. (2007). *Principios de administración financiera.* (11<sup>a</sup> ed.). Mexico. Pearson Educación, pp 688

González. (2013) "Los Sólidos Platónicos: Historia de los Poliedros Regulares". *Real Sociedad Matemática Española.* Pp 1-8

Guerrero G, P., Hernández L, D & Díaz M, L. (2012). "Metodología para la fijación de precios mediante la utilización de la elasticidad precio demanda. Caso tipo: repuestos del sector automotor". *Apuntes del CENES.*31 (54), pp. 14-16

Gutiérrez, M. C., & Rodríguez, J. F. (2019). "Viabilidad Económica de Invernaderos para Pequeños Productores en México". *Agrociencia.* 53(4), pp. 415-428.

Gutiérrez, W. (2024) "Factores que Influyen en la Determinación de Costos en la Construcción de Viviendas". *Ciencia latina.* 8 (3) pp 2055-2058

Hernández, J., (2020), "El desarrollo de los invernaderos en Zacatecas. Entre el auge y el abandono." *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento,* 8(22), pp 2, 7-8.

Huenchuman, R (2019) *Estudio en construcción de domo geodésico para cafetería.* Trabajo de Fin de curso. Universidad Técnica Federico Santa María.

INIFAP. (2003). *Agricultura Protegida.* México Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. pp 150-152.

KRAJEWSKI, LEE; RITZMAN, LARRY; MALHOTRA, MANO.J, (2008) *Administración de operaciones Procesos y cadenas de valor*. (8ª ed.). Naucalpan, Estado de México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Lagos, R. (2016). “Armónicos: sólidos platónicos como base de modelo didáctico de iniciación al proyecto en Arquitectura”. *Arquitectura Revista*, 12(1), pp 48-57.

Martínez F. (2018) “Domos poliédricos regulares”. *Red latinoamericana de tenso estructuras*. 1 p 12

Moreno Reséndez, Alejandro., Aguilar Durón, Juanita., Luévano González, Armando. (2011), "Características de la agricultura protegida y su entorno en México." *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, pp.763-774

Moya, J., Cedeño, B. (2017) “conceptos básicos en geodesia como insumo para un tratamiento adecuado de la información geoespacial”. *Revista Geográfica de América Central*. 1 (58) pp 52-54. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.58-1.3>

Novagric. (2024). Cálculo de precio de un invernadero profesional. Disponible <https://novagric.com/> [Consultado 25-7-24].

Ocampo, A., Hernández, L. H., Fernández, D., & Cervantes, R. (2014). “Análisis estático de los esfuerzos y deformaciones de la estructura de un invernadero tipo “Ventila Cenital” ubicado en Veracruz”. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), pp 10-16.

Peñalver, M. (2017). *Estudio de alternativas de cúpula geodésica en madera de fácil realización y montaje*. Trabajo de fin de grado. Valencia. universidad politécnica de Valencia.

Pat Mooney. & ETC Group. (2019). *La insostenible agricultura 4.0: digitalización y poder corporativo en la cadena alimentaria*. Ciudad de México. Fundación Rosa Luxemburg-Stiftung. Pp 40-47

Peinador, A. (2023). *Contenedores Geodésicos: La forma hemisférica en los invernaderos*. Trabajo de fin de grado. Madrid. Universidad de Madrid.

Pérez, M. B. (2018). *Análisis estructural de domos geodésicos metálicos como alternativa a la demanda de unidades habitacionales tipo vivienda*. Trabajo de fin de grado. Ecuador. Universidad Técnica de Machala.

Quesada, C. (2006). “Los sólidos platónicos, Historia, Propiedades y Arte”. *Departamento de matemáticas UNAM*. p. 1 - 41. Disponible en: <https://lya.fciencias.unam.mx/gfgf/ga20132/poliedros/arch5.pdf>

Ramirez c, Garcia m, Pantoja c, Zambrano a. (2009) *Fundamentos de matemáticas financieras*. Cartagena de Indias. Colombia: Editorial Universidad Libre Sede Cartagena; 254 p.

Ramos, J. (2015) *Costos y presupuestos en edificaciones*. (1ª ed.). Lima. Editora Macro EIRL. P 19-309

Rodríguez, P. (2018). *Análisis estructural de domos geodésicos metálicos como alternativa a la demanda de unidades habitacionales tipo vivienda*. Trabajo de fin de grado. Unidad Académica de Ingeniería Civil.

Ross S., Westerfield R., Jaffe J. (2012) *Finanzas corporativas*. (9ª ed). México. Mcgraw-hill/interamericana editores, S.A. DE C.V; 1025 p.

Rivera, L. E. (2018). "Inversión y Rentabilidad de Invernaderos en México" *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 15(82), pp. 55-70.

SADER. (2022), Agricultura protegida ubica a México entre los principales productores de frutas y hortalizas. Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/agricultura-prottegida-ubica-a-mexico-entre-los-principales-productores-de-frutas-y-hortalizas?idiom=es%20A0#:~:text=El%20crecimiento%20de%20la%20agricultura,de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural%2C>. [Consultado 08-7-24].

Saldaña, L., Mujica, A. (2018). "Diseño y construcción de un domo geodésico de frecuencia 3, una experiencia de enseñanza y construcción con participación de la comunidad". *P&A*. 3(5). 91-95

Sánchez M, T., & Martínez M. (2000) "La vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos ante el cambio climático global. El caso de México". *Instituto de geografía UNAM*. Pp 17

SIAP. (2023) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola. Gobierno De México. Disponible en: [https://nube.siap.gob.mx/cierre\\_pecuario/](https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/). [Consultado 22-02-06]

Silva, R. (2009). "Agricultura, Paisaje y Patrimonio Territorial: los paisajes de la agricultura vistos como patrimonio". *Boletín de la Asociación de Geografía Española*. (49), pp 309-334

Sinisterra, G, Rincon, C. (2017) *Contabilidad con aproximación a las normas internacionales de costos*, (2ª ed.). Ecoe Ediciones. Pp 572

Trezza, L. (2018) *Análisis energético de una vivienda geodésica y autosuficiente ubicada en Jumilla*. Trabajo de Maestría. Universidad politécnica de Cartagena.

Wang, H., Zhang, Y., & Tan, M. (2019). "Mechanical Performance of Geodesic Domes under Wind Loads". *Journal of civil Engineering and Management*, 25(6), 486-495.