

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo principal	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Alcances	5
2. Antecedentes	6
2.1. Gemelo Digital	6
2.1.1. Propiedades de los fluidos	8
2.1.1.1. Ecuaciones de continuidad	8
2.1.1.2. Navier-Stokes	8
2.1.2. Transferencia de calor	8
2.1.2.1. Conducción	9
2.1.2.2. Convección	9
2.1.2.3. Radiación	10
2.1.3. Radiación Solar	10
2.1.4. Paneles solares fotovoltaicos	11
2.1.4.1. Funcionamiento de un panel solar	12
2.1.4.2. Rendimiento de un panel fotovoltaico	13
2.1.5. Componentes principales de un panel fotovoltaico	13
2.1.6. Plantas	14
2.1.6.1. Fotosíntesis	14
2.1.6.2. Fisiología de una planta	15
2.1.6.3. Transpiración vegetal	16
2.2. Invernadero	16
2.2.1. Condiciones para el cultivo de Tomates	17
3. Memoria de cálculo	19
3.1. Modelo de crecimiento de tomate	19
3.2. TOMSIM	20
3.2.1. Descripción del modelo	20
3.2.1.1. Radiación fotosintéticamente activa dentro del invernadero	20
3.2.1.2. fotosíntesis del dosel	20
3.2.2. Respiración de mantenimiento y de crecimiento	22
3.2.2.1. Fotosíntesis neta y producción de masa seca	23
3.2.2.2. Partición de masa seca	23

3.2.2.3.	Simulación de LAI	25
3.2.2.4.	Implementación del modelo	25
3.3.	Modelación de radiación incidente	26
3.3.1.	Definición de ángulos	26
3.3.1.1.	Ángulo horario	26
3.3.1.2.	Ángulo Cénit	27
3.3.1.3.	Ángulo Azimutal	27
3.3.1.4.	Ángulo de Latitud	27
3.3.1.5.	Ángulo de declinación del sol	28
3.3.2.	Factores de forma	28
3.3.3.	Transferencia y reflectividad de radiación en caras del invernadero . .	30
3.4.	Modelo térmico de paneles fotovoltaicos	30
3.4.0.1.	Primera capa: Vidrio	31
3.4.0.2.	Segunda capa: EVA superior	32
3.4.0.3.	Tercera capa: Celda Fotovoltaica	32
3.4.0.4.	Cuarta capa: EVA inferior	33
3.4.0.5.	Capa final: Tedlar	33
3.5.	Modelo térmico del Invernadero	33
3.5.1.	Convección entre caras y ambiente	33
3.5.2.	Calor sensible y latente por renovación del aire interior	34
3.5.3.	Calor latente consumido en la evapotranspiración	35
3.5.4.	Calor intercambiado con el suelo	36
4.	Metodología	37
4.1.	Herramientas y recursos a utilizar	37
4.2.	Módulo de generación geométrica del invernadero	37
4.2.1.	Superficies estilo paralelogramo	39
4.2.2.	Superficie estilo triangulares	40
4.2.3.	Función Contiene	40
4.2.4.	Paneles Solares	42
4.3.	Propiedades térmicas y ópticas de materiales	43
4.4.	Módulo de posición solar	43
4.5.	Módulo de lectura de explorador solar	44
4.6.	Modulo de Raytracing	44
4.6.1.	Funciones auxiliares: Snell y Factores de forma	44
4.6.2.	Búsqueda de cara reflectante	45
4.6.3.	Iteración rayo	46
4.6.4.	Iteración para una cara	47
4.6.5.	Raytracing a invernadero	49
4.7.	Módulos térmicos	50
4.7.1.	Equilibrio térmico para paneles	51
4.7.2.	Equilibrio térmico para el invernadero	52
4.8.	Modelo TOMSIM	53
4.9.	Estructuración del algoritmo	53
4.10.	Cálculo de producción	54

5. Resultados y discusión	55
5.1. Validación de resultados	55
5.1.1. Generación de geometría	55
5.1.2. Raytracing	57
5.1.2.1. Validación en modelos simples	58
5.1.2.1.1. Caja con solo radiación difusa	58
5.1.2.1.2. Techo inclinado	59
5.1.2.2. Convergencia de Raytracing	61
5.1.2.2.1. Convergencia de numero de particiones	61
5.1.2.2.2. Convergencia iterando en la tolerancia	63
5.1.3. Modelo Térmico	64
5.1.3.1. Caras del invernadero	64
5.1.3.2. Comparación con modelo de memoria: <i>Evaluación del uso de bombas de calor geotérmicas en invernaderos</i>	67
5.1.4. Validación modelo térmico para paneles solares	69
5.2. Resultados: Prueba Pozo Almonte	72
5.2.1. Iteración respecto a la cantidad de paneles	78
5.3. Discusión	80
5.3.1. Validación de resultados	80
5.3.1.1. Generación de geometría	80
5.3.1.2. Raytracing	80
5.3.1.2.1. Modelo simple - Caja con aplicación de radiación difusa	80
5.3.1.2.2. Modelo simple - Techo inclinado	81
5.3.1.2.3. Convergencia al iterar sobre número de particiones	82
5.3.1.2.4. Convergencia al iterar sobre la tolerancia	83
5.3.1.3. Modelo térmico	83
5.3.1.3.1. Comparación con FEA	83
5.3.1.3.2. Comparación memoria Hurtado	83
5.3.1.4. Módulo de paneles solares	85
5.3.2. Resultados obtenidos	85
5.3.2.1. Iteración respecto a la cantidad de paneles	87
5.3.3. Recomendaciones y mejoras futuras	87
6. Conclusiones	90
Bibliografía	92