

# Tabla de Contenido

1. Resumen . . . . .	i
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Hipótesis . . . . .	2
1.3. Objetivos . . . . .	2
1.3.1. Objetivo general . . . . .	2
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.4. Metodología . . . . .	3
1.5. Alcances . . . . .	4
1.6. Estructura de la Tesis . . . . .	4
1.7. Publicaciones generadas . . . . .	5
<b>2. Estado del arte</b>	<b>6</b>
2.1. Sistemas de gestión de agua y energía . . . . .	6
2.2. Sistemas de gestión de agua y energía en invernaderos . . . . .	9
2.3. Discusión . . . . .	11
<b>3. Modelación del invernadero</b>	<b>12</b>
3.1. Arquitectura del invernadero . . . . .	12
3.2. Micro-clima del invernadero . . . . .	13
3.2.1. Efecto de la radiación solar . . . . .	15
3.2.2. Efecto de la conducción y convección . . . . .	16
3.2.3. Efecto del intercambio de calor con el suelo . . . . .	16
3.2.4. Efecto de la renovación del aire . . . . .	17
3.2.5. Efecto de la evapotranspiración . . . . .	18
3.2.6. Efecto de la condensación . . . . .	19
3.3. Demanda de riego . . . . .	20
3.4. Discusión . . . . .	22
<b>4. Sistema propuesto de gestión de agua y energía para invernaderos</b>	<b>23</b>
4.1. Planteamiento del problema . . . . .	23
4.2. Sistema de gestión agua y energía propuesto . . . . .	24
4.3. Predicción climática . . . . .	25
4.3.1. Predicción climática a corto plazo de variables externas . . . . .	25
4.3.2. Predicción climática a corto plazo de variables internas . . . . .	26
4.3.3. Predicción climática a mediano plazo . . . . .	27
4.4. Sistema de gestión a corto plazo . . . . .	28
4.4.1. Control de ventanas . . . . .	29

4.4.2. Sistema de gestión de agua-energía . . . . .	32
4.5. Sistema de gestión a mediano plazo . . . . .	34
4.6. Discusión . . . . .	34
<b>5. Resultados</b>	<b>36</b>
5.1. Resultados de la predicción climática a corto plazo . . . . .	36
5.1.1. Predicción climática a corto plazo de variables externas . . . . .	36
5.1.2. Predicción climática a corto plazo de variables internas . . . . .	41
5.2. Resultados de control a corto plazo . . . . .	44
5.2.1. Resultados del controlador de ventanas . . . . .	44
5.2.2. Resultados del sistema de gestión a corto plazo . . . . .	48
5.3. Resultados de la predicción climática a mediano plazo . . . . .	50
5.4. Resultados de control a mediano plazo . . . . .	59
5.5. Discusión . . . . .	61
<b>6. Conclusión</b>	<b>64</b>
6.1. Trabajo futuro . . . . .	66
<b>Bibliografía</b>	<b>68</b>
<b>Anexo A.</b>	<b>71</b>
A.1. Parámetros . . . . .	71
A.1.1. Arquitectura del invernadero . . . . .	71
A.1.2. Modelo fenomenológico . . . . .	71
A.1.2.1. Efecto de la radiación solar . . . . .	72
A.1.2.2. Efecto de la conducción y convección . . . . .	72
A.1.2.3. Efecto del intercambio de calor con el suelo . . . . .	72
A.1.2.4. Efecto del intercambio de calor con el suelo . . . . .	72
A.1.2.5. Efecto de la evapotranspiración . . . . .	73
A.1.3. Demanda de riego . . . . .	73
A.1.4. Parámetros controladores . . . . .	73
A.1.4.1. Sistema de gestión de agua-energía a corto plazo . . . . .	73
A.1.4.2. Sistema de gestión a mediano plazo . . . . .	74
A.2. Controladores de ventanas por reglas . . . . .	74
A.3. Redes neuronales . . . . .	74
A.4. Estrategia de análisis de sensibilidad . . . . .	75