



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Título del TFG:

Sistema de Control de Riego

Autor:

Sáez González, Javier

Tutor:

**García Ruiz, Francisco Javier
Ingeniería de Sistemas y
Automática**

Valladolid, Julio-2016





Resumen.

Programación de un sistema capaz de controlar un sistema de riego mediante el microcontrolador Arduino. Dicho sistema se ha programado en la plataforma Simulink y se han llevado a cabo simulaciones del mismo para confirmar su correcto funcionamiento. Las simulaciones realizadas se basan en datos obtenidos de informes meteorológicos diarios que nos dan una idea de las posibles necesidades de riego en diferentes regiones de España. Realización de un estudio de diversos factores que influyen en la agricultura.

Palabras clave.

Sistema, Riego, Simulación, Simulink, Arduino.



Índice General

Capítulo 1: Introducción al proyecto	10
1.1. Introducción	11
1.2. Motivación para la realización del proyecto	12
1.3. Objetivos	13
1.4. Estructura de la memoria	14
Capítulo 2: Estudio sobre la humedad.....	15
2.1. Introducción.....	16
2.2. Comportamiento del flujo del agua.....	18
2.3. Factores que influyen en la humedad del suelo	21
2.3.1. Porosidad del suelo.....	21
2.3.2. Permeabilidad del suelo	24
2.3.3. Clima	24
2.3.4. Cobertura del suelo.....	25
2.3.5. Topografía.....	26
2.4. Posibles causas de una disminución de la humedad del suelo	27
2.4.1. Drenaje del agua.....	27
2.4.2. Quema de rastrojos.....	28
2.4.3. Práctica de la labranza y uso de maquinaria agrícola.....	29
2.5. Posibles actividades que aumentan la cantidad de humedad de la tierra.....	30
2.5.1. Preservación de la porosidad del suelo	30
2.5.2. Mejora del estado físico de la tierra	30
2.5.3. Detención de la escorrentía	31
Capítulo 3: Estudio sobre el clima actual	32
3.1. Meteorología vs climatología.....	33
3.2. Factores que modifican el clima terrestre.....	34
3.3. Influencia de la latitud en el clima	35
3.3.1. Influencia en las estaciones del año	35
3.3.2. Tipos de biomas	36
3.4. Parámetros meteorológicos	47
3.4.1. Temperatura	47



- 3.4.2. Humedad del aire..... 47
- 3.4.3. Presión atmosférica 47
- 3.5. Eventos meteorológicos..... 49
 - 3.5.1. Viento 49
 - 3.5.2. Precipitaciones..... 49
 - 3.5.3. Frentes 50
 - 3.5.4. Borrascas y anticiclones 50
- 3.6. Climas en el mundo 51
 - 3.6.1. Climas lluviosos..... 51
 - 3.6.2. Climas secos y fríos..... 51
- 3.7. Efectos del cambio climático..... 52
- Capítulo 4: Simulink 54**
 - 4.1. Introducción a Simulink 55
 - 4.2. Librerías utilizadas para la creación de los programas..... 56
 - 4.2.1. Librerías propias de Simulink..... 56
 - 4.2.2. Librerías especializadas de Simulink 59
- Capítulo 5: Programa de control..... 63**
 - 5.1. Introducción al programa..... 64
 - 5.2. Esquema del programa de control..... 65
 - 5.3. Bloques que componen el programa de control..... 68
- Capítulo 6: Programa de simulación 73**
 - 6.1. Introducción al programa..... 74
 - 6.2. Esquema del programa de simulación 75
 - 6.3. Simulación de la variación de humedad del suelo 77
 - 6.3.1. Influencia de las precipitaciones en la humedad del suelo..... 77
 - 6.3.2. Influencia de las horas de sol en la humedad del suelo..... 78
 - 6.3.3. Transformación de % de humedad a la escala del sensor de humedad..... 80
 - 6.4. Simulación de la bomba de riego..... 82
 - 6.5. Simulación del nivel del depósito 84
 - 6.6. Bloques que componen el programa de simulación 85
- Capítulo 7: Simulación del programa de control 92**
 - 7.1. Datos utilizados para la simulación 93
 - 7.2. Ejemplos de simulación 94



7.2.1. Posicionamiento de los bloques Scope para analizar los resultados obtenidos.....	94
7.2.2. Simulación para enero en la ciudad de Lugo.....	96
7.2.3. Simulación para abril en la ciudad de Valladolid.....	100
7.3. Simulación completa del bloque ControlNivelDepósito	104
7.3.1. Esquema simplificado.....	104
7.3.2. Códigos modificados.....	106
7.3.3. Resultados obtenidos	107
7.4. Análisis y conclusiones sobre las simulaciones.....	109
Capítulo 8: Componentes físicos utilizables.....	111
8.1. Introducción.....	112
8.2. Arduino.....	113
8.3. Sensor de nivel de agua	115
8.4. Sensor de humedad de la tierra.....	116
8.5. Depósito de agua	117
8.6. Bomba de agua	118
Capítulo 9: Resultados y conclusiones	119
9.1. Resultados	120
9.1.1. Resultados para la ciudad de Lugo	120
9.1.2. Resultados para la ciudad de Sevilla	133
9.1.3. Resultados para la ciudad de Valencia	146
9.1.4. Resultados para la ciudad de Valladolid	159
9.2. Conclusiones	172
9.2.1. Conclusiones sobre el estudio de la humedad.....	172
9.2.2. Conclusiones sobre el estudio del clima	172
9.2.3. Conclusiones sobre las simulaciones.....	173
9.2.4. Conclusiones sobre el proyecto	174
Capítulo 10: Anexos y referencias.....	175
10.1. Anexos	176
10.1.1. Datos meteorológicos 2005	176
10.2. Referencias	184



Índice Figuras

Figura 1. Mapa mundial de la humedad del suelo media mensual	17
Figura 2. Representación de escorrentía superficial	19
Figura 3. Distintos tipos de poros.....	22
Figura 4. Cobertura del suelo	25
Figura 5. Quema de rastrojos	28
Figura 6. Tundra en Canadá	36
Figura 7. Taiga en Alaska.....	37
Figura 8. Bosque caducifolio	39
Figura 9. Río de una selva tropical.....	40
Figura 10. Desierto de Namib	41
Figura 11. Representación típica de una pradera	42
Figura 12. Chaparral en California	43
Figura 13. Sabana africana	44
Figura 14. Imagen de un humedal	45
Figura 15. Representación de los biomas en el mapa mundial	46
Figura 16. Representación de anticiclones y borrascas en el hemisferio sur.....	50
Figura 17. Bloque Memory de Simulink.....	56
Figura 18. Bloque Counter Limited de Simulink	57
Figura 19. Bloque Sum de Simulink.....	57
Figura 20. Bloque MATLAB function de Simulink.....	58
Figura 21. Bloque Scope de Simulink.....	58
Figura 22. Librería “Simulink Support Package for Arduino Hardware”	59
Figura 23. Librería “Rensselaer Arduino Support Package”	60
Figura 24. Bloque Analog Input de Simulink	60
Figura 25. Bloque Digital Output de Simulink	61
Figura 26. Bloque HC-SR04SonarSFunction	61
Figura 27. Interfaz del bloque HC-SR04SonarSFunction	62
Figura 28. Esquema del sistema de control por límite	66
Figura 29. Esquema del sistema de control por tiempo.....	67
Figura 30. Bloque Sensor de humedad	68
Figura 31. Bloque Control Humedad.....	68



Figura 32. Código Control Humedad con control por límite 69

Figura 33. Código Control Humedad con control por tiempo 69

Figura 34. Bloque BombaRiego..... 70

Figura 35. Bloque e interfaz HC-SR04SonarSFunction1..... 70

Figura 36. Bloque ControlNivelDepósito..... 71

Figura 37. Código ControlNivelDepósito 71

Figura 38. Bloque Bomba Llenado..... 72

Figura 39. Bloque Temporizador 72

Figura 40. Esquema Sistema de Simulación 76

Figura 41. Bloque ContadorDías de Sistema de Simulación 85

Figura 42. Bloque CambioHumedadTiempo de Sistema de Simulación 85

Figura 43. Código CambioHumedadTiempo de Sistema de Simulación 86

Figura 44. Bloque Humedad de Sistema de Simulación 86

Figura 45. Código Humedad de Sistema de Simulación 87

Figura 46. Bloque Control Humedad de Sistema de Simulación 87

Figura 47. Código Control Humedad de Sistema de Simulación 87

Figura 48. Bloque BombaRiego de Sistema de Simulación 88

Figura 49. Código BombaRiego de Sistema de Simulación 88

Figura 50. Bloque Depósito de Sistema de Simulación 89

Figura 51. Código Depósito de Sistema de Simulación 89

Figura 52. Bloque Transformación Volumen-Altura 89

Figura 53. Código Transformación Volumen-Altura 90

Figura 54. Bloque ControlNivelDepósito de Sistema de Simulación 90

Figura 55. Código ControlNivelDepósito de Sistema de Simulación 90

Figura 56. Bloque BombaLlenado de Sistema de Simulación 91

Figura 57. Código BombaLlenado de Sistema de Simulación 91

Figura 58. Bloques Scope 1..... 94

Figura 59. Bloques Scope 2..... 95

Figura 60. Bloques Scope 3..... 95

Figura 61. Bloques Scope 4..... 96

Figura 62. Gráfica Simulación Lugo enero 1..... 97

Figura 63. Gráfica Simulación Lugo enero 2..... 98

Figura 64. Gráfica Simulación Lugo enero 3..... 99

Figura 65. Gráfica Simulación Valladolid abril 1 101



Figura 66. Gráfica Simulación Valladolid abril 2	102
Figura 67. Gráfica Simulación Valladolid abril 3	103
Figura 68. Esquema simplificado para simulación del bloque ControlNivelDepósito	105
Figura 69. Código Depósito para simulación del bloque ControlNivelDepósito	106
Figura 70. Código ControlNivelDepósito para su simulación	107
Figura 71. Resultados de la simulación del bloque ControlNivelDepósito ...	108
Figura 72. Arduino UNO	114
Figura 73. Arduino MEGA	114
Figura 74. Sensor HC-SR04	115
Figura 75. Módulo HL-69	116
Figura 76. Módulo HL-69 + Sonda YL-69	116
Figura 77. Depósito de agua	117
Figura 78. Bomba de Riego	118



Índice Tablas

Tabla 1. Clasificación de los poros por su diámetro	21
Tabla 2. Clasificación de los poros por su estructura	23
Tabla 3. Diferentes estaciones del año	35
Tabla 4. Estado de la tierra según el valor del sensor	81
Tabla 5. Porcentaje de humedad según el valor del sensor	81
Tabla 6. Propiedades del depósito	84
Tabla 7. Principales Arduinos comerciales	113
Tabla 8. Horas de sol en Lugo	176
Tabla 9. Precipitaciones en Lugo	177
Tabla 10. Horas de sol en Sevilla	178
Tabla 11. Precipitaciones en Sevilla	179
Tabla 12. Horas de sol en Valencia	180
Tabla 13. Precipitaciones en Valencia	181
Tabla 14. Horas de sol en Valladolid	182
Tabla 15. Precipitaciones en Valladolid	183



CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN AL PROYECTO



1.1 Introducción.

Los sistemas de riego son imprescindibles dentro del campo de la agricultura y poco a poco se han ido instalando también en pequeños huertos o incluso para regar unas pocas macetas dentro de las casas. En definitiva, son una herramienta muy utilizada en estos días.

Sin embargo, existe un gran problema con los sistemas de riego y es que muchos de ellos son sistemas manuales los cuales debes de activar varias veces al día. Si hablamos de huertos caseros o de unas pocas plantas en casa esto no supone ningún problema. Pero si nos referimos al riego de extensas tierras esto supone realizar un desplazamiento varias veces al día y en muchas ocasiones es necesario hacerlo de madrugada.

En estos últimos años han ido apareciendo pequeños proyectos con microcontroladores como la placa Arduino que han servido para realizar sistemas de riego caseros o en invernaderos. Estos sistemas de riego controlados por Arduino pueden resolver algunos de los problemas citados anteriormente.

1.2 Motivación para realizar el proyecto.

Cuando empecé este TFG vi la posibilidad de realizar con Arduino una maqueta de un sistema de riego a pequeña escala que se pudiera extrapolar a un sistema de riego de tierras de varias hectáreas. Al poco de comenzar me di cuenta de que existían varios problemas en la meta que me había propuesto.

En relación a la maqueta existían dos grandes problemas. El primero era las pocas posibilidades de realizar un estudio del sistema debido a la necesidad de esperar al secado de la tierra para poder realizar la siguiente prueba. El segundo se relacionaba con utilizar un sistema de agua con un sistema de control eléctrico tan poco protegido como es uno con Arduino.

Si hablamos de la programación el problema que le veía era muy simple. A diferencia de otros sistemas en los que podía realizar diversos tipos de control en este caso solo podía ser un sistema todo o nada. La razón de esto es que la variable a controlar es la humedad y en un sistema de riego real lo único que puedes hacer es aumentar el valor de la misma. Debido a ello, una simple programación del sistema iba a ser muy poco para realizar un proyecto.

Por otro lado, estaba mi objetivo de extrapolar el sistema de riego a grandes terrenos. En este caso el problema era la gran variabilidad de la humedad de la tierra debido a efectos meteorológicos, la cual no afecta tanto a sistemas de riego caseros o en invernaderos.

Debido a estas razones y aconsejado por mi tutor decidimos que enfocaría el proyecto en otro sentido, realizar un estudio de las necesidades de riego de las tierras en varias localizaciones de España y utilizarlo para realizar una simulación con un sistema el cual pudieras transmitirle a una placa Arduino y funcionase directamente.

De esta manera conseguiría no solo aumentar mis conocimientos con la placa Arduino en una plataforma que no había utilizado nunca para programarlo (Simulink), también tomaría experiencia a la hora de realizar estudios sobre un tema determinado y adquiriría conocimiento sobre un área tan importante como es la agricultura.



1.3 Objetivos.

Una vez estudiados los problemas que presentaba mi proyecto, decidí enfocarme en una serie de objetivos a alcanzar.

- Realizar un estudio de las necesidades de los sistemas de riego de los campos de diferentes áreas de España. Para ello analizar los factores que involucran el cambio de humedad en el suelo y un análisis de la climatología actual.
- Creación de un programa con Simulink implementable en Arduino para el posible control de un sistema de riego.
- Realizar una simulación del programa mencionado anteriormente con datos meteorológicos reales para la comprobación de su buen funcionamiento.
- Investigación sobre los diferentes elementos necesarios para poder recrear dicho sistema de riego de forma física.

1.4 Estructura de la memoria.

A continuación, se listan los diferentes capítulos en los que se divide esta memoria y un breve resumen de cada uno de ellos:

- **Capítulo 1:** Introducción al proyecto. Exponiendo los motivos que me llevan a realizarlo y un breve resumen de los objetivos a cumplir.
- **Capítulo 2:** Estudio sobre la humedad del suelo y los diferentes factores que influyen en ella.
- **Capítulo 3:** Estudio del clima en el mundo actual.
- **Capítulo 4:** Plataforma Simulink. Introducción y elementos utilizados para la creación de los programas.
- **Capítulo 5:** Exposición del programa creado mediante Simulink para controlar un sistema de riego mediante Arduino.
- **Capítulo 6:** Exposición del programa creado mediante Simulink para la comprobación mediante simulación del óptimo funcionamiento de los bloques creados anteriormente.
- **Capítulo 7:** Simulación del programa de control para la comprobación del buen funcionamiento de sus bloques.
- **Capítulo 8:** Estudio de los diferentes componentes necesarios si se quisiera realizar el sistema de riego de manera física.
- **Capítulo 9:** Resultados y conclusiones.
- **Capítulo 10:** Referencias a las fuentes de información y anexos.



CAPÍTULO 2:

ESTUDIO SOBRE LA HUMEDAD



2.1 Introducción.

Se denomina humedad del suelo a la proporción de volumen de agua que hay en un volumen de tierra. El índice de humedad del suelo es un factor muy importante dentro de la actividad agrícola. En el caso de que el índice de humedad de la tierra no sea el adecuado se puede generar un gran impacto negativo sobre las plantas.

Un índice de humedad alto puede llevar a la putrefacción y en muchos casos la muerte de la planta. El exceso de agua en las plantas hace que las raíces se asfixien y aparezcan hongos en ellas. Si hablamos de plantas de interior hay una posibilidad de salvar la planta realizando una poda de las partes afectadas, aplicando fungicida y cambiando la planta de maceta y de compost. Sin embargo, realizar esto para grandes extensiones de tierra es una tarea imposible y muchas veces el aplicar simplemente fungicida no basta para salvar el cultivo.

Un bajo índice de humedad puede bajar de manera drástica la producción de los cultivos en esa tierra. Dicha disminución de la producción se hace más notable en las zonas del mundo donde ocurren temporadas secas y en los cultivos de las zonas tropicales y subtropicales, donde hay escasez de lluvias o se dan únicamente en algunas estaciones del año. Se aproxima que más o menos tres cuartas partes de los cultivos del planeta tienen limitada su producción debido al agua del suelo.

Nos es imposible controlar la cantidad de lluvia que cae o la frecuencia con la que ésta se produce, es por eso que se necesita un buen manejo de la humedad del suelo. En muchas ocasiones el mal manejo de la humedad del suelo es debido a un mal manejo de la tierra y los cultivos, lo que dificulta el buen flujo del agua en el cultivo. También hay que tener en cuenta que el riego de los cultivos consume más del 70% del agua dulce utilizado en el mundo, de manera que el aumento de la eficiencia de éste es de gran prioridad.

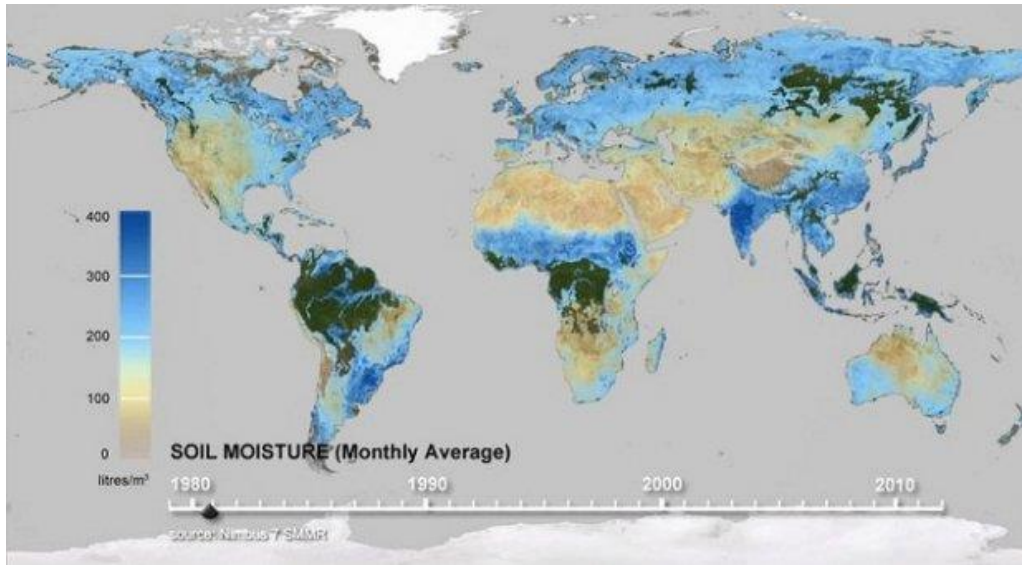


Figura 1. Mapa mundial de la humedad del suelo media mensual [1].

2.2 Comportamiento del flujo de agua.

Uno de los aspectos más influyentes a la hora de realizar un estudio sobre la humedad del suelo es el agua procedente de las precipitaciones que se dan en la zona a estudiar. Como ya se ha mencionado anteriormente hay zonas del planeta en las que hay escasez de lluvias o solo se dan en determinadas temporadas del año. Pero no solo es importante saber la frecuencia con la que se producen estas lluvias y la cantidad de agua que ha precipitado, también es importante saber qué pasa con esa agua que ha caído sobre la tierra [2].

Cuando una gota de agua alcanza el cultivo pueden darse tres tipos de situaciones. Lo más común es que las gotas de agua alcancen el suelo y se infiltren dentro de éste, pero también es posible que las gotas al llegar al suelo deslicen sobre el mismo convirtiéndose en aguas superficiales. También puede darse el caso de que las gotas se acumulen en las hojas de los cultivos o en charcos. En este último caso el agua volverá a la atmósfera por evaporación.

Se denomina escorrentía a ese flujo de agua que no se infiltra en la tierra y que se desliza sobre ella. En general este fenómeno se produce cuando la cantidad de agua que cae debido a las precipitaciones supera la capacidad de infiltración de la tierra. También es dependiente de la situación hidráulica de la tierra, es decir, de la humedad de la misma. Podemos distinguir cuatro situaciones diferentes.

- En el caso de que la **intensidad de la lluvia** sea menor que la **capacidad de infiltración** de la tierra y la **humedad** de la misma sea baja, la mayor parte del agua se infiltrará en la tierra y solo habrá una pequeña cantidad de agua superficial.
- En el caso de que la **intensidad de la lluvia** sea mayor que la **capacidad de infiltración** de la tierra y la **humedad** de la misma sea baja, una gran cantidad de agua se infiltrará en el suelo a pesar de que la capacidad de infiltración sea baja. Se dará más cantidad de agua superficial que en el caso anterior, pero seguirá siendo una cantidad baja.
- En el caso de que la **intensidad de la lluvia** sea menor que la **capacidad de infiltración** de la tierra y la **humedad** de la misma sea alta, parte del agua se infiltrará en la tierra y otra se mantendrá como agua superficial. En general la cantidad de agua superficial también será de baja cuantía. Se puede observar que este caso deriva del primero que se ha expuesto, dándose esta situación cuando la lluvia durase durante un gran periodo de tiempo.

- En el caso de que la **intensidad de la lluvia** sea mayor que la **capacidad de infiltración** de la tierra y la **humedad** de la misma sea alta, la mayor parte del agua se convertiría en aguas superficiales debida a que la tierra está cercana a la saturación. Como en el caso anterior, este caso sería un derivado del segundo caso que se ha expuesto.

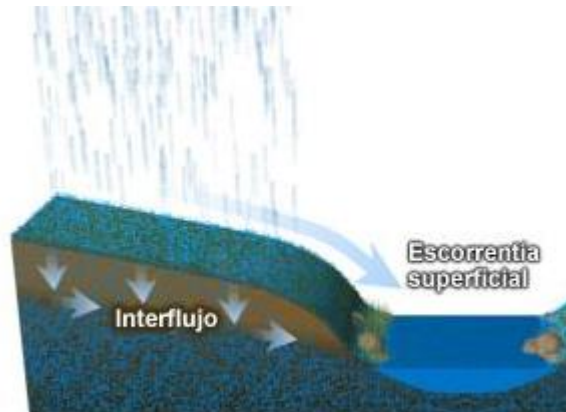


Figura 2. Representación de escorrentía superficial.

La escorrentía no solo es una pérdida de agua, la cual podría haber sido utilizada como agua subterránea o para la producción agrícola, también es la causa de inundaciones y de daños en los cultivos. Se considera que la escorrentía es una de las principales culpables de la erosión de la tierra, siendo especialmente nociva en suelos poco permeables.

Como ya se ha comentado anteriormente, parte del agua que cae con la lluvia se infiltra en la tierra. Dicha agua puede ser utilizada por las plantas, puede que retorne a la atmósfera debido a evaporación superficial o puede infiltrarse más allá de la zona radical de la tierra y pasar a formar parte de las aguas subterráneas.

Se llama zona radical de la tierra a la capa de tierra que está ocupada por las raíces de las plantas, de la cual extrae el agua y los nutrientes necesarios para su supervivencia.

El agua subterránea supone un gran porcentaje del agua que existe en el planeta, acumulándose en acuíferos situados bajo tierra. Dichos acuíferos se forman debido a que el agua proveniente de las precipitaciones se infiltra hasta un material rocoso saturado de agua. Dicha agua acaba desplazándose lentamente hacia ríos, lagos y océanos.



La cantidad de agua acumulada en los acuíferos es superior a la de los lagos, aunque es inferior al agua acumulada en los glaciares. El agua de los acuíferos es un recurso muy importante ya que es capaz de abastecer a un tercio de la población mundial. Sin embargo, su gestión es realmente difícil debido a la contaminación de los acuíferos y a la sobreexplotación de los mismos.

La cantidad de agua que se infiltra en la tierra no se puede determinar únicamente con la cantidad de lluvia que ha precipitado durante un periodo de tiempo. Existen factores como las propiedades químicas del suelo o su estructura física que también influyen en la repartición del agua.

2.3 Factores que influyen en la humedad del suelo.

Existen una serie de factores capaces de modificar la cantidad de humedad que hay en un terreno [3].

2.3.1 Porosidad del suelo.

Para que un suelo sea eficaz para el cultivo es necesario que éste tenga una óptima captación, percolación, almacenamiento y utilización de la humedad. Para ello es necesario que exista infiltración del agua en el terreno, una permeabilidad suficiente como para que el agua pueda moverse fácilmente a través del terreno y la capacidad de retener el agua para su posterior utilización por las plantas.

Las anteriores necesidades son dependientes de la porosidad del terreno. Y no solo el número de poros es importante, también lo son la continuidad y las dimensiones de los mismos. En la tabla 1 se presentan los diferentes diámetros de los poros que podemos encontrar en la tierra y las diferentes funciones que tienen. Tabla creada por Hamblin en 1985.

Diámetros de los poros (mm)	Descripción de los poros.	Función de los poros.
< 0.0002	Residual	Retienen agua inutilizable para las plantas.
0.0002-0.05	Almacenamiento	Retienen agua utilizable para las plantas.
>0.05	Transmisión	Permite drenaje de agua y entrada de aire.
>0.1 a 0.3	Enraizamiento	Permite la libre penetración de las raíces de las plantas.
0.5-3.5	Túneles de lombrices	Permite drenaje de agua y entrada de aire.
2-50	Hormigueros y canales	Permite drenaje de agua y entrada de aire.

Tabla 1. Clasificación de los poros por su diámetro.

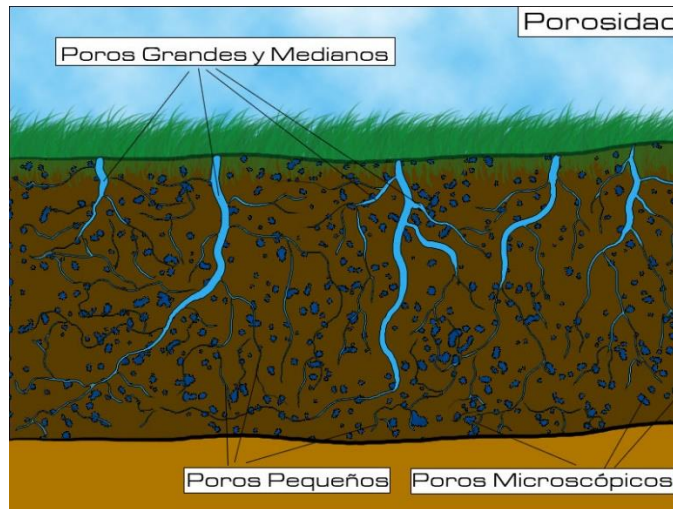


Figura 3. Distintos tipos de poros.

Los poros con un diámetro inferior a 0.0002 mm se conocen como poros residuales y almacenan agua que no puede ser extraída por las plantas. Los poros con un diámetro entre 0.0002 y 0.05 mm son capaces de almacenar agua que puede ser extraída por las plantas, por ello se los denomina poros de almacenamiento. Los poros superiores a los 0.05 mm permiten el drenaje del agua a través del suelo y la penetración del aire a través de ellos. A estos últimos se los denomina poros de transmisión.

Como se puede apreciar en la tabla 1, anteriormente expuesta, los poros también son importantes para que las raíces puedan penetrar libremente a través del suelo. El diámetro de las raíces es dependiente de la planta en cuestión, aunque las de menor tamaño rondan los 0.1 y 0.3 mm. De manera que si existen poros de al menos ese diámetro podrán penetrar libremente en el suelo.

En la mayoría de los casos las raíces se expanden a través de los poros de transmisión y en parte desplazando otras partículas del suelo. Para que una raíz penetre un poro de menor tamaño es necesario que la tierra sea suficientemente comprimible. Cuanto mayor sea el alcance de las raíces sobre el terreno, mayor es la cantidad de reservas de aguas a las que tienen acceso y por consiguiente mayores posibilidades de sobrevivir.

Existen dos fenómenos que reducen la porosidad del suelo:

- El **impacto de las gotas de la lluvia** reduce la porosidad del suelo. Esto es debido a que cuando las gotas caen llevan una energía que al impactar contra el suelo rompen partículas de éste, las cuales acaban tapando poros cercanos o reduciendo su tamaño. De esta manera se forman sellos en la superficie, lo que dificulta la infiltración del agua y por consiguiente aumenta las probabilidades de que se produzca escorrentía. Este efecto se amortigua cuando la gota no impacta directamente contra el suelo, por ejemplo, impactando antes en el cultivo.
- El tráfico de maquinaria, animales o del hombre sobre el suelo produce una **compactación** del mismo. Esta compactación provoca la reducción de las dimensiones de los poros e incluso la posible eliminación de estos. El impacto de dicha compactación es dependiente de la presión ejercida y del contenido de agua en el suelo. A mayor presión o contenido de agua, mayor es el impacto.

Pero también existe un método para el aumento de la porosidad del terreno y es la utilización de materia orgánica. La materia orgánica es capaz de generar una mejor estructura superficial e interna del suelo con un sistema estable de poros, lo cual mejora la transmisión de agua y aire dentro del terreno. Otra de las ventajas es que funciona bastante bien para contrarrestar el posible sellado debido al impacto de las gotas de agua. También provoca que haya una mayor concentración de lombrices, lo que mejora las condiciones de infiltración y de penetración de las raíces de las plantas.

La transmisión del aire y del agua dentro de la tierra depende de la estructura de la misma. En la tabla 2 se representan los diferentes tipos de estructuras y cómo influyen en la transmisión de ambos fluidos.

Tipo de estructura	Penetración de agua	Drenaje	Aireación
Columnar	Buena	Bueno	Buena
En bloque	Buena	Moderado	Moderada
Granular	Buena	El mejor	La mejor
Llana	Moderada	Moderado	Moderada

Tabla 2. Clasificación de los poros por su estructura.

2.3.2 Permeabilidad del suelo.

Se define como permeabilidad a la velocidad a la que el agua de lluvia se mueve a través del suelo. En el caso de que la permeabilidad del suelo sea baja y la intensidad de la lluvia muy alta se pueden producir escorrentías. Esto es debido a que los poros dentro de la superficie se saturan rápidamente y no pueden albergar más agua. Es más probable que se produzca el fenómeno de escorrentía en terrenos con poca cantidad de poros o terrenos los cuales ya estaban saturados de agua.

La escorrentía es el desplazamiento de aguas superficiales y solo se puede dar si existe un desnivel del terreno, aunque con solo un 2% de desnivel ya se pueden generar escorrentías significativas. También es necesario que no existan muchos obstáculos ya que impiden el libre movimiento del agua. Muchas veces simplemente existe un desplazamiento del agua que provoca que parte del cultivo se anegue, lo que supone una diferencia de humedad significativa entre las diferentes zonas del cultivo.

Cuando llueve de manera intensa sobre tierra bien estructurada el agua entra en los poros sustituyendo al aire que había allí anteriormente. Debido a la gravedad y al peso de la masa de agua, ésta última va penetrando en el interior de la tierra. De esta manera el drenaje de terrenos bien estructurados suele durar en torno a dos días.

Por el contrario, si se produce una intensa lluvia sobre tierra mal estructurada el drenaje será mucho más lento, pudiendo llegar a durar incluso varias semanas.

2.3.3 Clima.

El clima es el factor que modifica la humedad del terreno más imprevisible de todos. En todas las partes del mundo la cantidad de lluvias no son las mismas en las distintas estaciones del año. Siempre hay estaciones en las que llueve más y otras en las que se dan más sequías, aunque tampoco es posible asegurar que en dicho año vaya a ocurrir eso mismo.

Los periodos de lluvias, su frecuencia y la intensidad de las mismas es algo difícil de predecir, complicando de esta manera la regulación de la humedad en los cultivos. Esta complicación se ve acentuada en años en los que se producen cambios drásticos del clima cada pocos días durante la estación.

Pero no solo la lluvia influye en la humedad de la tierra. Existen otros factores climáticos que influyen sobre la evaporación del agua que se encuentra en el suelo.

El efecto de la evaporación superficial sucede cuando la concentración de vapor de agua en la superficie cercana al suelo es superior a la concentración de la atmósfera que hay justamente encima de esa superficie. El vapor de agua se traslada desde la superficie hacia la atmósfera para igualar las concentraciones.

La velocidad de evaporación superficial aumenta con la temperatura de la atmósfera cercana al suelo y cuanto más seco y más rápido sea el viento que pase sobre la superficie. El viento no solo disminuye la humedad, también provoca que partículas orgánicas y del suelo sean arrastradas, disminuyendo la fertilidad de la tierra.

También influye la textura que presente el suelo. En suelos de textura fina existen más cantidad de poros pequeños, de manera que se produce un mayor movimiento capilar del agua hacia la superficie. Mientras que en suelos de textura gruesa la velocidad de evaporación es menor debido al menor número de poros pequeños.

2.3.4 Cobertura del suelo.

La cobertura del suelo consiste en colocar sobre la superficie del suelo una capa de residuos de carácter orgánico o inorgánico. Dicha capa tiene el mismo efecto que tienen las hierbas y los mantos de hojas en los bosques, preservar el terreno.



Figura 4. Cobertura del suelo.

Como ya se ha comentado anteriormente, cuando una gota de agua precipita sobre el suelo, lleva consigo una energía. Debido a esa energía la gota es capaz de arrancar pequeñas partículas del terreno, las cuales disminuyen la porosidad del suelo y hasta pueden formar una costra que disminuya la infiltración del agua.

La cobertura del suelo actúa como amortiguador de esta energía, de manera que la degradación del terreno provocada por las gotas de lluvia es casi nula. De esta manera se consigue preservar de manera considerable la infiltración y la permeabilidad del suelo.

Otra de las utilidades que tiene la cobertura del suelo es la de disminuir las escorrentías. El contacto con el suelo provocado por la cobertura es un obstáculo en el movimiento de aguas superficiales. De esta manera las aguas superficiales se mueven con menor velocidad, lo que permite que la tierra tenga más tiempo para poder realizar la infiltración del agua.

2.3.5 Topografía.

Como ya se ha comentado anteriormente, para que se produzca la escorrentía es necesario un desnivel del terreno. Y dicha escorrentía se produce con mayor facilidad cuanto mayor sea dicho desnivel. Es por ello que, en terrenos de grandes desniveles como en las cuencas se produzca escorrentía con gran facilidad.

De manera que el terreno divide el agua procedente de las precipitaciones en agua infiltrada y escorrentía. En zonas de grandes desniveles se suele dividir el terreno dependiendo del desnivel para un mayor aprovechamiento en la infiltración del agua.

De esta manera podemos observar que la topología y los cambios climáticos que la modifican, juegan un papel importante en la distribución de la humedad en la tierra.

2.4 Posibles causas de una disminución de la humedad de la tierra.

A continuación, se muestran diversas causas que pueden provocar una disminución del índice de humedad de la tierra [4].

2.4.1 Drenaje del agua.

En apartados anteriores se ha expuesto que es necesario un buen drenaje del agua para reducir la probabilidad de escorrentías y así conseguir un mejor aprovechamiento del agua proveniente de las lluvias. Sin embargo, al igual que un mal drenaje es negativo también lo será un drenaje excesivo de esta agua.

Se denomina drenaje profundo cuando el agua es drenado más allá de la zona radical, es decir, la zona ocupada por las raíces de las plantas. En cierto sentido el drenaje profundo puede ser positivo ya que el agua pasa a ser parte de las aguas subterráneas, lo que renueva arroyos, ríos y pozos. El gran problema de un drenaje profundo es que esa agua podría haberse utilizado directamente para el cultivo.

Existen ciertas situaciones que pueden provocar un drenaje profundo:

- Las **grietas profundas** en la superficie de suelos generalmente de carácter arcilloso provocan que el agua de lluvia llegue rápidamente hasta la base de la grieta y acabe infiltrándose más allá de la zona radical. La labranza de la tierra disminuye en gran medida el efecto que tienen estas grietas.
- Los **gusanos** y las **hormigas** crean túneles de gran diámetro que llegan hasta el subsuelo, provocando que el agua se infiltre por debajo de la zona radical.
- Las **lluvias de gran intensidad** provocan que en la zona radical se supere su capacidad rápidamente, lo que provoca que el agua se infiltre a niveles inferiores.

2.4.2 Quema de rastrojos.

En muchos países es habitual realizar la quema de los restos, no aprovechables por el ganado, que se hayan quedado del cultivo, también llamados rastrojos. La idea detrás de la quema de rastrojos es que al quemar las plantas secas se impulsa el crecimiento de nuevos pastos, lo que mejora la calidad de las tierras de pasto.

También se realiza la quema de estos residuos para prevenir la aparición de posibles plagas de insectos o enfermedades. Además de facilitar en gran medida el trabajo en el campo durante las siguientes estaciones. Sin embargo, existen ciertos aspectos negativos relacionados con la quema de estas sobras.

Al quemar las plantas secas se aumenta en gran medida la temperatura de la superficie de la tierra, lo que provoca que se produzca la evaporación superficial del agua de dicho terreno con gran facilidad. La destrucción de la capa de paja que hay sobre el suelo provoca que ésta no retorne como materia orgánica a la tierra, lo que mejoraría la calidad de la misma. Dicha capa también actuaría como cobertura del suelo, provocando una menor disminución de la porosidad debida a las gotas de lluvia.

El fuego también destruye la vida que hay en la superficie de la tierra, como por ejemplo las lombrices, las cuales crean túneles que mejoran la infiltración del agua en la tierra.

Y aunque no esté relacionado con la humedad, la quema de rastrojos puede llegar a provocar incendios y contaminación de la atmósfera debido a los humos. Es por ello que en los últimos años han ido apareciendo regulaciones cada vez más estrictas en relación a la quema de los residuos de los campos.



Figura 5. Quema de rastrojos

2.4.3 Práctica de la labranza y uso de maquinaria agrícola.

Una de las actividades más usuales que se realizan en los campos es la de la labranza, la cual consiste en trazar surcos más o menos profundos en el terreno con una herramienta manual o mediante maquinaria especializada. El objetivo de la labranza es el de romper la costra superficial producida por el impacto de las gotas de agua. El gran inconveniente que tiene la labranza es que en tierras propensas a generarse costra superficial es necesario labrar la tierra después de cada lluvia ya que vuelve a formarse rápidamente.

La realización de la labranza no es mala en sí, pero se recomienda que no se realice de manera habitual ya que produce la compactación de la tierra y la degradación e incluso destrucción de los poros. Llega a ser a veces más nociva para la infiltración del agua la disminución de la porosidad que la propia corteza superficial.

En el caso de que la labranza sea excesiva la tierra acabará pulverizándose, lo que provoca que las partículas de la tierra sean arrastradas con las escorrentías y tapen los poros, formando una capa que sella la superficie de la tierra.

El uso de maquinaria agrícola, el paso de animales y del ser humano provoca la compactación de la tierra, degradando e incluso cerrando poros. Esto conlleva una disminución de la infiltración del agua durante las lluvias y en consecuencia la posible aparición de escorrentías.

2.5 Posibles actividades que aumentan la cantidad de humedad de la tierra.

A continuación, se muestran diversas actividades que pueden provocar un aumento del índice de humedad de la tierra [5].

2.5.1 Preservación de la porosidad del suelo.

Si deseamos que un terreno aproveche la mayor cantidad posible de lluvia para reducir la cantidad de agua utilizada mediante sistemas de riego, es necesario que la tierra tenga buena infiltración y para ello es necesaria una buena porosidad. Por ello la preservación de la porosidad de la tierra es realmente importante.

Las dos acciones a tener en cuenta si queremos preservar la porosidad de la tierra son la evasión de la labranza en la medida de lo posible y la utilización de cobertura.

Como ya se ha expuesto en apartados anteriores un uso excesivo de la labranza puede disminuir el tamaño e incluso cerrar los poros. Además de la posible formación de costra superficial con las escorrentías.

La cobertura del suelo se puede realizar con residuos vegetales, coberturas artificiales, mantillos, vegetación natural o cultivos de cobertura. La cobertura protege la tierra del impacto de las gotas de agua, lo que preserva la porosidad y evita la necesidad de utilizar la labranza. También sirve para disminuir la escorrentía.

El efecto de la cobertura es mayor si se realiza sobre tierra que está en buen estado físico. Aunque es posible que se siga produciendo escorrentía incluso con la cobertura, ésta es capaz de reducirla en gran medida, lo que da más tiempo a la tierra para realizar la infiltración. Si la tierra sobre la que se va a realizar la cobertura no está en buen estado físico es preferible mejorar su estado antes de realizar la cobertura.

2.5.2 Mejora del estado físico de la tierra.

Existen cuatro formas de mejorar el estado físico de la tierra:

- Realización de **labranza** sobre la tierra. Ésta es capaz de romper la costra superficial provocada por las gotas de lluvia. Sin embargo, no es recomendable utilizar de manera habitual la labranza como ya se ha explicado en apartados anteriores.
- Uso de **cobertura**, ya sea de origen vegetal o artificial. Una de las opciones más económicas es realizar un cultivo de cobertura, muchos de ellos son legumbres. De esta manera se puede conseguir regenerar la porosidad de la tierra en un año sin necesidad de realizar una inversión económica en una cobertura a mayores de la del cultivo.
- Una de las prácticas más utilizadas en la agricultura es la del **barbecho**, la cual consiste en no cultivar un terreno durante uno o varios años. Durante este descanso la porosidad de la tierra se regenera de manera natural. El posible crecimiento de vegetación natural sirve como cobertura y hace que el terreno se regenere más rápidamente.
- La utilización de **materia orgánica** mejora considerablemente no solo las propiedades químicas del suelo, también mejora las propiedades físicas. Además de mejorar las propiedades de la tierra, la materia orgánica propicia la aparición de lombrices y hormigas, las cuales crean túneles que mejoran la infiltración del agua.

2.5.3 Detención de la escorrentía.

En apartados anteriores se ha comentado que se puede utilizar la cobertura del suelo para reducir la escorrentía, pero hay veces que no es posible utilizar la cobertura de suelo o simplemente no es suficiente para parar la escorrentía. En estos casos a veces se utilizan estructuras físicas construidas transversalmente a la pendiente y de forma paralela al contorno.

De esta manera se aumenta el tiempo que el agua pasa encima de la tierra, dando más tiempo a su infiltración.



CAPÍTULO 3:

*ESTUDIO SOBRE EL CLIMA
ACTUAL*

3.1 Meteorología vs climatología.

En muchas ocasiones se confunden los términos de meteorología y de climatología, existiendo entre ellos un matiz muy importante.

Cuando hablamos de meteorología nos referimos a la ciencia que se encarga de estudiar los cambios atmosféricos que se producen en las capas bajas de la atmósfera. Dichos cambios se miden utilizando una serie de parámetros como son la temperatura del aire, su humedad, las precipitaciones, la presión atmosférica o el viento. El estudio de estos cambios se realiza para un periodo muy pequeño de tiempo, el cual suele ser entre 24 y 48 horas.

La climatología sin embargo es la ciencia encargada de estudiar el clima de una zona o región. Para ello utiliza los mismos parámetros que utiliza la meteorología, pero la gran diferencia es que el estudio se realiza para un gran periodo de tiempo. Normalmente los estudios climatológicos se suelen realizar para un periodo de alrededor de unos 30 años. La climatología predice los sucesos meteorológicos más habituales que van a suceder en una zona específica del mundo, de manera que desde cierto sentido es un estudio estadístico.

La manera más fácil de ver la diferencia entre estas dos ciencias sería pensando en la velocidad a la que cambian. Por ejemplo, en un desierto es posible que inesperadamente se ponga a nevar, ocurriendo un cambio meteorológico factible. Sin embargo, que cambie el clima en un desierto de manera que las nevadas sean algo habitual es improbable si no imposible [6].

3.2 Factores que modifican el clima terrestre.

El clima en la tierra depende básicamente del calor que recibe el planeta y el calor que sale de éste. De manera que los climas más cálidos se deben a que entra o se retiene más calor, mientras que los climas más fríos son debidos a que entra o se retiene menos calor. De ésta manera se deduce que los factores que modifican el clima serán aquellos que modifiquen el calor entrante y saliente del planeta [7].

La tierra al recibir calor del sol se va calentando y este calor posteriormente es irradiado desde la superficie hacia el exterior. La única razón por la que nuestro planeta mantiene calor y no está congelado es debido a los gases de efecto invernadero. El problema es que en las últimas décadas estos gases han ido aumentando en gran medida y con ellos la temperatura del planeta.

Los factores más importantes que modifican este proceso de intercambio de calor son los siguientes:

- Los seres vivos mediante el **ciclo del carbono**. El carbono es un elemento que pasa del aire y el océano hacia los seres vivos y viceversa. Cada vez que un ser vivo exhala está expulsando dióxido de carbono a la atmósfera. El dióxido de carbono es un gas invernadero, el cual se ha aumentado en un 30% en los últimos 150 años.
- Los seres vivos mediante el **ciclo del nitrógeno**. El nitrógeno es un elemento importante para los seres vivos. La mayoría de las plantas lo obtienen del suelo o del agua. Los animales lo obtienen al comer plantas u otros animales que contienen nitrógeno. Cuando los seres vivos mueren sus cuerpos se descomponen y el nitrógeno dentro de ellos pasa a la tierra y a los océanos. Parte de este nitrógeno volverá a la atmósfera. Los óxidos de nitrógeno son gases de efecto invernadero, los cuales se han ido aumentando debido al uso de fertilizantes y a los restos de actividades ganaderas.
- Los seres vivos mediante la **cantidad de luz absorbida por la tierra**. Los seres vivos son capaces de modificar esta cantidad, disminuyendo o aumentando el calor que recibe la tierra.
- Las **nubes**. Éste es uno de los factores más complicados de analizar, ya que existen algunos tipos de nubes que son capaces de aumentar la temperatura de la tierra mientras que otros realizan el efecto contrario.

3.3 Influencia de la latitud en el clima.

Debido a la forma esférica de la tierra, no todas las partes del mundo reciben la misma cantidad de luz procedente del sol. Los lugares del planeta de altas latitudes o lo que es lo mismo lejos del ecuador, reciben menos luz. Por otro lado, los lugares del planeta con bajas latitudes o cerca del ecuador, reciben más luz. Éste fenómeno tiene dos grandes consecuencias, la primera es la generación diferentes biomas en el planeta y la segunda la diferencia en las estaciones del año dependiendo de la zona del planeta en la que te encuentres.

3.3.1 Influencia en las estaciones del año.

La cantidad de cambios meteorológicos que se producen a lo largo del año en una zona específica del mundo depende de la latitud a la que se encuentre dicha zona. El año está dividido en cuatro estaciones, aunque hay zonas del mundo en las que solo se pueden diferenciar dos estaciones. Estas dos estaciones se conocen como estación húmeda y estación seca. Los países que tienen solo dos estaciones son los de la zona tropical, franja que rodea al Ecuador.

En la tabla 3 se representan las diferentes estaciones del año.

Inicio	H. Norte	H. Sur	Duración (Días)	Inclinación
20-21 Marzo	Primavera	Otoño	92,9	0°
21-22 Junio	Verano	Invierno	93,7	23,5° Norte
22-24 Septiembre	Otoño	Primavera	89,6	0°
21-22 Diciembre	Invierno	Verano	89,0	23,5° Sur

Tabla 3. Diferentes estaciones del año.

Como se puede observar la estación depende de la inclinación del eje de la tierra. Es por ello que las estaciones en el hemisferio norte y en el sur se producen de manera invertida. La primavera y el verano son las dos estaciones en las que los días duran más que las noches, mientras que en otoño y en invierno es al revés [8].

3.3.2 Tipos de biomas.

Se denomina bioma a una gran área de la tierra donde viven animales y plantas que han aprendido a sobrevivir en un tipo de clima determinado. A continuación, se exponen los biomas más comunes [9].

➤ **Tundra.**

Se considera a la tundra como el bioma más joven de todos los existentes en nuestro planeta, con una edad de tan solo 10.000 años. Este bioma se sitúa en el hemisferio norte, en Alaska y el norte de Rusia y Canadá; cubriendo casi el 20% de la superficie terrestre.

La temperatura media anual es de -56°C . Estas bajas temperaturas junto con el clima seco de la tundra no permiten el deshielo de la nieve y en consecuencia la vegetación es muy escasa. Los grandes vientos de la tundra son otro de los grandes inconvenientes para la supervivencia de las plantas. Las plantas que predominan son líquenes y musgos.

La fauna existente sigue siendo bastante escasa. Sin embargo, hay más fauna que flora, lo que provoca un desequilibrio al generar la fauna más dióxido de carbono del que la flora puede encargarse. Por eso a la tundra se la considera un sumidero de dióxido de carbono.



Figura 6. Tundra en Canadá.

➤ **Taiga.**

La taiga es el bioma más grande del mundo, ocupando un 27% de la superficie de la tierra. Ocupa parte del norte de América del Norte y Eurasia.

Los inviernos en la taiga son largos y fríos, con temperaturas en torno a los -25°C y grandes nevadas. Los veranos son cortos y relativamente poco cálidos, con temperaturas cercanas a los 18°C , húmedos y lluviosos.

Las reducidas lluvias, localizadas en los meses de verano, y la falta de nutrientes de la tierra provocan que la vegetación no sea muy abundante. La gran mayoría de esta vegetación son bosques de coníferas. La fauna de la taiga también es escasa debido a la escasez de alimentos, en especial en los meses de invierno. Por eso la gran mayoría de animales o están adaptados a condiciones muy extremas o migran a zonas más cálidas durante el invierno.



Figura 7. Taiga en Alaska.

➤ **Bosques templados caducifolios.**

Los bosques templados se extienden por parte de América del Norte, Europa, Nueva Zelanda y Asia Occidental. En general estos biomas están situados al sur de los biomas de Taiga y por eso a veces es difícil diferenciarlos, en gran medida debido al cambio climático.

En este bioma es fácil diferenciar las cuatro estaciones del año, pudiendo reconocer como los veranos son más calurosos que los inviernos. En otoño las hojas de los árboles se caen y vuelven a resurgir durante la primavera. La temperatura media durante todo el año ronda los 10°C, mientras que las máximas temperaturas suelen estar en torno a los 26°C durante el verano.

Aunque es posible observar nevadas en este bioma, las principales precipitaciones son en forma de lluvia y su frecuencia es muy alta. La cantidad de agua debido a las precipitaciones suele ser entre 762 y 1524 litros/m² durante todo un año. Debido a ello la humedad en el aire suele rondar el 60% - 80 %.

Debido a la gran cantidad de lluvias y a que la tierra en este bioma tiene gran cantidad de nutrientes los bosques templados se consideran uno de los mejores biomas para practicar la agricultura. También se puede encontrar una gran cantidad de flora, dividida en cinco capas diferentes. La primera capa es la de musgos y líquenes. La segunda capa se considera la de la hierba, donde encontramos diferentes tipos de pequeñas plantas. La tercera capa es la de los arbustos como los arándanos. La cuarta capa es la destinada a árboles más pequeños. Y la quinta y última capa es la dedicada a árboles mayores de 18 metros de altura.

Éstos bosques se están talando en parte para utilizar el área libre como terreno de cultivo. Esto es un gran problema ya que los bosques templados son uno de los grandes pulmones del mundo.

La gran cantidad de flora atrae a una gran cantidad de animales de diversos tamaños, tanto herbívoros como carnívoros. De esta manera los bosques templados se convierten en uno de los biomas con más vida del planeta.



Figura 8. Bosque caducifolio.

➤ **Selva tropical.**

La selva tropical es un gran bioma que se extiende por zonas cercanas al Ecuador, es decir, en bajas latitudes. Dichas zonas se encuentran en Australia, América del Sur, África y en el sudeste de Asia. La selva tropical más grande del mundo es la del Amazonas.

Las lluvias son muy frecuentes durante todo el año, incluso es posible que llueva todos los días. En algunas áreas llegan a precipitar hasta 10160 litros/m² al año. Esta gran cantidad de lluvia en parte es debida al acelerado ciclo del agua que se produce en este bioma. Las altas temperaturas hacen que el agua se evapore con rapidez en forma de aire o nubes, las cuales producirán lluvia de nuevo.

La selva tropical es un hervidero de vida. Se han conseguido identificar alrededor de 15 millones de especies de seres vivos, incluyendo fauna y flora. Dentro de la flora destaca la gran cantidad de plantas con flor, algunas de ellos tienen las raíces sobre el agua de lluvia en vez de dentro de la tierra. Si hablamos de la fauna existen gran variedad de animales como lo son los monos, las serpientes, las arañas, los insectos, etc.

Una de las razones de que exista tal variedad de plantas y por consiguiente de animales es el calor y la humedad. Cuando algún ser vivo fallece el calor y la humedad aceleran en gran medida la descomposición del cuerpo, haciendo que una gran cantidad de nutrientes vayan a la tierra. Esta gran cantidad de nutrientes provoca que las plantas tengan un crecimiento acelerado.

Al igual que los bosques templados, la selva tropical es de gran importancia para los seres vivos debido a que es otro de los grandes pulmones del planeta. En la selva tropical también se produce el efecto invernadero, de manera que si este bioma desapareciese la temperatura del planeta aumentaría.



Figura 9. Río de una selva tropical.

➤ **Desierto.**

El desierto se caracteriza por ser un bioma muy caliente y seco, en el cual la cantidad de precipitaciones es muy escasa. Existen desiertos en los que no se producen precipitaciones durante varios años. Los desiertos se sitúan en latitudes bajas. Podemos encontrar desiertos en Asia, África, Australia, América del Norte y del Sur.

Las temperaturas en los desiertos son muy extremas, siendo en torno a 0°C por las noches y de 45°C por el día. La razón de que la temperatura sea tan baja por la noche se debe a la casi inexistencia de árboles o plantas, debido a esto el calor es irradiado desde la superficie de la tierra con gran facilidad.

La flora en este bioma es muy escasa, formada en su mayoría por cactus, arbusto y algunos pocos tipos de árboles. Las plantas necesitan ser capaces de sobrevivir con muy poca agua y conseguir reducir lo máximo posible la evaporación que se produce en ella, por eso suelen tener tallos y hojas especiales para este tipo de clima.

La fauna también escasea en gran medida, la gran mayoría de animales son pequeños y con pocas necesidades de alimento y agua. Suelen ser animales nocturnos, permaneciendo inactivos por el día y realizando actividades de supervivencia durante la noche.

El calentamiento global es una gran preocupación para los desiertos. Si la fauna y la flora existentes en ellos viven con muy poca agua, va a ser muy difícil o imposible sobrevivir si las precipitaciones descienden aún más. Se calcula que en torno al 15% de la diversidad de seres vivos de los desiertos desaparecerá en los próximos años.



Figura 10. Desierto de Namib.

➤ **Pastizales o praderas.**

El bioma de pradera es uno de los más extendidos del planeta. Se encuentra en latitudes medias, esparcido por los cinco continentes. Las grandes praderas se pueden encontrar sobretodo en América, Nueva Zelanda, Australia y África. Dicho bioma ocupa el 25% de la superficie terrestre.

El bioma de pradera se forma debido a que existen montañas alrededor de dicho bioma que no permiten llegar la influencia de los océanos. En invierno los vientos polares provocan que estas zonas sean muy frías, con temperaturas cercanas a los -40°C . Por otro lado, en verano predominan los vientos continentales, provocando veranos más calurosos y lluviosos, con temperaturas en torno a los 21°C .

De esta manera se pueden reconocer dos estaciones bien diferenciadas, la estación de crecimiento y la estación latente. Durante la estación latente los seres vivos no son capaces de desarrollarse, esto es debido a las bajas temperaturas y a las grandes nevadas, las cuales pueden llegar a provocar una nieve de 1,8 metros de altura. Durante la estación de crecimiento las abundantes lluvias hacen que las praderas se llenen de vida.

El tiempo que duren ambas etapas depende del tiempo que dure la temporada de lluvias. Al bioma de pradera se le sitúa entre el bioma forestal y el desértico. Si hubiera más lluvia sería un bioma forestal y si hubiera menos se le consideraría bioma desértico.

La fauna en este bioma no es tan abundante como en otros, pero sigue habiendo una gran cantidad de especies. Se cree que existen unas 50 especies de animales y 300 de aves en este bioma.

La flora está formada básicamente por hierba y flores. Existen algunos árboles, pero en general suelen ser pequeñas agrupaciones aisladas. Esto es debido a que en el bioma de pradera se suelen dar periodos de sequias y por consiguiente de incendios, lo que impide el crecimiento de gran cantidad de árboles. La hierba no sufre tanto impacto debido a los incendios ya que, aunque se quemen las hojas, las raíces permanecen intactas y pueden volver a crecer.



Figura 11. Representación típica de una pradera.

➤ **Chaparral.**

El bioma del chaparral se forma cuando entran en contacto una masa de agua fría con una masa terrestre a alta temperatura. Dichos chaparrales se sitúan en la zona mediterránea de Europa y África, en la zona costera de California y en México.

Se caracterizan por tener inviernos muy lluviosos y ligeramente fríos, con temperaturas en torno a -1°C . Los veranos son muy calurosos y muy secos, con temperaturas cercanas a los 37°C . Estas condiciones provocan que las probabilidades de incendio sean muy altas, acrecentadas en gran medida por la alta actividad del ser humano en este tipo de bioma.

Los incendios y las grandes diferencias de temperatura y lluvias provocan que la flora y la fauna existente en este bioma necesiten tener una gran capacidad de adaptación.

Los animales de este bioma suelen ser nocturnos y muy bien adaptados a las extremas condiciones del bioma. La flora consiste básicamente en matorrales, arbustos, cactus y árboles que han sido capaces de adaptarse a las malas condiciones.

Una característica de los árboles de este bioma son sus particulares hojas, troncos y raíces. Las hojas en general suelen ser gruesas para almacenar gran cantidad de agua o en forma de aguja para captar de mejor manera la humedad en el aire. En cuanto al tronco y las raíces tienen una gran resistencia al fuego, de manera que, aunque las hojas se quemen estos árboles tienen grandes posibilidades de volver a crecer.



Figura 12. Chaparral en California.

➤ **Sabana.**

Algunas personas consideran a la sabana como un bioma de pradera, mientras que otras consideran a la sabana como un bioma entre el de pradera y el de bosque.

Este bioma se encuentra en latitudes bajas, extendiéndose por zonas de África, India, América del Sur y Australia. Muchas veces bordean a los biomas de selvas tropicales. La temperatura media durante el año está en torno a los 16°C y en la estación seca puede llegar a los 33°C. A diferencia de lo que pueda parecer la sabana tiene dos estaciones, una estación con gran humedad y la otra muy seca.

La gran diferencia entre el bioma de pradera y de la sabana es que la estación de sequía no es tan fría y las temporadas de lluvia son menos frecuentes. La escasez de lluvias es mucho más perjudicial que en la pradera, hay veces que algunas plantas y animales llegan a sus límites antes de producirse las lluvias.

A pesar de las condiciones extremas, existen gran variedad de animales herbívoros y carnívoros. Son animales que se han adaptado a vivir en estas condiciones y en épocas en las que la sequía dura mucho, puede llegar a peligrar su supervivencia.

La flora está compuesta mayoritariamente por hierba salvaje, aunque también se pueden encontrar arbustos y algunas agrupaciones de árboles como pinos, palmera y acacias.



Figura 13. Sabana africana.

➤ **Humedales.**

Los humedales son zonas en las que se queda estancada el agua de manera permanente, ya sea durante todo el año o durante una estación. Dicha agua puede ser dulce o salada. Son biomas muy importantes ya que son capaces de absorber los excesos de agua y de esta manera evitar inundaciones. También son capaces de proveer agua en estaciones de mucha sequía.

Este bioma se puede encontrar en cualquier parte del mundo menos en la Antártida. Los biomas de humedal se encuentran dentro de otros biomas y ayudan a la supervivencia de estos.

La humedad en los humedales siempre es muy elevada, sin embargo, las temperaturas dependen del tipo de bioma en el que estén incrustados.

Es el bioma con mayor diversidad animal existente, sobretodo en aquellos humedales en los que el estancamiento sea tanto de agua salada como de agua dulce. Entre ellos hay que destacar a los anfibios, los cuales se adaptan con increíble facilidad a este tipo de bioma. La flora en los humedales también es bastante diversa, pudiendo encontrar plantas acuáticas, arbustos, manglares y árboles.

El calentamiento global está provocando que los humedales cada vez sean más pequeños y en algunos casos incluso han desaparecido. La preservación de este bioma es de alta prioridad por el grandísimo impacto que tienen sobre los biomas en los que se encuentran.



Figura 14. Imagen de un humedal.

En la figura 15 podemos observar un mapa mundial de los biomas anteriormente mencionados y algunos biomas más pequeños o sub-biomas.

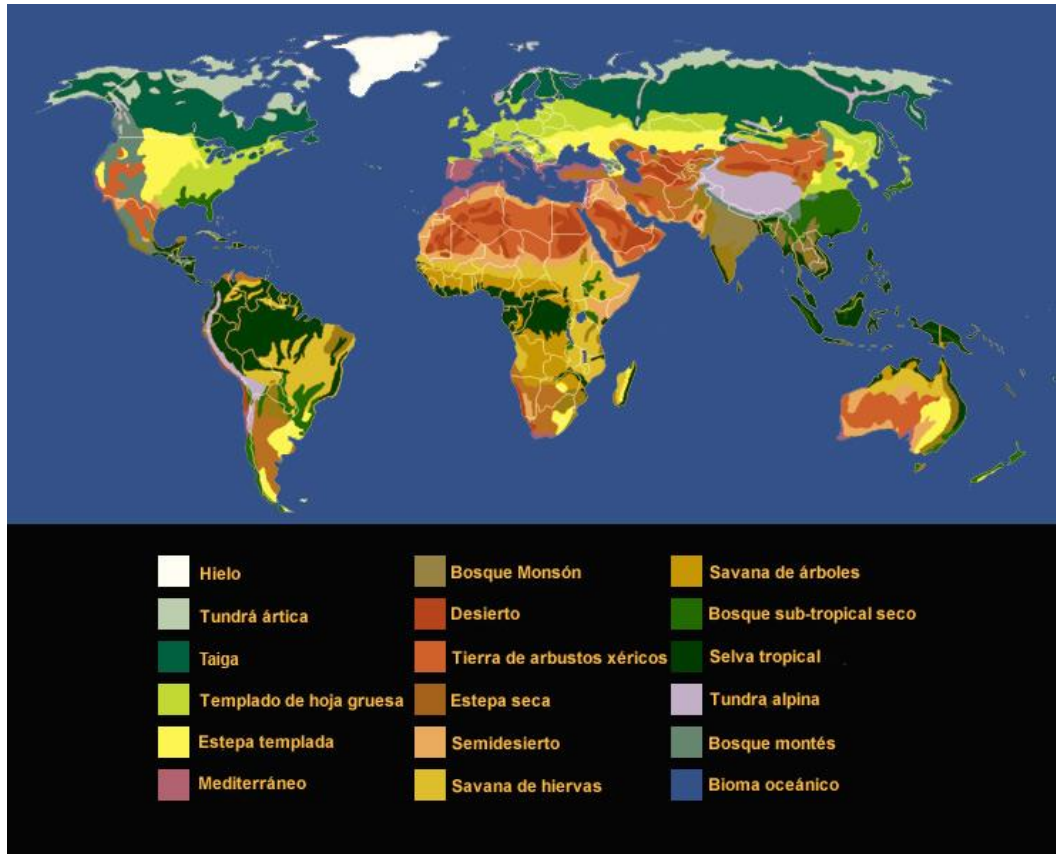


Figura 15. Representación de los biomas en el mapa mundial.

3.4 Parámetros meteorológicos.

Para definir el tiempo meteorológico o la climatología de un lugar es necesario el uso de una serie de parámetros. A continuación, se enumeran y explican los tres parámetros más importantes y por ello los más utilizados [10].

3.4.1 Temperatura.

La temperatura atmosférica es un indicador que sirve para medir la cantidad de energía calorífica presente en el aire. Para medir la temperatura se utilizan los termómetros, siendo la escala más utilizada la centígrada.

No hay que confundir temperatura con sensación térmica, es decir, aunque en dos situaciones diferentes exista la misma temperatura es posible que la sensación que percibamos sea diferente en ambos casos. Dicha sensación es dependiente de la humedad en el aire y de la velocidad del viento.

3.4.2 Humedad del aire.

La humedad del aire es un indicador de la cantidad de vapor de agua presente en una masa de aire. Existen dos formas de expresar la humedad, por un lado tenemos la humedad relativa y por otro la humedad absoluta. Hablamos de humedad relativa cuando hablamos del % de agua en el aire. La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen de aire, midiéndose en gr/cm^3 . Para medir el vapor de agua se utiliza un higrómetro.

En parte la humedad es dependiente de la temperatura ya que el aire caliente contiene más vapor de agua que el aire frío.

Cuando el vapor de agua no es capaz de seguir creciendo y mantenerse en estado gaseoso se dice que ha llegado al punto de saturación. En este punto el vapor de agua se vuelve líquido y precipita.

3.4.3 Presión atmosférica.

Se denomina presión atmosférica al peso que realiza la masa de aire por unidad de superficie. La presión normal a nivel del mar es de 1 atmósfera y va disminuyendo conforme va aumentando la altitud. Las grandes presiones se pueden percibir más o menos fácilmente.



En el caso de que la presión sea muy alta nos sentiremos más cansados, mientras que en el caso de que la presión sea baja nos sentiremos más ligeros y con mayores dificultades para respirar. Para medir la presión se utiliza un barómetro.

La diferencia de presión atmosférica entre diversos puntos de la superficie terrestre son los causantes de algunos de los eventos meteorológicos más comunes, como lo son los vientos, las borrascas, los anticiclones y los frentes.

3.5 Eventos meteorológicos.

Existen una serie de eventos meteorológicos derivados de los cambios que se producen en los factores anteriormente expuestos. A continuación, se exponen los eventos meteorológicos más comunes [11] [12].

3.5.1 Viento.

El viento se produce cuando una masa de aire caliente asciende debido a que se vuelve menos densa y una masa de aire frío sustituye el hueco que la otra masa ha dejado. Existen vientos que recorren la tierra de un extremo a otro, mientras que también existen vientos que son localizados a una sola región.

La topografía a veces ayuda a que se produzcan vientos. Por ejemplo, en el caso de la playa durante el día se produce un viento fresco desde el mar hacia la costa y durante la noche el viento fresco se produce desde la tierra hacia el mar. En el caso de las montañas ocurre algo similar, durante el día la brisa asciende hacia las cumbres y por la noche desciende de ellas.

3.5.2 Precipitaciones.

Cuando la humedad del aire es tan alta que llega al punto de saturación, empieza a condensarse en torno a pequeñas partículas sólidas que flotan en la atmósfera. Esta condensación forma las nubes, las cuales van ascendiendo hacia zonas más frías de la atmósfera. Debido a la baja temperatura las gotas de agua van aumentando de tamaño, hasta que el peso de dichas gotas supera las fuerzas que las sostienen y se precipitan hacia la superficie terrestre.

Dependiendo del grado de condensación y de la temperatura, las precipitaciones pueden ser en forma líquida (lluvia), en cristales de hielo (nieve) o en masas densas de hielo (granizo).

Si la diferencia de temperaturas entre dos masas de aire es elevada, la condensación se produce a gran velocidad y en abundancia. En este caso las precipitaciones son muy intensas, con un intercambio eléctrico entre las masas de aire y la aparición de movimientos bruscos del aire. A este evento meteorológico se le conoce como tormentas.

3.5.3 Frentes.

Un frente se produce cuando dos masas de aire de temperaturas diferentes y uniformes chocan entre sí, provocando un cambio brusco de temperatura y de humedad. La línea donde chocan se denomina frente. Existen dos tipos de frentes dependiendo de cuál sea la masa de aire que esté en movimiento.

En el caso de que sea la masa de aire frío la que se mueva en dirección hacia la masa caliente se denomina frente frío, si el movimiento lo realiza la masa caliente sobre la masa fría se denomina frente caliente. La zona alterada por el choque de las masas de aire se denomina ciclón o borrasca. La zona que permanece estable se conoce como anticiclón.

3.5.4 Borrascas y anticiclones.

Como ya se ha expuesto anteriormente, un ciclón o borrasca es la zona alterada debido al choque de dos masas de aire de diferentes temperaturas. Esta zona se caracteriza por ser de baja presión y estar rodeada por un sistema de vientos. Dichos vientos giran en sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur y al contrario en el hemisferio norte.

Un anticiclón es la zona estable y con una presión atmosférica más alta que las zonas circundantes. En este caso el aire se mueve en sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur.

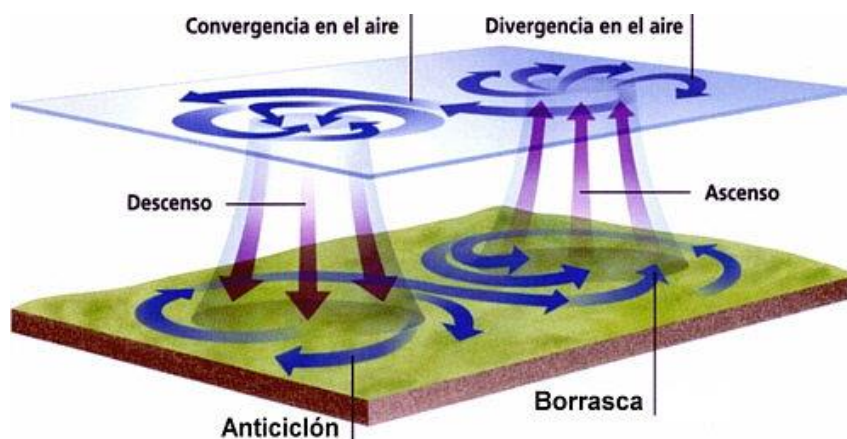


Figura 16. Representación de anticiclones y borrascas en el hemisferio sur

3.6 Climas en el mundo.

En este apartado se va a realizar una diferenciación de los diferentes climas del mundo dependiendo de si son climas lluviosos o secos [13] [14].

3.6.1 Climas Lluviosos.

- Climas **tropicales lluviosos**, los cuales se extienden desde el Ecuador hasta los trópicos y cuya temperatura a lo largo del año no suele ser inferior a los 18°C. Dentro de estos climas los más conocidos son el **ecuatorial**, el **monzónico** y el **tropical**.
- Climas **templados lluviosos**, los cuales alcanzan temperaturas menos elevadas durante los meses más fríos, pudiendo llegar a los -3°C. La temperatura durante el verano suele ser superior a los 10°C. Los climas más importantes dentro de este tipo son el **chino**, el **mediterráneo** y el **oceánico**.

3.6.2 Climas secos y fríos.

- Los climas **secos** son aquellos en los que el índice de evaporación es tan elevado y las precipitaciones tan escasas que evita la existencia de posibles corrientes de agua permanentes. Los climas más conocidos dentro de este tipo son el clima **árido** y el **semiárido**.
- Los climas **fríos** son aquellos con inviernos rigurosos en los que las temperaturas son inferiores a los -3°C durante los meses fríos y superior a los 10°C durante los meses más cálidos. Estos climas suelen estar cubiertos de nieve durante unos meses. Existen dos tipos fundamentales de climas fríos, el **continental húmedo** y el **continental frío**.
- Los climas **polares** se sitúan en latitudes altas y la temperatura media del mes más cálido no suele superar los 10°C. Existen dos tipos fundamentales de climas polares, el clima de **tundra** y el clima **polar**. Los climas de tipo polar también se producen en montañas superiores a los 3000 metros.

3.7 Efectos del cambio climático.

Desde hace más de 100 años el ser humano ha estado consumiendo combustibles como el carbón y aceite, lo cual ha provocado que diversos gases como el dióxido de carbono aumenten la temperatura de la tierra. A continuación, se enumeran los cambios más importantes debidos al calentamiento global [15].

- **Derretimiento del hielo del mar Ártico:** El grosor del hielo marino es la mitad del grosor que había en 1950. Esta disminución provoca que el calentamiento en el ártico sea más rápido y puede provocar cambios en la circulación del océano.
- **Derretimiento de los glaciares y de la capa permanente congelada:** Durante los últimos 100 años el tamaño de los glaciares de montaña de todo el mundo y de la capa permanentemente congelada del ártico ha disminuido.
- **Aumento de la temperatura de la superficie del mar:** Durante las últimas décadas el calentamiento de los océanos menos profundos ha provocado la muerte de una cuarta parte de los arrecifes de coral del mundo.
- **Aumento del nivel del mar:** Debido a los deshielos y a la expansión del agua debido al aumento de temperatura, el nivel del mar ha subido 15 cm durante el siglo XX. Se estima que el nivel del agua subirá 59 cm durante el siglo XXI.
- **Aumento de la temperatura de lagos mayores:** La temperatura de grandes lagos ha provocado su disminución de tamaño y el aumento de algas, las cuales conllevan un incremento de especies invasivas.
- **Lluvias más intensas:** El aumento de temperatura es la causa de que se produzcan lluvias más intensas y con ellas inundaciones.
- **Cambios en los ecosistemas:** El aumento de las temperaturas ha provocado que muchas especies tengan que emigrar a zonas más frías, modificando de esta manera los ecosistemas.



- **Aumento de las sequías:** Unas mayores temperaturas conllevan un mayor índice de evaporación y un aumento de las sequías.
- **Disminución de las cosechas:** Un aumento de las temperaturas y de las sequías provocan una disminución de la producción de los cultivos.
- **Olas de calor:** Aumento de la probabilidad y de la frecuencia de aparición de olas de calor en algunas zonas del mundo.
- **Impacto sobre la salud humana:** En las últimas décadas ha aumentado el número de muertes debidas al calor. También el aumento de la duración de la primavera perjudica a las personas con alergias.



CAPÍTULO 4:

SIMULINK

4.1 Introducción a Simulink.

Simulink es una aplicación integrada dentro de Matlab y que se utiliza para la creación y simulación de sistemas de manera visual. La simulación de los sistemas de control y de sistemas físicos se realiza mediante diagramas de bloques. Dichos bloques constan de tres elementos [16].

- Un **modelo visual**, el cual se utiliza para poder realizar las conexiones entre los distintos bloques. También sirve como guía visual para observar las interacciones entre los diferentes bloques.
- Una **interfaz de usuario** a la cual se puede acceder mediante el ratón realizando doble click izquierdo sobre el modelo físico. Este interfaz sirve para poder ingresar parámetros necesarios para realizar la simulación del programa.
- Un **código** de programación enlazado al bloque y programado con Matlab. Dicho código utiliza las variables de entrada del bloque, las variables del interfaz de usuario y provee las variables de salida del bloque.

4.2 Librerías utilizadas para la creación de los programas.

En este apartado se exponen las librerías utilizadas para la creación de los programas y los bloques utilizados de cada una de estas librerías. También se explica la función que tienen cada uno de los bloques en el funcionamiento del programa.

4.2.1 Librerías propias de Simulink.

Dentro de la plataforma Simulink, existen una serie de librerías por defecto. Dichas librerías contienen los bloques más elementales y por ello son utilizados en la gran mayoría de programas creados en Simulink. Es posible realizar una simulación de la gran mayoría de sistemas de control sin la necesidad de librerías externas. Sin embargo, hay veces en las que es necesario instalar librerías especializadas.

A continuación, se enumeran los bloques de las librerías básicas de Simulink utilizados en la creación de los programas del proyecto.

- El bloque **Memory** es un bloque de la librería de elementos discretos (*discrete*) de Simulink que almacena un valor hasta el siguiente instante de tiempo. Como se puede observar en la figura 17, a través de su interfaz es posible indicar el valor inicial de la memoria.

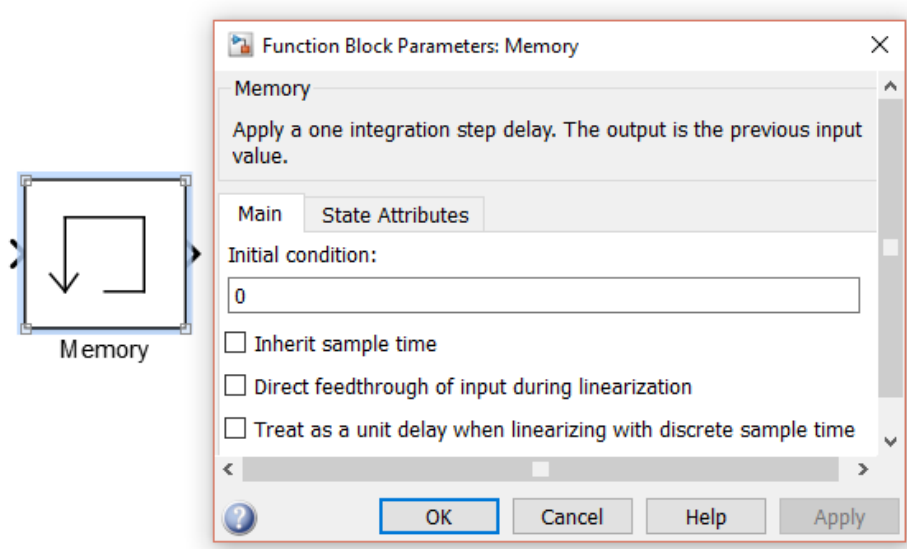


Figura 17. Bloque Memory de Simulink.

- El bloque **Counter Limited** es un bloque de la librería de fuentes (*sources*) de Simulink, el cual es capaz de realizar la función de contador ascendente hasta un límite definido por el usuario. La figura 18 nos muestra que se pueden modificar tanto el límite superior del contador como la frecuencia con la que va aumentando dicho contador.

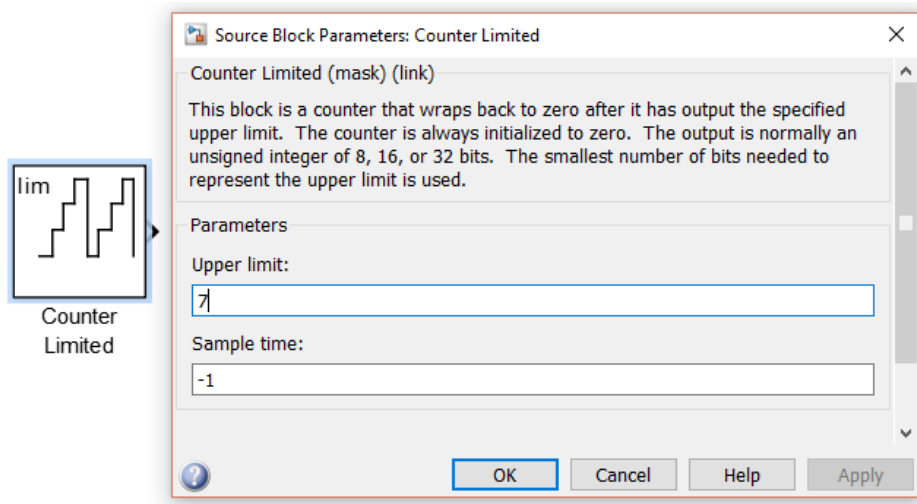


Figura 18. Bloque Counter Limited de Simulink.

- El bloque **Sum** es un bloque perteneciente a la librería de elementos comúnmente usados (*Commonly Used Blocks*) de Simulink. Aunque se llama bloque suma, en verdad sirve como operador tanto de suma como de resta. Para ello solo hay que modificar los signos desde la interfaz del bloque.

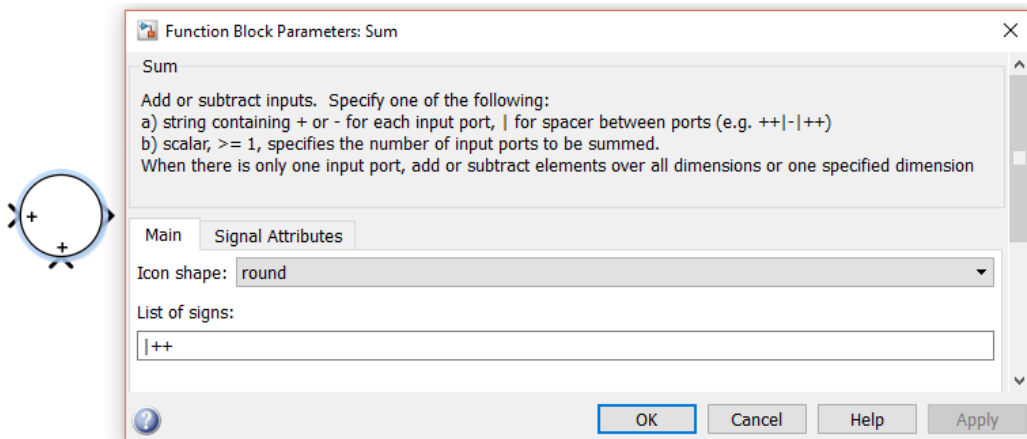


Figura 19. Bloque Sum de Simulink.

- El bloque **MATLAB function** pertenece a la librería de funciones definidas por el usuario (*User-Defined Functions*) y sirve para enlazar funciones creadas en Matlab con Simulink, o lo que es lo mismo, cuando se simule dicho bloque se ejecutará el programa que creamos y le asignemos en Matlab. A diferencia de otros bloques, cuando se intenta acceder a la interfaz de este bloque nos lleva a Matlab. Allí es donde podemos crear la función que queramos.

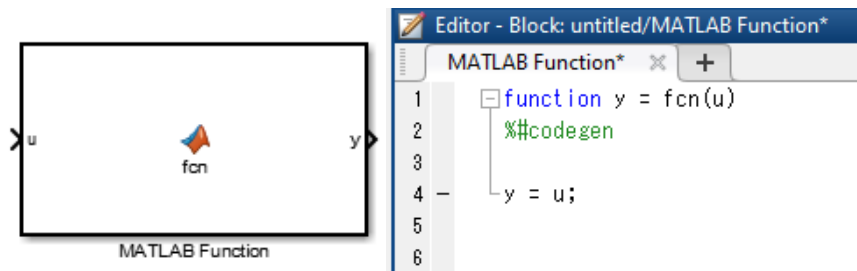


Figura 20. Bloque MATLAB function de Simulink.

- El bloque **Scope** es un bloque que pertenece a la librería de elementos comúnmente usados (*Commonly Used Blocks*) de Simulink. Este bloque sirve para visualizar los resultados de una simulación de manera gráfica. Por esta razón, aunque no es necesario su uso para el programa o su simulación, es indispensable para conocer los resultados de esta última.

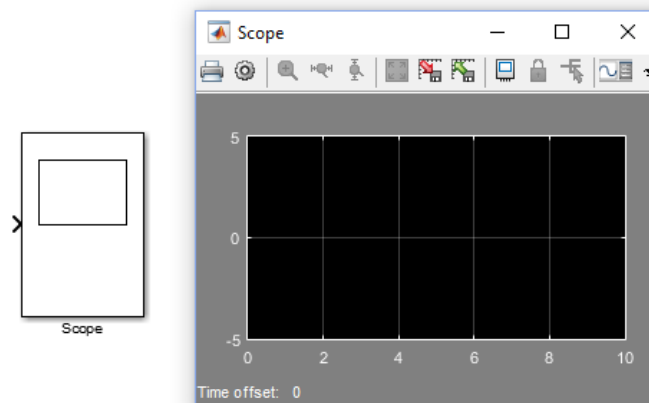


Figura 21. Bloque Scope de Simulink.

4.2.2 Librerías especializadas de Simulink.

Para la realización de este proyecto ha sido necesaria la instalación de dos librerías especializadas. Las librerías en cuestión son “Simulink Support Package for Arduino Hardware” y “Rensselaer Arduino Support Package”.

La primera librería es un paquete el cual se puede descargar desde el propio Simulink. De manera que, aunque no venga instalada como predeterminada sí que se considera una librería propia de Simulink. La segunda librería es un paquete creado por el Instituto Politécnico Rensselaer de Nueva York.

La librería “Simulink Support Package for Arduino Hardware” contiene bloques básicos para comunicarse con Arduino. Contiene bloques de comunicación analógica, digital, Wifi y Ethernet.

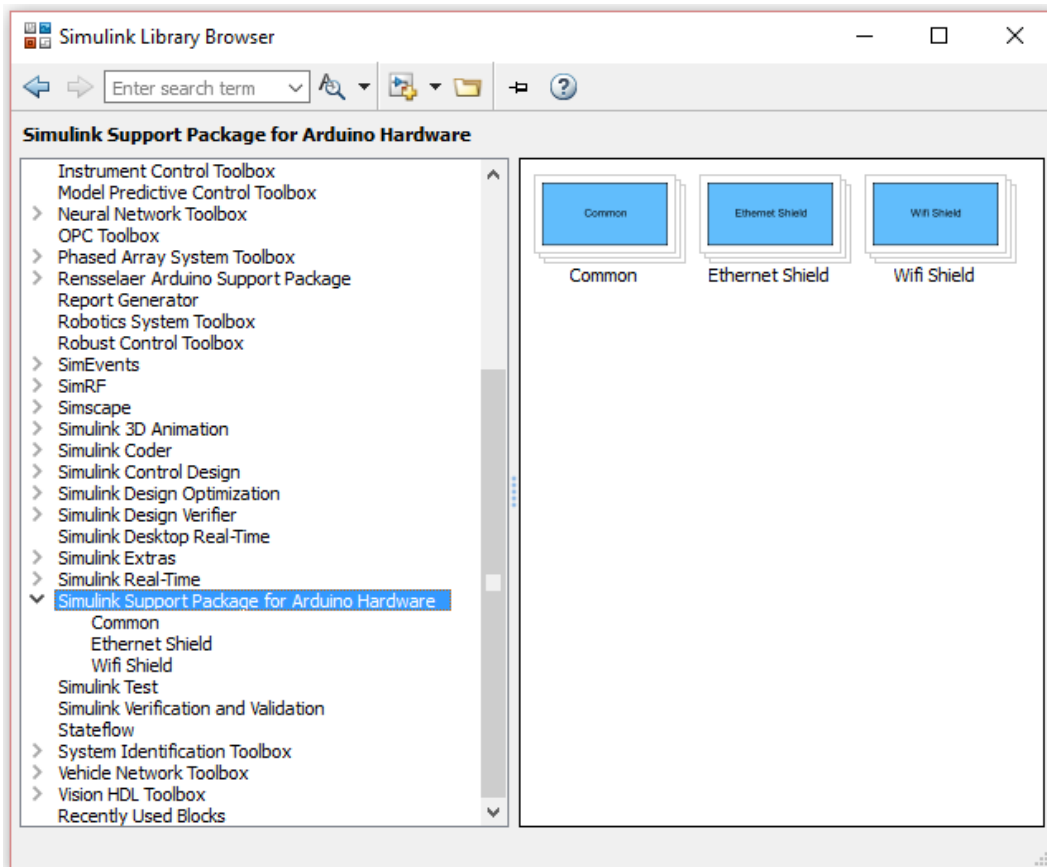


Figura 22. Librería “Simulink Support Package for Arduino Hardware”

La librería del Instituto Rensselaer contiene bloques para dispositivos específicos que se suelen utilizar para proyectos con Arduino, en el caso de este proyecto sirve para la lectura de un sensor de ultrasonido [17].

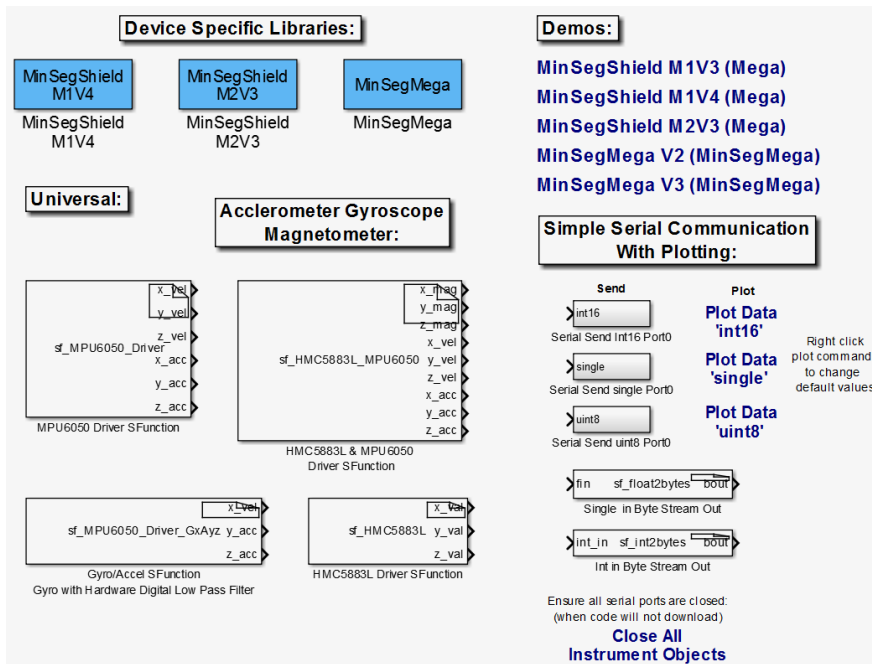


Figura 23. Librería “Rensselaer Arduino Support Package”.

A continuación, se presentan los diferentes bloques utilizados para realizar los programas del proyecto, los cuales pertenecen a las citadas librerías.

- El bloque **Analog Input** pertenece a la librería “Simulink Support Package for Arduino Hardware” y sirve para recibir información de un pin de entrada analógica de Arduino. Como se puede apreciar en la figura 24, se puede elegir el pin del Arduino y la frecuencia con la que se lee la información que se recibe de dicho pin.

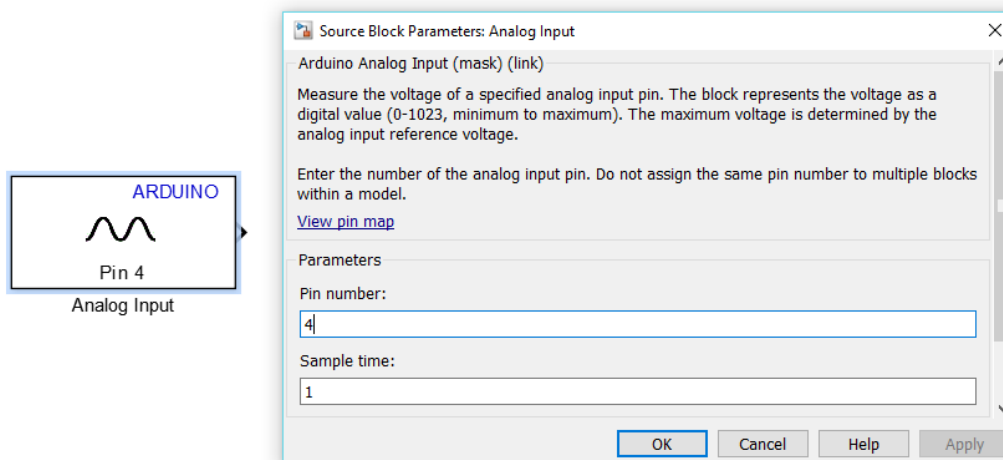


Figura 24. Bloque Analog Input de Simulink.

- El bloque **Digital Output** pertenece a la librería “Simulink Support Package for Arduino Hardware” y sirve para enviar una señal digital a través de un pin de salida digital del Arduino. Como se puede apreciar en la figura 25, se puede elegir el pin del Arduino.

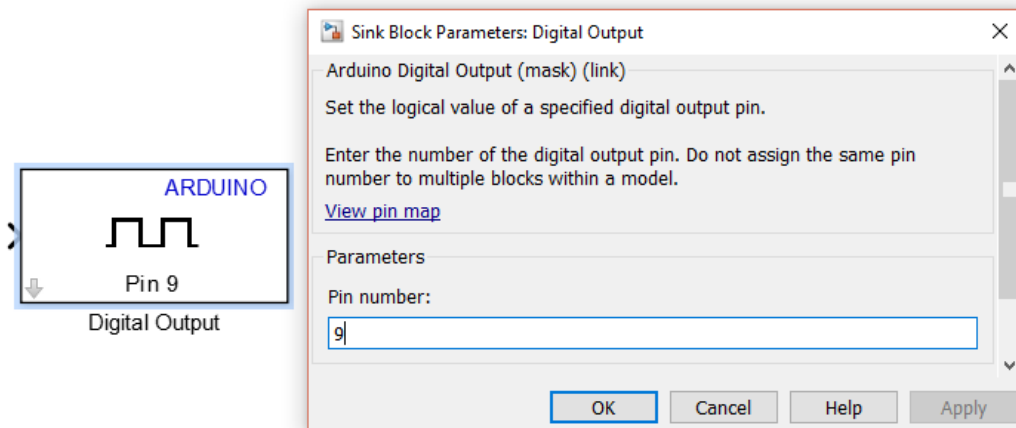


Figura 25. Bloque Digital Output de Simulink.

- El bloque **HC-SR04SonarSFunction** es un bloque perteneciente a la librería “Rensselaer Arduino Support Package” y se utiliza para recibir la distancia en centímetros a la que se encuentra un objeto, mediante el sensor de ultrasonido HC-SR04. Para ello utiliza las librerías de Arduino “<Arduino.h>”, “NewPing.h” y “NewPing.cpp”.

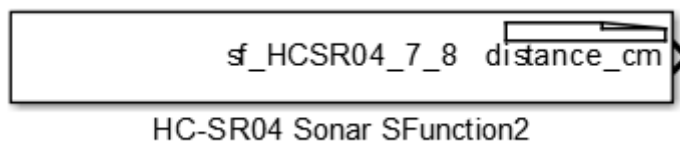


Figura 26. Bloque HC-SR04SonarSFunction de Simulink.

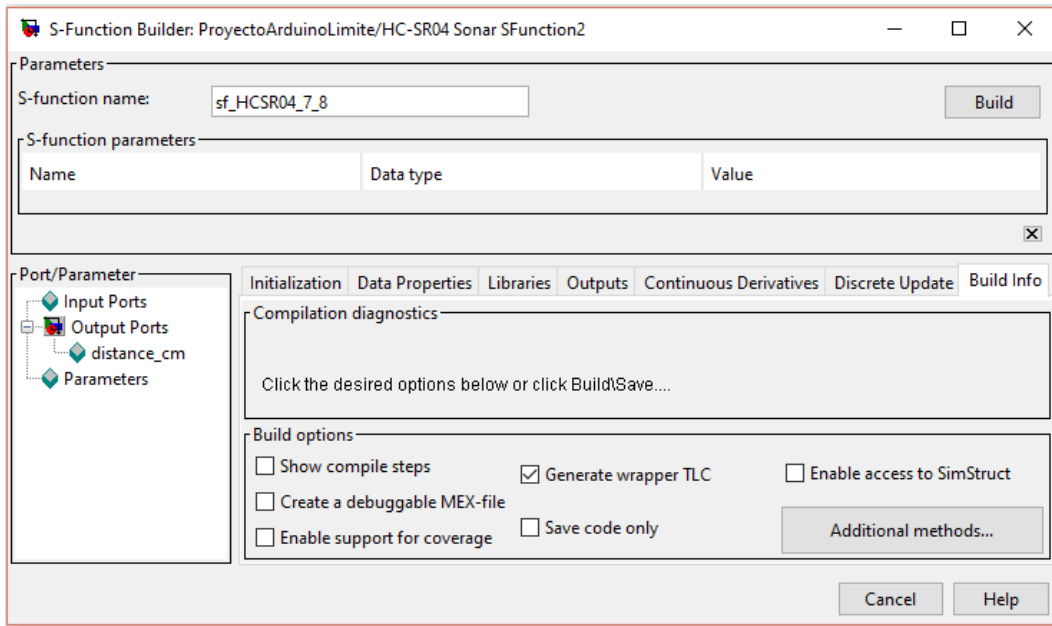


Figura 27. Interfaz del bloque HC-SR04SonarSFunction.



CAPÍTULO 5:

PROGRAMA DE CONTROL

5.1 Introducción al programa.

Como se expone en la introducción de este informe, el objetivo inicial del proyecto era la creación de una maqueta en la que se controlara el riego de una pequeña zona de tierra. Sin embargo, cuando analicé con el tutor los inconvenientes de realizar la maqueta nos dimos cuenta que había dos grandes problemas a la hora de realizarla. Por un lado, realizar un proyecto en el que juntes electricidad y agua sin que los componentes utilizados sean resistentes al agua puede llegar a ser muy problemático. Por otro lado, después de realizar cada experimentación habría que esperar a que la tierra se secase, pudiendo realizar muy pocas pruebas.

De esta manera decidimos que sería más interesante realizar un programa capaz de ser implementado en un riego cotidiano o en una maqueta y simular su utilización para corroborar su buen funcionamiento. Para realizar dicho programa y su simulación se ha utilizado la plataforma Simulink, la cual está incorporada dentro del programa Matlab. Se decidió utilizar este programa ya que nos permitía tanto programar como simular el programa, además nunca había utilizado Simulink para programar en Arduino y gracias a ello he podido aumentar mis conocimientos sobre la programación de este microcontrolador.

5.2 Esquema del programa de control.

En las figuras 28 y 29 se pueden observar los esquemas de dos programas realizados para el control de un sistema de riego mediante Arduino. El segundo programa es una simple modificación del primero. Ambos programas se dividen en dos sistemas, uno encargado de controlar la humedad de la tierra y otro encargado de controlar el volumen del depósito de agua.

El segundo sistema es igual para ambos programas, pero el primer sistema tiene integrado un contador limitado en el segundo programa. Dicho contador limitado simula el temporizador utilizado en algunos jardines. De manera que en el primer programa el control de la humedad es un control continuo, mientras que en el segundo caso el control de la humedad es periódico. No tiene sentido utilizar un temporizador para el depósito de agua ya que si fuera un control periódico podría darse la posibilidad de quedarse sin agua en un momento de necesidad de riego.

La entrada a controlar en el primer sistema es el índice de humedad de la tierra, el cual se consigue mediante la señal proveniente de un sensor de humedad. El valor de dicha señal pasa al bloque de control de humedad donde se estima si es necesario el uso del riego o no. En el caso de que sea necesario, una señal de activación de la bomba de riego es enviada desde el bloque de control de humedad.

El funcionamiento del segundo sistema es similar al del primero. La entrada en vez de ser el valor de humedad del suelo es el valor de la profundidad a la que se encuentra el agua en el depósito. Dicho valor se obtiene con un sensor de ultrasonido situado en la tapa del depósito. En el caso de que se supere un determinado valor, se enviará una señal de activación a la bomba de llenado para que llene el depósito.

Como se puede observar en las figuras 28 y 29, en el segundo sistema se ha integrado un bloque de memoria. Dicho bloque es utilizado para almacenar la señal de activado de la bomba de llenado. Dicho bloque es necesario ya que Simulink no trabaja en tiempo continuo con los bloques de función, lo que hace es ejecutar cada segundo de simulación los bloques función. De esta manera los valores de los parámetros internos se reinician en cada segundo, por ello es necesario el uso de la memoria.

En el segundo programa es necesario el uso de una memoria para el primer sistema por la misma razón. Debido a que la lectura de humedad es periódica, hay que almacenar la señal de que se ha activado la bomba de riego. En caso contrario solo se regaría el instante en el que se realiza el sondeo y se dan las condiciones necesarias de activación.

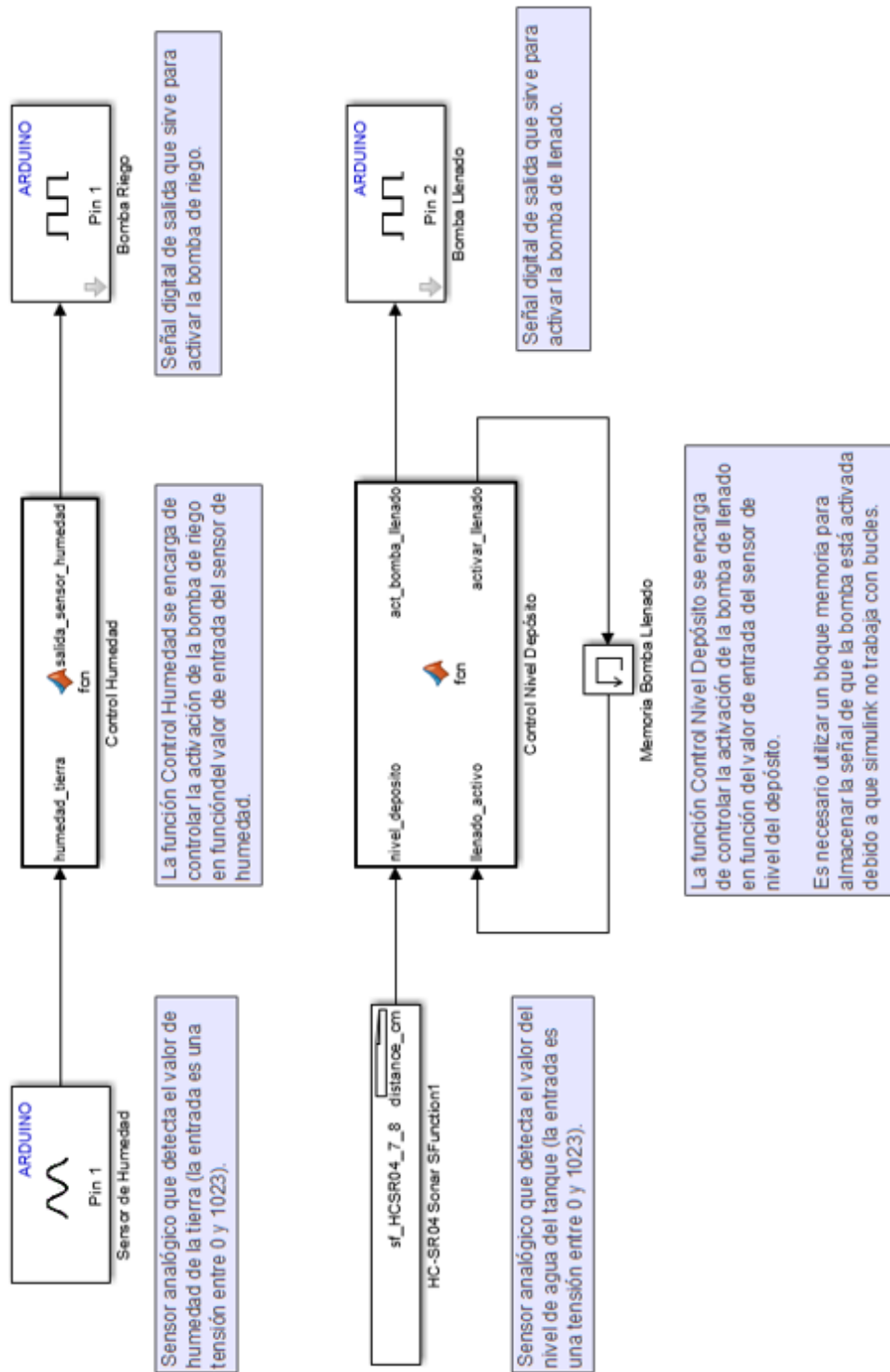


Figura 28. Esquema Sistema de Control por limite

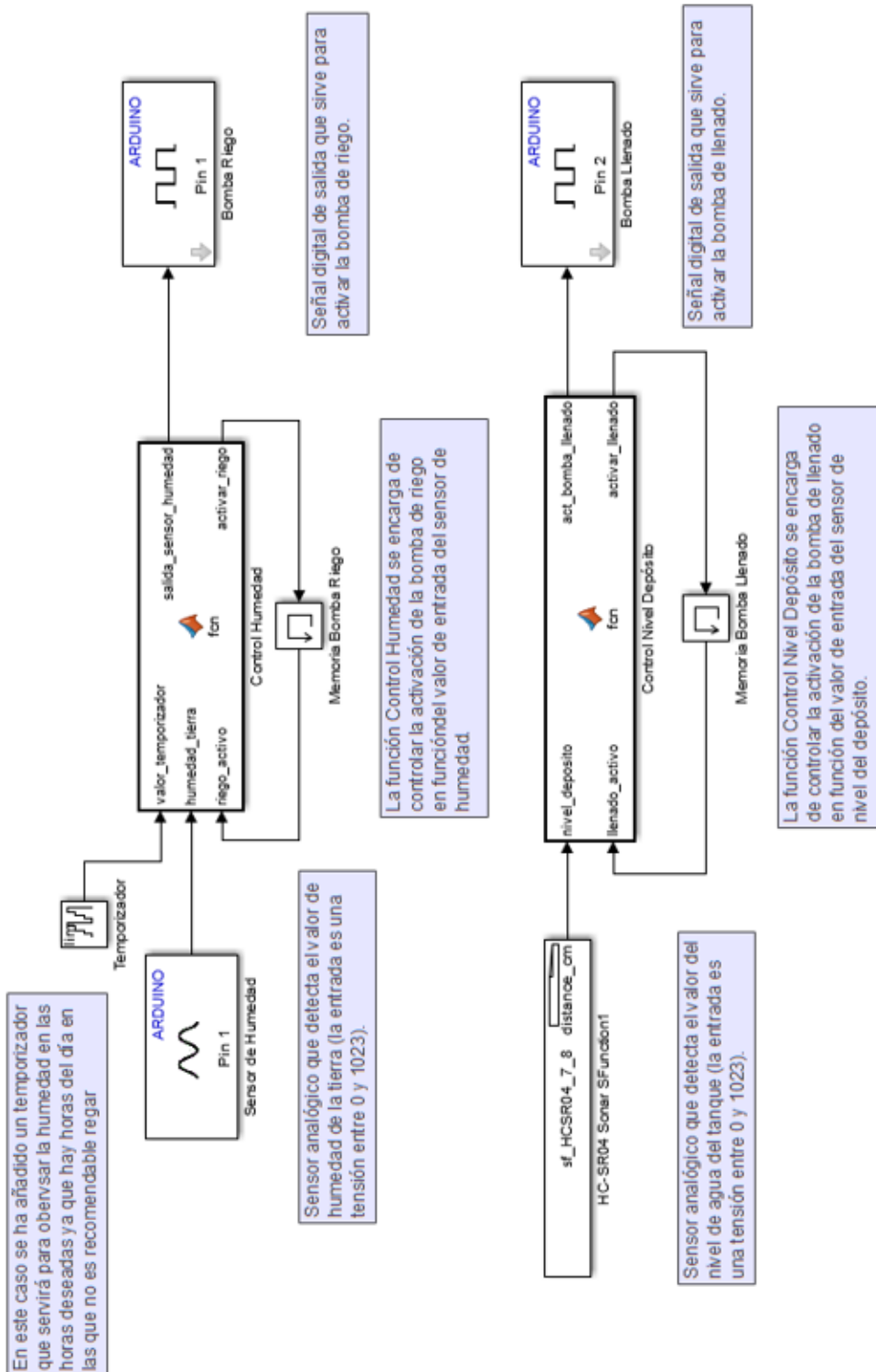


Figura 29. Esquema Sistema de Control por tiempo

5.3 Bloques que componen el programa de control.

En las figuras 28 y 29 se puede apreciar la explicación de los bloques que componen los programas, sin embargo, en este apartado se va a detallar con mayor profundidad la función que realizan todos y cada uno de los bloques que componen ambos programas. También se va a exponer el código de las funciones correspondientes a cada uno de los bloques.

- **Sensor de humedad:** Bloque que recibe la señal analógica del pin analógico 1 del Arduino. Dicha señal proviene de un sensor de humedad del suelo y su valor se encuentra entre 0 y 1023.



Figura 30. Bloque Sensor de Humedad.

- **Control Humedad:** Bloque destinado a controlar la humedad de la tierra. Como entrada tiene la señal proveniente del sensor de humedad, mientras que como salida tiene una señal digital dependiente de la humedad. En este caso se ha decidido mantener la humedad por encima del 10%, o lo que es lo mismo, que la señal de entrada del sensor sea superior a 300. ¡Hay que tener en cuenta que el sensor de humedad necesita de calibración! Si el valor de la señal de dicho sensor es inferior a 300, la señal digital de salida será un 1, es decir, que se active la bomba de riego.



Figura 31. Bloque Control Humedad.

En las figuras 32 y 33, se muestran las capturas de los códigos utilizados para este bloque. La figura 32 corresponde al programa con control continuo y la figura 33 con control periódico.

```
%%Estado de la tierra según la humedad del suelo:  
%%0-300 ---> Tierra seca.  
%%300-700 ---> Tierra mojada.  
%%700-1023 ---> Tierra encharcada.  
%%Según los cálculos realizados hay que mantener la humedad de la tierra  
%%en torno al 10%, lo cual corresponde a un valor de 300 para el sensor.  
function salida_sensor_humedad = fcn(humedad_tierra)  
    %%Si el valor del sensor es inferior a 300 el estado de  
    %%la señal de activación de la bomba de riego pasa a 1. En caso  
    %%contrario se mantiene en 0.  
    if(humedad_tierra<300)  
        salida_sensor_humedad=1;  
    else  
        salida_sensor_humedad=0;  
    end  
end
```

Figura 32. Código Control Humedad con control por límite.

```
%%Estado de la tierra según la humedad del suelo:  
%%0-300 ---> Tierra seca.  
%%300-700 ---> Tierra mojada.  
%%700-1023 ---> Tierra encharcada.  
%%Según los cálculos realizados hay que mantener la humedad de la tierra  
%%por encima del 10%, lo cual corresponde a mantenerla por encima del valor  
%%de 300 del sensor.  
%%En este caso se realizar un muestreo cada 30 segundos. Siendo este un  
%%caso más realista ya que hay ciertas horas del día en las que no es  
%%recomendable regar.  
function [salida_sensor_humedad, activar_riego] = fcn( valor_temporizador, humedad_tierra, riego_activo)  
    activar_riego=0;  
    %%Si el valor de tensión del sensor es inferior a 300 durante el muestreo  
    %%el estado de la señal de activación de la bomba de riego pasa a 1. En caso  
    %%contrario se mantiene en 0.  
    %%Las variables activar_riego y riego_activo son la misma pero la  
    %%primera sirve para escribir en la memoria externa y la otra para leer  
    %%de la misma. De tal manera que al cambiar el estado de la variable  
    %%"activar_riego" también cambiará el de la variable  
    %%"riego_activo".  
    if(humedad_tierra<300 && valor_temporizador==30 || riego_activo==1)  
        activar_riego=1;  
    else  
        activar_riego=0;  
    end  
    if(riego_activo==1)  
        salida_sensor_humedad=1;  
    else  
        salida_sensor_humedad=0;  
    end  
end
```

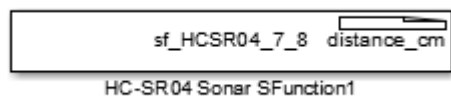
Figura 33. Código Control Humedad con control por tiempo.

- **Bomba Riego:** Bloque utilizado para la activación y desactivación de la bomba de riego a través del pin digital 1 del Arduino.



Figura 34. Bloque Bomba Riego.

- **HC-SR04 Sonar SFunction1:** Bloque cuyo objetivo es la adquisición de la señal proveniente del sensor de ultrasonidos HC-SR04. Para ello ejecuta la siguiente función “NewPing sonar(7,8,200);”, siendo el pin disparador el 7 y el pin de eco el 8. El número 200 indica la máxima distancia que puede medir. El valor proporcionado por este bloque será la distancia en centímetros a la que se encuentre el agua dentro del tanque.



```

Include files and external function declarations
Includes:
#include <Arduino.h>
#include "NewPing.h"
#include "NewPing.cpp"
NewPing sonar(7,8,200); // NewPing setup of pins and maximum distance.
#endif

if(xD[0] == 1)
{
    #ifndef MATLAB_MEX_FILE
        distance_cm[0]=sonar.ping_cm();// US_ROUNDTRIP_CM;
    #endif
}

```

Figura 34. Bloque e interfaz HC-SR04SonarSFunction1.

- **Control Nivel Depósito:** Bloque encargado de controlar el nivel del agua del depósito. El depósito elegido es un depósito cilíndrico de 1700 litros y de altura 1,60 metros. El bloque está programado para que se produzca la señal de activación de la bomba en el caso de que el agua esté a una profundidad de 1,20 metros respecto de la tapa del depósito. Cuando la profundidad del agua es de 10 centímetros la bomba se para automáticamente. Como se ha comentado en apartados anteriores es necesario el uso de la memoria para almacenar el valor de que la bomba está activada.



Figura 36. Bloque ControlNivelDepósito.

En la figura 37 se puede observar el código utilizado para la programación del bloque.

```

%%;;;Debido a que Simulink trabaja en tiempo discreto, es necesario
%%utilizar una memoria para poder guardar valores. También son necesarias
%%dos variables auxiliares (En este caso son "activar_llenado" y
%%"llenado_activo")!!!

%%Para medir el nivel del depósito de agua se utiliza un sensor de
%%ultrasonido. Gracias a una librería obtenemos el valor en cms de la
%%profundidad a la que se encuentra el agua. Suponemos un tanque de agua de
%%1,6 ms de profundidad.
]function [act_bomba_llenado, activar_llenado] = fcn(nivel_deposito, llenado_activo)
]
%%Las variables activar_llenado y llenado_activo son la misma pero la
%%primera sirve para escribir en la memoria externa y la otra para leer
%%de la misma. De tal manera que al cambiar el estado de la variable
%%"activar_llenado" también cambiará el de la variable
- %%"llenado_activo".
  activar_llenado=0;
  %%Cuando el agua está a una profundidad de 1,20 ms la bomba de llenado
  %%se enciende hasta que el agua vuelve a estar a 0,10 ms de
  %%profundidad.
  if(nivel_deposito>120 || llenado_activo==1)
    activar_llenado=1;
  end
  if(nivel_deposito<10)
    activar_llenado=0;
  end
  if(llenado_activo==1)
    act_bomba_llenado=1;
  else
    act_bomba_llenado=0;
  end
-end

```

Figura 37. Código ControlNivelDepósito.

- **Bomba Llenado:** Bloque encargado de mandar la señal de activación y desactivación a la bomba de llenado del depósito, para ello utiliza el pin 2 de salida digital.

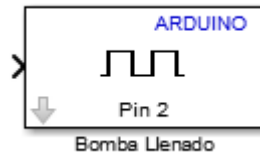


Figura 38. Bloque Bomba Llenado.

- **Temporizador:** Es un contador incremental con límite. De manera que cuando se llega a un valor determinado, el contador se reinicia a 0. Puede funcionar como temporizador para recibir la información proveniente del sensor de humedad de manera periódica.



Figura 39. Bloque Temporizador.



CAPÍTULO 6:

PROGRAMA DE SIMULACIÓN

6.1 Introducción al programa.

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, una vez realizado el programa para el control de un Sistema de Riego, se ha llevado a cabo una simulación del mismo. Para ello ha sido necesaria la simulación tanto de la variación de la humedad, como de la variación del nivel del depósito.

Ambas simulaciones planteaban serios problemas. Como se ha explicado en apartados anteriores, la variación de la humedad de la tierra está influenciada por demasiados factores, haciendo que una simulación realista sea casi imposible. Y la variación del nivel del depósito depende del agua utilizada, que a su vez depende de la variación de la humedad de la tierra. En vista de los problemas planteados y teniendo en cuenta que el fin de la simulación es saber si el programa funciona correctamente, se decidió realizar un sistema no realista que nos permitiese conseguir los objetivos marcados.

El sistema que simula la variación de humedad de la tierra es un sistema dependiente de los litros de agua precipitados debido a la lluvia y a las horas de sol diarias. Utilizando los datos meteorológicos diarios de Lugo, Sevilla, Valencia y Valladolid, se ha realizado una simulación en la que cada segundo simulado corresponde a un día.

La simulación se ha realizado para todos los días del año 2005. De esta manera no solo vemos si el sistema de control responde bien, también observamos cómo se comporta en regiones de climatología dispar y en distintas estaciones.



6.2 Esquema del programa de simulación.

En la figura 40 se presenta el esquema del programa utilizado para realizar la simulación del sistema de control. Debido a que es una simulación diaria no es necesario utilizar un bloque de memoria en el caso del control del nivel del depósito, ya que suponemos que durante ese día se ha conseguido llenar totalmente el depósito. Sin embargo, la simulación del bloque con memoria se ha realizado a parte para poder observar su buen funcionamiento. Dicha comprobación se expone en apartados posteriores (Apartado 7.3). Se ha comprobado que en este caso la inclusión de la memoria no afectaría a los resultados de la simulación.

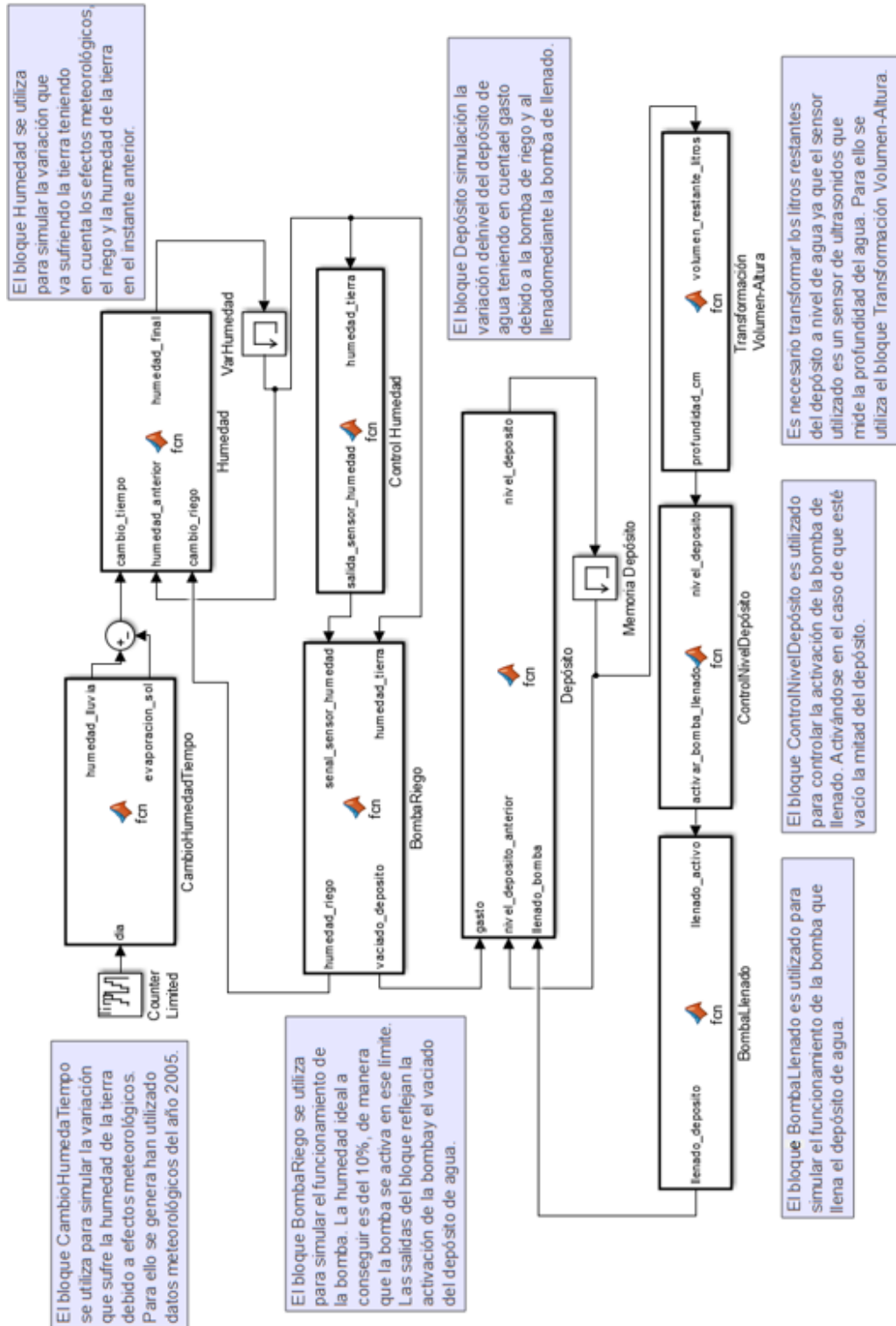


Figura 40. Esquema Sistema de Simulación

6.3 Simulación del programa de control

En apartados anteriores se han detallado los diferentes factores que afectan a la humedad del suelo. No solo depende de la meteorología que se produzca en ese lugar, también depende de factores físicos y químicos de la tierra. Por ello realizar un sistema que simule de manera real la variación de la humedad en diferentes tierras y climas es algo cercano a lo imposible si no se lleva una gran experimentación en las diferentes tierras a estudiar.

Por ello el sistema realizado para simular la variación de la humedad utilizado en este proyecto no es un modelo realista. Simplemente es un sistema utilizado para corroborar el funcionamiento del sistema de control creado con anterioridad. Es por ello que la variación de la humedad de la tierra va a depender únicamente de tres factores: las horas de sol diarias, la cantidad de precipitaciones diarias y el agua proveniente del riego.

No ha sido necesaria la creación de una función para la variación de la humedad con el riego ya que, al ser simulación diaria, si es necesario regar se supone que le da tiempo al riego a llegar a la humedad deseada a lo largo del día. En caso de que ese día no se necesitase regar la variación de humedad debida al riego es nula.

Para realizar el sistema de simulación se han creado diferentes funciones dependientes de estos factores y con cierto sentido físico para la obtención de un sistema capaz de realizar la simulación con un criterio dado.

6.3.1 Influencia de las precipitaciones en la humedad del suelo.

La humedad del suelo es la proporción de volumen de agua que hay por volumen de tierra. O lo que es lo mismo, la cantidad de agua que hay en un volumen de tierra. La cantidad de agua de lluvia se mide en mm de lluvia, equivalentes a litros por metros cuadrado.

Para la creación de la función capaz de calcular el cambio de la humedad debido a la lluvia, se ha supuesto que la penetración de la lluvia llega hasta los 20 cm de profundidad. A diferencia del riego, el cual suele durar unos minutos, la lluvia precipita durante más tiempo. Esto significa que el agua tiene más tiempo para penetrar en la tierra y por ello el alcance al que llega el agua suele ser mayor. En el riego la profundidad a la que llega el agua es la suficiente para llegar a la zona radical de las plantas, es decir, la zona ocupada por las raíces.

Teniendo en cuenta la profundidad de 20 cm obtendríamos un espacio prismático cuyo largo y ancho miden un metro y cuya profundidad son los 20 cm mencionados. El volumen de dicho prisma sería de 0.2 m³, cabiendo 200 litros de agua en ese recinto. Sabiendo que 200 litros es la totalidad del recinto, es posible calcular el tanto por ciento del recinto que ocuparía una cantidad específica de litros de agua de lluvia.

Si 200 litros → 100% Volumen.

L litros de lluvia → X % Humedad.

De esta manera la fórmula para calcular el tanto por ciento de volumen que ocupa una cantidad determinada de agua es la siguiente:

$$X\% = \frac{100}{200} * L = 0.5 * L$$

6.3.2 Influencia de las horas de sol en la humedad del suelo.

Para calcular la evaporación de agua que se produce en la tierra se han utilizado las horas de sol diarias. Otro de los parámetros que hubiese sido igual de válido para crear la función hubiera sido la temperatura. La razón por la que no he elegido esta última es porque la temperatura que influencia en la evaporación del agua es la temperatura superficial y la que se obtiene de los datos meteorológicos es la temperatura a uno o varios metros por encima de la tierra. A demás, en algunos climas se producen temperaturas elevadas, pero con mucha humedad en el aire, lo que dificulta la evaporación superficial.

Debido a que no existe una regla general que indique cuánta agua se evapora dependiendo de las horas diarias de sol, he supuesto que en el caso de que el día sea soleado toda el agua necesaria para mantener la humedad constante de la tierra es evaporada.

Según algunos estudios, para algunos cultivos como el maíz o el trigo es necesario regar unos 5-6 mm de agua de riego diarios para mantener la humedad de la tierra en la medida necesaria. Así que supongo que para el caso de que un día sea totalmente soleado estos 5-6 mm de agua se han evaporado.

Como antes ya se ha comentado, el tiempo de riego dura menos que las lluvias y por ello el agua no tiene tanto tiempo para penetrar a mayor profundidad. Por ello se supone que el agua llega hasta la misma profundidad a la que insertamos el sensor de humedad. La mayoría de sensores de humedad de tierra para Arduino llegan a una profundidad de 6 cm, de manera que supondremos que el agua de dicho riego llega a 6 cm.

Tampoco tendría sentido suponer que el agua a mayor profundidad se evapora ya que en general el agua evaporada por el sol es la cercana a la superficie. Siguiendo la misma mecánica que en el apartado anterior, en este caso tendríamos un volumen prismático de 0.06 m³, equivalentes a 60 litros de agua.

La mayor cantidad de horas de sol que presentan los días más largos del año es superior a 14 horas e inferior a 15 horas. Por esta razón se supone que los 6 mm de agua de lluvia se evaporan en 14 horas. En general la cantidad de horas diarias de sol ronda las 9 horas, sin embargo, no toda el agua se evapora. De manera que esas 5 horas adicionales simulan en parte el agua absorbida por las plantas.

Si 60 litros de agua son la totalidad del volumen que estudiamos, entonces los 6 litros de riego diarios serían el 10% del volumen o lo que es lo mismo un 10% de humedad de la tierra.

Si 60 litros → 100% Volumen.

6 litros de riego → 10 % Humedad.

De esta forma sabemos que durante 14 horas de sol la humedad de la tierra se reduce un 10%. Sabiendo esto, es posible realizar una función capaz de calcular la disminución de humedad sufrido en función de las horas de sol.

Si 10% → 14 horas de sol.

X % Humedad → H horas de sol.

$$X\% = \frac{10}{14} * H = 0.714 * H$$

6.3.3 Transformación de % de humedad a la escala del sensor de humedad.

Los sensores de humedad de la tierra utilizados para proyectos de Arduino mandan el valor de dicha humedad a través de una señal analógica cuyo valor varía entre 0 y 1023. Por esta razón, es necesario transformar las humedades dadas en tanto por ciento a la misma escala que el sensor. Sin embargo, a la hora de realizar esta transformación nos encontramos con dos problemas.

- Estos sensores no ofrecen equivalencias entre el valor suministrado al Arduino y el índice de humedad correspondiente. Investigando puedes encontrar como el valor del sensor indica un estado determinado de la tierra (seca, mojada, inundada). Sin embargo, no hay una equivalencia concreta con el tanto por ciento de humedad de la tierra.
- Existen diferencias de calibración de los sensores entre los diferentes modelos y marcas que se pueden encontrar en el mercado. Incluso a veces las escalas están a la inversa, es decir, en algunos sensores el valor 0 significa que la tierra está seca y en otros que está inundada. Lo más eficiente es que antes de utilizar un sensor de este tipo se realicen pruebas con él y se calibre a gusto del interesado.

Por esta razón la equivalencia que se ha utilizado en este proyecto es a criterio propio. En el caso de utilizar el programa para controlar un sistema de riego es aconsejable experimentar con el sensor y calibrarle para el buen funcionamiento del programa.

A continuación, se exponen en las tablas 4 y 5 el criterio utilizado en este proyecto, el cual coincide con la calibración de una gran cantidad de sensores.

Valor del Sensor	Estado de la Tierra
0-300	Tierra Seca
300-700	Tierra Mojada
700-1023	Tierra Encharcada

Tabla 4. Estado de la tierra según el valor del sensor.

Valor del Sensor	Porcentaje de Humedad
1	10/300 %
30	1 %
300	10 %
1023	34 %

Tabla 5. Porcentaje de humedad según el valor del sensor.

Con ayuda de la tabla 5, es posible calcular el valor que mostrará el sensor para la humedad de la tierra y también para las variaciones sufridas por los efectos meteorológicos. Aplicándolo a las fórmulas de los apartados 6.3.1 y 6.3.2.

$$\text{Variación Humedad por Lluvia} = 0.5 * L * 30 = 15 * L$$

$$\text{Variación Humedad por Sol} = 0.714 * H * 30 = 21.42 * H$$

6.4 Simulación de la bomba de riego.

Como se ha explicado anteriormente, no es necesaria la creación de una función para calcular la variación de la humedad debida al riego. Sin embargo, sí que es necesario averiguar la cantidad de agua utilizada por la bomba de riego para saber la disminución del nivel del depósito de agua.

La cantidad de agua que se necesita administrar con la bomba de riego es dependiente de la cantidad de humedad de la tierra que hay que aumentar para llegar al valor de humedad deseado.

Para realizar la simulación se ha decidido que el valor deseado sea el mismo que se toma en el criterio para la mayoría de sensores de humedad, es decir que empiece a regar a partir del valor de sensor de 300. Dicho valor corresponde a un 10% de humedad.

Como con anterioridad, el volumen utilizado para la medida de la humedad del suelo en el caso del riego es de 0.06 m³, o lo que es lo mismo, 60 litros de agua de riego.

Si 60 litros → 100% Volumen.

L litros utilizados → X % Humedad.

De manera que sabiendo el tanto por ciento de humedad que hay que aumentar, se pueden calcular los litros de agua necesarios para aumentar dicha humedad. Restando a la humedad deseada el valor de la humedad actual obtenemos la humedad que hay que aumentar. Debido a que el sensor trabaja con su propia escala, es necesario transformar este valor a tanto por ciento. Según la tabla 5 de equivalencias, el valor 1 del sensor equivale a 10/300 % de humedad.

$$\text{Humedad a aumentar} = 300 - \text{Humedad actual.}$$

$$\text{Humedad a aumentar (\%)} = (300 - \text{Humedad actual}) * \frac{10}{300}$$



Suponiendo que el terreno que regamos es de 100 m². La fórmula resultante para calcular los litros de agua utilizados para el riego es la siguiente.

$$\text{Litros utilizados} = 100 \text{ m}^2 * \text{Humedad a aumentar (\%)} * \frac{60}{100}$$

6.5 Simulación del nivel del depósito.

Una vez calculados los litros utilizados para el riego es necesario averiguar el nivel del depósito para el volumen de agua restante. Para ello es necesario hacer uso de las dimensiones del depósito utilizado. En la tabla 6 se muestran las principales medidas del depósito.

Capacidad	1700 litros
Altura	1.60 metros
Radio	58 centímetros

Tabla 6. Propiedades del depósito.

La fórmula para calcular el volumen de agua de este depósito dependiendo de la altura del agua sería la siguiente.

$$\text{Volumen de agua} = \pi * \text{radio}^2 * \text{altura}$$

$$\text{Volumen de agua} = \pi * 58^2 * \text{altura} = 10568.31 * \text{altura}$$

En nuestro caso lo que se desea es el cálculo de la altura dependiendo del volumen de agua restante. Despejando la altura se obtiene la siguiente ecuación.

$$\text{Altura} = \frac{\text{Volumen de agua}}{10568.31}$$

El sensor que utilizamos para controlar el nivel del depósito es un sensor de ultrasonido situado en la tapa del depósito, de manera que lo que realmente mide no es la altura del agua, si no la profundidad. Sabiendo que la altura del depósito es de 1.6 metros, es fácil calcular dicha profundidad.

$$\text{Profundidad} = 160 - \text{Altura}$$

6.6 Bloques que componen el programa de simulación.

Una vez explicadas las diferentes funciones utilizadas para la simulación del sistema de control de riego, es posible proceder a realizar una explicación detallada de todos y cada uno de los bloques que componen el programa. A ellos se les adjunta el código utilizado para programarlos.

- **Contador Días:** Bloque utilizado para poder recorrer todos los días que componen un mes. En la programación del programa existen dos vectores que contienen tanto las precipitaciones como las horas diarias de sol del mes. Este contador permite recorrer dichos vectores calculando el cambio de humedad diario debido a los anteriores factores.

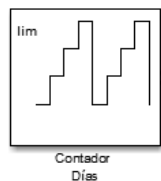


Figura 41. Bloque Contador Días de Sistema de Simulación.

- **CambioHumedadTiempo:** Bloque utilizado para calcular el cambio de la humedad diario provocado por las precipitaciones y las horas de sol de cada día del mes. Para ello se utilizan las fórmulas expuestas en el apartado 6.3.3 y dos vectores en los que se indican las precipitaciones y las horas de sol diarias. La simulación se realiza mensualmente para no tener que incluir vectores exageradamente grandes y que los resultados sean fácilmente interpretables.

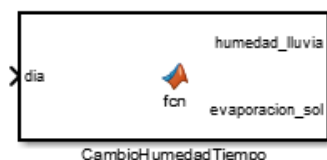


Figura 42. Bloque CambioHumedadTiempo de Sistema de Simulación.

```

%%Función utilizada para simular la variación de la humedad de la tierra
%%debida a los efectos meteorológicos. En este caso la simulación se hace
%%para un mes entero. Para ello se tienen en cuenta las horas de sol de
%%cada día y los litros de agua por metro cuadrado que han caído cada día.
function [humedad_lluvia, evaporacion_sol] = fcn(dia)
%%Debido a que el contador exterior empieza en 0 se le suma 1.
dia_actual=dia+1;
%%El vector "precipitaciones" almacena los datos de las precipitaciones día
%%a día durante ese mes.
precipitaciones=[0, 0, 0, 0.6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.1, 13, 6, 0, 0];
%%El vector "dias_sol" almacena los datos de las horas de sol diarias
%%durante ese mes.
dias_sol=[7, 7, 7, 0, 7.2, 4.8, 3.4, 12.5, 12.5, 12.5, 14.2, 14.1, 13.9, 13.3, 13.3, 13, 13.3, 2.3, 7.2, 10.5, 13.3,
%%Las fórmulas utilizadas para calcular el cambio de la humedad se han
%%conseguido a partir de cálculos teóricos.
humedad_lluvia=precipitaciones(dia_actual)*15;
evaporacion_sol=dias_sol(dia_actual)*21.42;
end

```

Figura 43. Código CambioHumedadTiempo de Sistema de Simulación.

- **Humedad:** Bloque utilizado para actualizar diariamente el valor de la humedad del suelo, para ello utiliza el valor del día anterior y la variación de humedad debida al tiempo meteorológico y a la bomba de riego. En el caso de que la bomba de riego se active, se considera que es capaz de llegar al valor de humedad ideal, es decir 300. Es necesario el uso de la memoria *VarHumedad* para almacenar el valor de la humedad del suelo e irle actualizando diariamente.



Figura 44. Bloque Humedad de Sistema de Simulación.

```

%%Función utilizada para calcular la variación de la humedad de la tierra.
%%Teniendo en cuenta para ello la variación de la humedad debida al tiempo,
%%la activación de la bomba de riego y la humedad de la tierra en el instante
%%anterior.
%%En el caso de que ese día se haya necesitado regar se supone que la bomba
%%se activa para dejar la tierra con la humedad ideal para el cultivo (en
%%este caso 10% (300 V para el sensor)).
function humedad_final = fcn(cambio_tiempo,humedad_anterior,cambio_riego)
    %%Si la bomba de riego se activa ese día significa que la humedad del
    %%suelo era menor a la ideal. Regando hasta llegar a la humedad
    %%ideal. En caso contrario se suma a la humedad actual la variación
    %%debida al tiempo meteorológico.
    if(cambio_riego==1)
        humedad_final=300;
    else
        humedad_final=humedad_anterior+cambio_tiempo;
    end
end

```

Figura 45. Código Humedad de Sistema de Simulación.

- **Control Humedad:** Bloque cuya función es la de activado y desactivado de la bomba de riego. La activación se produce en el caso de que el valor del sensor de humedad sea inferior a 300.

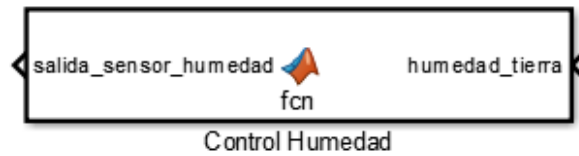


Figura 46. Bloque ControlHumedad de Sistema de Simulación.

```

%%Estado de la tierra según la humedad del suelo:
%%0-300 ---> Tierra seca.
%%300-700 ---> Tierra mojada.
%%700-1023 ---> Tierra encharcada.
%%Según los cálculos realizados hay que mantener la humedad de la tierra
%%en torno al 10%, lo cual corresponde a un valor de 300 para el sensor.
function salida_sensor_humedad = fcn(humedad_tierra)
    %%Si el valor del sensor es inferior a 300 el estado de
    %%la señal de activación de la bomba de riego pasa a 1. En caso
    %%contrario se mantiene en 0.
    if(humedad_tierra<300)
        salida_sensor_humedad=1;
    else
        salida_sensor_humedad=0;
    end
end

```

Figura 47. Código ControlHumedad de Sistema de Simulación.

- **BombaRiego:** Bloque cuya finalidad es la de simular el funcionamiento de la bomba de riego. En el caso de que el bloque *Control Humedad* mande una señal de activación de la bomba, este bloque realizará un cálculo de los litros gastados durante el riego y una señal de que se ha activado la bomba. El valor de los litros gastados irá al bloque *Depósito*, mientras que la señal de que se ha activado la bomba irá al bloque *Humedad*.

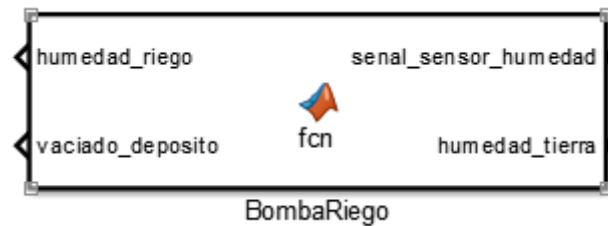


Figura 48. Bloque BombaRiego de Sistema de Simulación.

```

%%Esta función simula el riego de la tierra. Debido a que en esta simulación
%%un segundo es un día, solo indicamos si ese día se ha activado la bomba o
%%no ya que suponemos que es capaz de regar lo necesario ese día.
%%Los litros gastados por la bomba los calculamos mediante una fórmula
%%obtenida de manera teórica.
function [humedad_riego, vaciado_deposito] = fcn(senal_sensor_humedad, humedad_tierra)
if (senal_sensor_humedad==1)
    humedad_riego=1;
    vaciado_deposito=60*(300-humedad_tierra)*(10/300);
else
    humedad_riego=0;
    vaciado_deposito=0;
end

```

Figura 49. Código BombaRiego de Sistema de Simulación.

- **Depósito:** El bloque *Depósito* sirve para simular la variación que sufre el nivel del depósito debido al gasto por la bomba de riego y al llenado mediante la bomba de llenado. En el caso de que se active la bomba de llenado, se supone que el depósito es capaz de llenarse enteramente durante ese día. La variación del depósito se calcula mediante el valor del depósito el día anterior y el gasto proveniente de la bomba de riego. Es necesario el uso de la memoria *Memoria Depósito* para almacenar el valor del nivel del depósito.



Figura 50. Bloque Depósito de Sistema de Simulación.

```

%%Función utilizada para obtener la variación del nivel del depósito. Para
%%ello se utilizan como entradas el gasto de la bomba de riego, y el nivel
%%del depósito en el instante anterior. En el caso de que la bomba de
%%llenado del depósito se active suponemos que el depósito es capaz de
%%llenarse al máximo durante ese día.
function nivel_deposito = fcn(gasto, nivel_deposito_anterior, llenado_bomba)
    %%Para la simulación suponemos un depósito de 1800 litros.
    if(llenado_bomba==1)
        nivel_deposito=1800;
    else
        nivel_deposito=nivel_deposito_anterior-gasto;
        %%En el caso de que lo gastado por la bomba ese día sea mayor que
        %%lo que quedaba en el depósito suponemos que el depósito no tiene
        %%agua y que necesita llenarse ese día.
        if (nivel_deposito<0)
            nivel_deposito=0;
        end
    end
end
end

```

Figura 51. Código Depósito de Sistema de Simulación.

- **Transformación Volumen-Altura:** La finalidad de este bloque es la de transformar los litros restantes del depósito en la profundidad a la que se encuentra el agua dentro del mismo. Esto es necesario ya que el sensor que utilizamos es un sensor que mide la profundidad a la que se encuentra el agua.



Figura 52. Bloque Transformación Volumen-Altura.

```

%%Función cuyo objetivo es el de transformar la cantidad de volumen de agua
%%restante en el depósito a altura. Esto es necesario ya que en la realidad
%%utilizaríamos un sensor que nos proporcionaría la profundidad a la que se
%%encuentra el agua.
function profundidad_cm = fcn(volumen_restante_litros)
%%Primeramente transformamos los litros a cm3 que es en lo que trabajamos
%%con el sensor.
volumen_restante_cm=volumen_restante_litros*1000;
%%En esta simulación contamos con un depósito cilíndrico de 160 cms de
%%altura y 58 cms de radio. De manera que el volumen de agua será
%%pi*radio^2*altura.
altura_agua=volumen_restante_cm/(pi*58*58);
profundidad_cm=160-altura_agua;
end

```

Figura 53. Código Transformación Volumen-Altura.

- **ControlNivelDepósito:** Bloque utilizado para la activación o desactivación de la bomba de llenado. Su activación se realiza si la profundidad a la que se encuentra el agua es inferior a los 0.8 metros.



Figura 54. Bloque ControlNivelDepósito de Sistema de Simulación.

```

%%Para medir el nivel del depósito de agua se utiliza un sensor de
%%ultrasonido. Gracias a una librería de Simulink obtenemos el valor en cms de la
%%profundidad a la que se encuentra el agua. Suponemos un tanque de agua de
%%1,6 ms de profundidad.
function activar_bomba_llenado = fcn(nivel_deposito)
%%Cuando el agua está a una profundidad de 0.80 ms la bomba de llenado
%%se enciende.
if(nivel_deposito>80)
    activar_bomba_llenado=1;
else
    activar_bomba_llenado=0;
end
end

```

Figura 55. Código ControlNivelDepósito de Sistema de Simulación.

- **BombaLlenado:** Bloque cuya finalidad es la de simular el funcionamiento de la bomba de llenado, enviando una señal de que está activada la bomba al bloque *Depósito*.



Figura 56. Bloque BombaLlenado de Sistema de Simulación.

```
%%Esta función simula el llenado del depósito. Debido a que en esta simulación
%%un segundo es un día, solo indicamos si ese día se ha activado la bomba o
%%no ya que suponemos que el tanque se consigue llenar durante ese día.
function llenado_deposito = fcn( llenado_activo)
if(llenado_activo==1)
    llenado_deposito=1;
else
    llenado_deposito=0;
end
```

Figura 57. Código BombaLlenado de Sistema de Simulación.



CAPÍTULO 7:

*SIMULACIÓN DEL PROGRAMA
DE CONTROL*



7.1 Datos utilizados para la simulación.

Los datos utilizados para realizar las simulaciones se han obtenido del boletín meteorológico diario realizado por el Instituto Nacional de Meteorología español. Debido a que el boletín diario solo se estuvo publicando hasta el 2007 no he podido elegir datos recientes, de manera que elegí el año 2005 para realizar las simulaciones.

Con los datos del boletín se han realizado tablas de cada uno de los meses para cuatro ciudades diferentes, siendo estas Lugo, Sevilla, Valencia y Valladolid. En dichas tablas se pueden encontrar las precipitaciones y las horas de sol diarias de las ciudades anteriormente citadas.

Las tablas han sido añadidas a los anexos de este documento (Apartado 10.1).

7.2 Ejemplos de simulación.

Debido a que la totalidad de las simulaciones realizadas abarca una gran cantidad de gráficas, en este apartado únicamente se expondrán dos simulaciones de todas las realizadas. El resto de las simulaciones se exponen en el Capítulo 9, de esta manera la consulta de las mismas está más organizada.

Las simulaciones que se presentan a continuación son mucho más detalladas que las expuestas en el capítulo mencionado para comprobar tanto el funcionamiento de los bloques del programa de control como el de los bloques utilizados para la simulación.

7.2.1 Posicionamiento de los bloques Scope para analizar los resultados obtenidos.

A continuación, se presenta la situación de los bloques Scope, utilizados para observar de manera gráfica los resultados obtenidos.

- Primeramente, se analiza la variación que sufre la humedad debida a los factores meteorológicos. Para ello se observa la variación debida a las precipitaciones, la variación debida a la evaporación y la variación total debida a ambas. En la figura 58 se muestra el posicionamiento de los bloques Scope dentro del esquema.

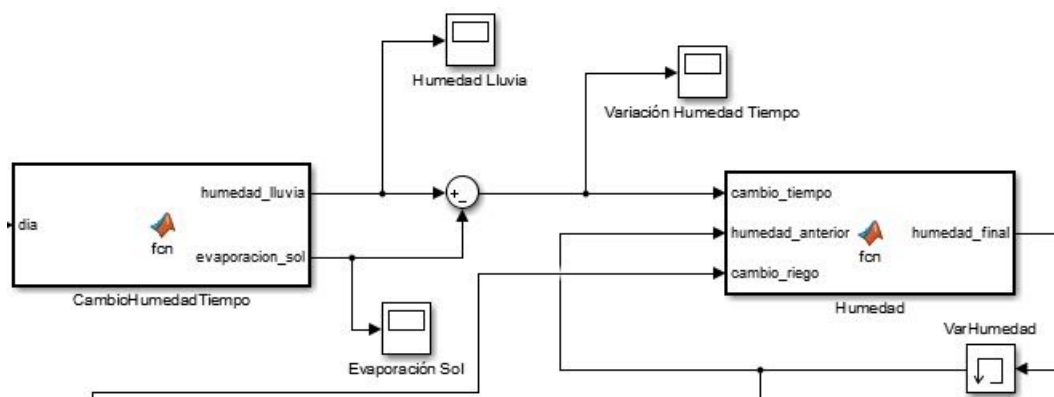


Figura 58. Bloques Scope 1.

- Una vez analizada la variación de la humedad debida a los factores meteorológicas, se estudia la variación total de la humedad. Hay que recordar que la variación total involucra la humedad el día anterior, la variación de humedad debida al riego y la variación de humedad debida a los factores meteorológicos.

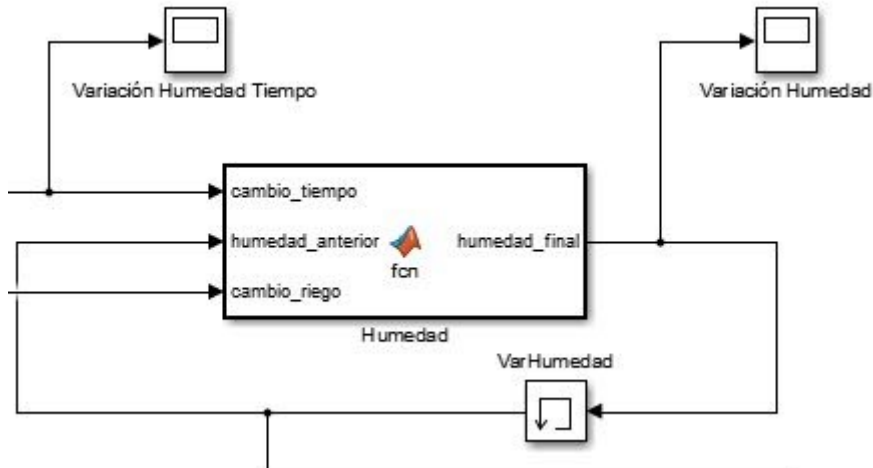


Figura 59. Bloques Scope 2.

- Para comprobar el óptimo funcionamiento de la bomba de riego se analiza el gasto de agua debido al riego y los eventos de activación de la bomba de riego.

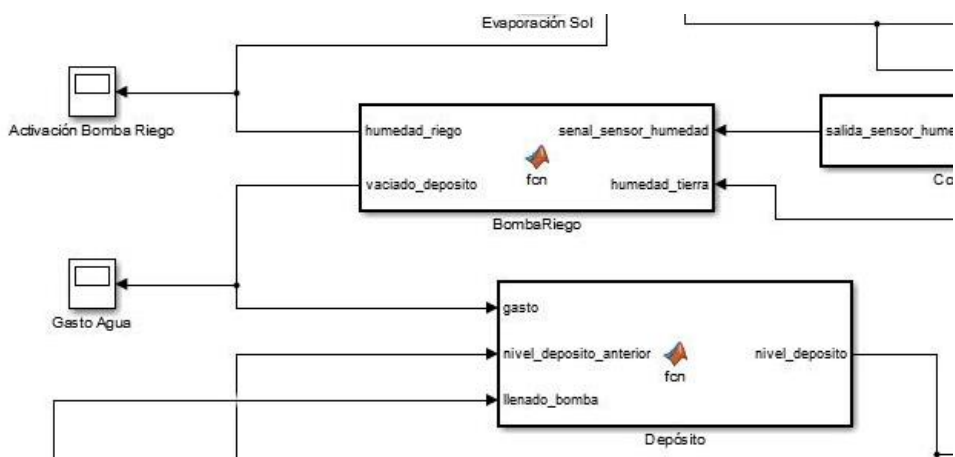


Figura 60. Bloques Scope 3.

- Por último, se comprueba el buen funcionamiento de la bomba de llenado del depósito gracias a los resultados obtenidos al analizar la variación del nivel del depósito y los eventos de activación de la bomba de llenado.

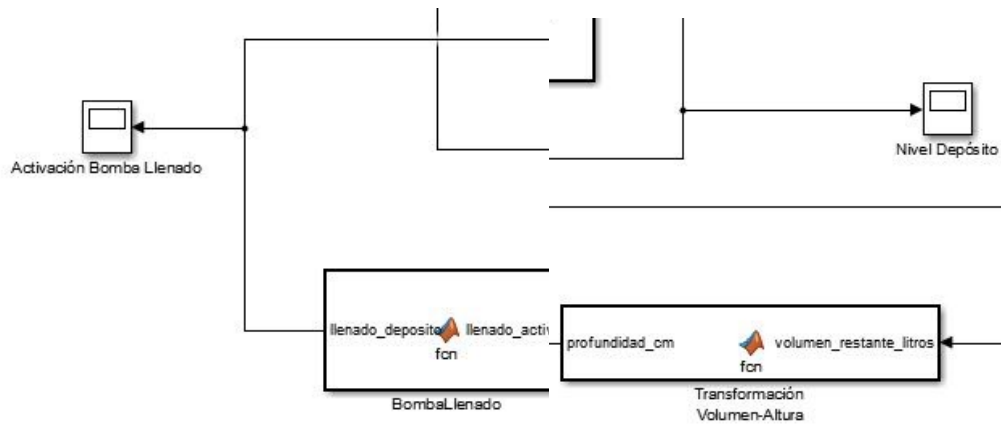


Figura 61. Bloques Scope 4.

7.2.2 Simulación para enero en la ciudad de Lugo.

Las siguientes gráficas corresponden a los resultados obtenidos para la simulación en el mes de enero del 2005 en la ciudad de Lugo.

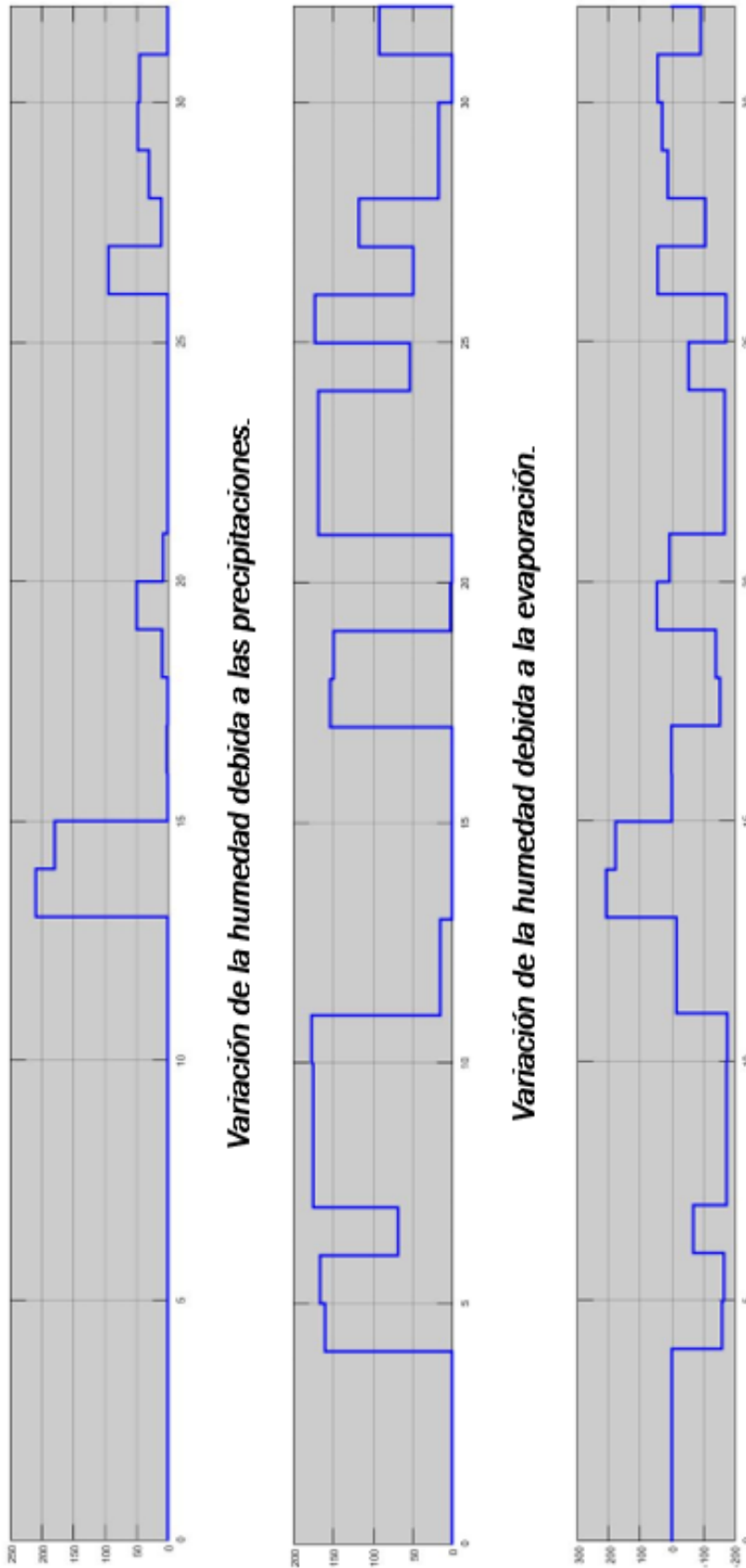


Figura 62. Gráfica Simulación Lugo enero 1

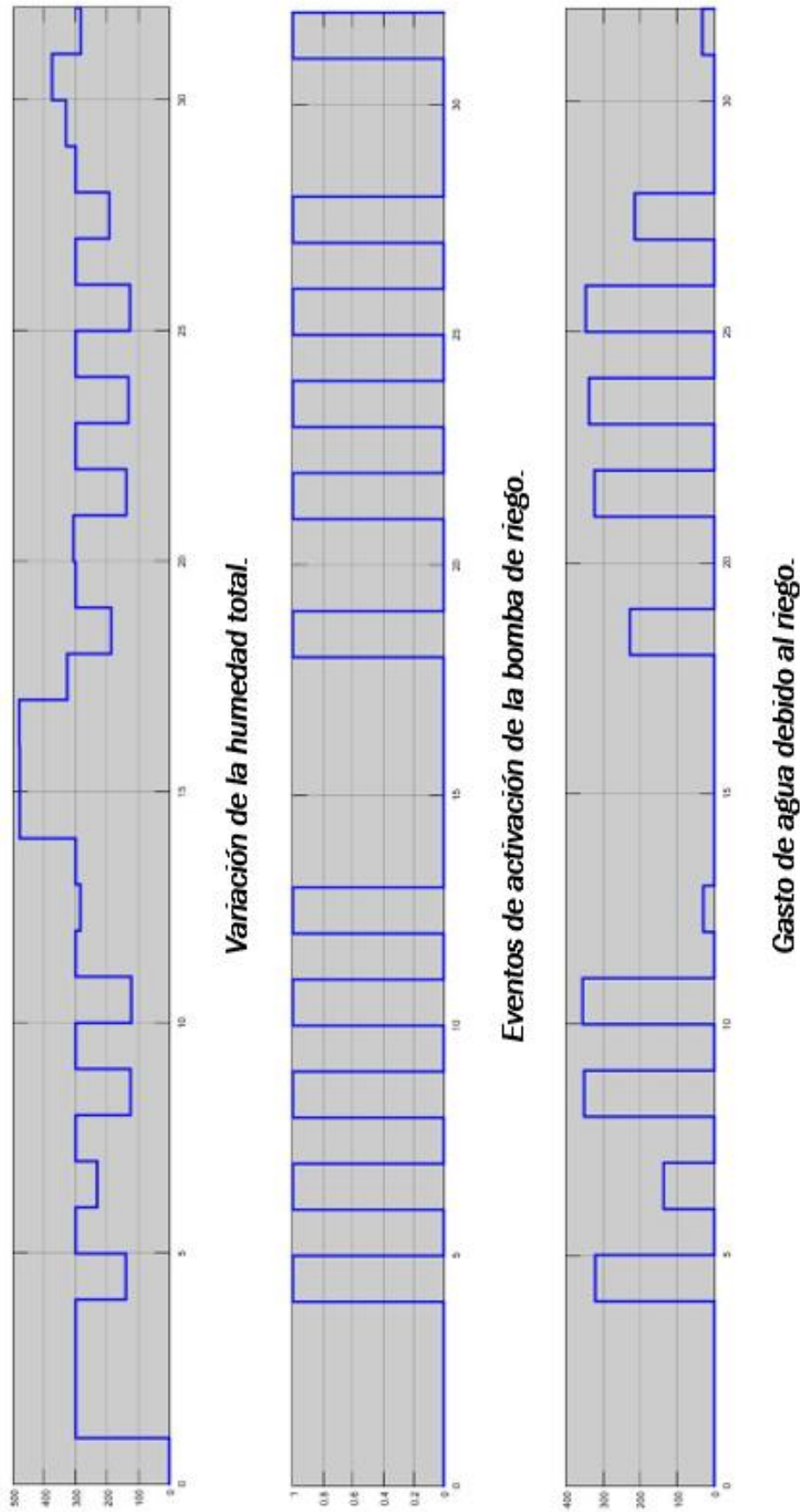


Figura 63. Gráfica Simulación Lugo enero 2

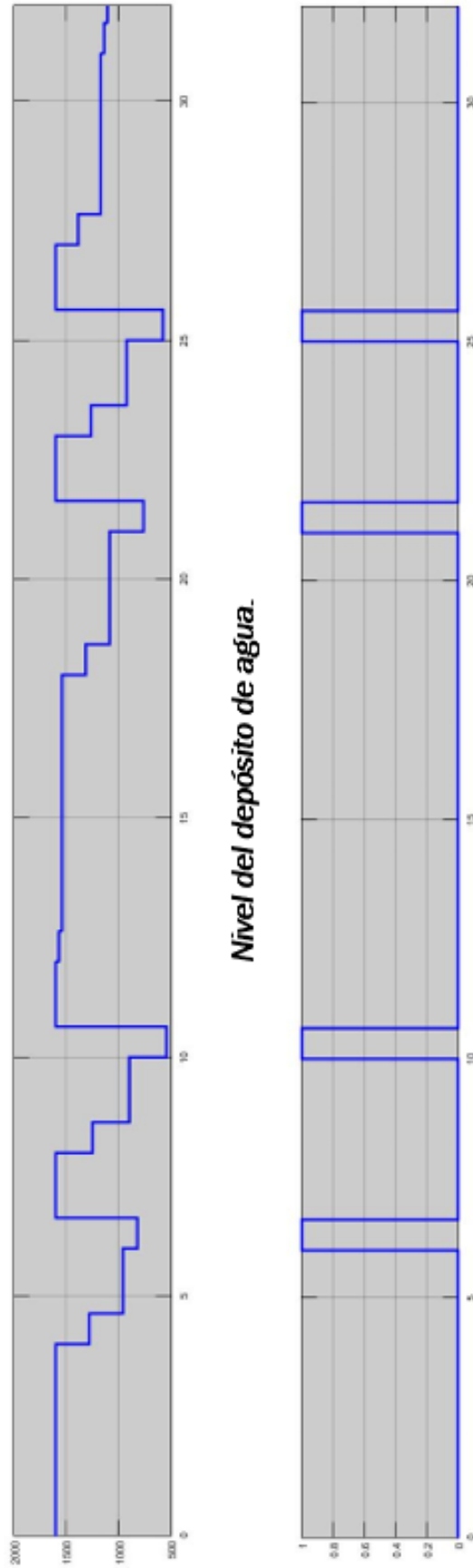


Figura 64. Gráfica Simulación Lugo enero 3



7.2.3 Simulación para abril en la ciudad de Valladolid.

Las siguientes gráficas corresponden a los resultados obtenidos para la simulación en el mes de abril del 2005 en la ciudad de Valladolid.

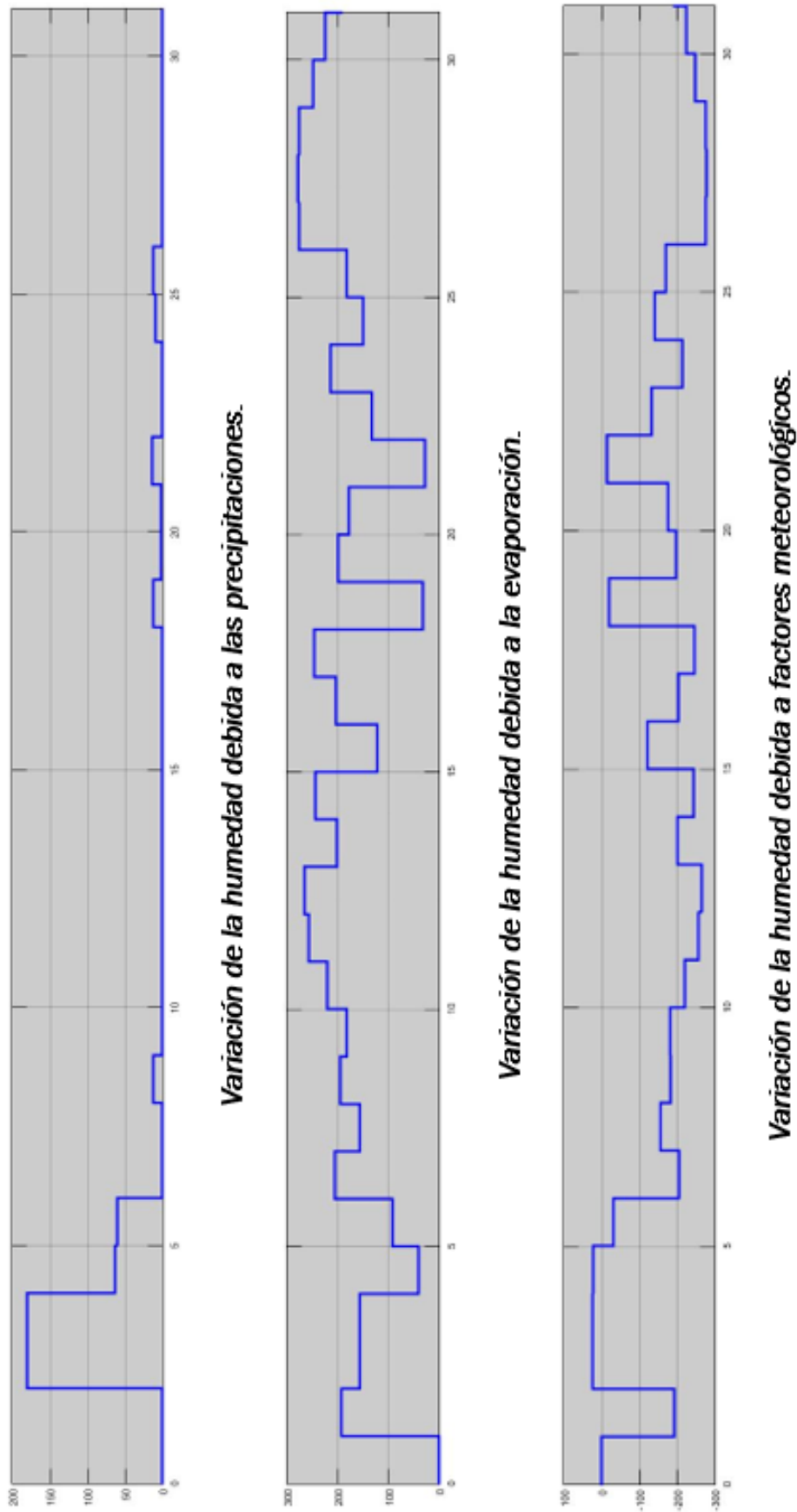


Figura 65. Gráfica Simulación Valladolid abril 1

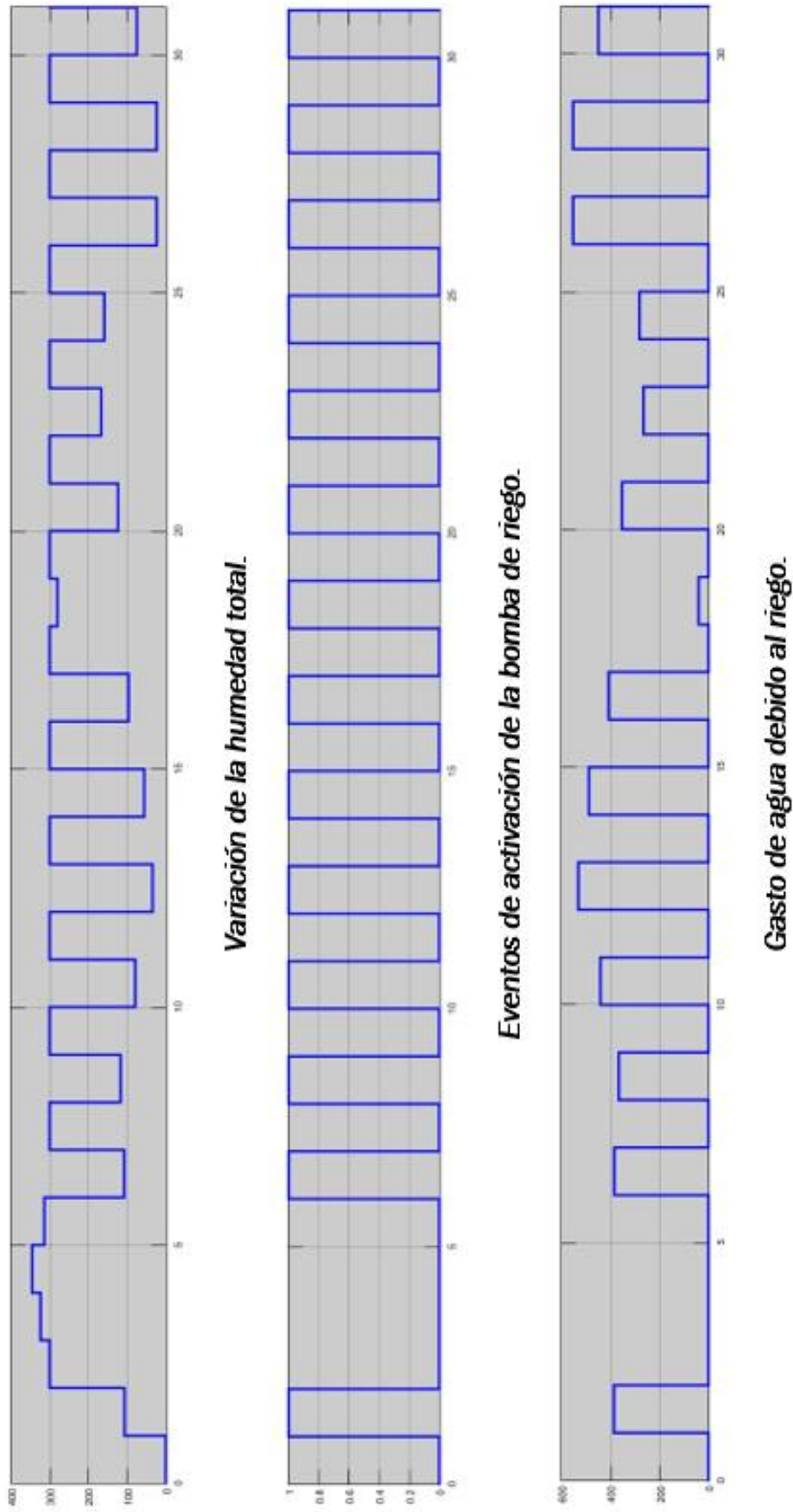


Figura 66. Gráfica Simulación Valladolid abril 2

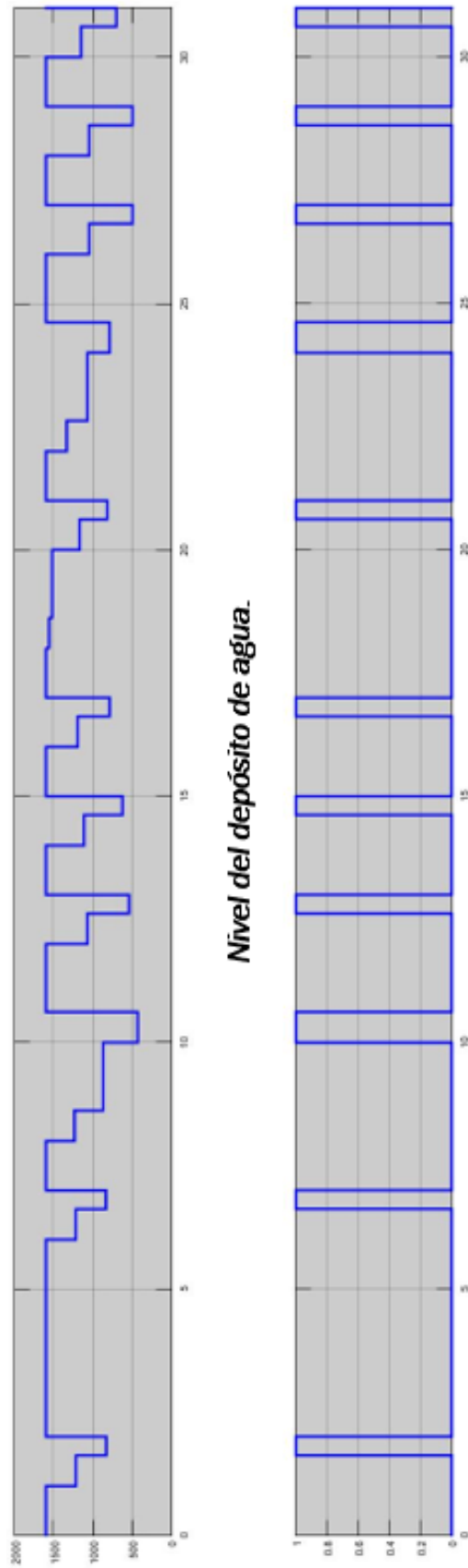


Figura 67. Gráfica Simulación Valladolid abril 3

7.3 Simulación completa del bloque ControlNivelDepósito.

Como se ha comentado en apartados anteriores, al estar simulando el sistema de manera que cada segundo es un día, se supone que el depósito es capaz de llenarse en ese día si se sobrepasa la profundidad límite marcado. Esto provoca que no haya una completa comprobación del buen funcionamiento del bloque ControlNivelDepósito solamente con las simulaciones realizadas anteriormente.

Por ello se ha propuesto un sistema simplificado en el que un segundo de simulación equivale a un segundo real. De esta manera es posible corroborar su buen funcionamiento. En este sistema ha sido necesario modificar el bloque que simula el depósito. A continuación, se exponen el sistema simplificado, los códigos modificados y los resultados de la simulación.

7.3.1 Esquema simplificado

El esquema utilizado para la simulación del bloque *ControlNivelDepósito* completo es el que aparece en la figura 68. En él se puede apreciar que se ha sustituido el gasto de la bomba por un gasto aleatorio entre 0 y 100 mediante el bloque *Random Source*. De esta manera la simulación es más sencilla y no influye en el objetivo de la misma, el cual es comprobar si el bloque funciona de manera correcta.

Se podría considerar que otra de las modificaciones realizadas es la inclusión del bloque memoria de la bomba de llenado, sin embargo, esto no es del todo cierto ya que en el esquema original sí que existía. En el esquema del sistema de simulación dicho bloque no está presente ya que no influye en la simulación.

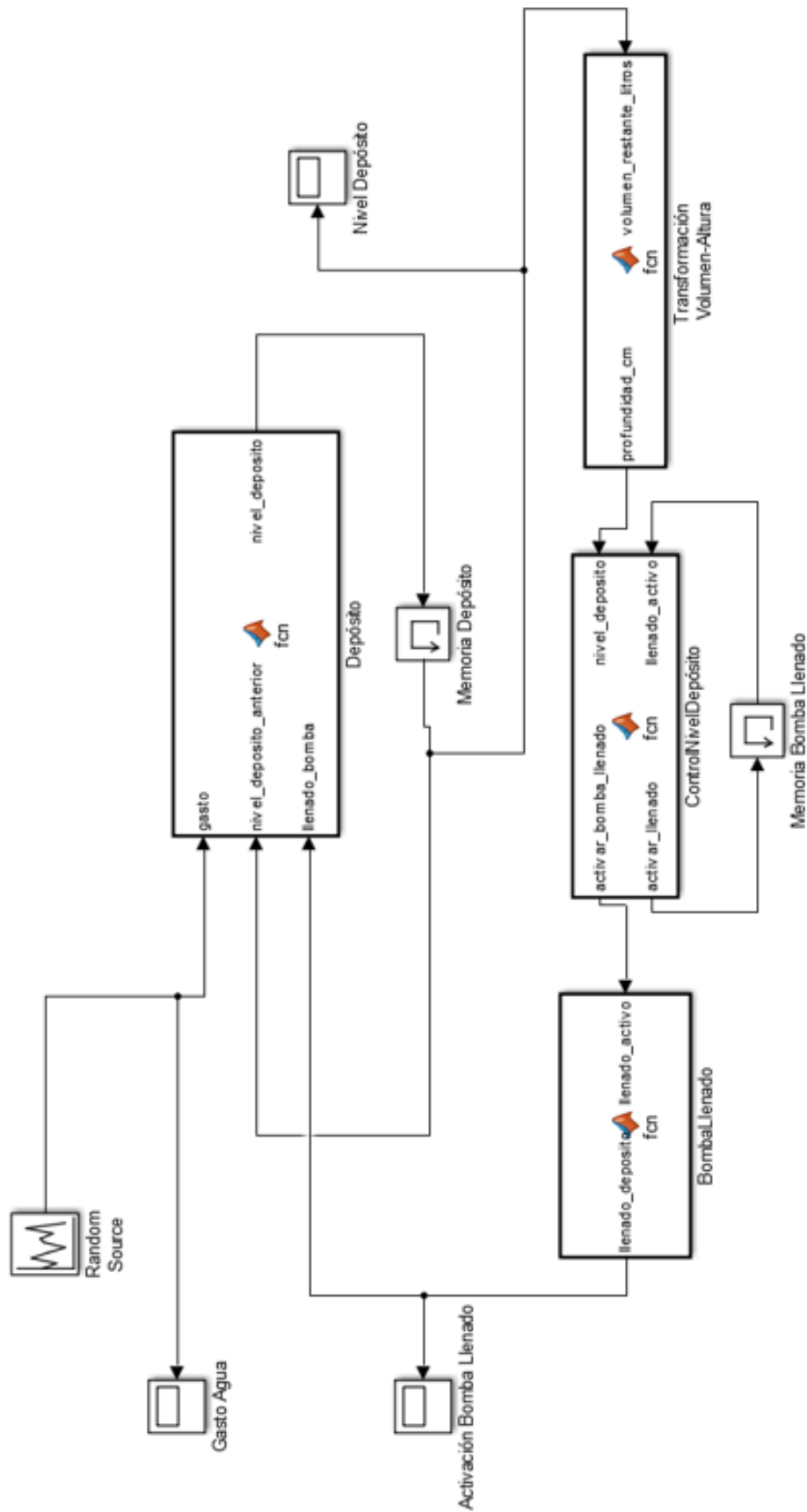


Figura 68. Esquema Sistema simplificado para simulación del bloque ControlNivelDepósito

7.3.2 Códigos modificados

El único código que ha sido realmente modificado ha sido el del bloque *Depósito*. En el sistema de simulación cuando la bomba se activaba el nivel del depósito alcanzaba su valor máximo, mientras que en este caso va aumentando el volumen restante 100 litros por segundo.

De esta manera se comprueba si la bomba se mantiene activa hasta que vuelva a llenarse el depósito entero. Lo cual durará unos segundos. El código modificado aparece en la siguiente imagen.

```
%%Función utilizada para obtener la variación del nivel del depósito. Para
%%ello se utilizan como entradas el gasto de la bomba de riego, y el nivel
%%del depósito en el instante anterior. En el caso de que la bomba de
%%llenado del depósito se active suponemos que el depósito se llena 100
%%litros por segundo.
function nivel_deposito = fcn(gasto, nivel_deposito_anterior, llenado_bomba)
    %%Para la simulación suponemos un depósito de 1600 litros.
    if (llenado_bomba==1)
        nivel_deposito=nivel_deposito_anterior-gasto+100;
    else
        nivel_deposito=nivel_deposito_anterior-gasto;
        %%En el caso de que lo gastado por la bomba ese día sea mayor que
        %%lo que quedaba en el depósito suponemos que el depósito no tiene
        %%agua y que necesita llenarse ese día.
        if (nivel_deposito<0)
            nivel_deposito=0;
        end
    end
end
end
```

Figura 69. Código Depósito para simulación del bloque *ControlNivelDepósito*.

De la misma forma que se ha comentado que la inclusión del bloque memoria podría considerarse una modificación, también podría considerarse que el código del bloque *ControlNivelDepósito* también lo es. Pero al igual que con el bloque memoria, hay que recordar que el código actual de este bloque es el del sistema original. La razón de haberlo modificado para las simulaciones anteriores es que no modificaba los resultados y simplificaba el código.

En la siguiente figura aparece el código utilizado para este sistema simplificado. Aunque es el mismo que para el sistema original, creado para exportar a Arduino.

```
%%Para medir el nivel del depósito de agua se utiliza un sensor de
%%ultrasonido. Gracias a una librería de Simulink obtenemos el valor en cms de la
%%profundidad a la que se encuentra el agua. Suponemos un tanque de agua de
%%1,6 ms de profundidad.
function [activar_bomba_llenado, activar_llenado] = fcn(nivel_deposito, llenado_activo)
    %%Cuando el agua está a una profundidad de 0.80 ms la bomba de llenado
    %%se enciende.
    %%Las variables "activar_llenado" y "llenado_activo" son la misma,
    %%ambas son necesarias para mantener la bomba activa gracias a la
    %%memoria externa.
    activar_llenado=0;
    if(nivel_deposito>80 || llenado_activo==1)
        activar_llenado=1;
    end
    if(nivel_deposito<10)
        activar_llenado=0;
    end
    if(llenado_activo==1)
        activar_bomba_llenado=1;
    else
        activar_bomba_llenado=0;
    end
end
```

Figura 70. Código ControlNivelDepósito para su simulación.

7.3.3 Resultados obtenidos

A continuación, en la figura 71, se presentan las gráficas obtenidas al simular el sistema simplificado. Tal y como se puede observar, el funcionamiento del bloque *ControlNivelDepósito* sigue siendo correcto.

En dichas gráficas se expone el gasto que disminuye el nivel del depósito, el nivel de dicho depósito en cada instante y los eventos de activación de la bomba. Al no ser una simulación diaria dichos eventos ocurren durante un periodo de tiempo. El cual corresponde al tiempo que tarda en llenarse el depósito cuando la bomba de llenado se activa.

Tal y como se programó en las simulaciones anteriores, la bomba de llenado se sigue activando cuando el volumen restante de agua es inferior a la mitad de la capacidad total del depósito.

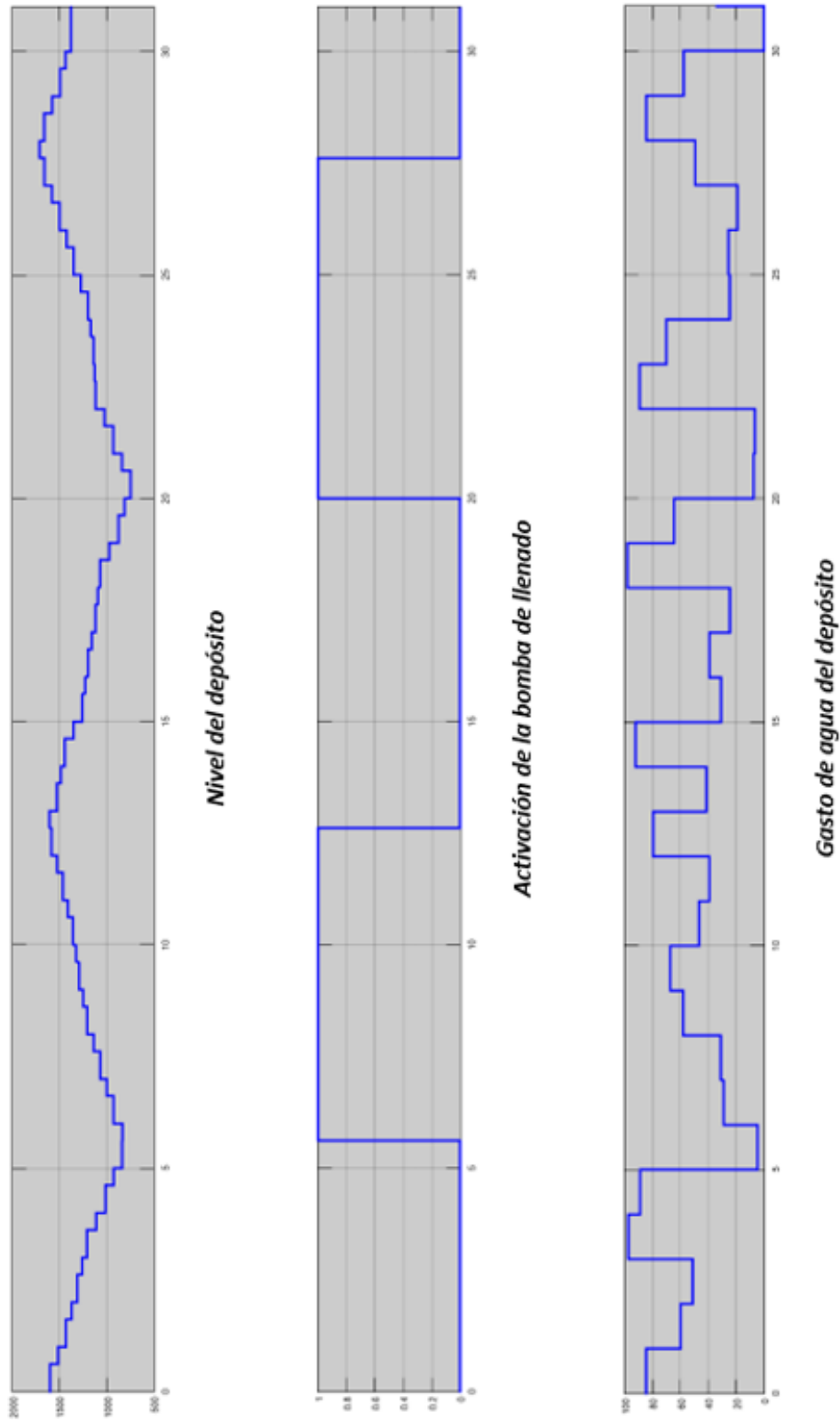


Figura 71. Resultados de la simulación del bloque ControlNivelDepósito

7.4 Análisis y conclusiones sobre las simulaciones.

El objetivo de realizar las simulaciones era el de corroborar el buen funcionamiento de los bloques creados para el programa realizado para el control de un sistema de riego. Para ello se va a proceder a analizar las gráficas anteriormente expuestas.

Es importante tener en cuenta que en las gráficas aparece el día cero del mes, el cual no existe, de manera que hay que empezar a analizar desde el día uno del mes.

- Las gráficas mostradas en las figuras 62 y 65 corresponden a la variación debida a los efectos meteorológicos. No son indicativas del buen funcionamiento del programa, pero sí que sirven para corroborar que existen unas perturbaciones en el valor de humedad entrante al bloque *Humedad*. Estas perturbaciones son las que hacen que el bloque *ControlHumedad*, cuyo funcionamiento se quiere comprobar, tenga que responder a ellas.

Como se puede observar, las variaciones de humedad se generan correctamente, tanto las debidas a las precipitaciones como las debidas a la evaporación. Por consiguiente, la influencia de ambas se ve reflejada en la variación de humedad debida al tiempo meteorológico total.

- Las tres gráficas de las figuras 63 y 66 se utilizan para comprobar si el bloque *ControlHumedad*, uno de los dos bloques a comprobar, ha respondido correctamente. Para ello hay que corroborar si la bomba se activa en los instantes en los que el valor del sensor de humedad del suelo es inferior a 300. La gráfica de eventos de activación de la bomba de riego y la gráfica del gasto nos ofrecen la información necesaria para saber si lo anterior se cumple.

A partir de las gráficas anteriormente citadas comprobamos que la bomba responde correctamente en los momentos necesarios, lo que significa que el bloque *ControlHumedad* funciona correctamente.

- Las dos gráficas mostradas en las figuras 64 y 67 se utilizan para comprobar el correcto funcionamiento del bloque *ControlNivelDepósito*. Para ello se comprueba si la bomba de llenado se activa en el caso de que el nivel del depósito baje por debajo de la mitad de su capacidad.

Al observar las gráficas comprobamos que la bomba se activa correctamente cuando el depósito se vacía por debajo de la mitad de su capacidad.

La simulación utilizando el bloque completo corrobora que incluyendo el uso de la memoria el control del volumen de agua del depósito sigue siendo el correcto.

Una vez realizado el análisis de todas las gráficas podemos concluir que hemos alcanzado dos de los objetivos de este proyecto, los cuales eran la creación de un programa capaz de controlar un sistema de riego y realizar una simulación para corroborar su buen funcionamiento.



CAPÍTULO 8:

COMPONENTES FÍSICOS

UTILIZABLES



8.1 Introducción

En este apartado se van a exponer los diferentes componentes necesarios para la posible creación de un modelo físico del proyecto en el caso de así desearlo. Es importante destacar que cada día se inventan nuevos dispositivos electrónicos capaces de realizar una misma función. En otras palabras, algunos de los elementos que se exponen en este documento pueden ser sustituidos por dispositivos que realizan la misma función con mayor o menor eficacia.

8.2 Arduino

La placa Arduino es el componente más importante de este proyecto. No solo porque es el encargado de ejecutar el programa, también porque a diferencia de los sensores, que pueden ser sustituidos por otros diferentes, el Arduino es un componente totalmente necesario.

Cuando se habla de Arduino, se está hablando de una plataforma de electrónica *open-source* o de libre acceso. Con dicha plataforma es posible realizar gran cantidad de proyectos electrónicos con gran facilidad. Arduino cuenta tanto con un componente software como componentes hardware.

El componente software es un entorno integrado de desarrollo, también llamado IDE (Integrated Development Environment). Con él se pueden crear los programas que instalaremos en los hardware de Arduino. En este proyecto no se ha usado dicho entorno, utilizando Simulink en sustitución.

Los hardware son las diferentes placas Arduino que existen en el mercado. Dichas placas incluyen un microcontrolador y una serie de puertos analógicos y digitales de entrada y salida. Dependiendo de la placa en cuestión el número de pines y el microcontrolador serán diferentes.

Cuando hablamos de Arduino en este proyecto nos referimos a la placa Arduino. En la tabla 7 se expone un resumen de los dispositivos Arduino oficiales existentes [18].

PRINCIPIANTES	Placas → ARDUINO UNO, ARDUINO 101, ARDUINO PRO Módulos → ARDUINO PRO MINI, ARDUINO MICRO Kit → ARDUNIO STARTER KIT, ARDUINO BASCI KIT
EXPERTOS	Placas → ARDUINO MEGA, ARDUINO ZERO Complemento → ARDUINO PROTO SHIELD
INTERNET	Módulos → ARDUINO MKR1000 Complementos → ARDUINO WIFI SHIELD 101
PARA INCLUIR EN LA ROPA	Placas → ARDUINO GEMMA, LILYPAD ARDUINO USB, LILYPAD ARDUINO MAIN BOARD, LILYPAD ARDUINO SIMPLE, LILYPAD ARDUINO SIMPLE SNAP.

Tabla 7. Principales Arduinos comerciales.

Los más utilizados son el Arduino UNO para principiantes y el Arduino MEGA para gente con experiencia.



Figura 72. Arduino Uno.

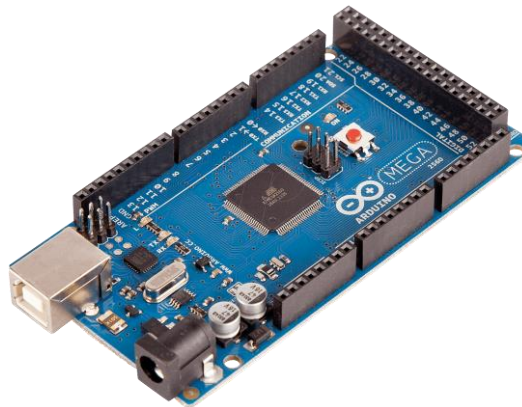


Figura 73. Arduino MEGA.

8.3 Sensor de nivel de agua.

Para controlar el nivel del agua restante en el depósito de agua es necesario utilizar un sensor capaz de medirlo. Comúnmente se utilizan dos tipos de sensores para medir el nivel de agua de un recipiente o depósito.

Por un lado, tenemos los sensores capacitivos. Consisten en una placa de plástico en la que se encuentran unas tiras metálicas. Este sensor mide la capacidad existente entre las tiras metálicas. Cuando un fluido se sitúa entre las tiras metálicas la capacidad existente entre ellas varía. El gran problema que tienen estos sensores es que son muy pequeños para un depósito y necesitan estar en contacto con el agua, lo cual siempre es muy peligroso para un dispositivo electrónico.

Por otro lado, existen los sensores de ultrasonidos. Este sensor envía una señal acústica ultrasónica y mide el tiempo que tarda en recibir el eco de dicha señal. El sensor no necesita estar en contacto con el agua, sin embargo, es recomendable protegerlo contra la humedad lo máximo posible.



Figura 74. Sensor HC-SR04.

8.4 Sensor de humedad de la tierra.

El control de la bomba de riego se hace a partir del valor que obtenemos de un sensor de humedad de suelo. Para obtener este valor existe el módulo HL-69, el cual es capaz de calcular dicho valor gracias a la diferencia de conductividad de la sonda debida a la mayor o menor presencia de agua. Cuanta mayor cantidad de agua mayor conductividad.



Figura 75. Módulo HL-69.

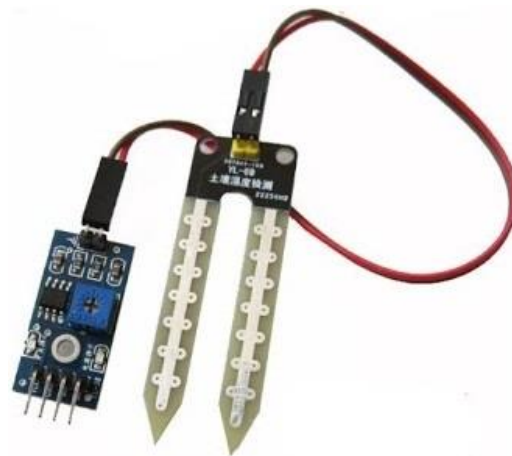


Figura 76. Módulo HL-69 + Sonda YL-69.

8.5 Depósito de agua.

El depósito de agua es otro de los elementos indispensables para la realización del proyecto. Existen una gran variedad de depósitos, de muchísimas formas y tamaños. Para realizar la simulación elegí un depósito cilíndrico de 1700 litros, 1.6 metros de altura y 58 cm de radio.



Figura 77. Depósito de agua.

8.6 Bomba de agua.

En el mercado es posible encontrar una gran gama de bombas de agua. Se suelen distinguir sobretodo dependiendo del caudal que pueden proveer y del consumo eléctrico.



Figura 78. Bomba de riego.



CAPÍTULO 9:

Resultados y conclusiones

9.1 Resultados de las simulaciones

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, se han realizado simulaciones diarias durante todo el año 2005 para cuatro ciudades de España. Dichas ciudades son Lugo, Sevilla, Valencia y Valladolid. El objetivo de realizar dichas simulaciones es el de corroborar el buen funcionamiento del programa para diferentes climas y meses del año.

En las siguientes páginas se exponen las gráficas obtenidas para las diferentes ciudades y los diferentes meses. La primera gráfica indica la variación total de la humedad debida a factores meteorológicos, es decir, debido a las precipitaciones y la evaporación. La segunda gráfica muestra la variación total de la humedad, esta vez incluyendo el riego dentro de la ecuación.

La tercera gráfica indica el gasto de agua necesario para llevar la humedad a su nivel deseado al final del día. De esta manera se comprueba si la bomba ha saltado cuando era necesario. La cuarta gráfica indica el nivel del depósito, pudiendo a través de ella comprobar si la bomba de llenado funciona tal y como debería.

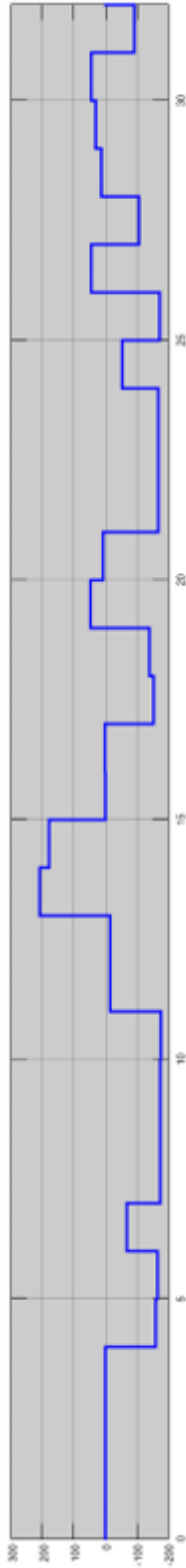
9.1.1 Resultados para la ciudad de Lugo.

La razón por la que se ha elegido a Lugo como una de las ciudades a simular en este proyecto es porque se sitúa en la parte noroeste de España, donde predomina el clima oceánico. Dicho clima se caracteriza por tener temperaturas templadas durante todo el año y una gran cantidad de precipitaciones.

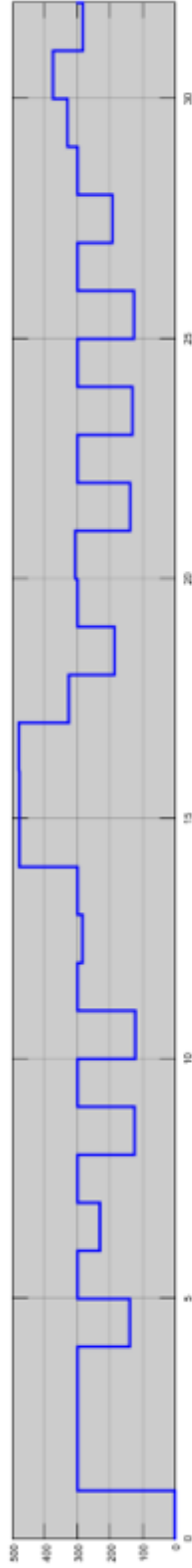
Observando las gráficas que indican la variación de la humedad debida a factores meteorológicos se puede comprobar que se producen precipitaciones durante casi todo el año, aunque predominan en los meses de primavera y otoño. Durante el verano y el invierno no se producen tantas precipitaciones, pero las temperaturas tampoco son muy elevadas.

Esta situación provoca que en los meses de primavera y otoño la activación del riego sea más baja que el resto del año y por ello hay menos gasto de agua.

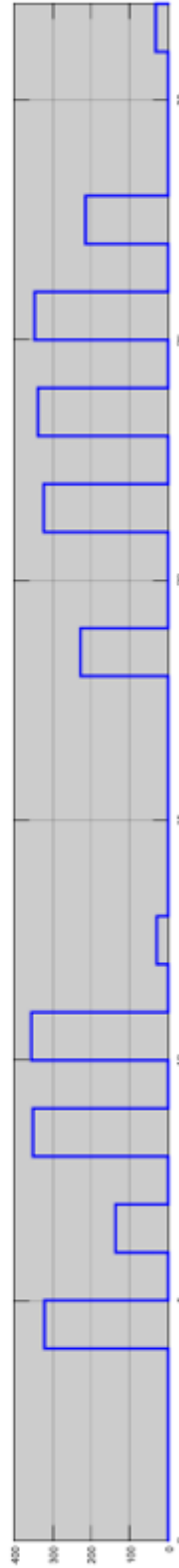
LUGO - ENERO- 2005



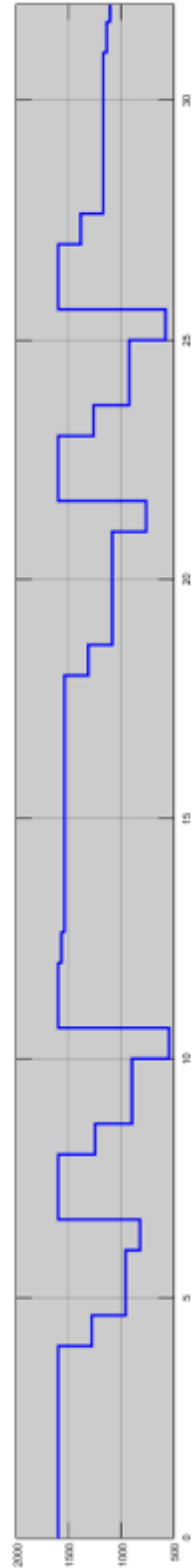
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

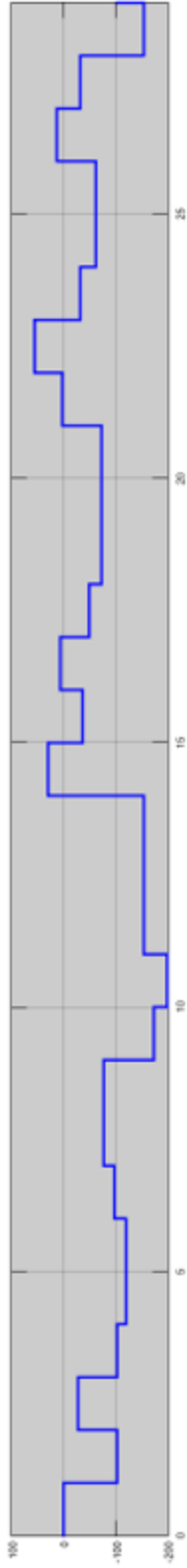


Gasto de agua debido al riego.

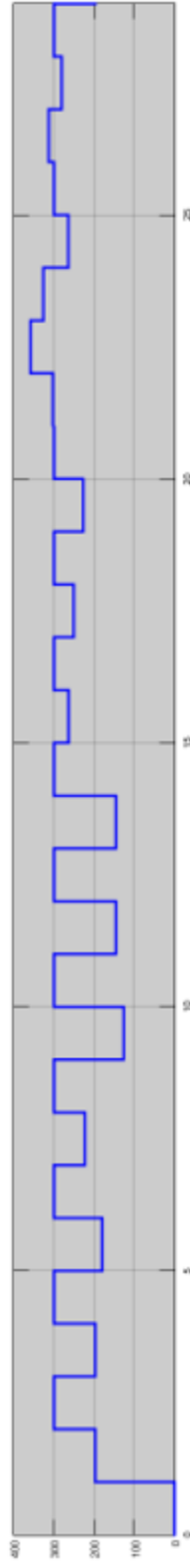


Nivel del depósito de agua.

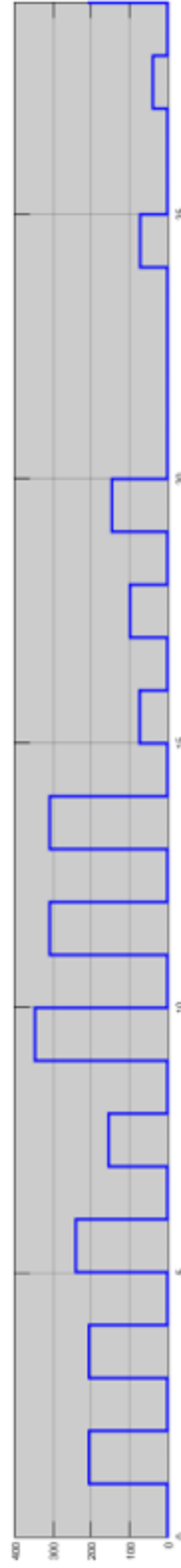
LUGO – FEBRERO – 2005



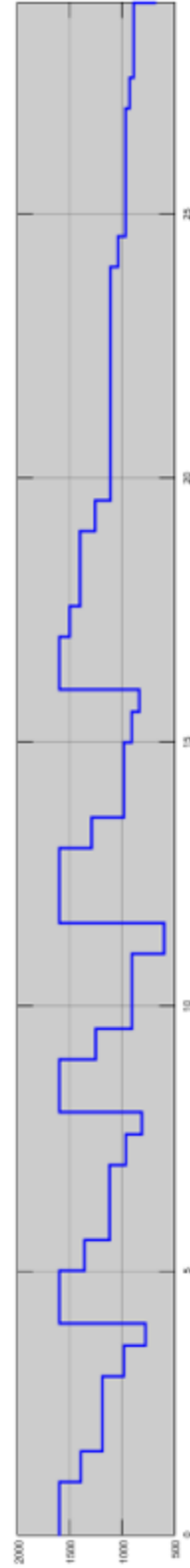
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

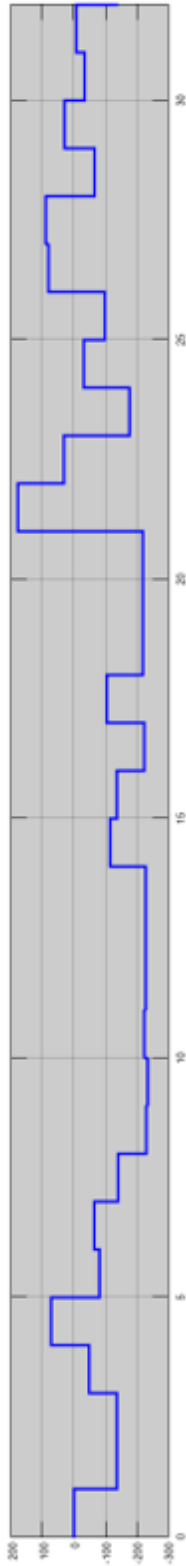


Gasto de agua debido al riego.

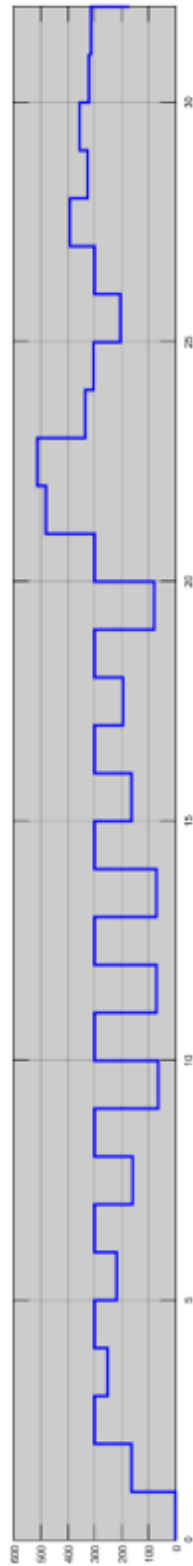


Nivel del depósito de agua.

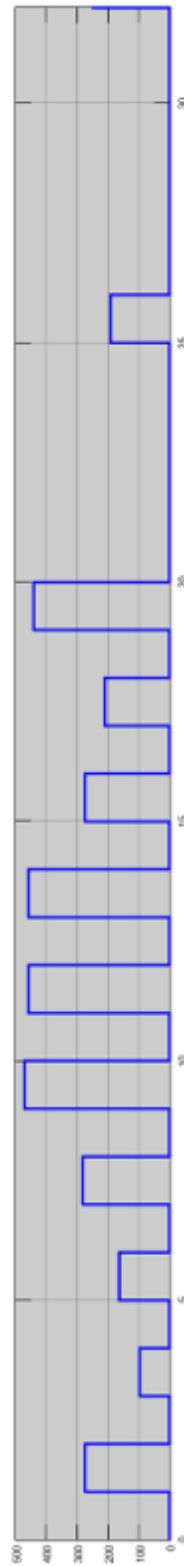
LUGO – MARZO – 2005



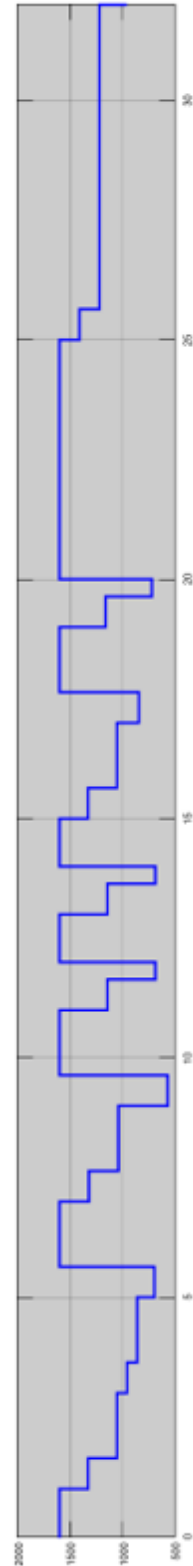
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

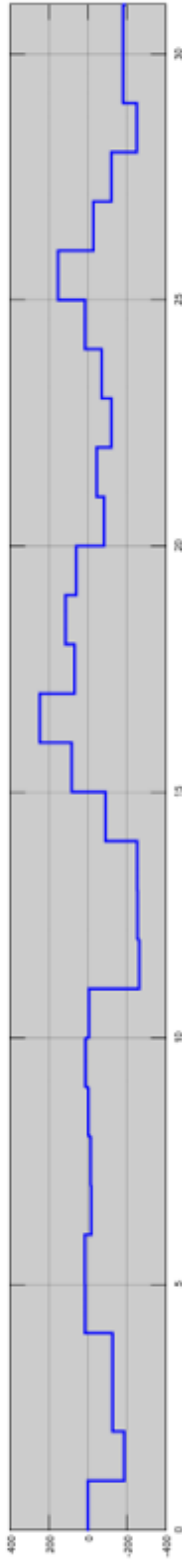


Gasto de agua debido al riego.

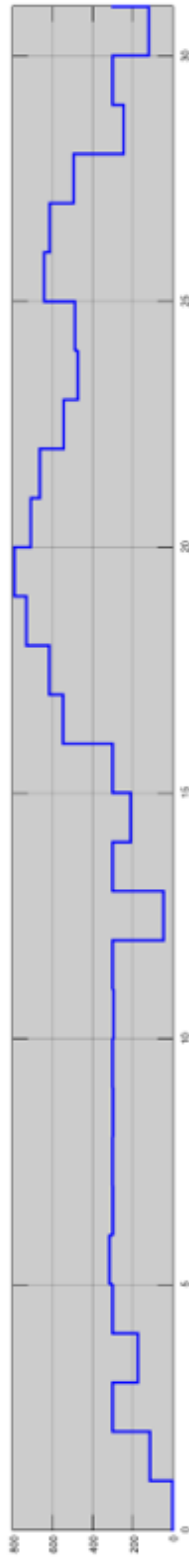


Nivel del depósito de agua.

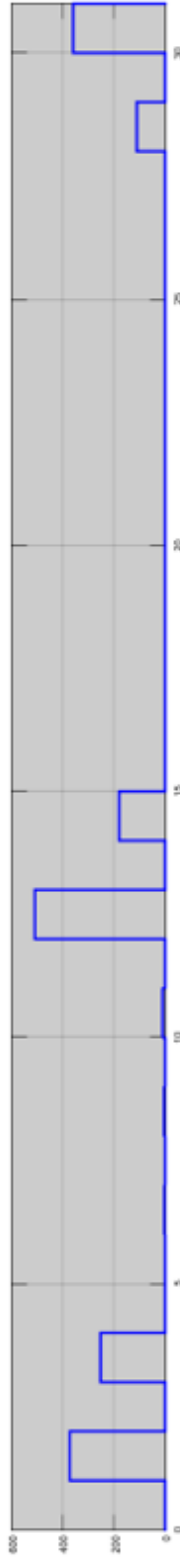
LUGO – ABRIL - 2005



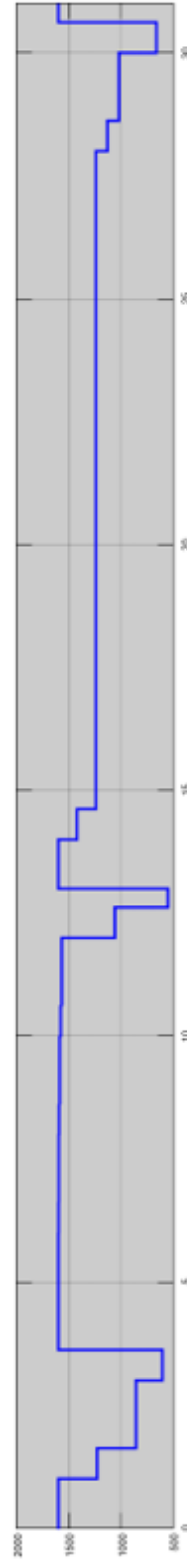
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

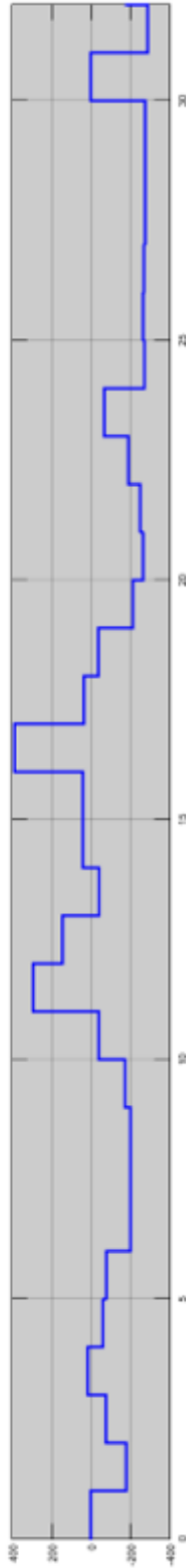


Gasto de agua debido al riego.

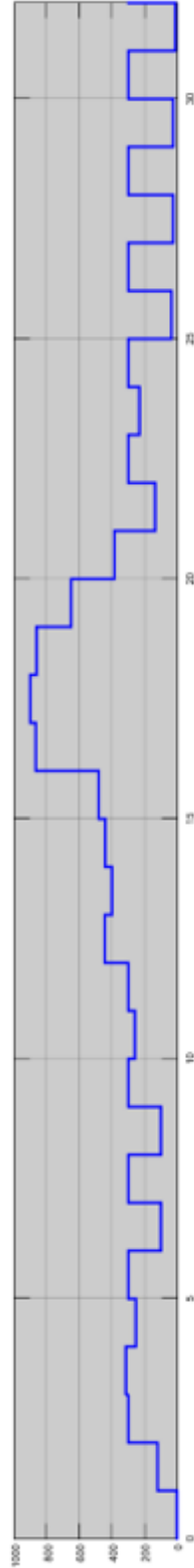


Nivel del depósito de agua.

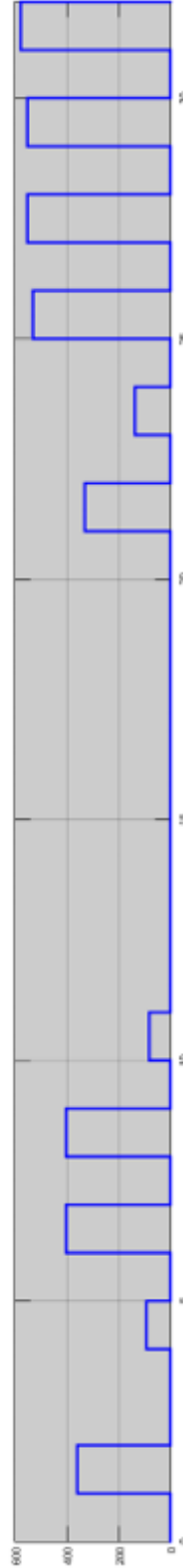
LUGO - MAYO - 2005



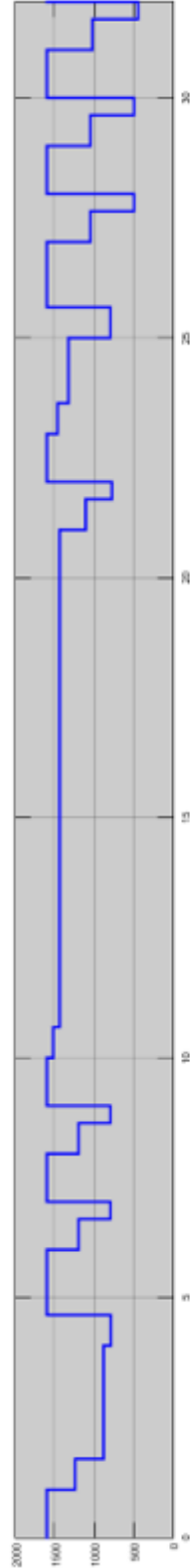
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

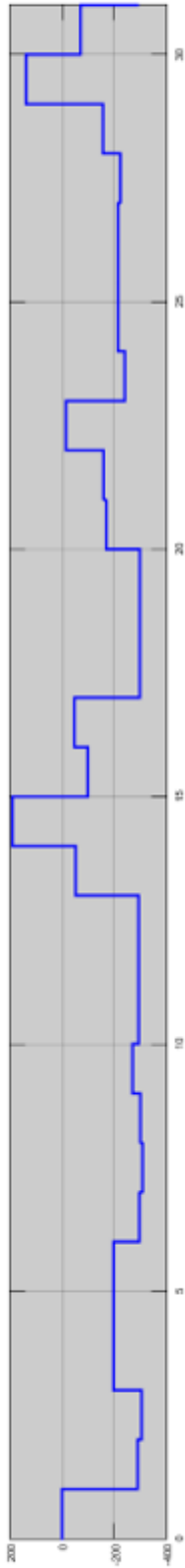


Gasto de agua debido al riego.

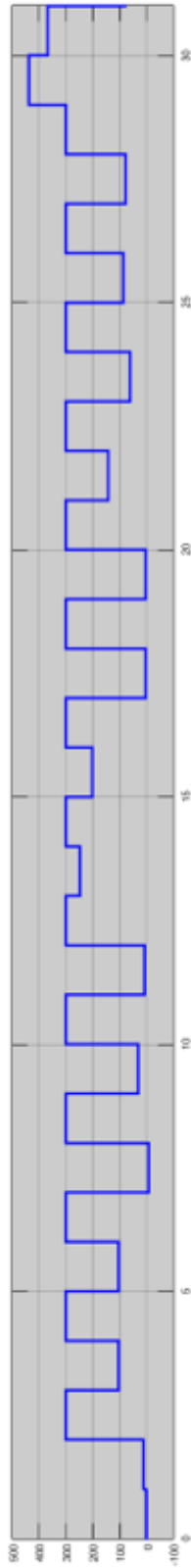


Nivel del depósito de agua.

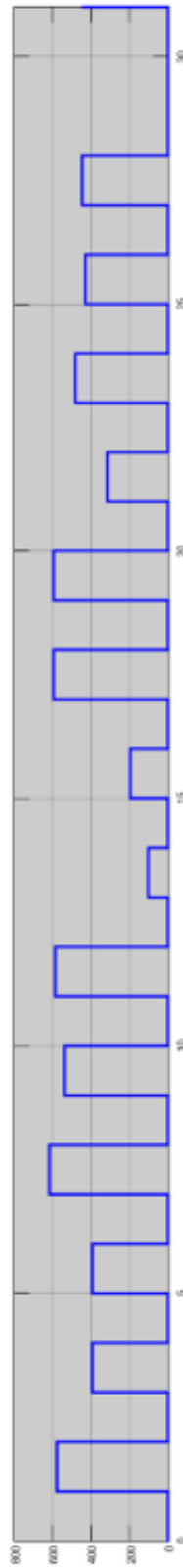
LUGO - JUNIO- 2005



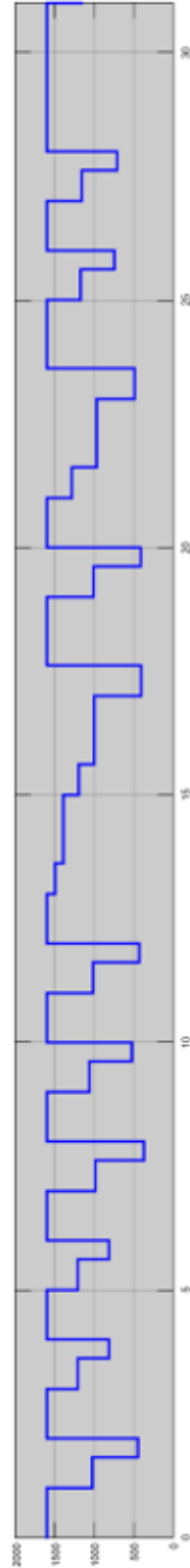
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

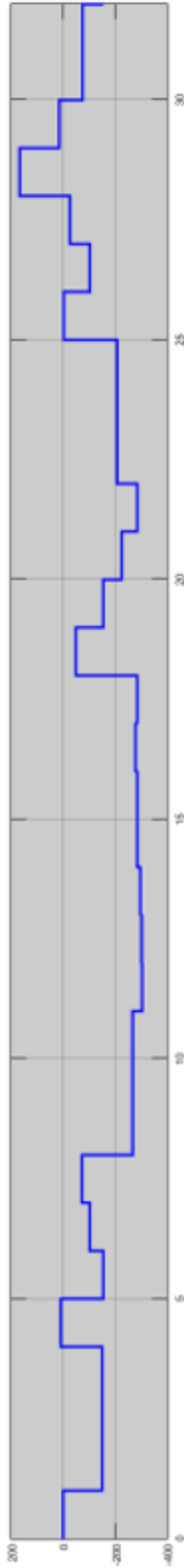


Gasto de agua debido al riego.

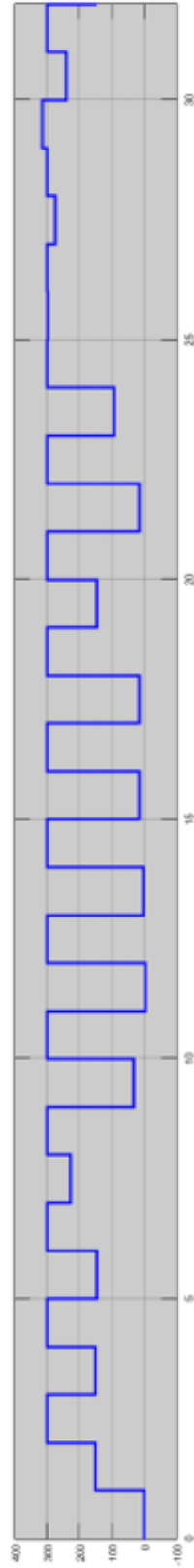


Nivel del depósito de agua.

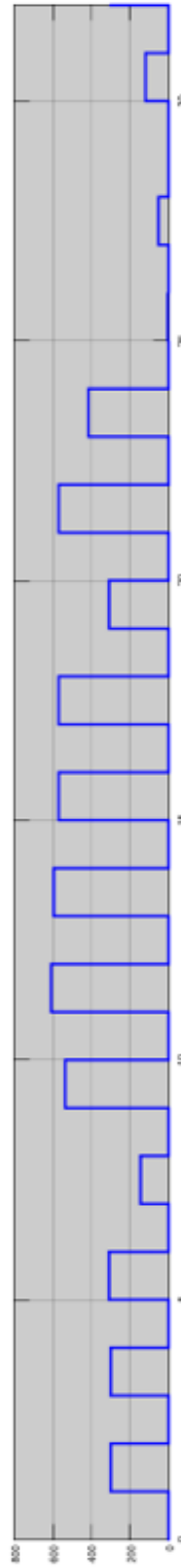
LUGO - JULIO - 2005



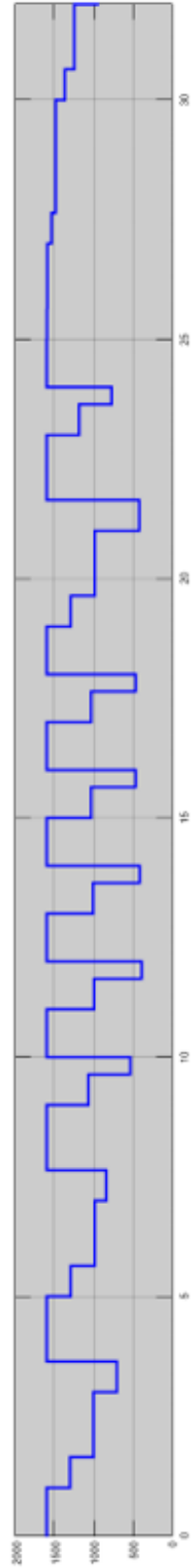
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

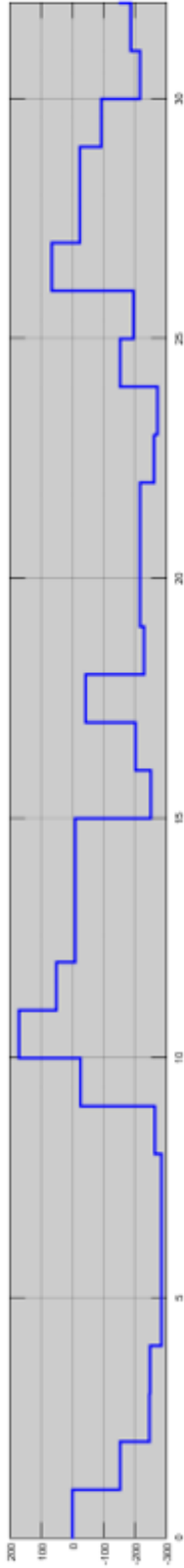


Gasto de agua debido al riego.

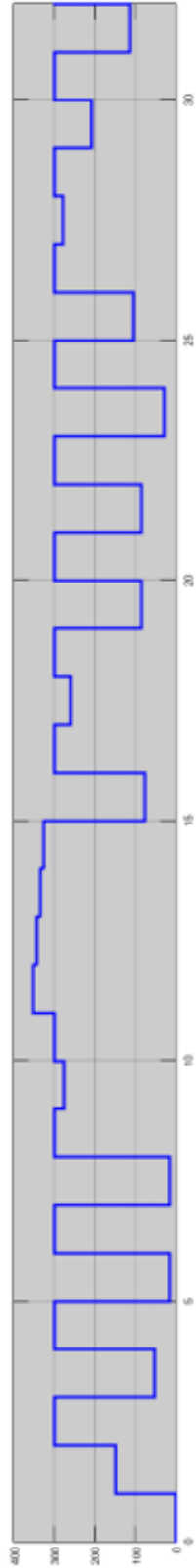


Nivel del depósito de agua.

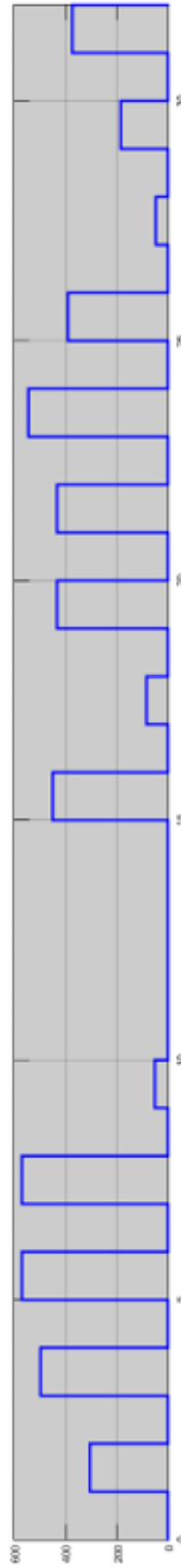
LUGO -AGOSTO- 2005



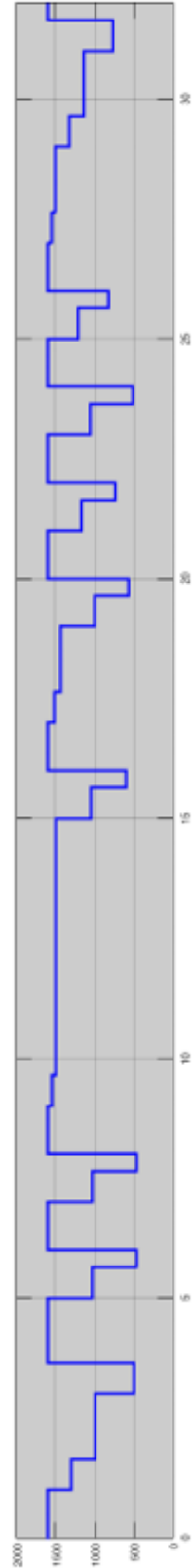
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

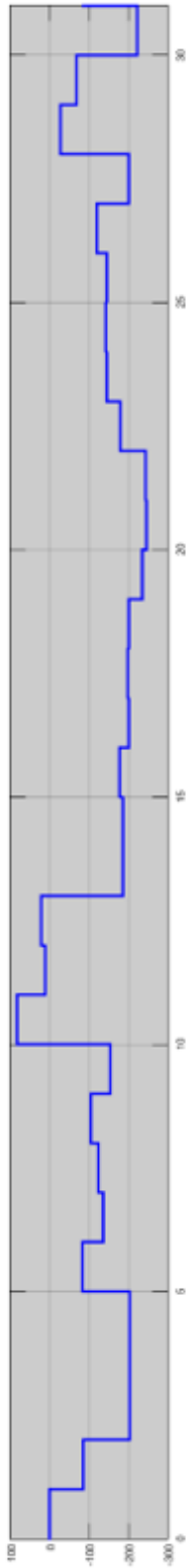


Gasto de agua debido al riego.

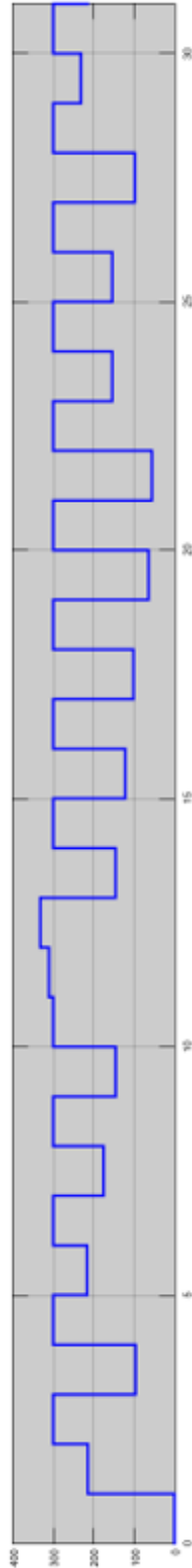


Nivel del depósito de agua.

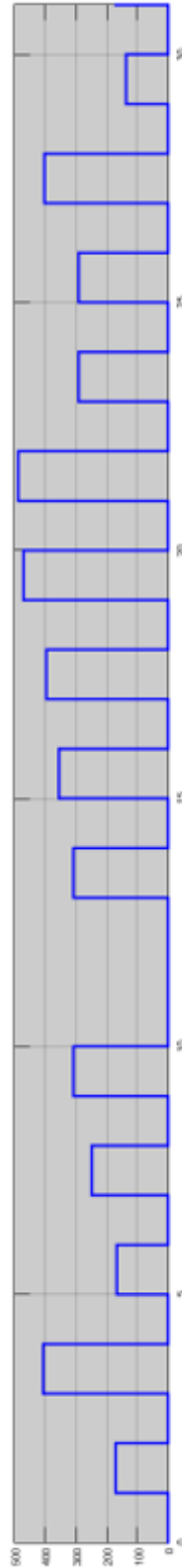
LUGO - SEPTIEMBRE - 2005



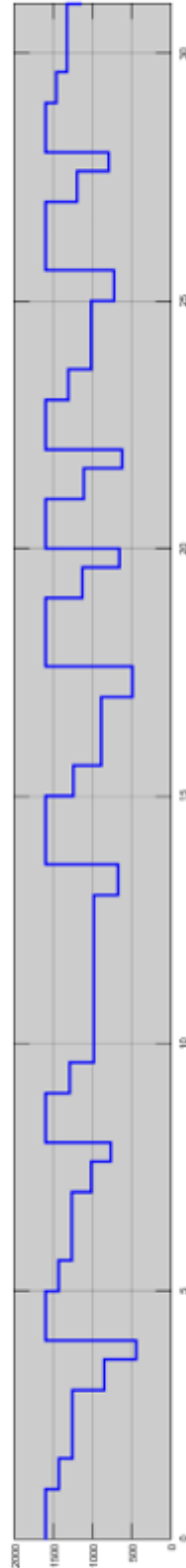
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

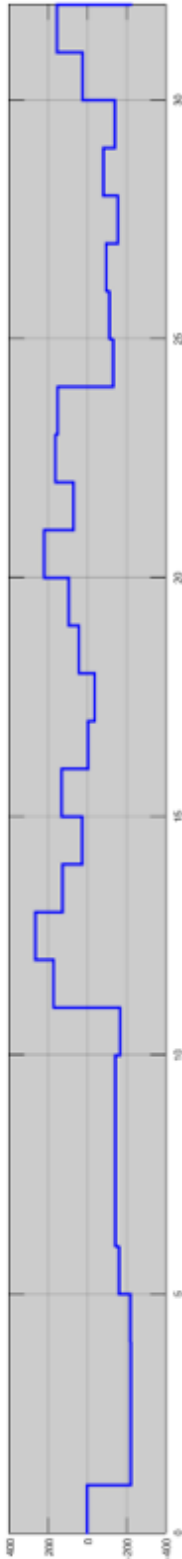


Gasto de agua debido al riego.

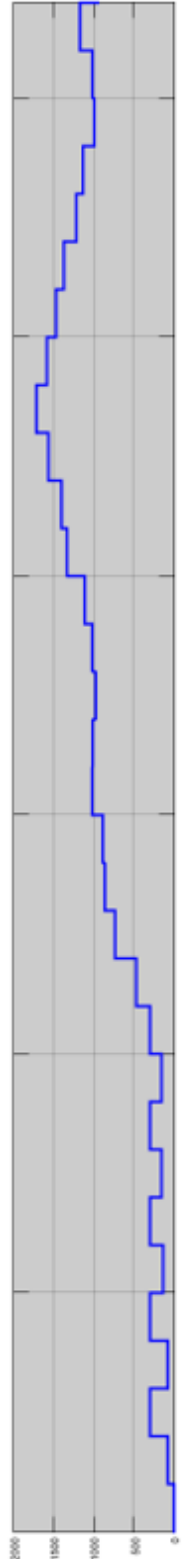


Nivel del depósito de agua.

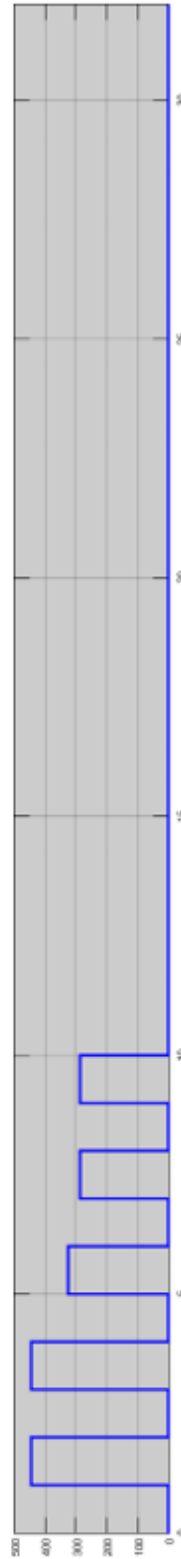
LUGO -OCTUBRE- 2005



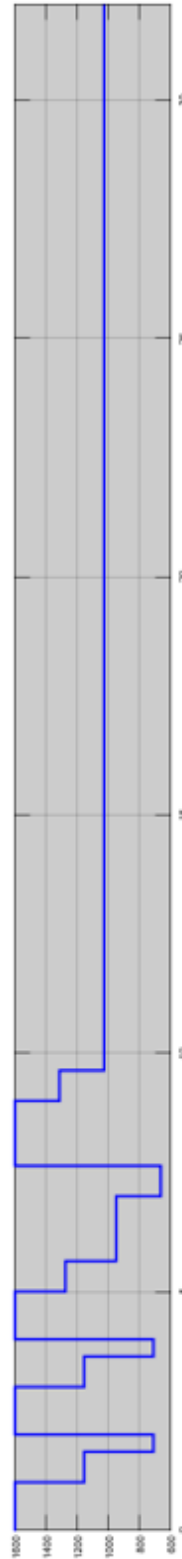
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

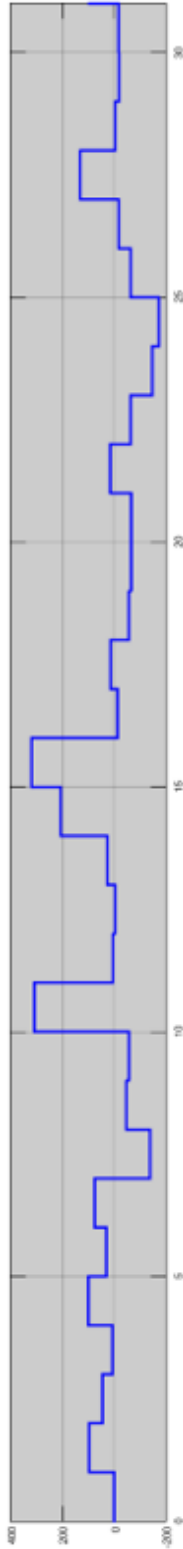


Gasto de agua debido al riego.

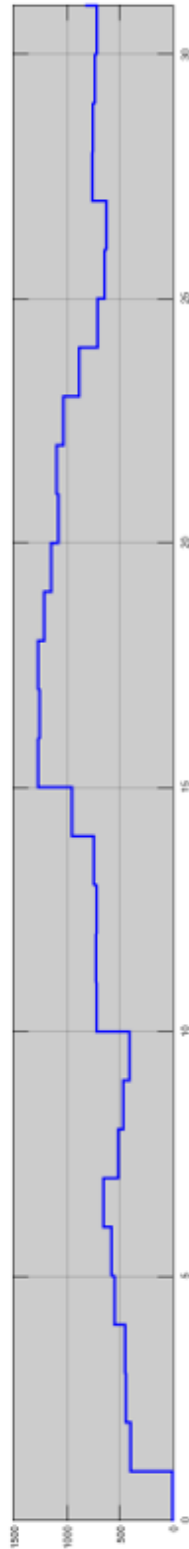


Nivel del depósito de agua.

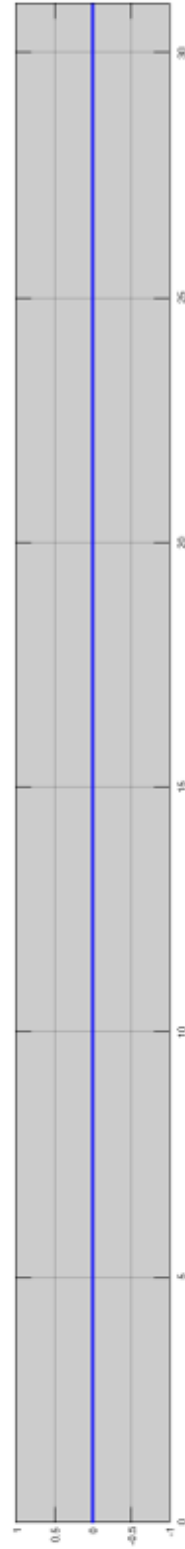
LUGO – NOVIEMBRE- 2005



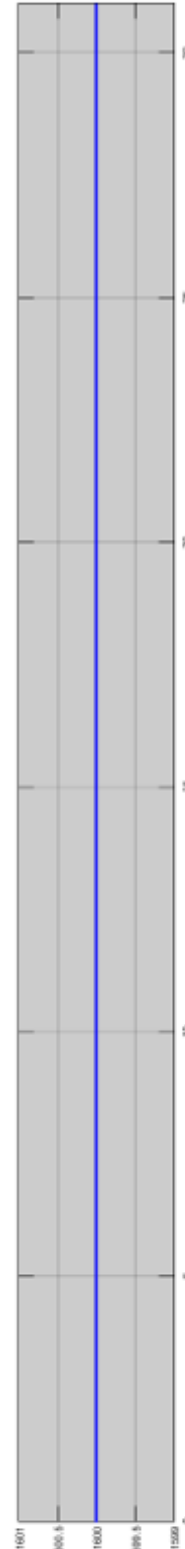
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

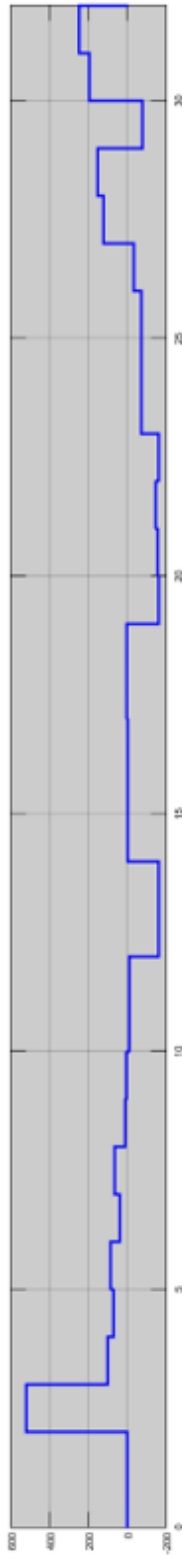


Gasto de agua debido al riego.

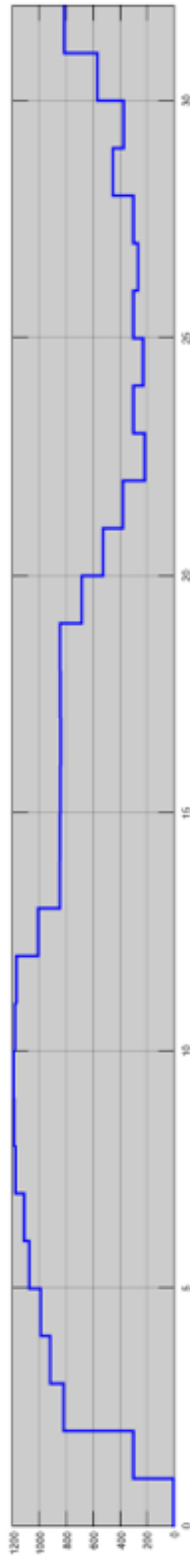


Nivel del depósito de agua.

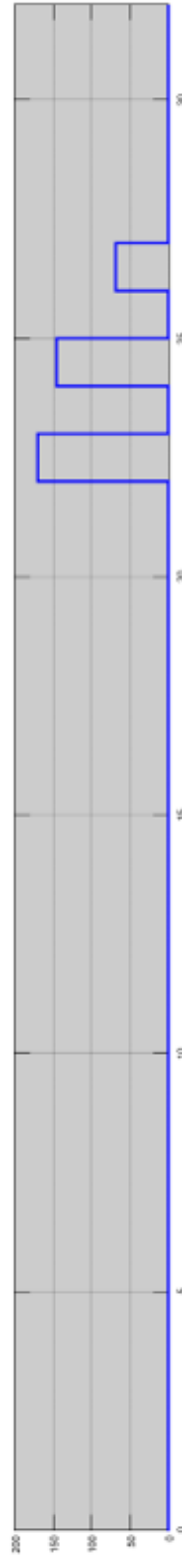
LUGO - DICIEMBRE-2005



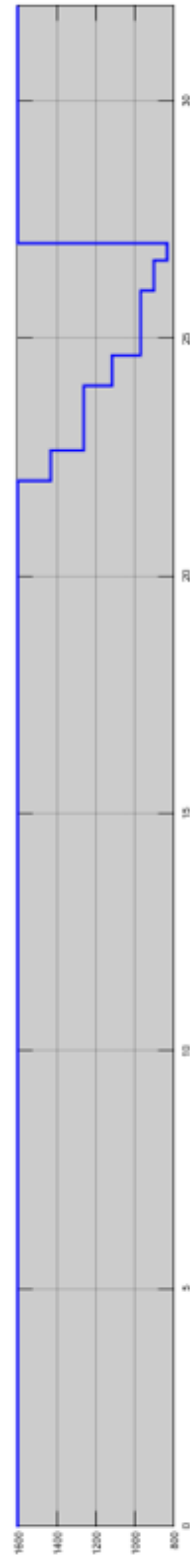
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.



Gasto de agua debido al riego.



Nivel del depósito de agua.

9.1.2 Resultados para la ciudad de Sevilla

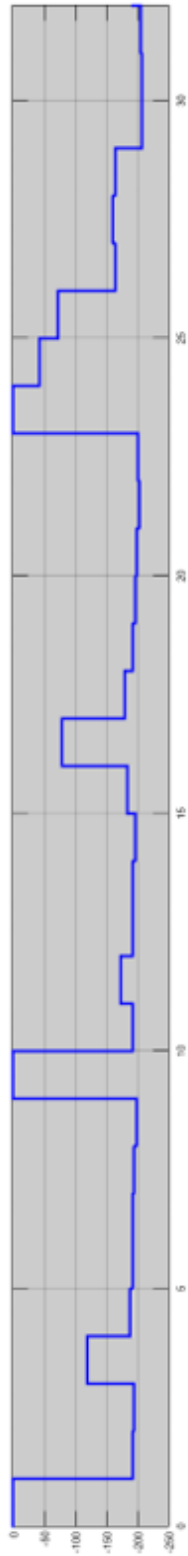
Sevilla es famosa por ser una de las ciudades más calurosas de España. El tipo de clima de esta ciudad es de carácter mediterráneo. Sin embargo, al estar alejada de la costa no se beneficia de las corrientes oceánicas, las cuales suavizan las temperaturas de las ciudades costeras.

Debido a esto los veranos en Sevilla son realmente calurosos, mientras que los inviernos se caracterizan por temperaturas moderadas y la aparición de algunas precipitaciones, siendo estas casi la mitad de las precipitaciones anuales. El resto de precipitaciones ocurren mayormente en primavera y otoño, con la excepción de algunas tormentas de verano.

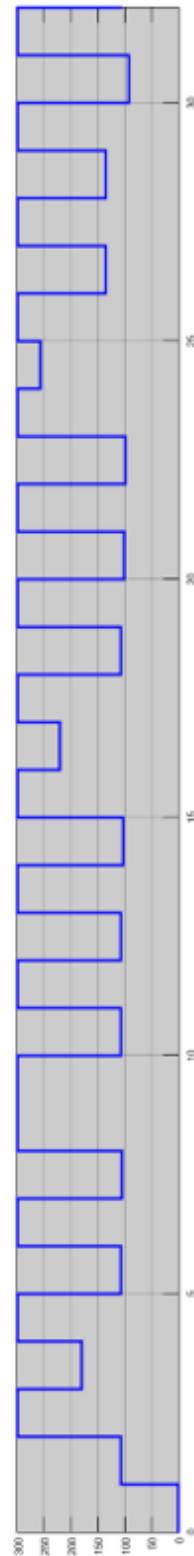
Y esa es precisamente la razón por la que se ha elegido a Sevilla como una de las ciudades a simular. Debido a que es una de las ciudades más calurosas de España y con menor cantidad de precipitaciones. Se podría considerar que es la contraposición al clima de Lugo. De esta manera se puede comprobar el funcionamiento de los bloques en dos ciudades tan dispares entre sí.

En las gráficas de variación de la humedad debido a factores meteorológicos se puede corroborar lo anteriormente comentado. Solo se producen algunas lluvias aisladas durante el año, predominando la evaporación del agua de la tierra. Esto provoca una gran cantidad de eventos de activación de la bomba de riego y por consiguiente un gran gasto de agua del depósito.

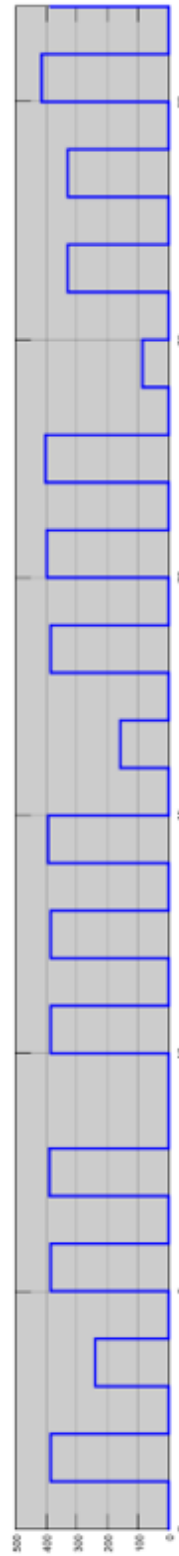
SEVILLA -ENERO- 2005



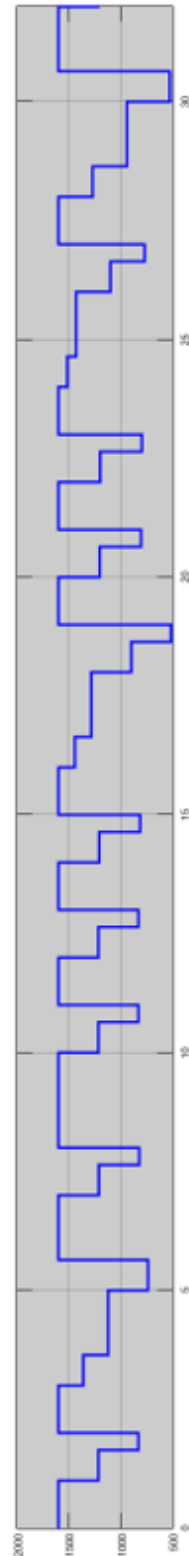
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

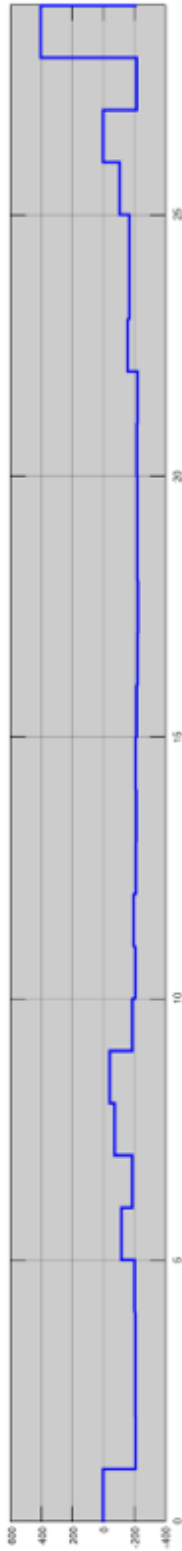


Gasto de agua debido al riego.

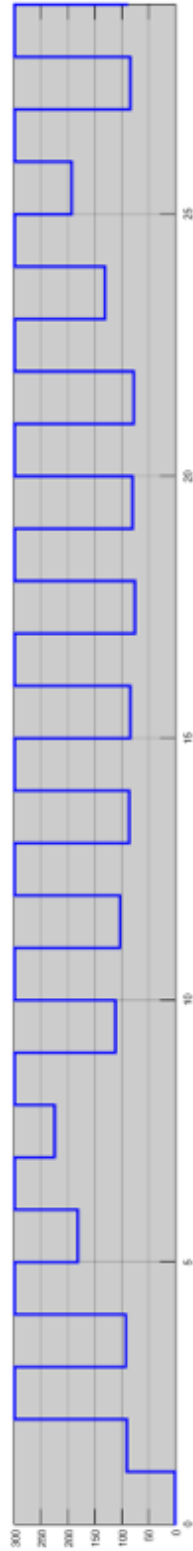


Nivel del depósito de agua.

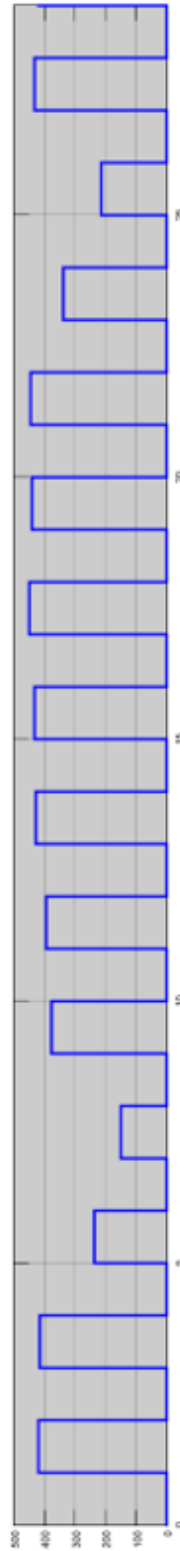
SEVILLA - FEBRERO - 2005



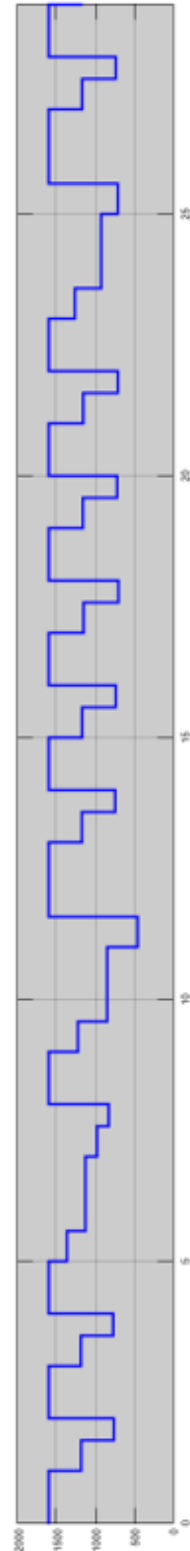
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

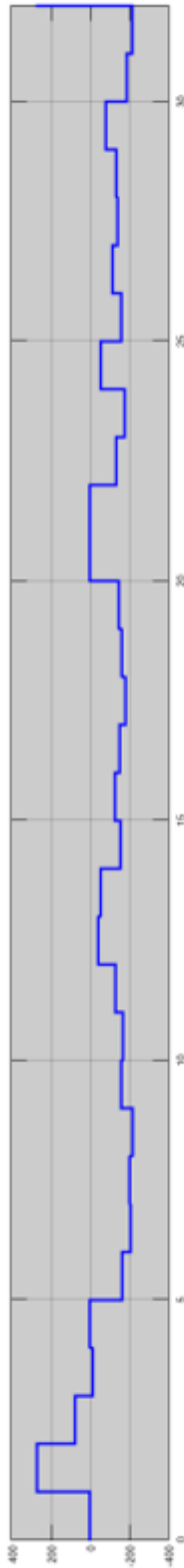


Gasto de agua debido al riego.

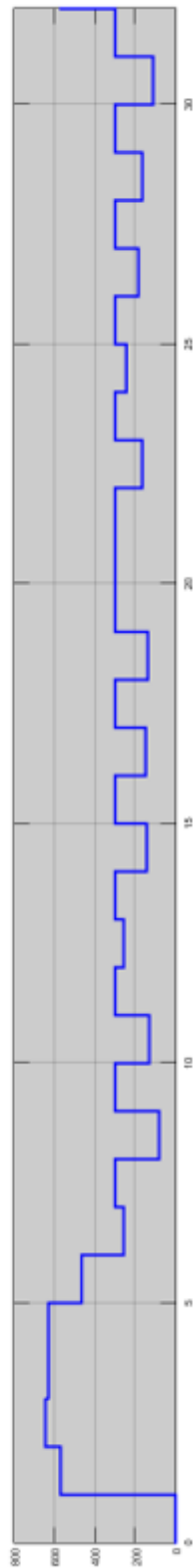


Nivel del depósito de agua.

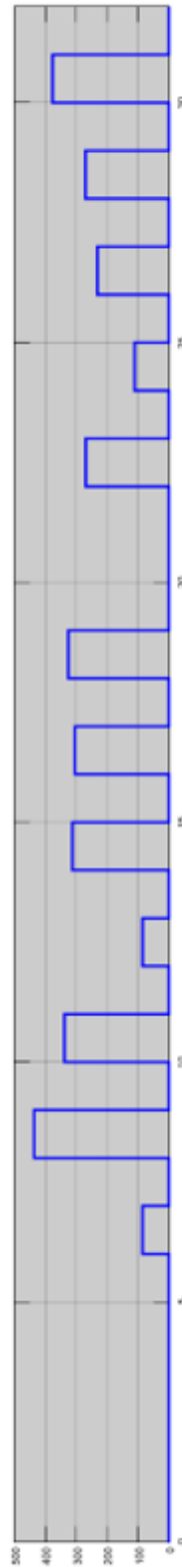
SEVILLA - MARZO - 2005



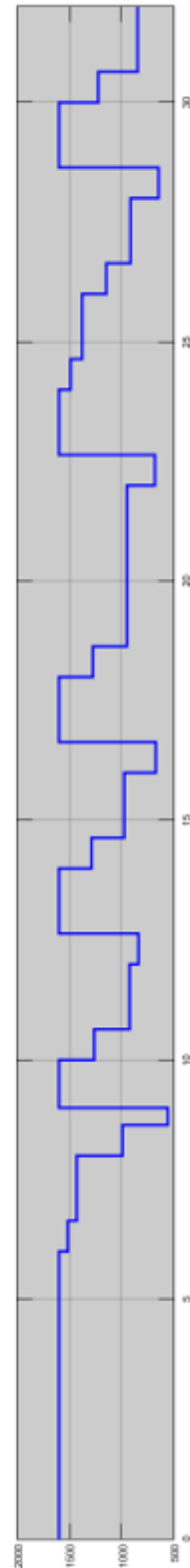
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

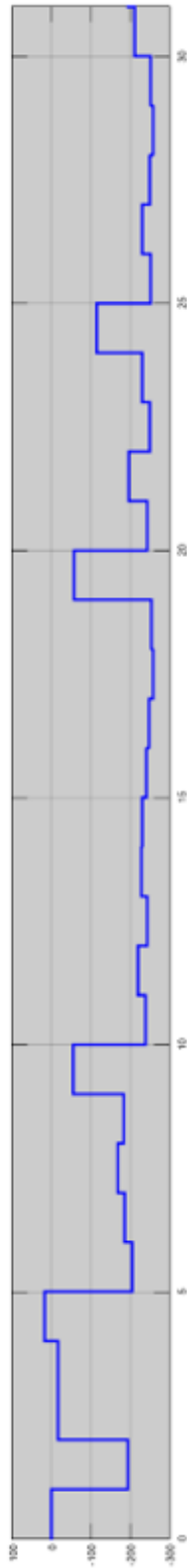


Gasto de agua debido al riego.

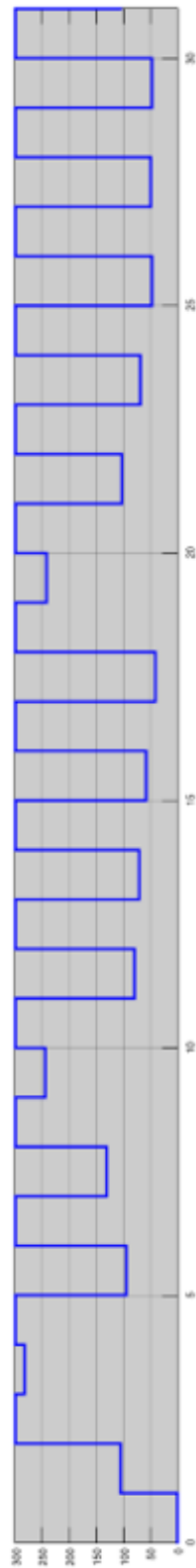


Nivel del depósito de agua.

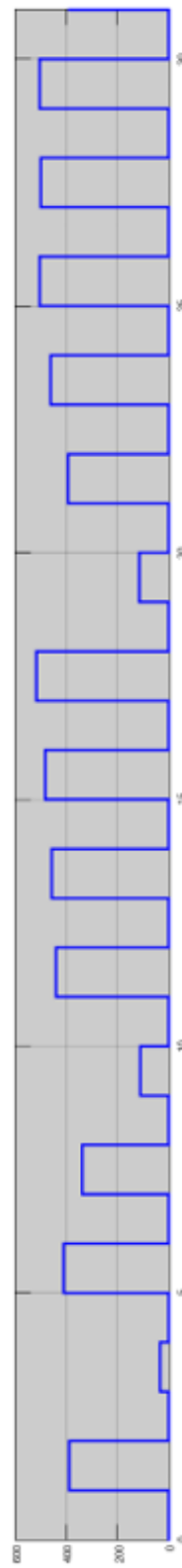
SEVILLA - ABRIL - 2005



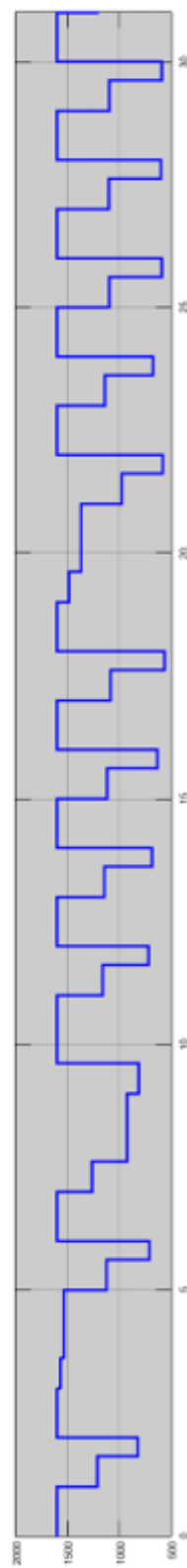
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

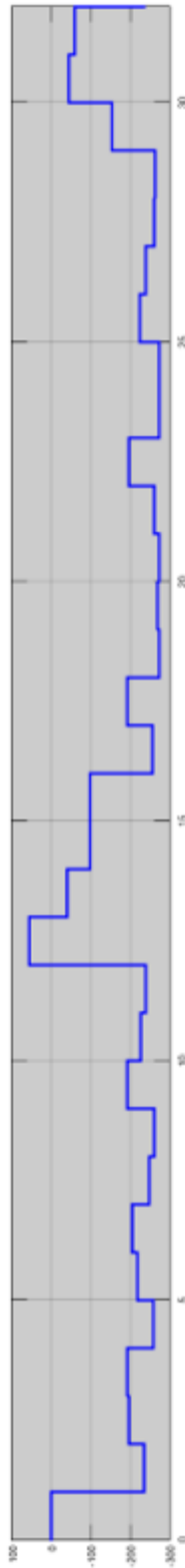


Gasto de agua debido al riego.

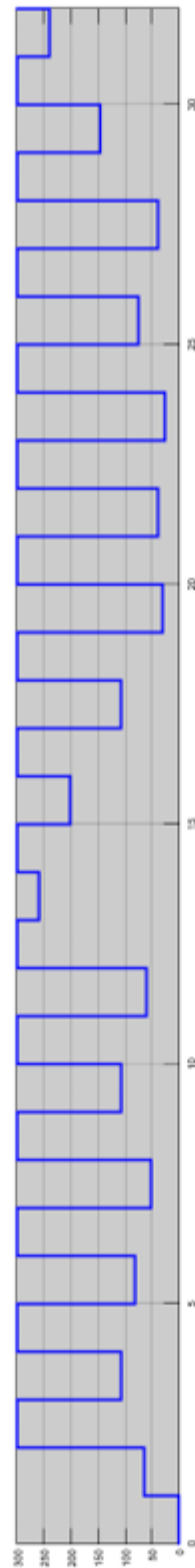


Nivel del depósito de agua.

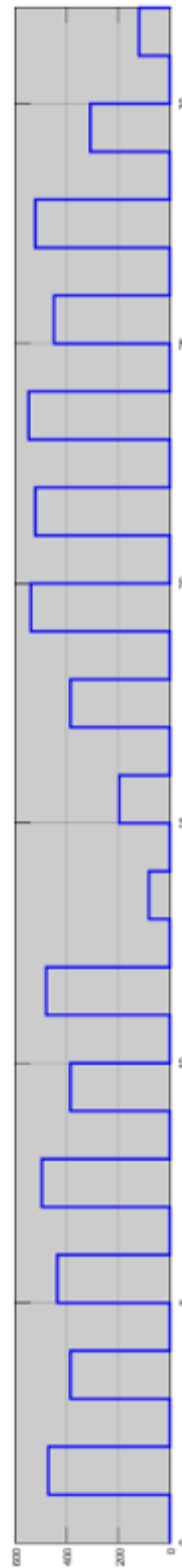
SEVILLA - MAYO - 2005



Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

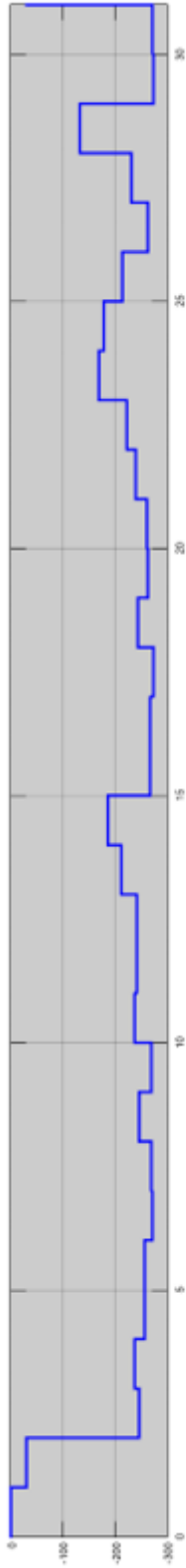


Gasto de agua debido al riego.

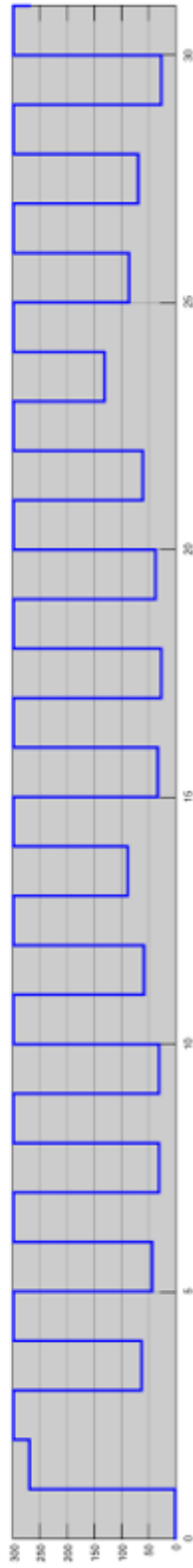


Nivel del depósito de agua.

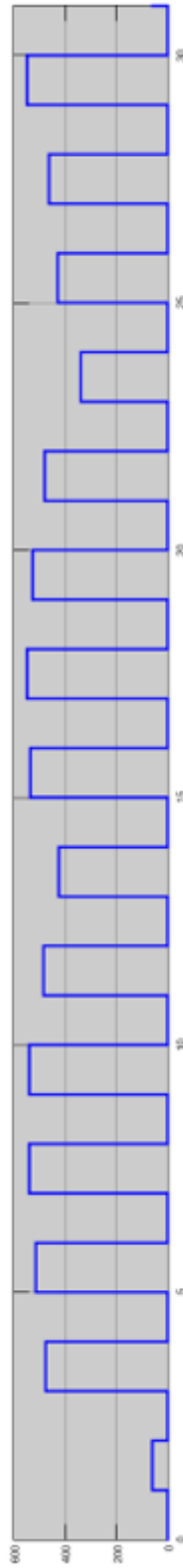
SEVILLA - JUNIO - 2005



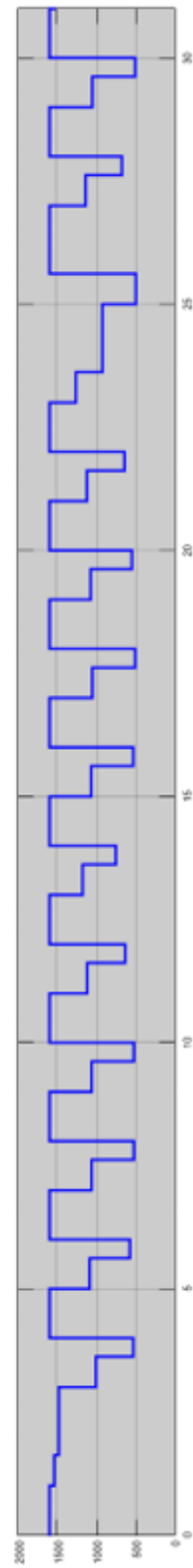
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

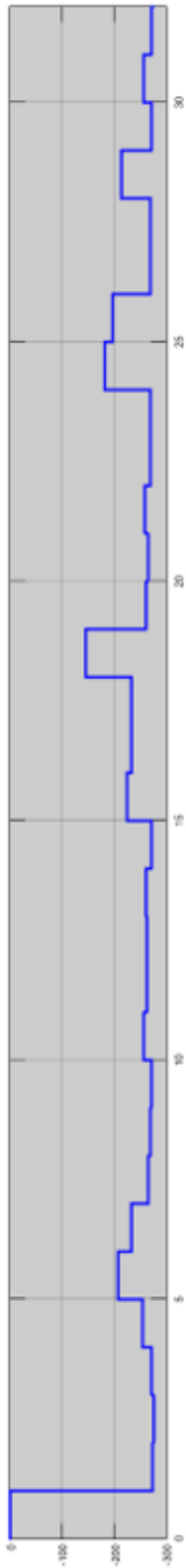


Gasto de agua debido al riego.

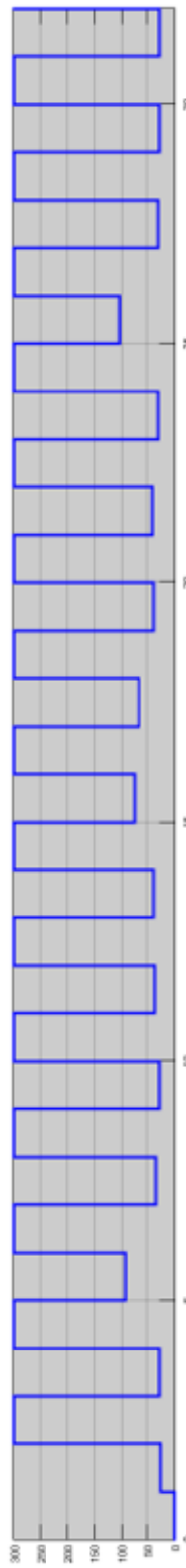


Nivel del depósito de agua.

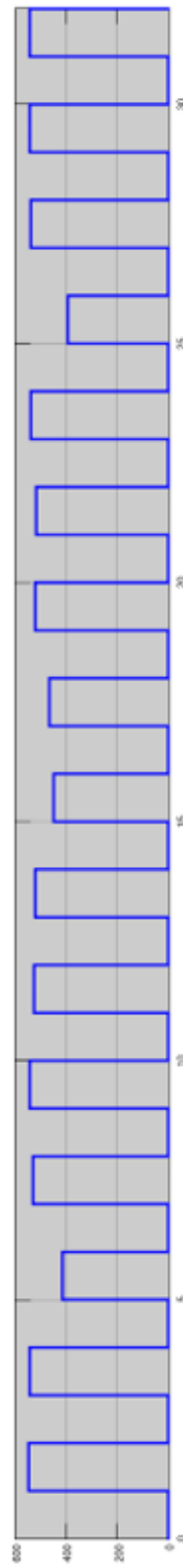
SEVILLA - JULIO 2005



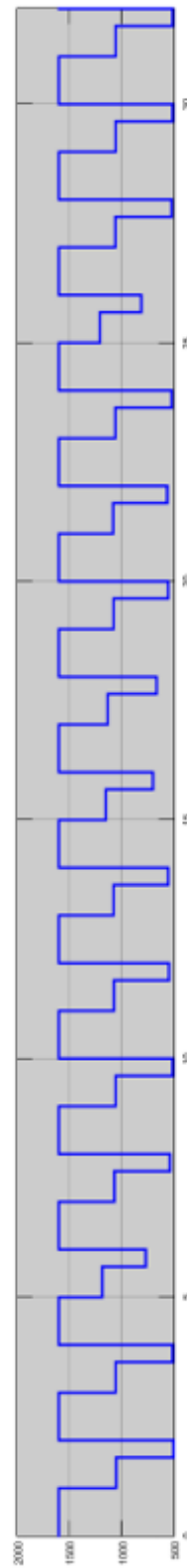
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

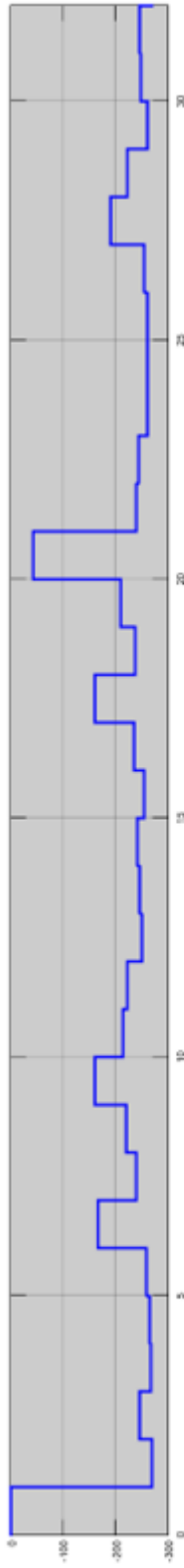


Gasto de agua debido al riego.

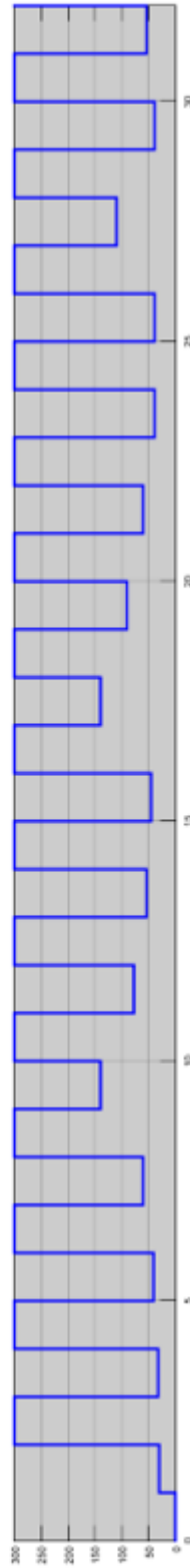


Nivel del depósito de agua.

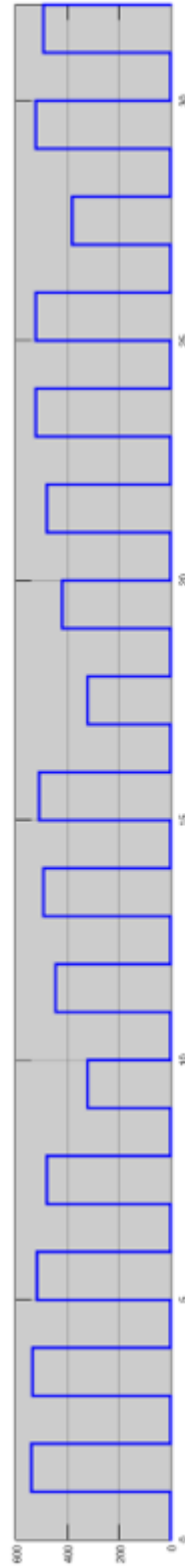
SEVILLA -AGOSTO- 2005



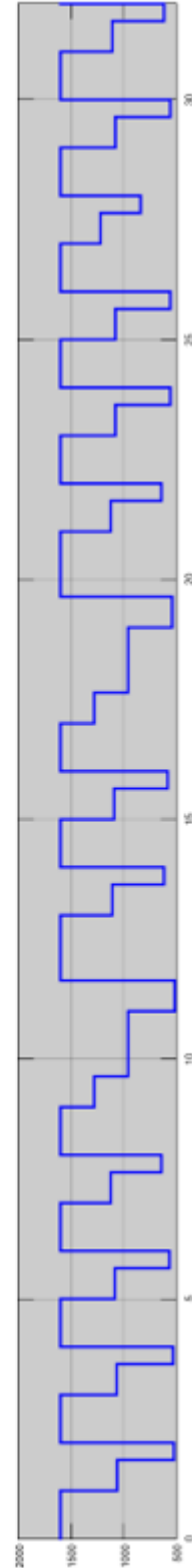
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

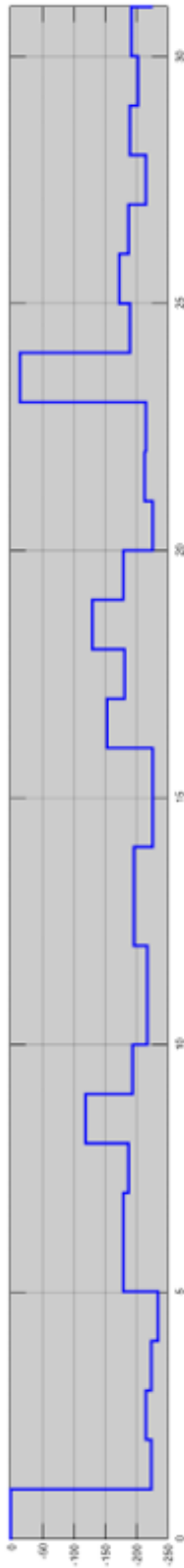


Gasto de agua debido al riego.

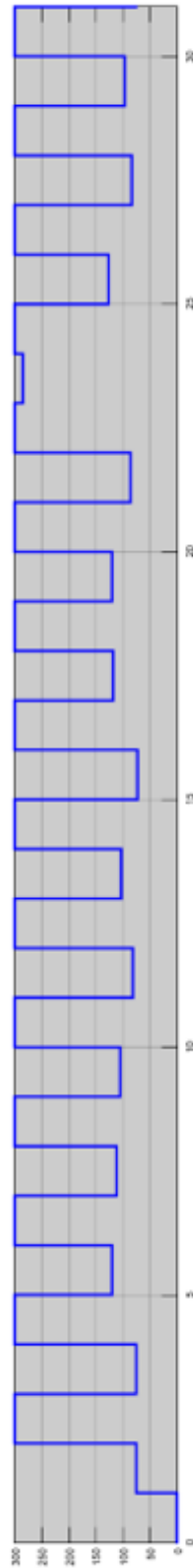


Nivel del depósito de agua.

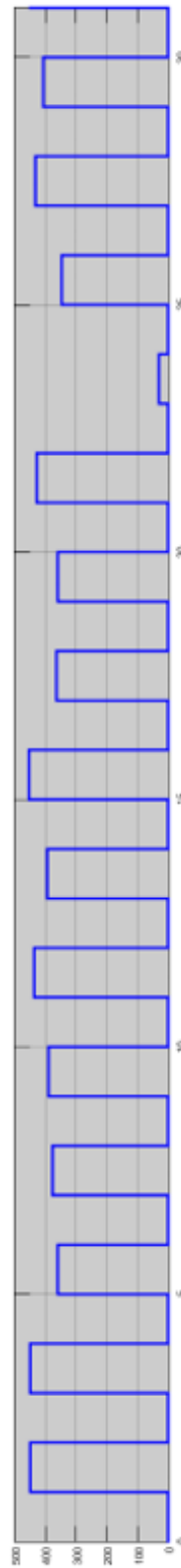
SEVILLA - SEPTIEMBRE - 2005



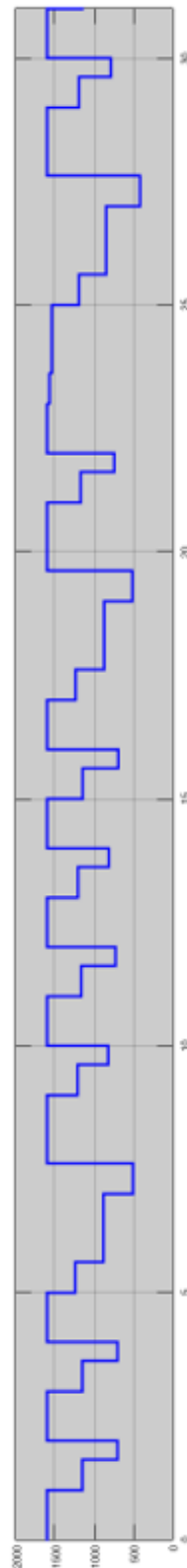
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

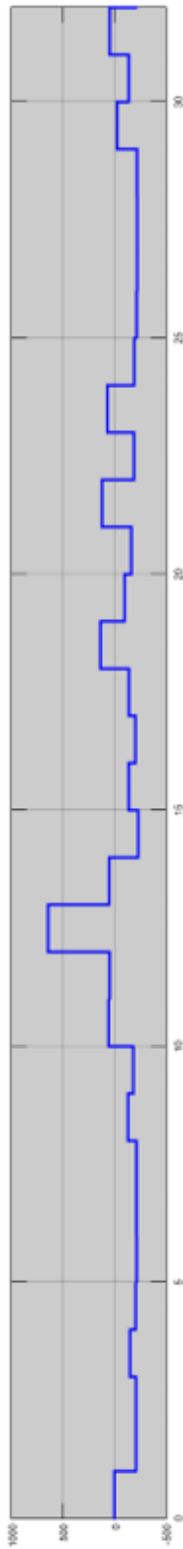


Gasto de agua debido al riego.

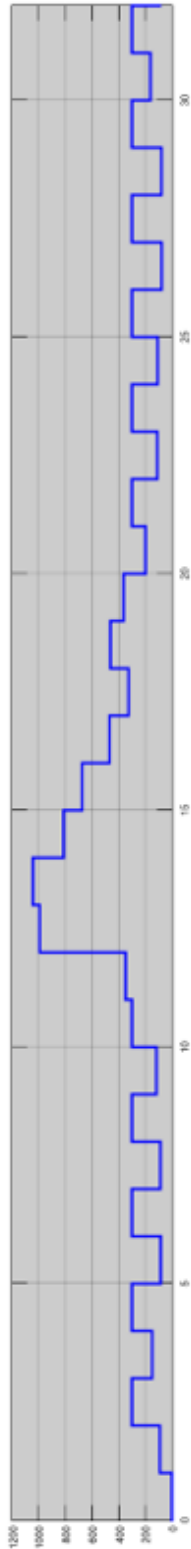


Nivel del depósito de agua.

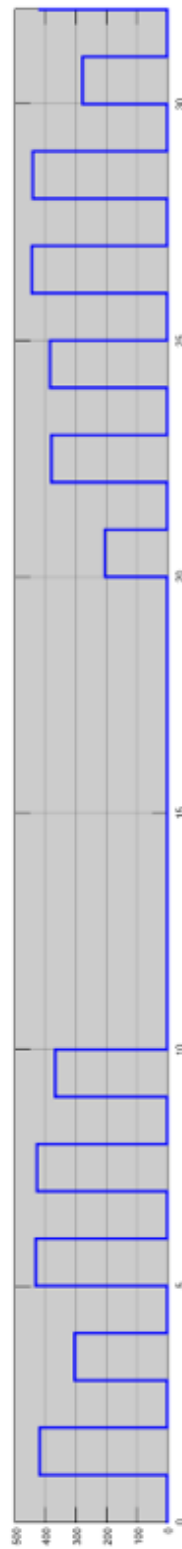
SEVILLA - OCTUBRE - 2005



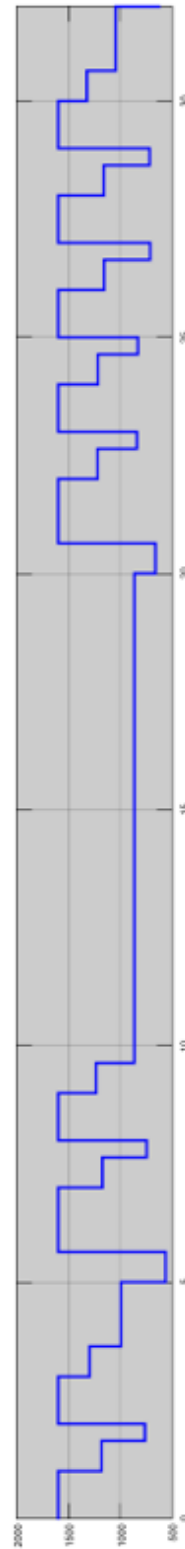
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

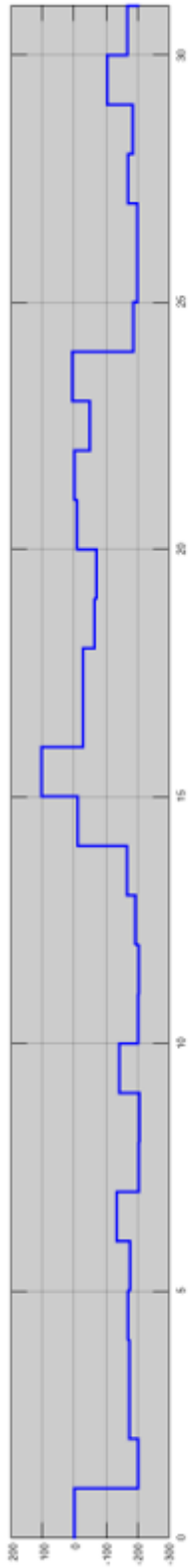


Gasto de agua debido al riego.

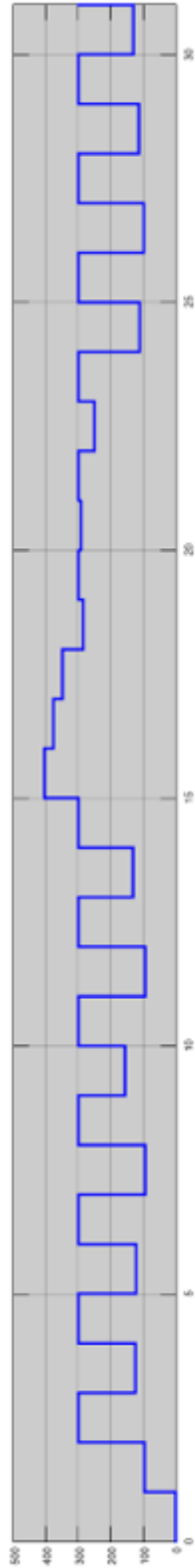


Nivel del depósito de agua.

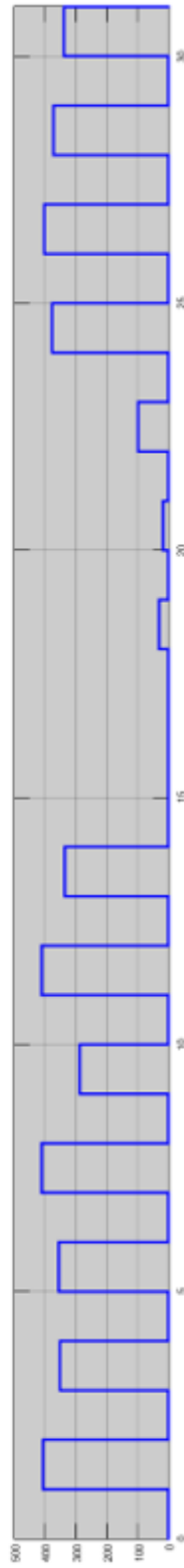
SEVILLA – NOVIEMBRE – 2005



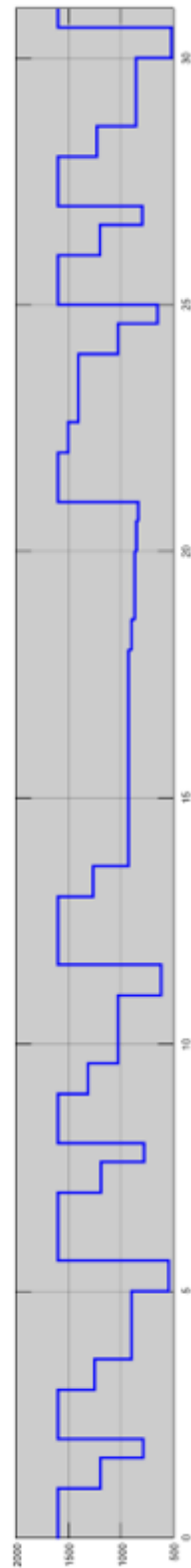
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

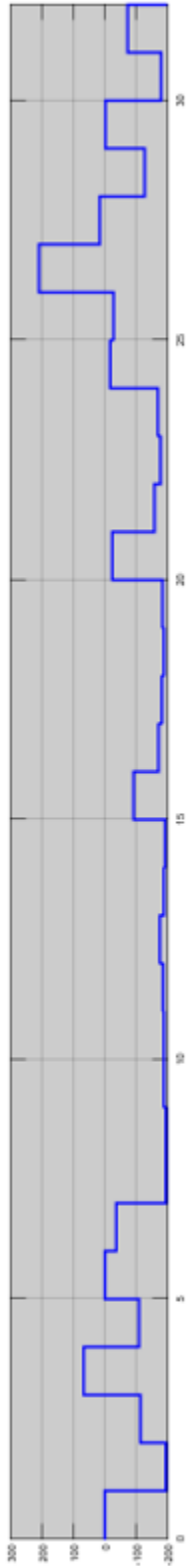


Gasto de agua debido al riego.

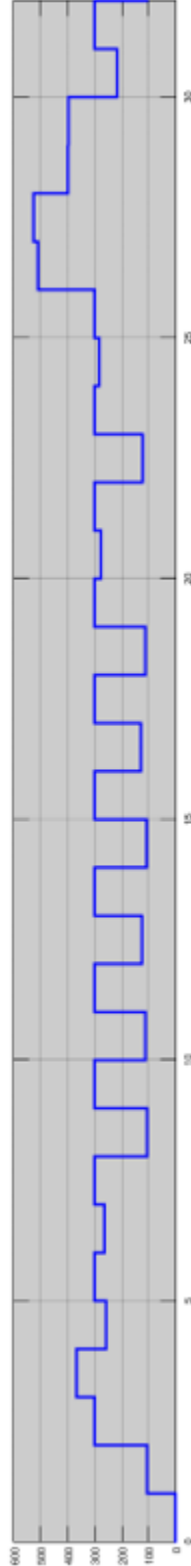


Nivel del depósito de agua.

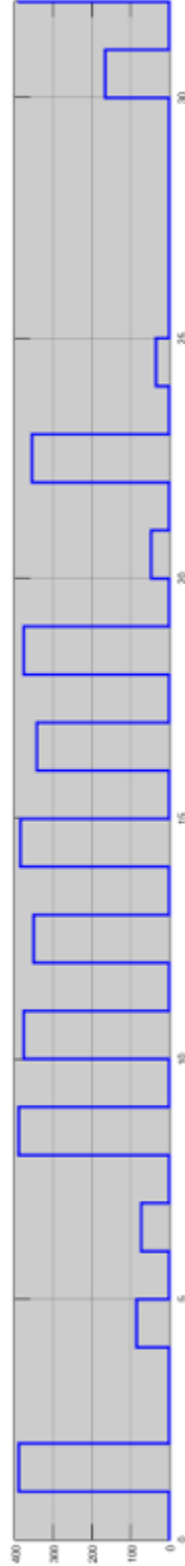
SEVILLA - DICIEMBRE- 2005



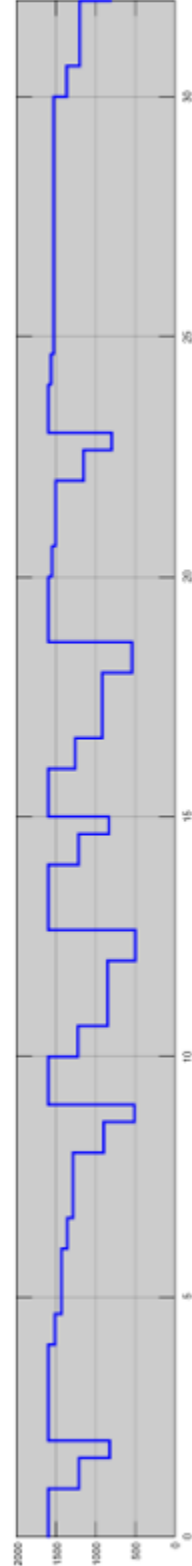
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.



Gasto de agua debido al riego.



Nivel del depósito de agua.

9.1.3 Resultados para la ciudad de Valencia

Al igual que en la ciudad de Sevilla, la ciudad de Valencia también se caracteriza por tener un clima mediterráneo. Pero existe una diferencia entre ambas ciudades y es que esta última está situada en la costa, lo que propicia que las corrientes oceánicas templen las temperaturas de la ciudad.

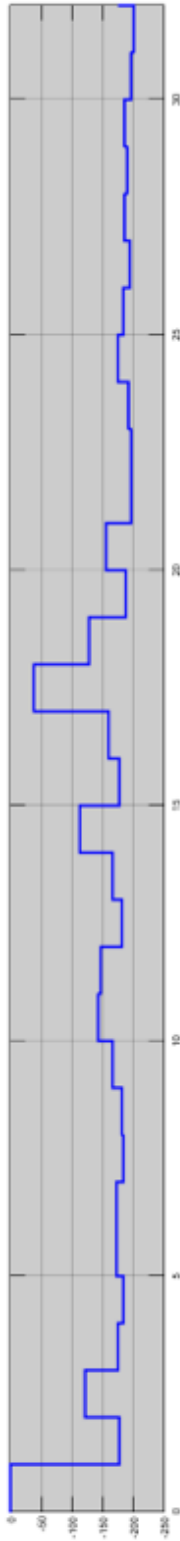
Debido a este clima mediterráneo suave, las temperaturas durante el verano son cálidas mientras que en invierno son templadas, siendo el mes de enero el más frío con temperaturas alrededor de los 16°C.

Las precipitaciones no son muy comunes y se producen durante todo el año, aunque son mucho más comunes en los meses de otoño debido a la gota fría. Se conoce como gota fría a chubascos o tormentas de gran violencia, produciéndose grandes precipitaciones en un corto periodo de tiempo.

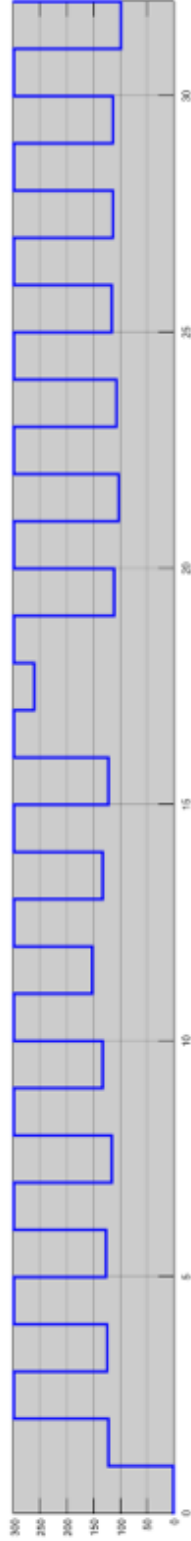
La razón de haber elegido esta ciudad para simularla es porque tiene un clima muy templado y las precipitaciones ocurren, en general, repartidas durante todo el año. Se podría decir que es un clima entre medias de los climas que se dan en la ciudad de Lugo y de Sevilla.

Las gráficas sobre la variación de la humedad debida a efectos meteorológicos corroboran lo expuesto anteriormente. Se producen lluvias dispersas a lo largo del año, siendo más frecuentes durante los meses de otoño. Esto provoca que la activación de la bomba de riego se produzca durante casi todo el año, aunque el gasto de agua varía debido a estas lluvias puntuales. Durante los meses de otoño el riego se activa en menor medida que el resto del año.

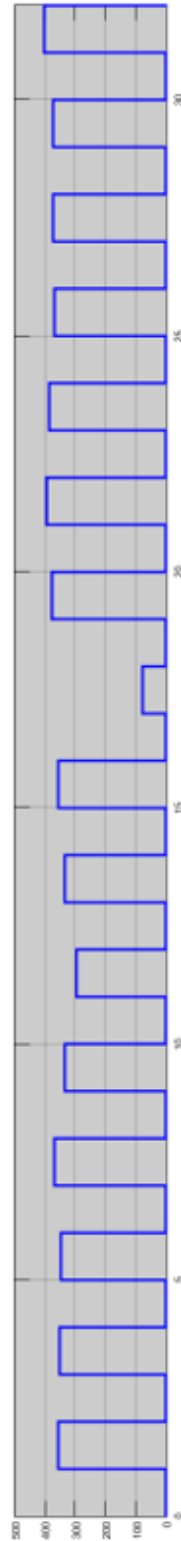
VALENCIA -ENERO- 2005



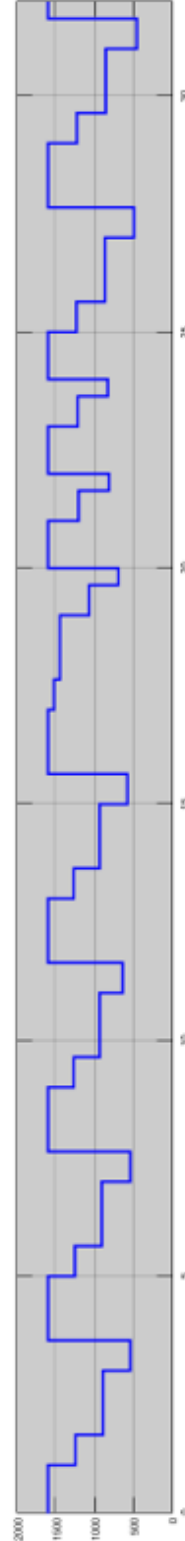
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

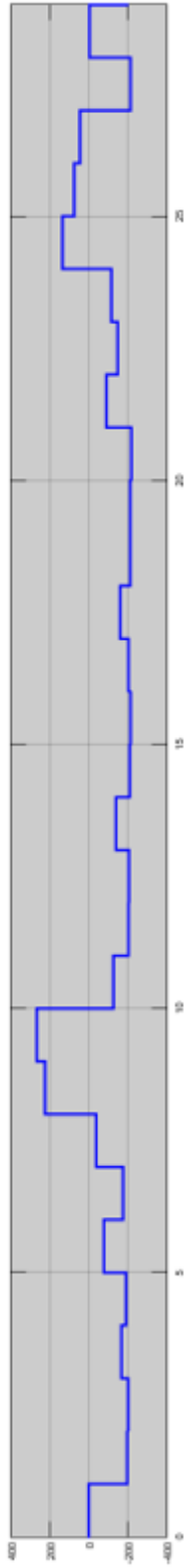


Gasto de agua debido al riego.

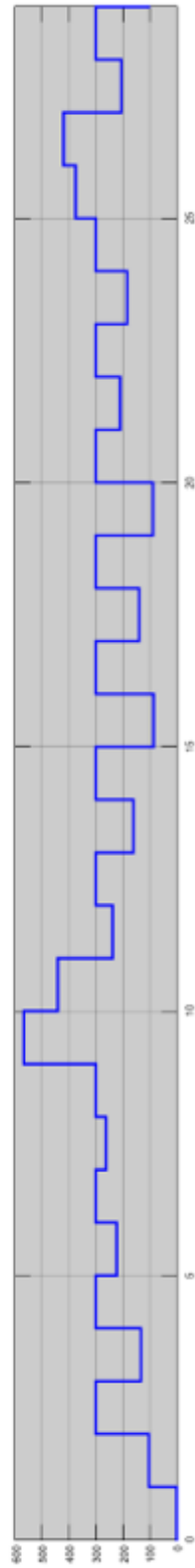


Nivel del depósito de agua.

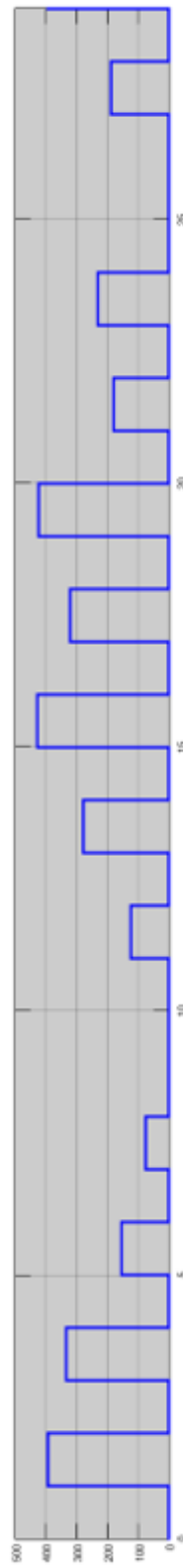
VALENCIA - FEBRERO- 2005



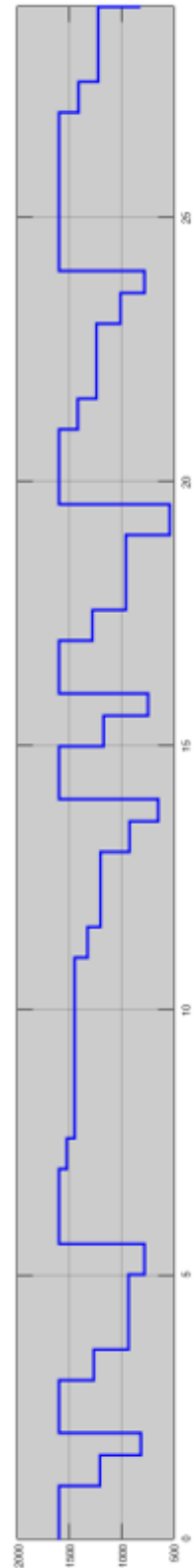
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

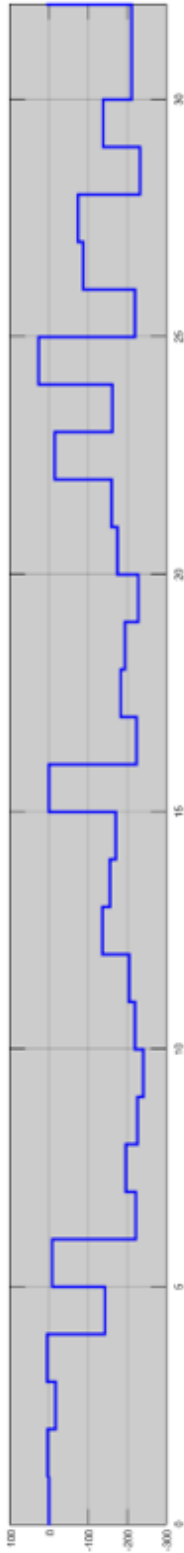


Gasto de agua debido al riego.

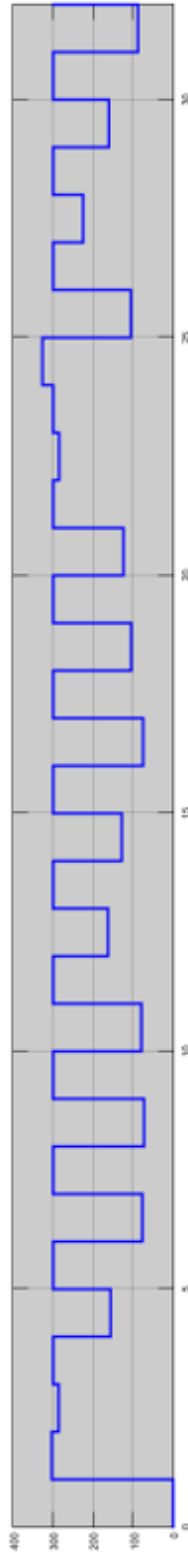


Nivel del depósito de agua.

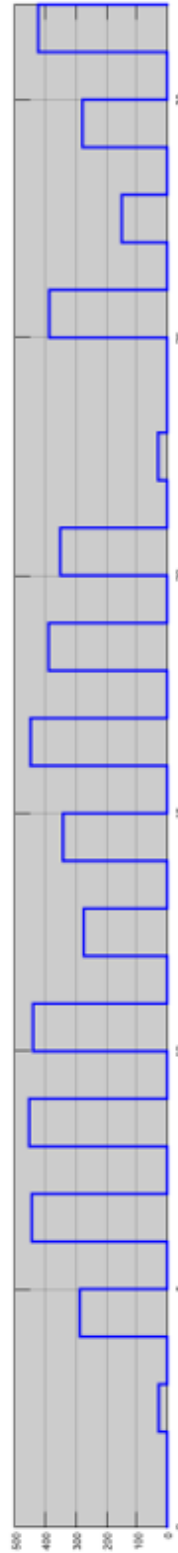
VALENCIA - MARZO- 2005



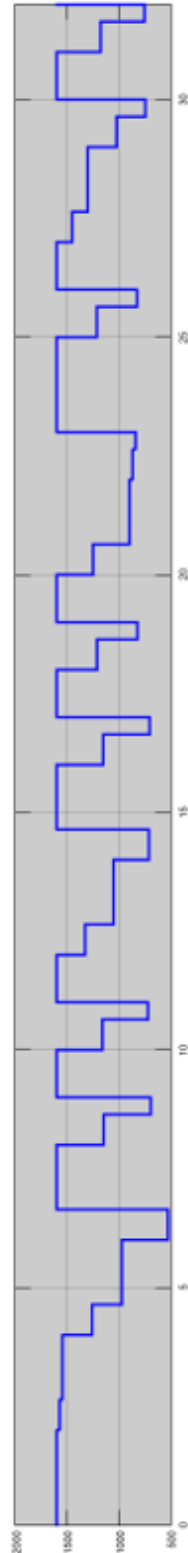
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

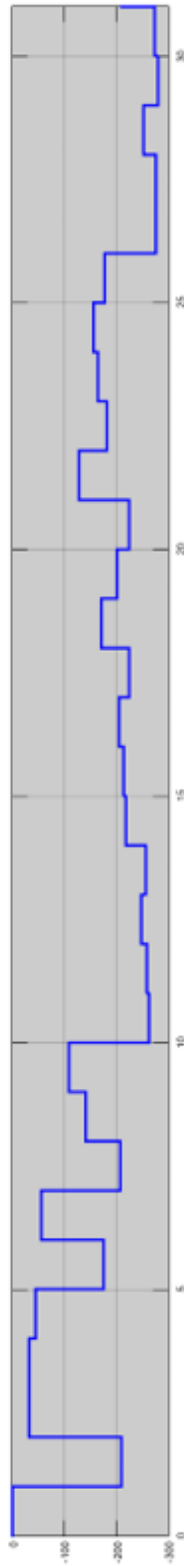


Gasto de agua debido al riego.

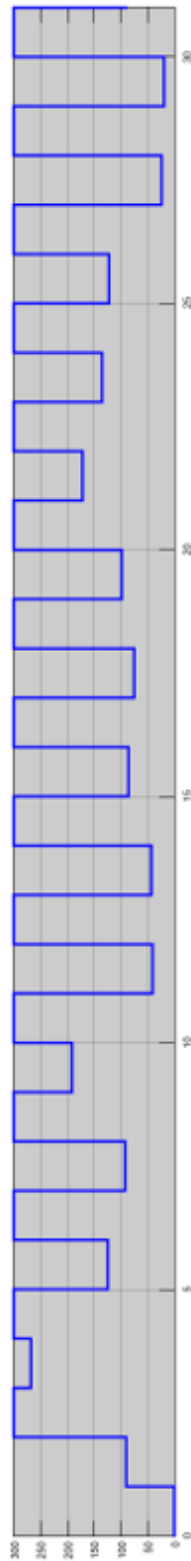


Nivel del depósito de agua.

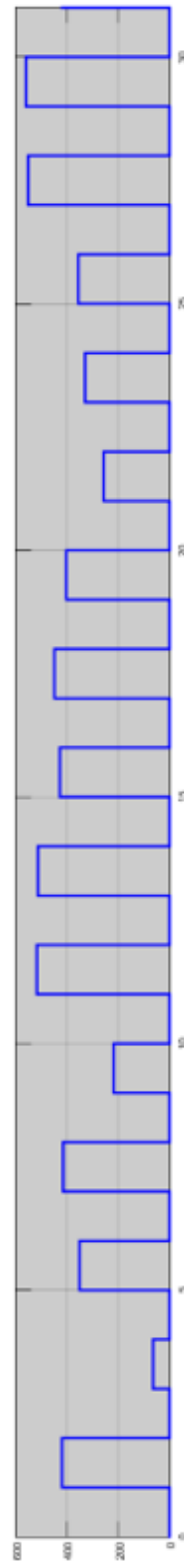
VALENCIA - ABRIL - 2005



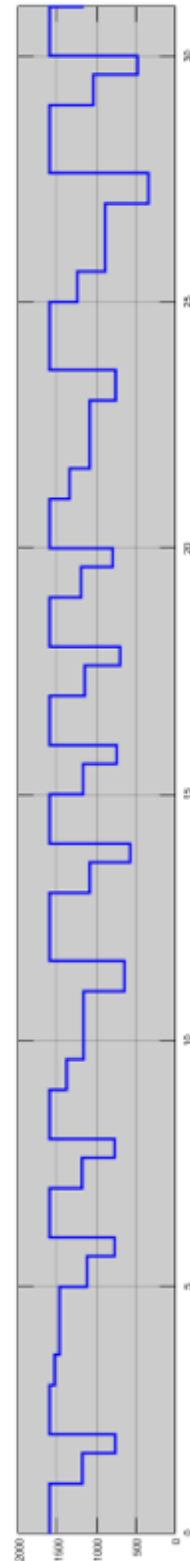
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

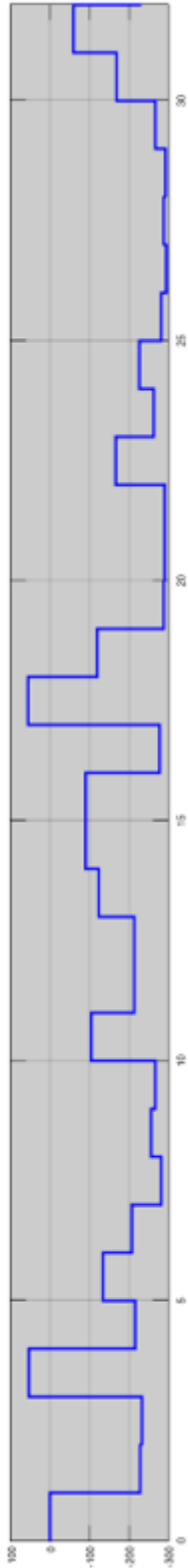


Gasto de agua debido al riego.

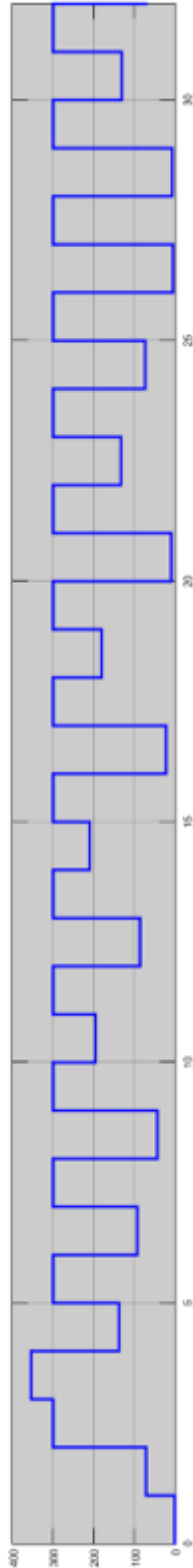


Nivel del depósito de agua.

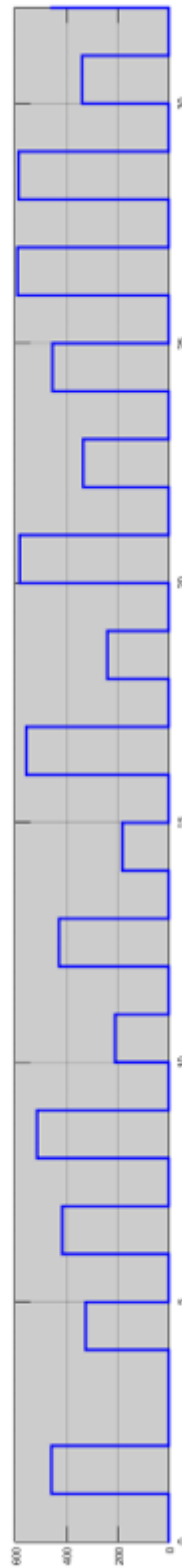
VALENCIA - MAYO- 2005



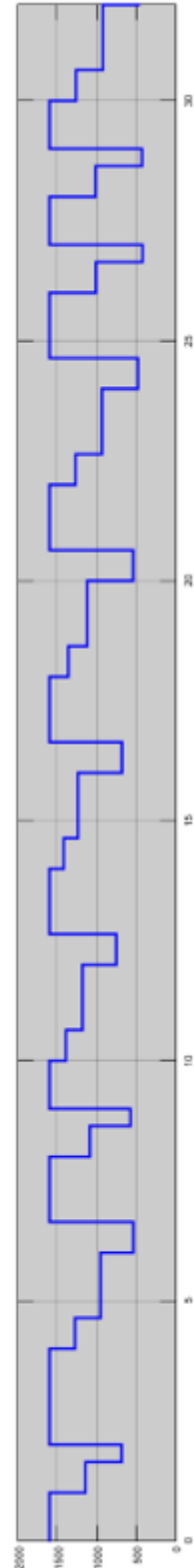
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

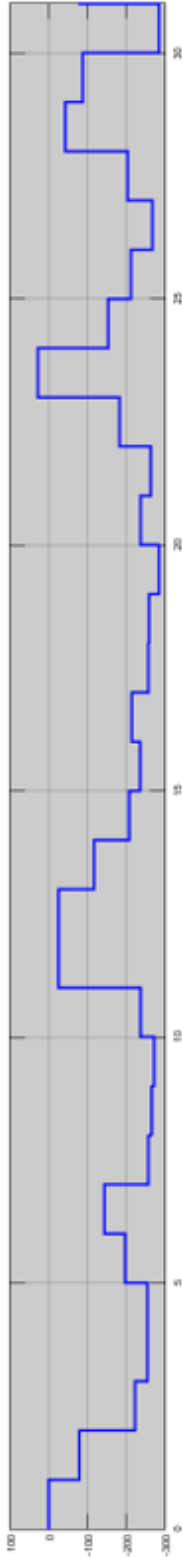


Gasto de agua debido al riego.

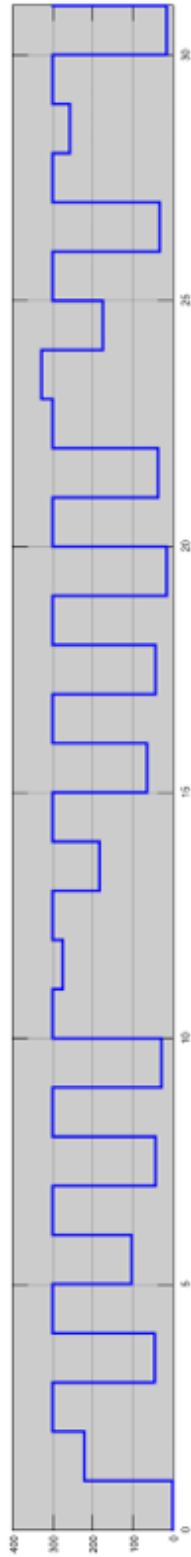


Nivel del depósito de agua.

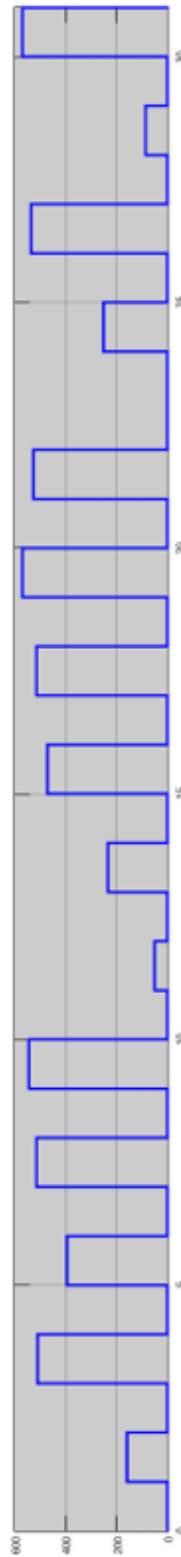
VALENCIA – JUNIO – 2005



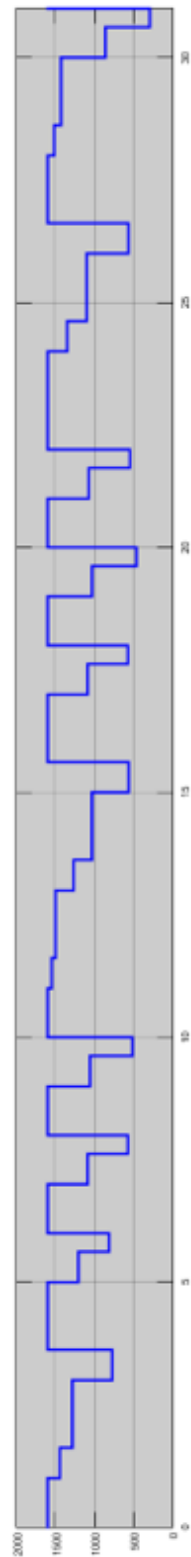
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

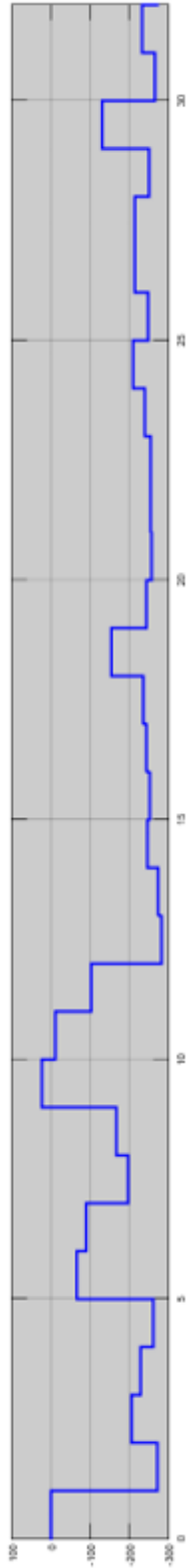


Gasto de agua debido al riego.

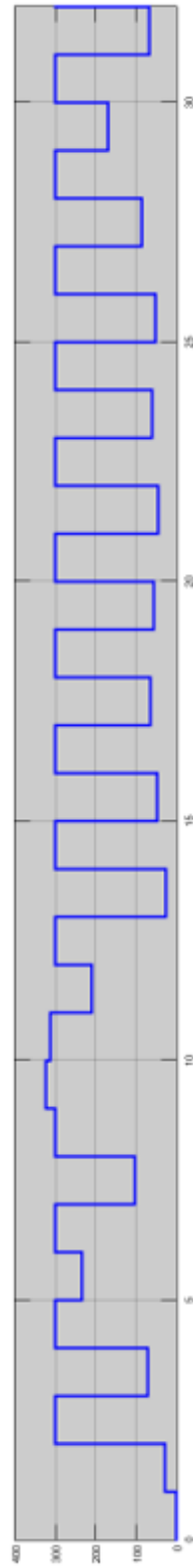


Nivel del depósito de agua.

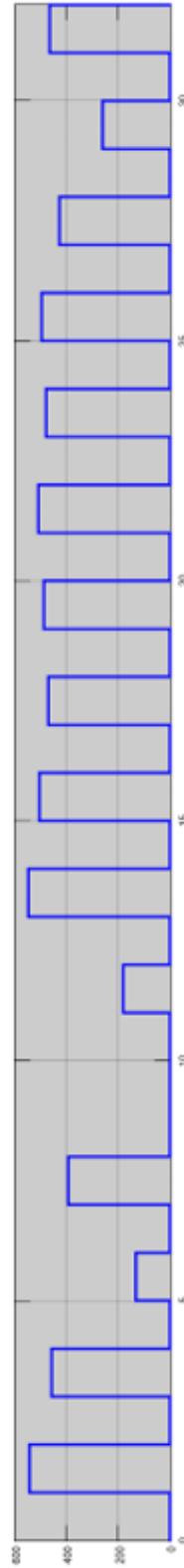
VALENCIA - JULIO - 2005



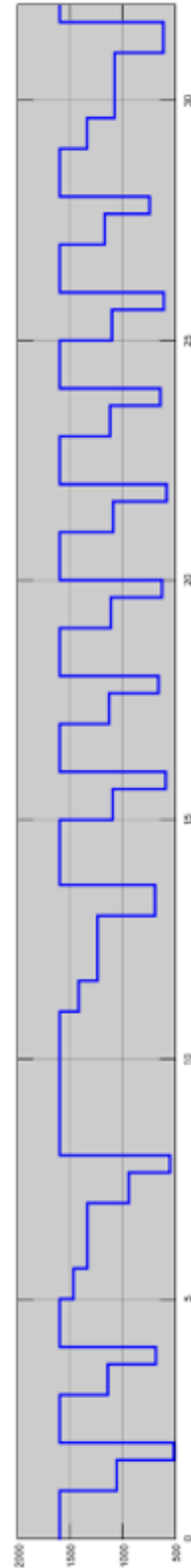
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

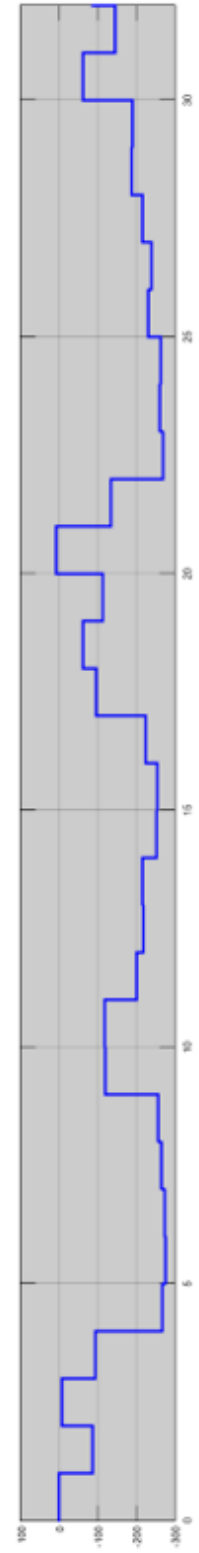


Gasto de agua debido al riego.

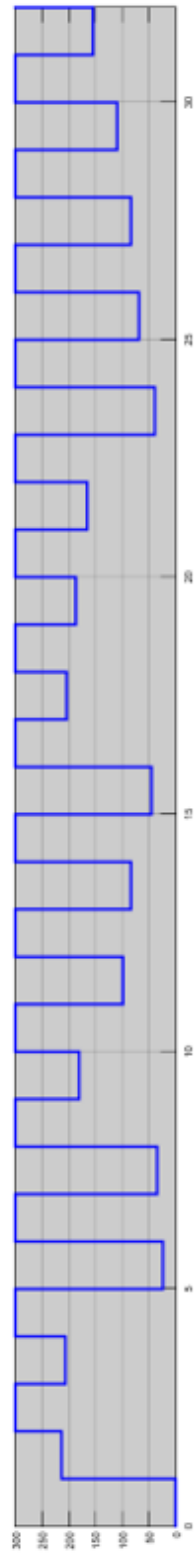


Nivel del depósito de agua.

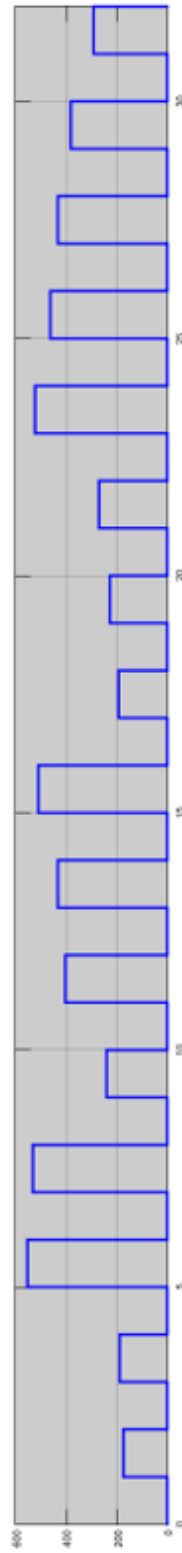
VALENCIA - AGOSTO - 2005



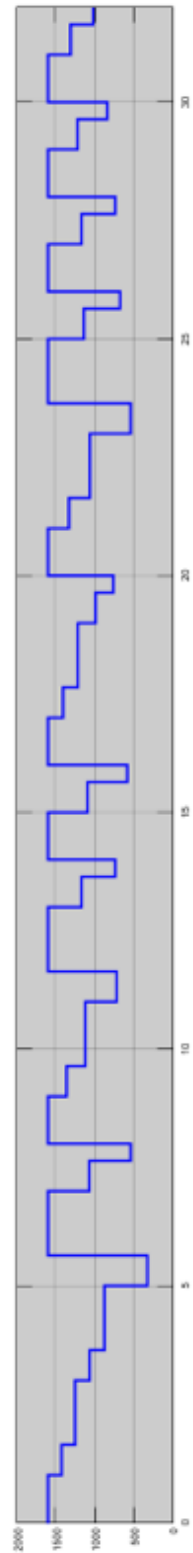
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

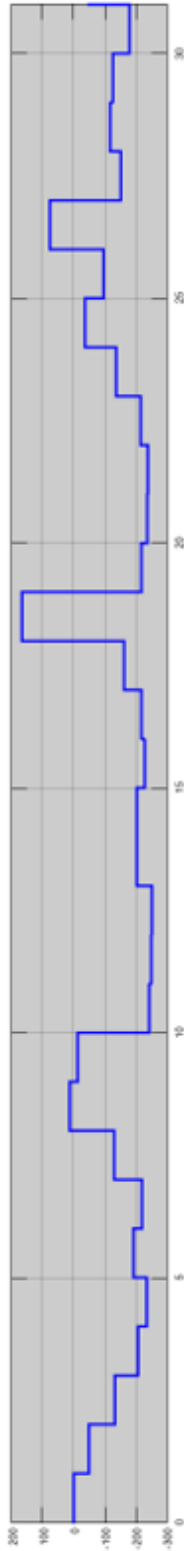


Gasto de agua debido al riego.

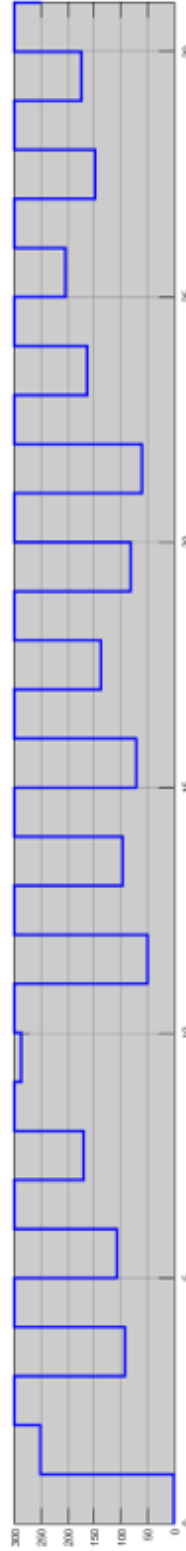


Nivel del depósito de agua.

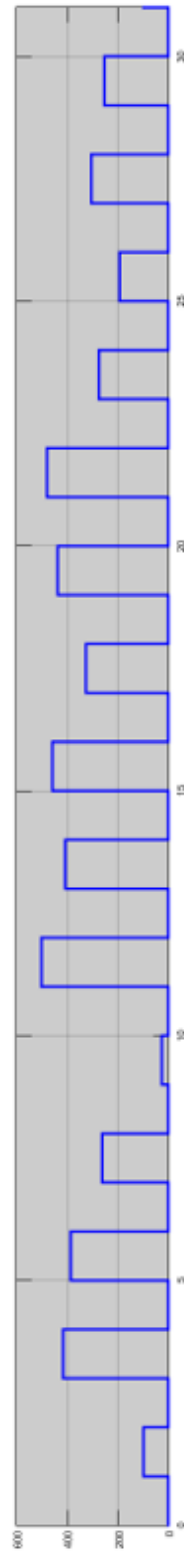
VALENCIA - SEPTIEMBRE - 2005



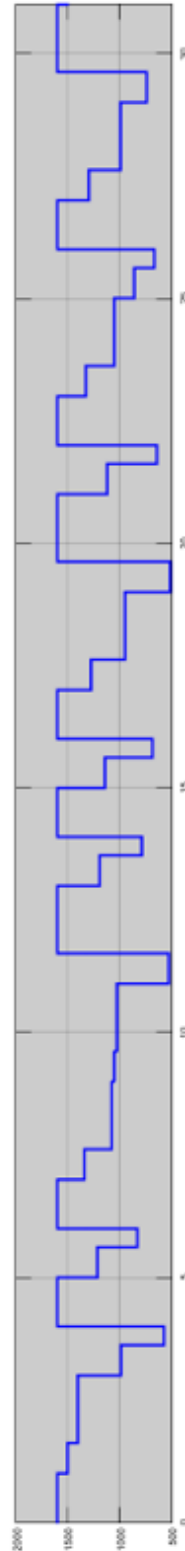
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

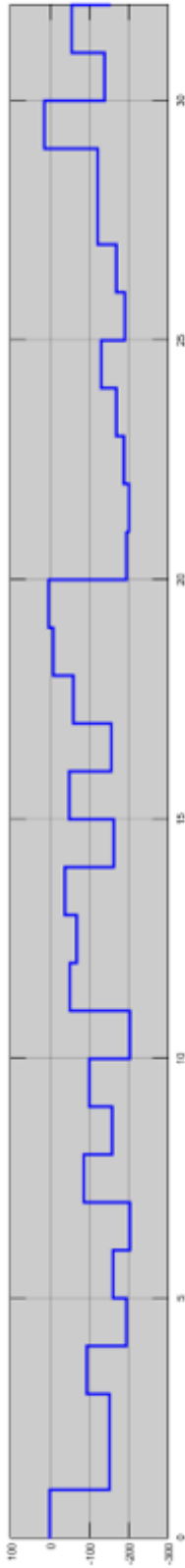


Gasto de agua debido al riego.

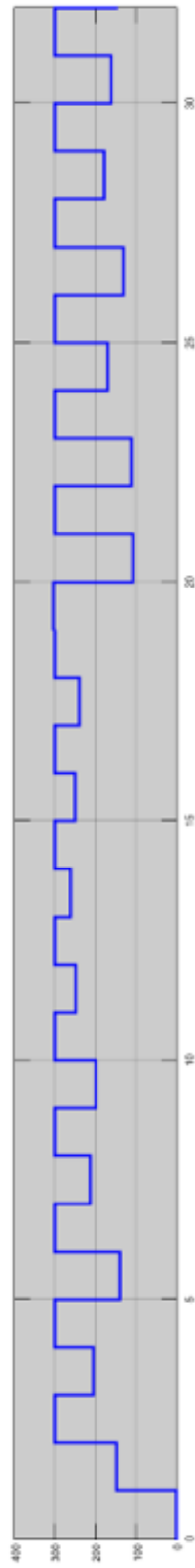


Nivel del depósito de agua.

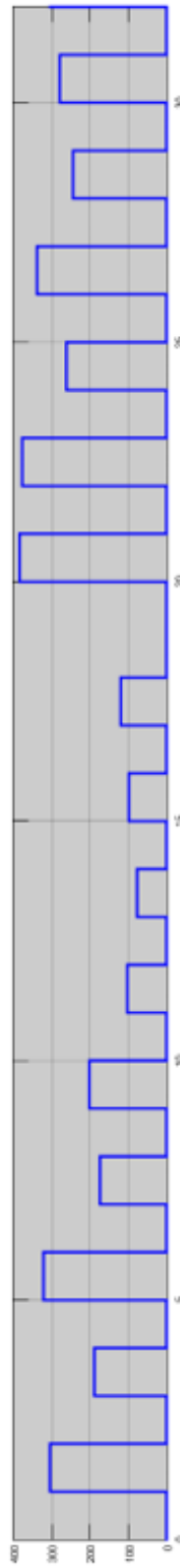
VALENCIA - OCTUBRE- 2005



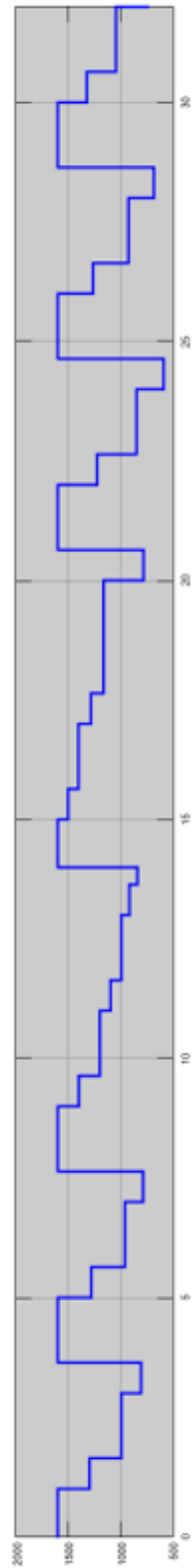
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

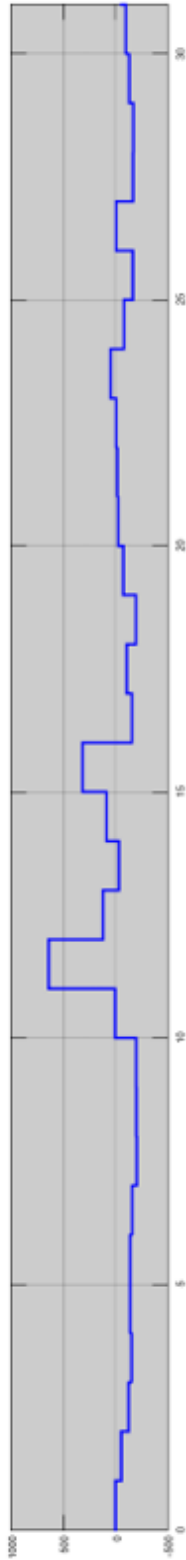


Gasto de agua debido al riego.

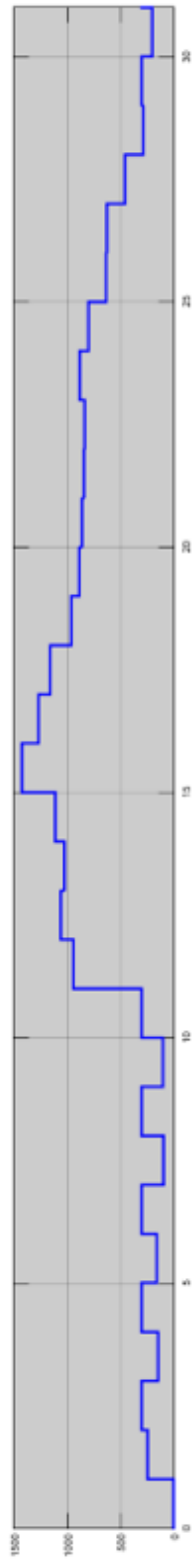


Nivel del depósito de agua.

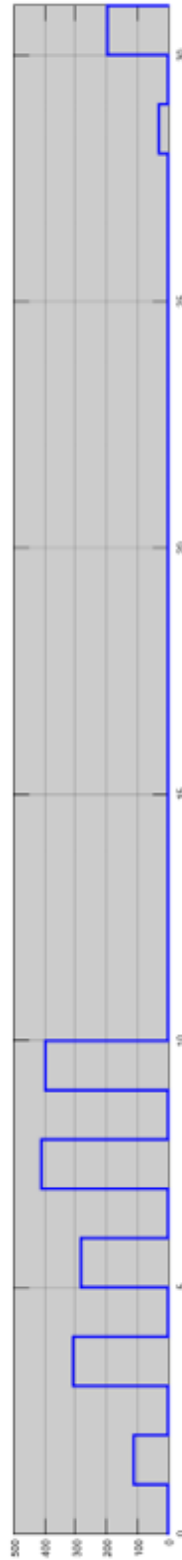
VALENCIA - NOVIEMBRE - 2005



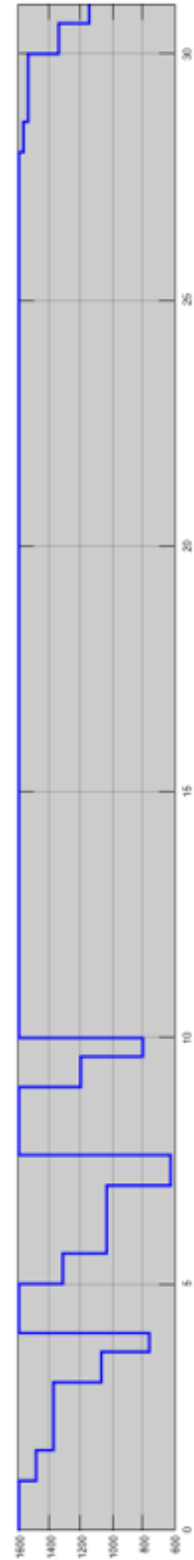
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

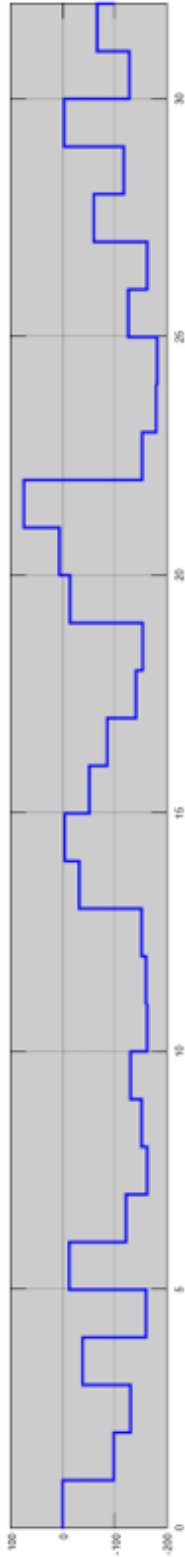


Gasto de agua debido al riego.

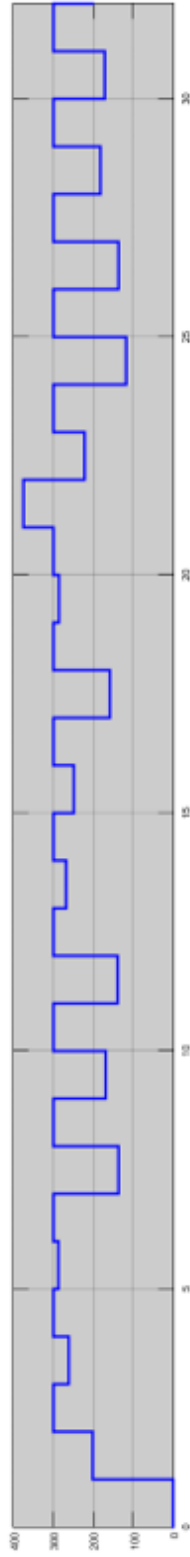


Nivel del depósito de agua.

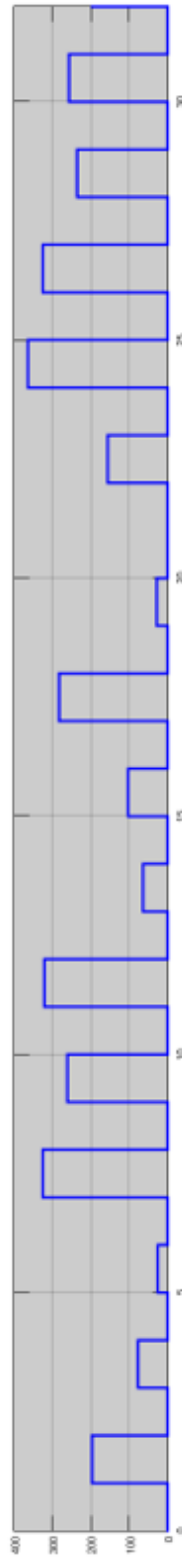
VALENCIA - DICIEMBRE - 2005



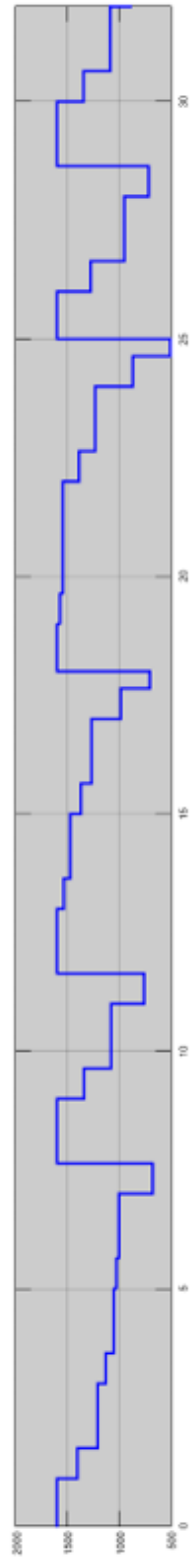
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.



Gasto de agua debido al riego.



Nivel del depósito de agua.



9.1.4 Resultados para la ciudad de Valladolid

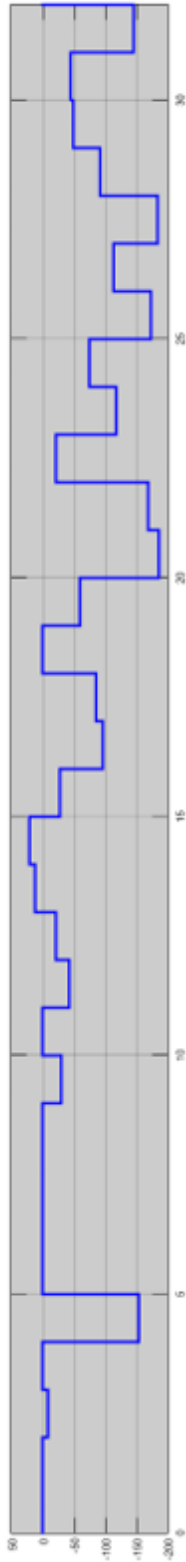
El clima de la ciudad de Valladolid es de tipo mediterráneo continental. La ciudad se asienta sobre la cuenca sedimentaria del Duero, de manera que está casi rodeada de montañas, excepto por un pasillo existente al oeste. Estas montañas retienen los vientos y las lluvias, provocando que la influencia de los vientos oceánicos sea casi nula y que las únicas precipitaciones provengan del oeste.

Debido a esto, el clima en Valladolid se puede considerar como un clima de extremos, con inviernos muy fríos y veranos muy calurosos. Las precipitaciones se suceden de manera irregular a lo largo del año, aunque se producen más durante las estaciones de la primavera y el otoño que durante el resto del año.

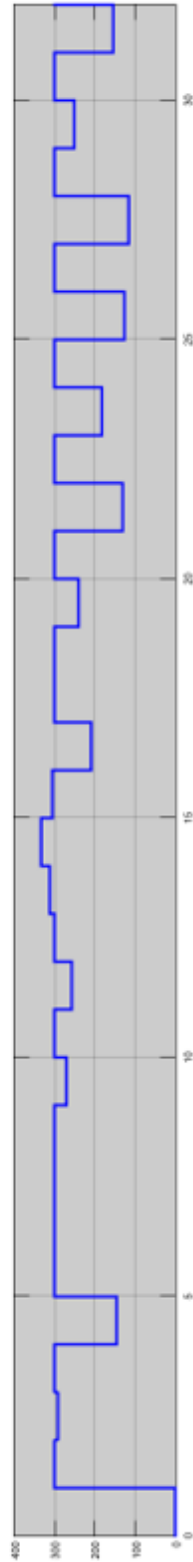
Uno de los factores más características es la gran variación diaria de la temperatura, en muchas ocasiones se produce una diferencia de hasta 20 grados entre el día y la noche. Otro factor muy importante desde el punto de vista agrícola son las nieblas y las grandes heladas que se producen durante el invierno, las cuales dificultan el crecimiento de algunos tipos de cultivos. Dichas heladas son muy frecuentes, llegando a producirse una media de 56 días de heladas anuales.

En las gráficas de variación de la humedad debida a factores meteorológicos se puede observar como ciertamente se producen más lluvias durante los meses de primavera y otoño que en el resto del año. En este año se produjeron muchas más durante el otoño. De manera que la necesidad de riego y por consiguiente el gasto de agua del depósito disminuyen en los meses de estas estaciones.

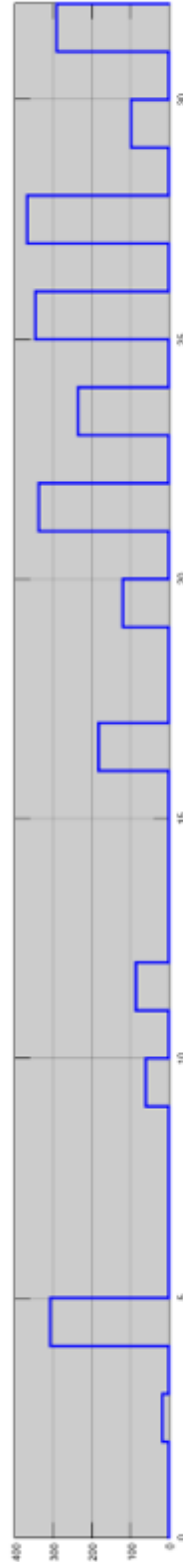
VALLADOLID – ENERO – 2005



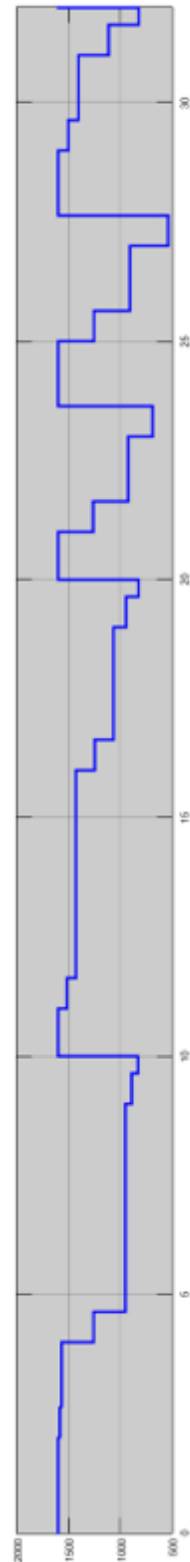
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

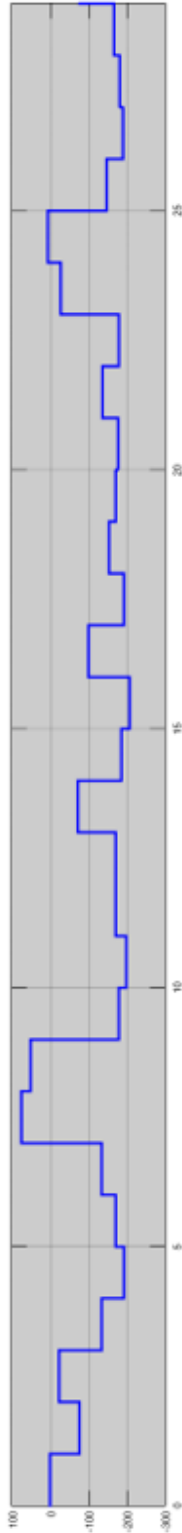


Gasto de agua debido al riego.

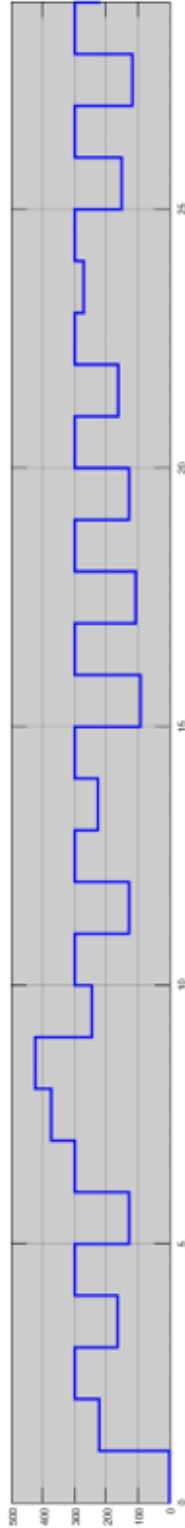


Nivel del depósito de agua.

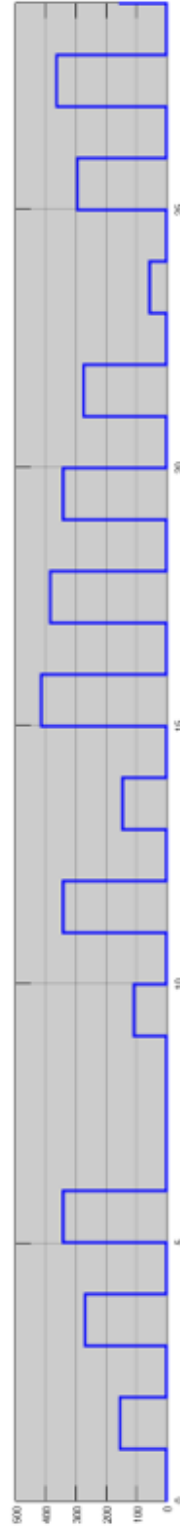
VALLADOLID – FEBRERO- 2005



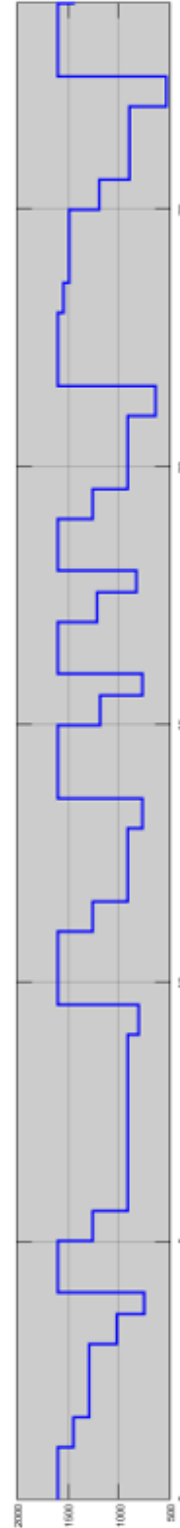
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

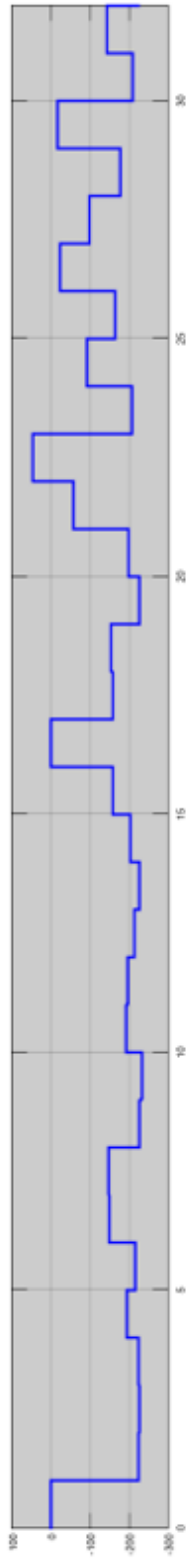


Gasto de agua debido al riego.

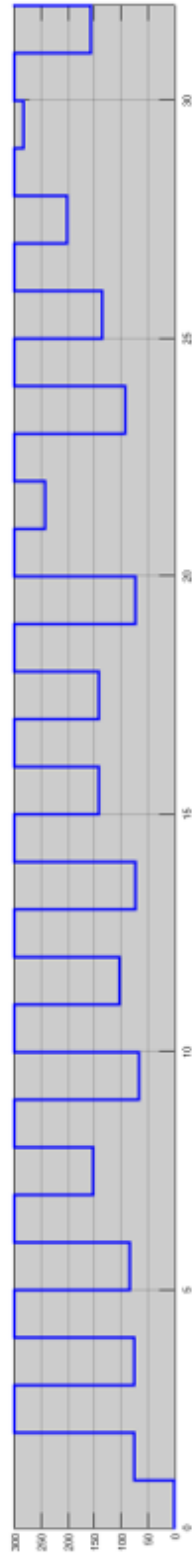


Nivel del depósito de agua.

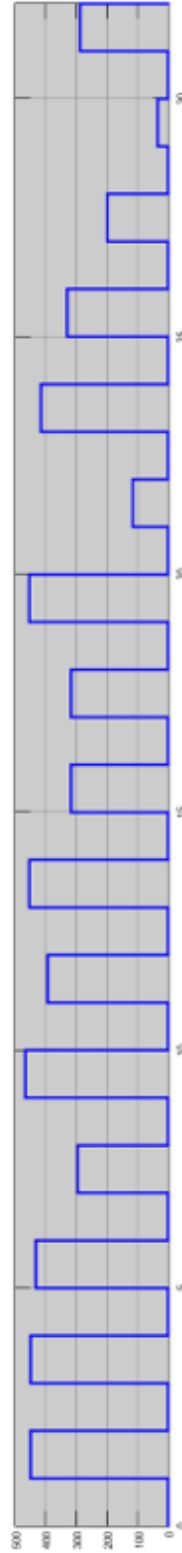
VALLADOLID - MARZO 2005



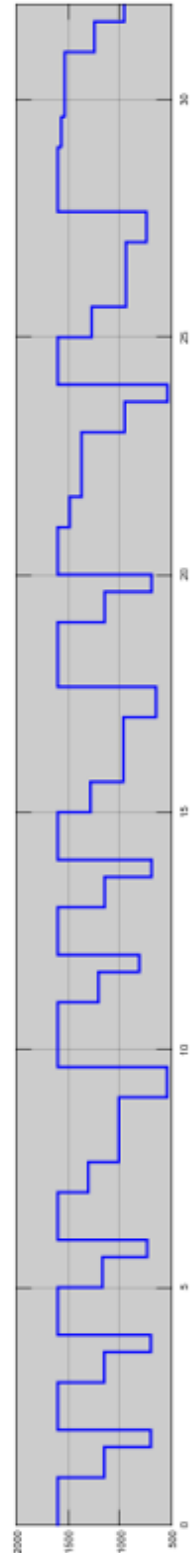
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

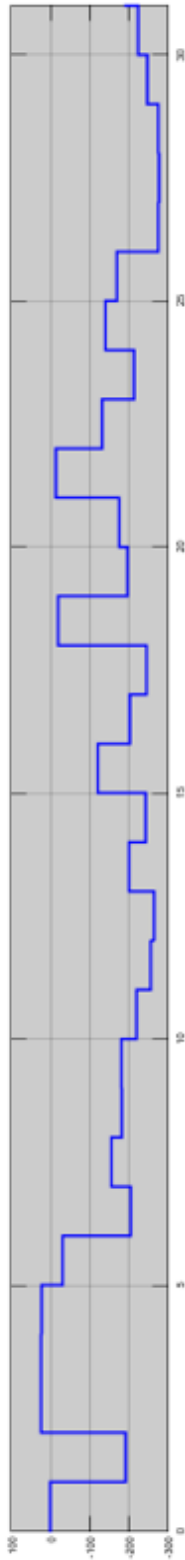


Gasto de agua debido al riego.

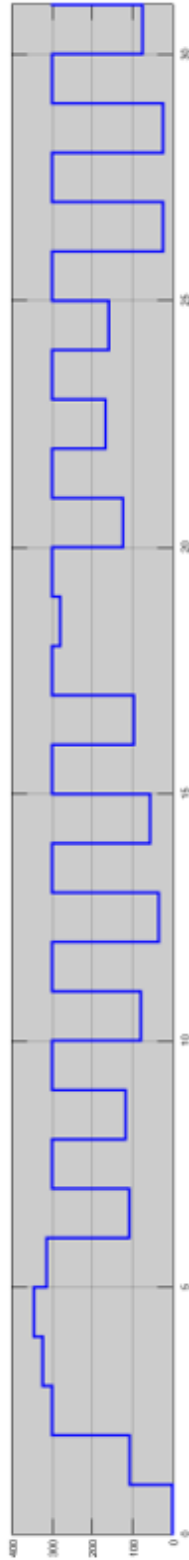


Nivel del depósito de agua.

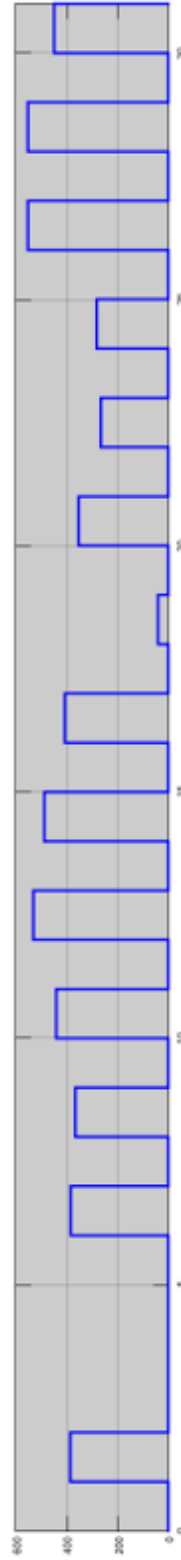
VALLADOLID - ABRIL - 2005



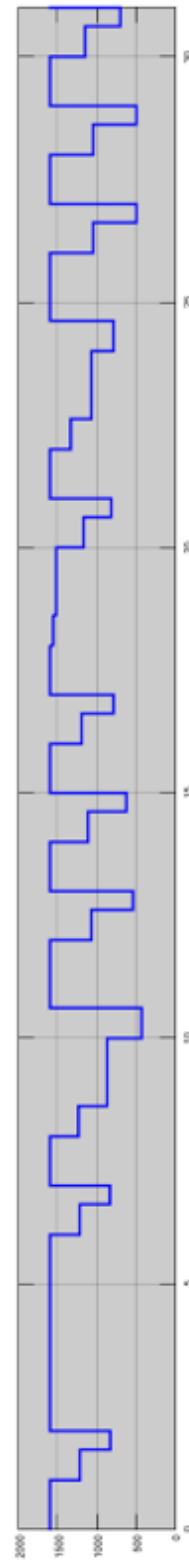
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

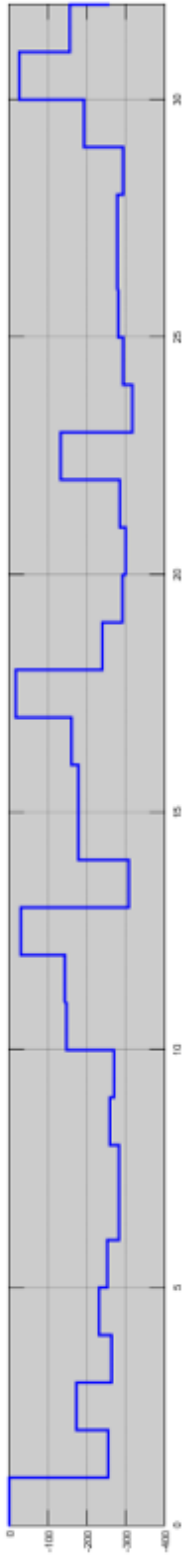


Gasto de agua debido al riego.

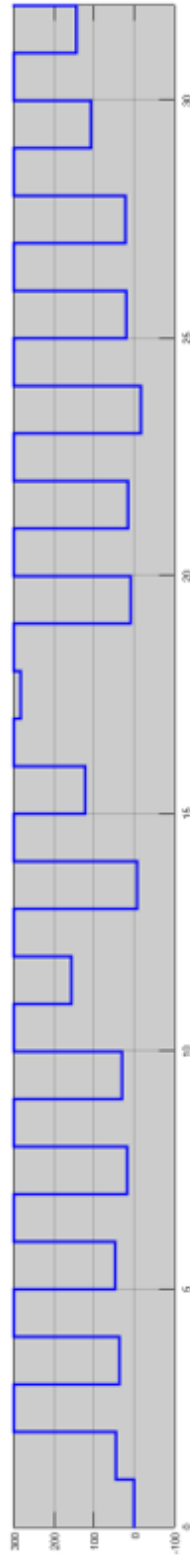


Nivel del depósito de agua.

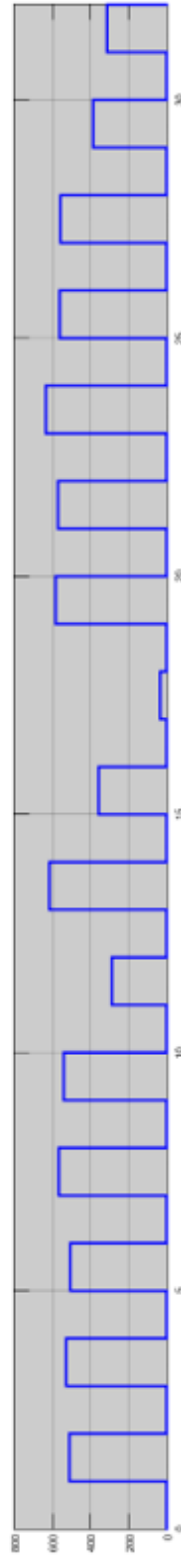
VALLADOLID – MAYO – 2005



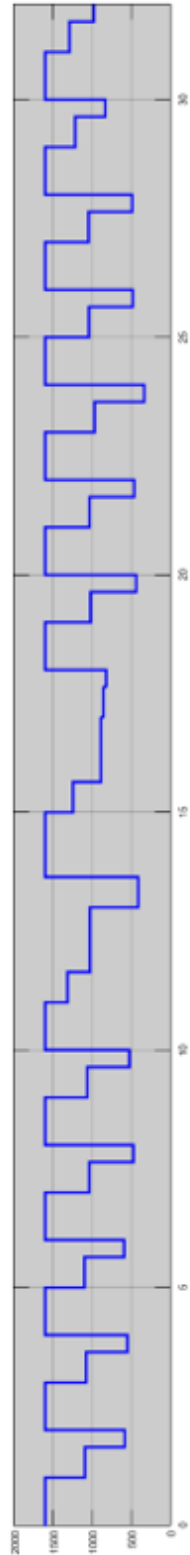
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

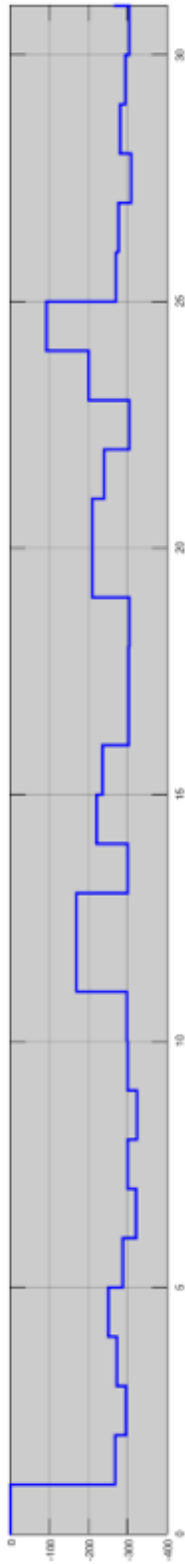


Gasto de agua debido al riego.

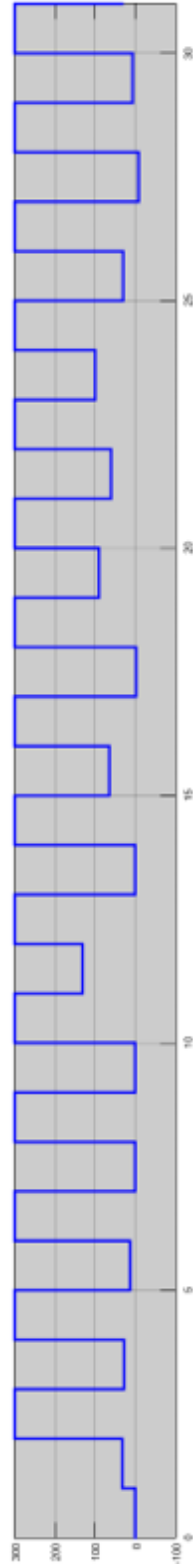


Nivel del depósito de agua.

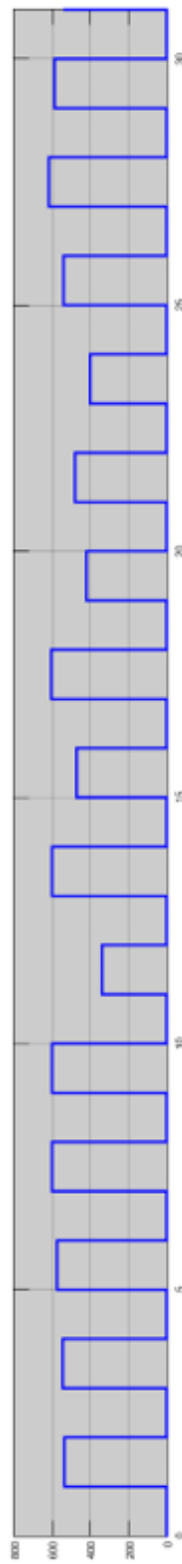
VALLADOLID - JUNIO-2005



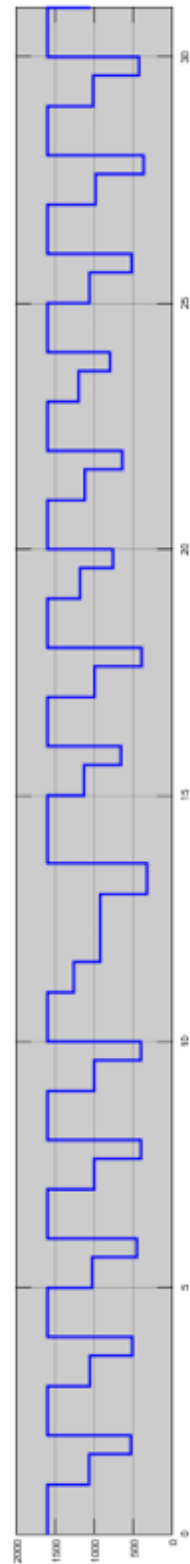
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

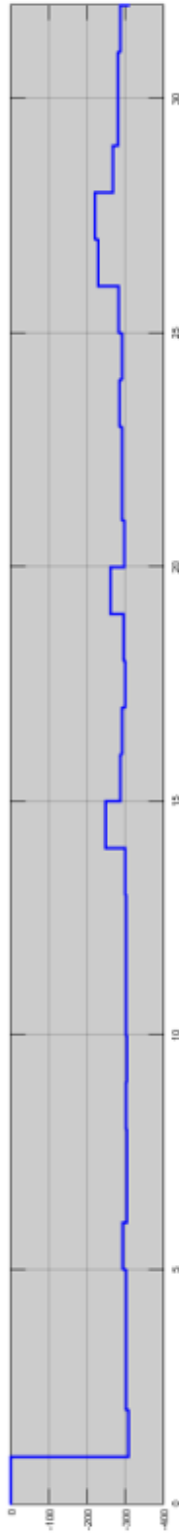


Gasto de agua debido al riego.

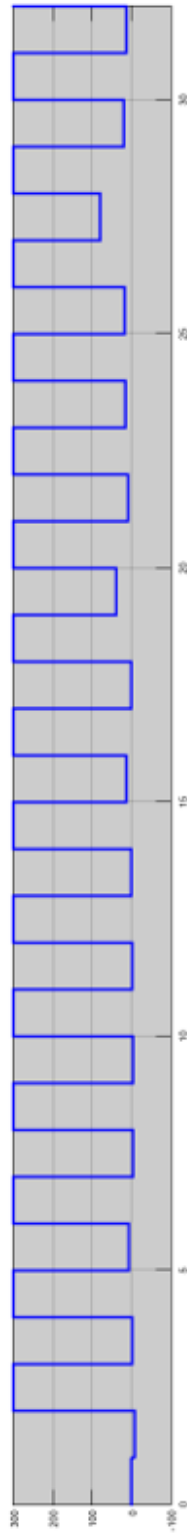


Nivel del depósito de agua.

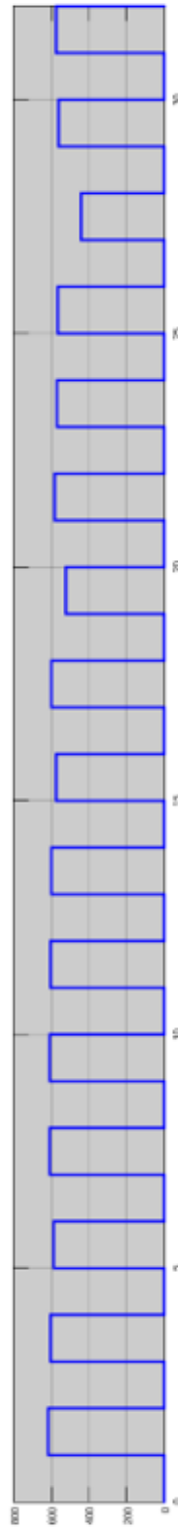
VALLADOLID – JULIO- 2005



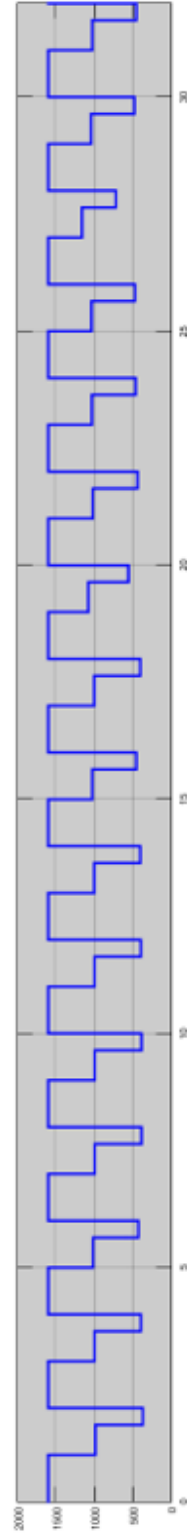
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

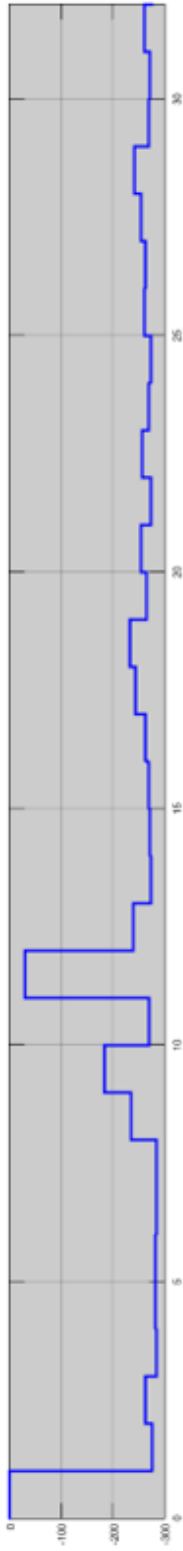


Gasto de agua debido al riego.

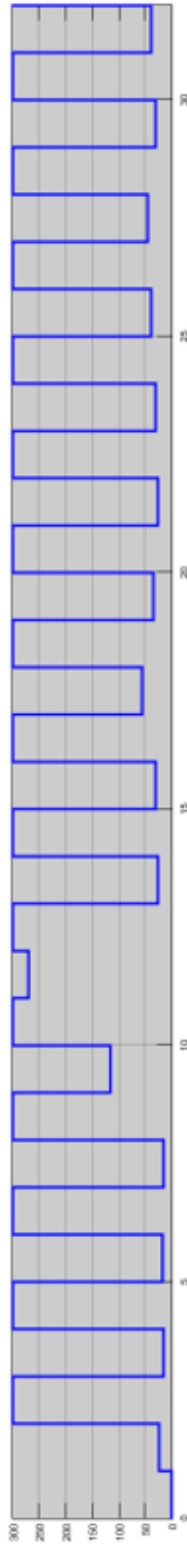


Nivel del depósito de agua.

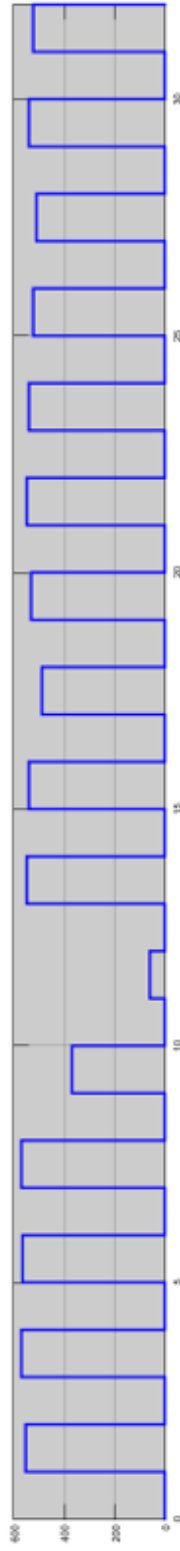
VALLADOLID - AGOSTO - 2005



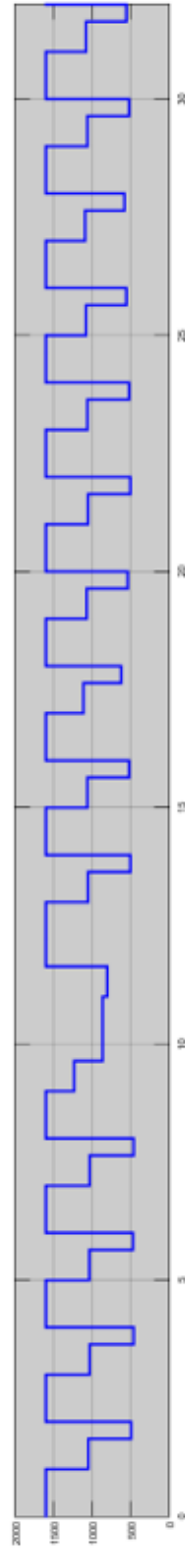
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

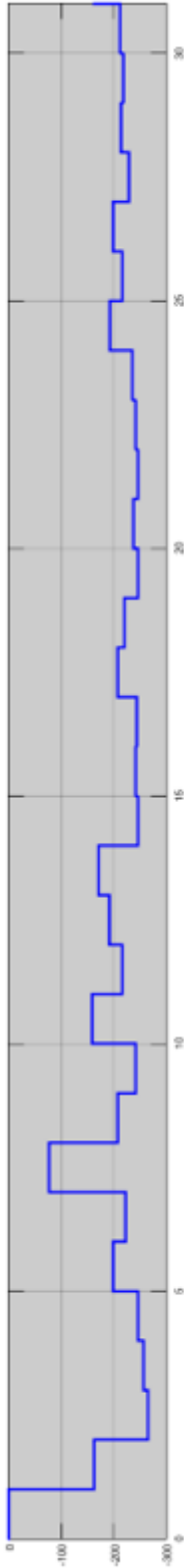


Gasto de agua debido al riego.

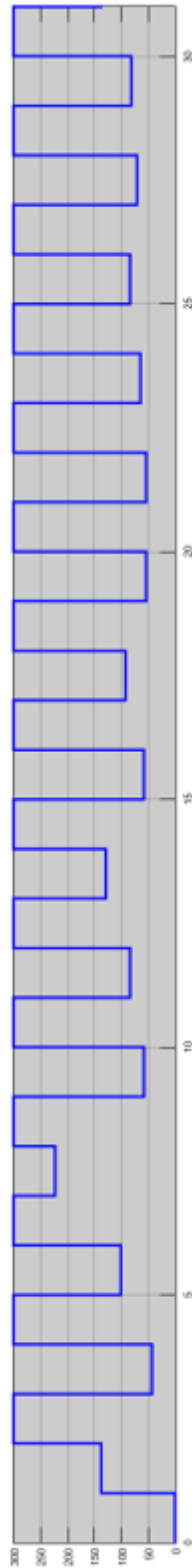


Nivel del depósito de agua.

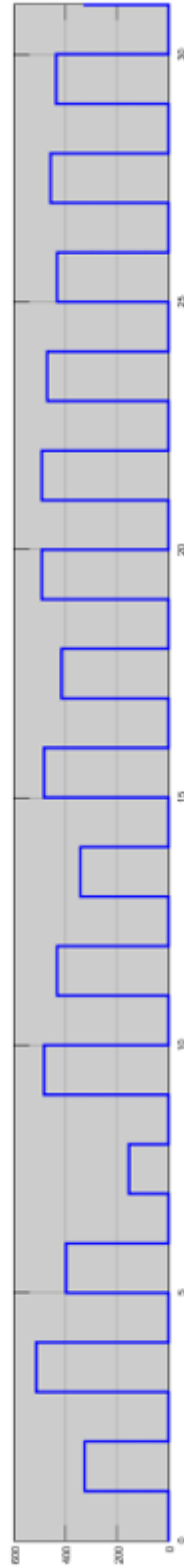
VALLADOLID - SEPTIEMBRE - 2005



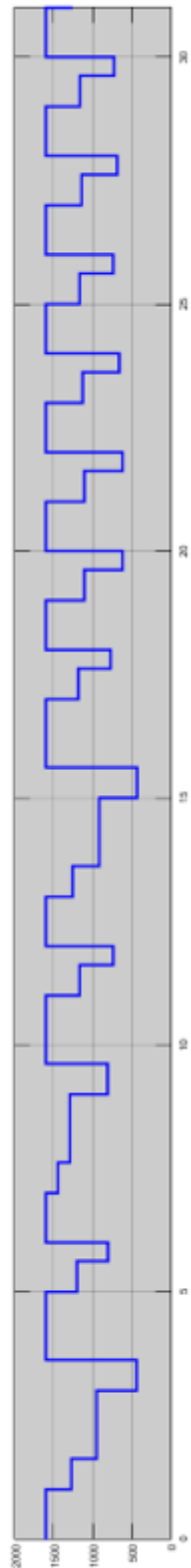
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

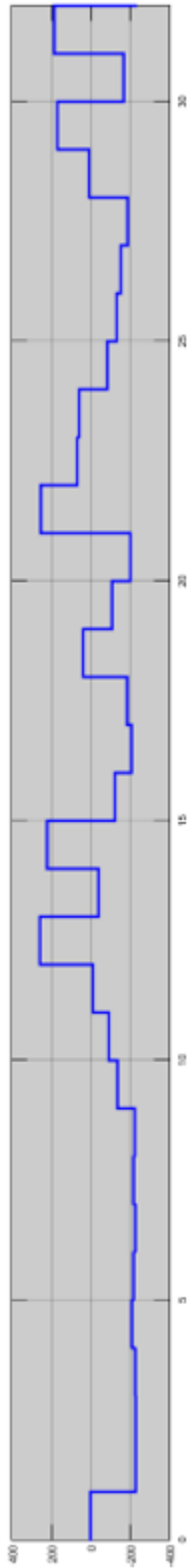


Gasto de agua debido al riego.

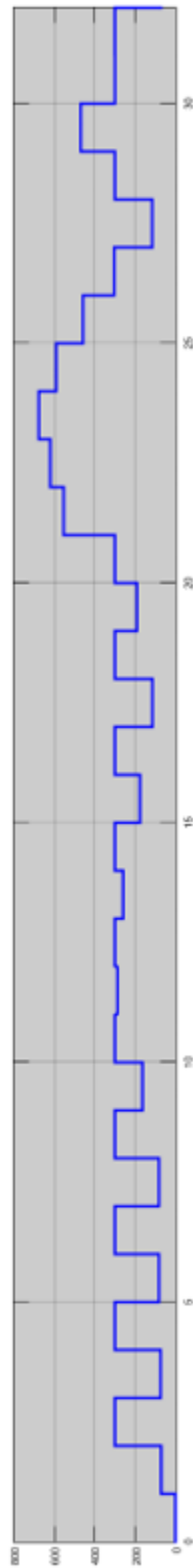


Nivel del depósito de agua.

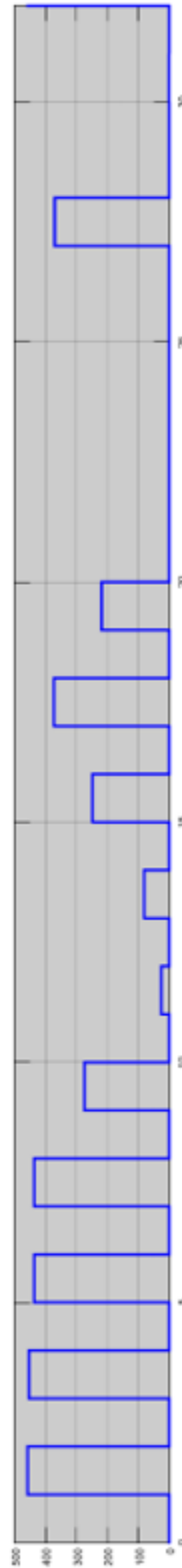
VALLADOLID – OCTUBRE- 2005



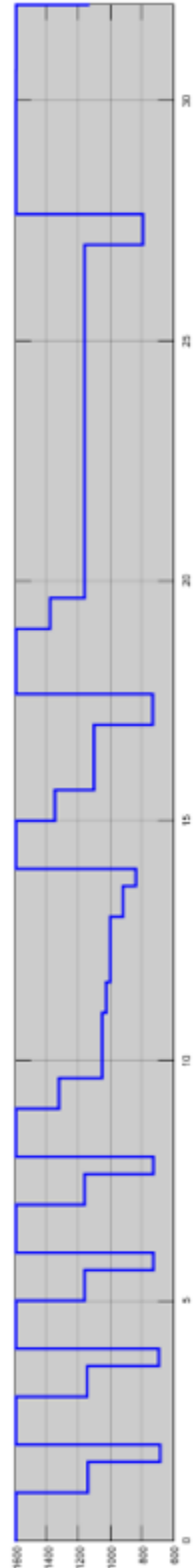
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

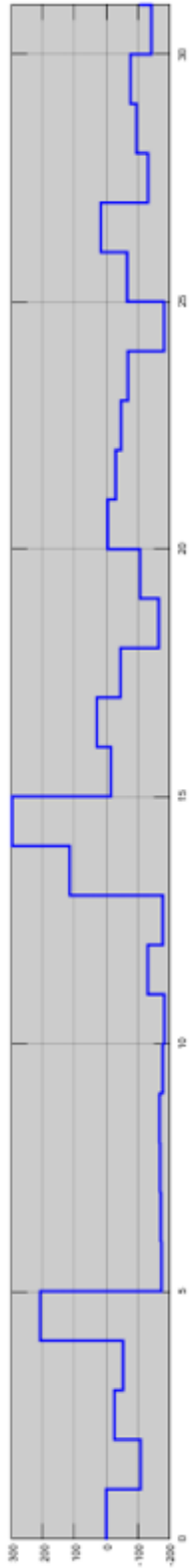


Gasto de agua debido al riego.

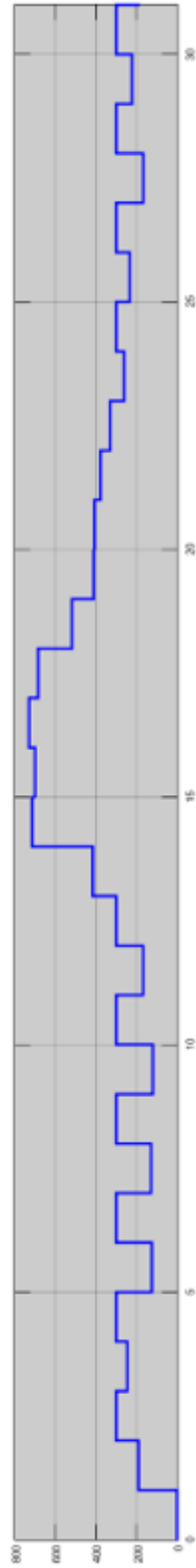


Nivel del depósito de agua.

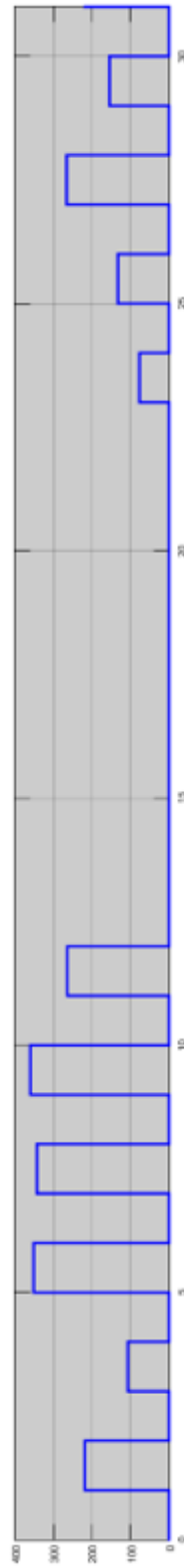
VALLADOLID – NOVIEMBRE- 2005



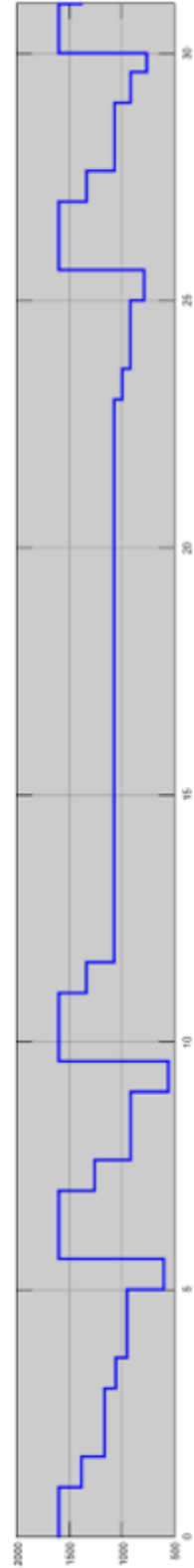
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.

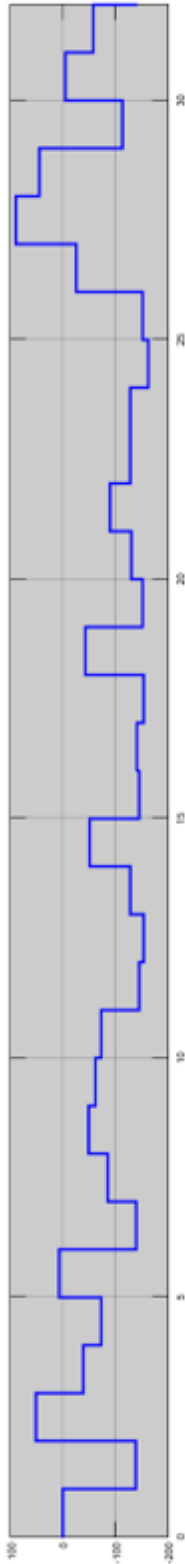


Gasto de agua debido al riego.

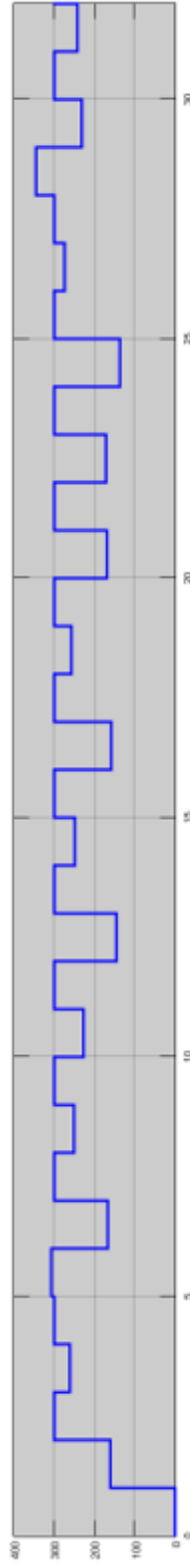


Nivel del depósito de agua.

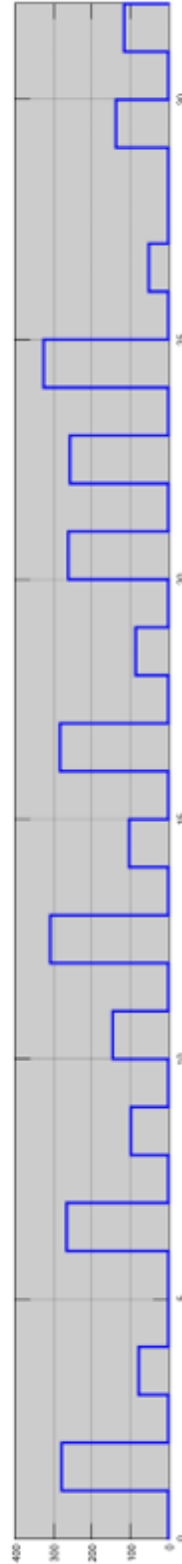
VALLADOLID – DICIEMBRE- 2005



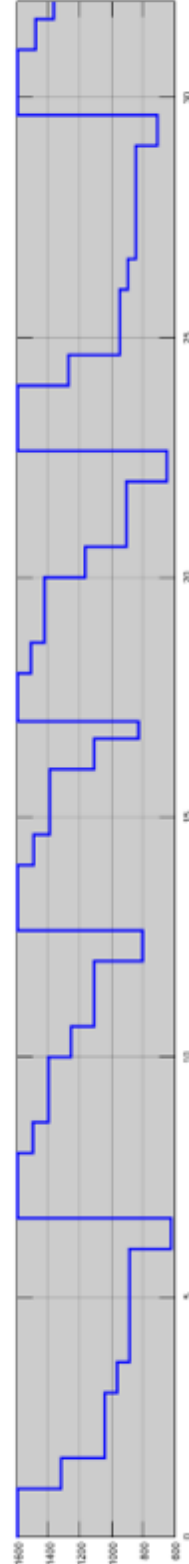
Variación de la humedad debida a factores meteorológicos.



Variación de la humedad total.



Gasto de agua debido al riego.



Nivel del depósito de agua.

9.2 Conclusiones

9.2.1 Conclusiones sobre el estudio de la humedad

Después de realizar un estudio en profundidad sobre la humedad de la tierra y los factores que la modifican se puede concluir que existen dos factores principales que actúan sobre la humedad en un área de tierra, dichos factores serían el agua que precipita sobre ella y la porosidad de la misma.

En cuanto al agua que precipita sobre la tierra puede llegar de dos formas, en forma de precipitaciones (lluvia, nieve, granizo) o mediante riego. La humedad es la cantidad de volumen de agua en un volumen de tierra, de manera que es necesario que el agua llegue a la tierra de alguna manera.

El otro factor importante es la porosidad de la tierra. De él depende la cantidad de agua que se puede infiltrar en la tierra, la velocidad a la que se infiltra en ésta, si el agua drena hacia el subsuelo o si se queda en la zona radial. El diámetro de los poros influye en si las raíces pueden extenderse a través de la tierra y si el agua en estos poros puede ser absorbida por las raíces o se mantiene estancada.

También las prácticas que más modifican la humedad de la tierra son aquellas relacionadas con el incremento o disminución de la cantidad de poros de la tierra y el diámetro de los mismos. Los pequeños organismos también son capaces de crear estos poros, de manera que un cambio en la vida de estos organismos impactaría sobre la porosidad del terreno.

Aunque decir que la humedad de la tierra depende de la porosidad parece simple, existen una gran cantidad de factores que influyen sobre dicha porosidad. De manera que calcular como variará la humedad del suelo sin haber realizado pruebas sobre un terreno en concreto es casi imposible.

9.2.2 Conclusiones sobre el estudio del clima

El clima de una zona influye en gran medida sobre la humedad de la tierra, tanto en la cantidad y regularidad de las precipitaciones, como en la cantidad de agua evaporada de la superficie de la tierra.

El factor más determinante a la hora de estudiar un clima es la latitud a la que se encuentra la zona de estudio. Debido a la forma esférica de la tierra en las latitudes bajas de la tierra se recibe más calor proveniente del sol, mientras que en las latitudes altas de la tierra el calor recibido es mucho menor.

Esto provoca que en algunas zonas de la tierra las condiciones meteorológicas sean similares año tras año, o lo que es lo mismo que tengan un clima específico. Estas condiciones climáticas han provocado que algunos tipos de vida hayan conseguido adaptarse a ellas mientras que otros no. Se denomina bioma al conjunto de plantas y animales que han sido capaces de adaptarse a unas condiciones climáticas específicas.

Estos biomas nos indican que tipo de plantas pueden o no plantarse en nuestros cultivos, ya que no todas las plantas aguantan las mismas condiciones meteorológicas.

El clima también nos permite hacer una suposición de cuáles pueden ser las necesidades de riego en los diferentes meses del año.

9.2.2 Conclusiones sobre las simulaciones

El objetivo principal de la realización de las simulaciones era la comprobación del buen funcionamiento de los bloques que componen el sistema de control creado para Arduino. Gracias a las gráficas obtenidas a través de las simulaciones se puede comprobar como la bomba de riego salta cuando la humedad es menor del valor deseado. También se puede observar como el valor del nivel del depósito está por encima de la mitad de su capacidad, lo cual es lo esperado.

Debido al tipo de simulación realizado el bloque memoria incorporado dentro del bloque que controlaba el nivel del depósito no tenía función ninguna. Los resultados hubieran sido los mismos en el caso de que se hubiera dejado puesto, pero para simplificar el modelo de simulación se decidió eliminarlo. Otra de las razones de eliminarlo es que quería realizar una simulación independiente para asegurar que el bloque original sí que funcionaba correctamente, de manera que no hubiera tenido ningún valor meter el bloque memoria en el modelo de simulación.

En el apartado 7.3 se ha comprobado que dicho bloque funciona correctamente al incluirle la memoria.

El objetivo secundario de las simulaciones era poder realizar un pequeño estudio del funcionamiento de los bloques en diversas regiones de España con climas diferentes entre sí. Con ello se observaría que el sistema funciona para condiciones de mayor o menor exigencia de riego. También ha sido una buena manera de poder observar a pequeña escala lo aprendido en el estudio sobre el clima, ya que existen microclimas diferentes entre las diferentes ciudades elegidas.

9.2.2 Conclusiones sobre el proyecto

En un principio mi objetivo al elegir este proyecto era aumentar mis capacidades de programación de Arduino. A medida que iba avanzando el proyecto añadiendo estudios teóricos, he podido observar como temas tan diferentes como el clima o la humedad de la tierra pueden relacionarse perfectamente con un proyecto de electrónica o automatización.

Al ver que podía añadir una gran parte teórica, mi objetivo paso a ser la realización de un proyecto lo más completo posible. No solo crear un programa para el control de los sistemas de riego, también añadir suficiente información para entender las necesidades de la tierra que estamos cultivando y los factores climáticos que pueden influir en nuestros cultivos.

Podría definir este proyecto como “Programa de control de sistema de riego más guía sobre cómo cuidar tu terreno y que plantar en él dependiendo del clima donde vivas”.

Otra de las cosas que me he dado cuenta al introducirme en el mundo de la agricultura es que existen una gran cantidad de temas relacionados con ella. Siendo imposible abarcar todos en un solo proyecto.

Me alegro de haber realizado este proyecto ya que no solo he aumentado mis capacidades de programación de Arduino con una plataforma que no había utilizado antes, también he adquirido una gran cantidad de conocimientos útiles. Además de haber mejorado mis capacidades de búsqueda de información, redacción, estudio de gráficas, comprensión de resultados, etc.



CAPÍTULO 10:

ANEXOS Y REFERENCIAS

10.1 Anexos.

10.1.1 Datos meteorológicos 2005.

Los datos meteorológicos utilizados para realizar la simulación se han obtenido del boletín diario de 2005 del Instituto Nacional de Meteorología. A continuación, se presentan las tablas creadas a partir de esos datos y que han servido para la realización del proyecto [19].

HORAS DE SOL / LUGO												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	0	4,8	6,4	8,7	8,4	13,5	7	7,1	4	10,4	1,1	0
2	0	1,3	6,4	8,7	5	14,2	7	11,5	9,5	10,4	0	0,2
3	0	4,8	5	8,7	4,2	9,2	7	11,6	9,5	10,4	0,4	0,2
4	7,5	5,6	5	1,4	3,7	9,2	0	13,3	9,5	10,3	0	0,2
5	7,8	5,6	5	0,8	3,7	9,2	7,2	13,3	4,4	7,6	0	0,2
6	3,2	5,6	5	0,8	9,4	13,8	4,8	13,3	6,5	6,7	0	2,9
7	8,2	3,6	7,2	0,8	9,4	14,4	3,4	13,3	6,5	6,7	6,5	0
8	8,2	3,6	10,8	0,3	9,4	14	12,5	12,3	4,9	6,7	2,2	0
9	8,2	8,1	11	0,3	8,2	12,6	12,5	1,2	7,2	6,7	2,7	0,5
10	8,3	9,3	10,5	0,3	1,9	13,7	12,5	3,9	7,2	8,2	4,5	0,5
11	0,7	7,2	10,7	12,3	2,4	13,7	14,2	0,4	7,2	1,8	0,2	0,5
12	0,7	7,2	10,7	11,9	2,4	13,7	14,1	0,4	3,2	0,9	0,2	7,6
13	0	7,2	10,7	11,8	3,1	2,5	13,9	0,4	8,7	0,4	0,2	7,6
14	0	0	5,4	5,6	3,1	0,2	13,3	0,4	8,7	0,2	0,2	0,1
15	0	2,2	6,4	1	3,1	4,6	13,3	11,7	8,3	0,2	1,9	0,1
16	0	1,1	10,5	1	2,2	2,2	13	11,5	9,4	0,2	0,7	0,1
17	7,2	2,3	4,9	1	1,9	13,9	13,3	2,1	9,4	2,5	0	0,1
18	7	3,4	10,3	0,3	1,8	13,9	2,3	10,7	9,4	0,9	3,1	0,1
19	0,1	3,4	10,3	5,6	10	13,9	7,2	10,1	11	4,7	3,1	7,6
20	0	3,4	10,3	5,6	12,4	7,9	10,5	10,1	11,5	0,9	3,1	7,4
21	7,9	0,8	0	5,6	12,4	7,4	13,3	10,1	11,4	0,1	0	6,9
22	7,9	2,5	2	5,6	12,4	0,7	9,7	12,2	8,4	0,1	3,2	7,6
23	7,9	2,9	8,3	5,6	6	11,2	9,7	12,7	6,8	0,1	6,9	3,4
24	2,5	2,9	4,2	5,6	12,7	10	9,7	7,1	6,8	6,2	8,1	3,4
25	8,1	2,9	4,6	3,9	12,4	10	0,1	9,1	6,8	5,3	3	3,4
26	2,3	2,9	4,6	1,3	12,6	10	4,8	1,1	5,9	4,5	3	1,6
27	5,5	2,9	4,6	5,6	12,9	10,4	1,3	1,1	9,4	7,3	3	0,6
28	0,8	7,2	3,7	11,7	12,9	7,3	1,3	1,1	1,5	7,3	3	0,6
29	0,8		1,4	8,4	12,9	0,6	3,5	4,3	3,2	7,3	1,6	7,2
30	0		3	8,4	0	4	3,5	10,1	10,4	7,3	1,5	0
31	4,3		0,5		13,5		3,5	8,7		0		0

Tabla 8. Horas de sol en Lugo.

PRECIPITACIONES / LUGO												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,3	0
2	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	1	35
3	0	0	3,9	4	7	0	0	0	0	0	6,6	7
4	0	0	12	3	1,2	0	0,6	0	0	0	2	5
5	0	0	1,7	2,2	0	0	0	0	0,7	0	5	6
6	0	1,5	2,8	0	0	0	0	0	0,2	0	0	6,7
7	0	0	0,9	0,2	0	0	0	0	1	0	0	4,3
8	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,7
9	0	0	0	1,3	0,1	0	0	0	0	0	27	1
10	0	0	0	0,1	0	0	0	17	15,8	0,5	0,6	0
11	0	0	0	0	23	0	0	4	11	14	0	0
12	0	0	0	0	13	0	0	0	6	19	2	0
13	14	0	0	0	1,6	0,1	0	0	0	9	14	0
14	12	2	0	2	7,1	13	0	0	0	2	24	0
15	0	0,7	0	7	7,1	0	0	0	0	9	0,1	0
16	0,1	2	0	18	29	0	0	3	0	0	0,9	0
17	0	0	0	6	5	0	0	0,2	0,2	1	0,6	0,3
18	0,6	0	0	8,1	0	0	0	0	0	4,1	0	0,3
19	3,3	0	0	12	0	0	0	0	0	13	0	0
20	0,5	0	0	2,5	0	0	0	0	0	16	1	0
21	0	1,3	12	5	1	0	0	0	0	4,8	0,3	0
22	0	7,3	5	0	5	0	0	0	0	11	0	0
23	0	2	0	3,3	4	0	0	0	0	10,2	0	0
24	0	0	3,9	9	0	0	0	0	0,2	0	0	0
25	0	0	0	15,8	0	0	0	0	0	0	3,1	0
26	6,3	5	12	0	0	0	0	6	0,4	0	13	0
27	0,7	2	12,6	0	0	0	0,1	0	0	0	4	9
28	2	0	0,9	0	0	0	13	0	0,3	4,9	1	11
29	3,2		4	0	0	10,1	6	0	0	1	1	5
30	3		2	0	0	1	0	0	0	12	1	13
31	0		0,2		0		0	0		10,3		16,5

Tabla 9. Precipitaciones en Lugo.

HORAS DE SOL / SEVILLA												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	9	9,8	0	9,1	11	1,4	12,8	12,6	10,5	9,8	9,5	9,1
2	9,1	9,7	0	2,9	9,2	11,5	12,9	11,5	10,1	9,8	8,2	7,4
3	5,6	9,7	1,4	2,9	9	11,1	12,7	12,5	10,5	7,1	8,2	2,9
4	8,8	9,5	0	1,3	12,1	12	11,9	12,4	11	9,7	8	5,1
5	9	5,6	7,7	9,6	10,2	12	9,7	12,1	8,4	10,1	8,3	0,3
6	9	8,8	9,7	8,7	9,6	12,7	10,9	7,8	8,4	10	6,3	1,7
7	9,1	3,5	9,5	7,9	11,6	12,6	12,4	11,2	8,8	10	9,6	9,1
8	9,3	2	10,2	8,6	12,2	11,5	12,6	10,3	5,6	6,2	9,7	9,1
9	0	8,8	7,5	2,6	9	12,6	12,7	7,5	9,1	8,6	6,7	8,8
10	9	9,7	7,9	11,2	10,6	11,1	12	10	10,2	2,3	9,5	8,8
11	8,1	9,2	6,4	10,3	11,2	11,3	12,3	10,4	10,2	4,1	9,6	8,7
12	9	9,9	2,2	11,4	11,4	11,3	12,3	11,7	9,2	0	9,1	8,2
13	9	10	2,8	10,7	7,5	9,9	12,2	11,5	9,2	3,2	8,2	8,8
14	9,2	9,8	7,3	10,8	4,6	8,7	12,7	11,3	10,6	10,8	4,7	9
15	8,6	10,1	6	11,3	4,6	12,5	10,5	11,9	10,6	6,5	0	4,3
16	3,7	10,4	7,1	11,6	12	12,5	10,9	11	7,2	9,6	1,3	8
17	8,4	10,5	8,5	12,1	9,2	12,8	10,9	7,5	8,5	6,6	1,3	8,5
18	9	10,3	7,6	11,9	12,8	11,4	6,8	11,1	6,1	0	3	8,8
19	9,2	10,3	6,9	2,7	12,6	12,3	12,2	9,8	8,4	4,6	5,4	8,6
20	9,3	10,2	0	11,4	12,8	12,2	12,4	2	10,6	7,7	0,4	1,1
21	9,5	10,4	0	9,2	12,2	11,2	12,1	11,2	10	2,8	0	7,4
22	9,4	7,4	6,7	11,7	9,2	10,4	12,6	11,4	10,1	8,9	2,3	8,3
23	0	7,9	8,3	10,8	12,8	7,9	12,6	12,2	0,7	0,3	0,2	7,9
24	2	7,9	4	5,4	12,8	8,4	8,5	12,2	8,9	9	8,8	0,8
25	3,4	5	7,5	11,8	10,5	10	9,2	12,2	8,1	10,1	9,4	1,3
26	7,7	0	5,4	10,8	11,2	12,3	12,6	11,9	8,8	10,4	9,4	0,7
27	7,5	10,1	6,6	11,7	12,2	10,8	12,6	8,9	10,1	10,4	8	4
28	7,7	0	6,3	12,1	12,3	6,2	10	10,4	8,9	10,4	8,7	6,5
29	9,7		3,8	11,8	7,2	12,8	12,7	12,2	9,5	1,4	4,9	0,1
30	9,7		8,8	9,9	2,1	12,7	12	11,6	9	6,5	7,9	8,4
31	9,6		10,1		2,8		12,7	11,5		2,4		3,4

Tabla 10. Horas de sol en Sevilla.

PRECIPITACIONES / SEVILLA												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	8,6
4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0
11	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	9	0	0
12	0	0	0,3	0	20	0	0	0	0	43	0	0
13	0	0	0,3	0	8	0	0	0	0	8	0,5	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
22	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0,7	0
24	0	0	2	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,8
28	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,8
29	0		0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0
30	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0	0		6,5		0

Tabla 11. Precipitaciones en Sevilla.

HORAS DE SOL / VALENCIA												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	8,3	9,2	0,2	9,8	10,7	3,7	12,7	4,2	2,3	7,1	2,6	4,6
2	5,7	9,4	0,8	5,7	10,9	10,4	9,6	2,8	6,2	7,1	5,9	6,1
3	8,2	7,8	0	5,7	0	11,9	10,7	4,4	9,7	4,4	7,2	1,8
4	8,6	8,9	6,7	2,3	10,1	11,9	12,2	12,5	11	9,1	6,6	7,5
5	8,1	3,6	0,4	8,2	6,3	9,2	5,4	12,9	9	7,5	6,6	0,6
6	8,1	8,2	10,4	2,6	9,7	6,7	4,2	12,8	10,3	9,5	7,5	5,7
7	8,6	1,9	9,2	9,7	13,2	12	9,2	12,4	9,6	4,2	9,6	7,6
8	8,5	2,1	10,6	6,6	12	12,4	9,2	12	2,2	7,4	9,4	7,1
9	7,8	2,9	11,3	5,3	12,5	12,7	0,3	5,6	0,6	4,7	9,3	6,1
10	6,7	5,9	10,3	12,3	4,9	11,2	0,8	5,6	11,4	9,5	3,6	7,6
11	6,9	9,5	9,6	12,1	10	1,6	4,8	9,4	11,7	2,4	0,9	7,5
12	8,5	9,6	6,4	11,6	10	1,6	13,2	10,2	11,8	3,2	0,8	7,1
13	7,8	6,5	7,3	12	7,2	5,6	12,8	10,1	9,5	2,5	1,6	1,5
14	5,3	9,8	8	10,2	7,6	9,7	11,5	11,8	9,5	7,6	1,6	0,2
15	8,3	10	0	10	7,6	11	11,8	11,9	10,7	2,8	0	2,4
16	7,5	9,5	10,7	9,8	13	10	11,4	10,5	10,2	7,3	7,4	4
17	1,8	7,5	8,6	10,5	5,1	12	11	4,5	9	2,8	5,1	6,6
18	6	9,9	9,1	8	5,6	12,1	7,2	2,9	2,7	0,4	9,2	7,2
19	8,8	9,9	10,7	9,4	13,5	13,3	11,4	5,3	10,2	0	3,5	0,8
20	7,3	10,2	8,2	10,5	13,6	11,7	12	0	11,1	9,1	1,7	0
21	9,2	4,2	7,5	6	13,6	12,3	11,9	6,3	11,2	9,4	0,9	0
22	9,2	6,9	0,7	8,5	7,8	8,6	11,9	12,6	10,1	8,8	0,3	7,5
23	9	6,8	8	7,7	12,3	9,9	11,2	12,2	6,4	8,6	1,8	8,4
24	8,2	0	1	7,3	10,6	9,4	9,8	12,3	1,7	6,1	3,8	8,5
25	8,6	0	10,3	8,3	13,2	9,9	11,6	10,8	4,5	8,9	7,8	5,9
26	9,1	0	4,1	12,9	13,8	12,5	10	11,2	5,5	7,9	0,3	7,6
27	8,7	10	3,5	12,9	13,5	9,5	10	10,1	7,1	5,7	7,9	2,8
28	8,9	0,2	10,9	11,8	13,7	2	11,7	8,8	5,5	5,7	8	5,5
29	8,7		6,5	13,1	12,5	4,3	10,3	8,9	5,9	0,2	6,2	0,2
30	9,4		9,9	12,8	7,9	13,3	12,4	2,9	8,4	6,5	4,6	6
31	9,4		9,9		2,8		11,3	6,8		2,6		3,1

Tabla 12. Horas de sol en Valencia.

PRECIPITACIONES / VALENCIA												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	0	0	0,5	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
2	0	0	0	6	0	0	0	3,5	0	0	0	0
3	0	0	0,3	6	3,6	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0,2	0	0	0	0	0	0	5	0,2	0	0
8	0	18	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0
9	0	22	0	0,3	0	0	2	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,1	0	0	5,3	0
11	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	44	0
12	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	9	0
13	0	0	0	0	2	0,2	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	0	8	0
15	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0	0,7	21	0
16	0	0	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	11	0	0	0	2	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2
20	0	0	0	0	0	0,9	0	0,5	0	0	0,7	0,4
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	5
22	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,5
23	0	2	0,6	0	0	16	0	0	0	1	5,6	0
24	0	9	3,2	0	0	3,2	0	0	0	0	0	0
25	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	3	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0		0	0	0	0,3	6	0	0	1,2	0	0,1
30	0,3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0,6	0		0		0

Tabla 13. Precipitaciones en Valencia.

HORAS DE SOL / VALLADOLID												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	0	3,6	10,5	9	11,9	12,5	14,4	12,9	7,6	10,7	6,5	6,5
2	0,4	1,1	10,6	7,3	8,1	13,8	14,1	12,3	12,4	10,7	1,2	3,9
3	0	6,3	10,5	7,3	12,3	12,7	14,1	13,3	12	10,6	2,5	2,1
4	7,2	9	9,1	1,9	10,8	11,7	14,1	13,2	11,5	9,8	0	3,4
5	0	8	10,1	4,3	11,8	13,4	13,7	13,2	9,3	10,2	8,2	0,3
6	0	6,3	7	9,6	13,2	15	14,2	13,3	10,4	10,6	8,1	6,6
7	0	0	6,9	7,3	13,2	14	14,2	13,3	5,7	10,2	8	4
8	0	0	10,6	9,1	12,1	15,1	14,1	11	9,7	10,5	7,9	2,3
9	1,4	8,4	10,9	8,5	12,6	14	14,2	8,6	11,3	6,4	8,4	2,9
10	0	9,3	9	10,3	9,7	13,9	14,1	12,7	8,2	4,5	8,7	3,4
11	2	8	9,2	12	7,2	9,3	14,1	3,5	10,1	2	6,3	6,8
12	1	8	10	12,4	4,2	9,3	14,1	11,2	9,1	3,4	8,4	7,2
13	0	3,4	10,6	9,4	15	14	14	12,8	8	5,4	0,2	6
14	0	8,7	9,5	11,4	8,4	10,3	11,6	12,7	11,5	0,9	0	2,4
15	1,3	9,7	7,4	5,7	8,4	11	13,4	12,6	11,3	5,8	0,7	6,8
16	4,5	4,7	0	9,5	7,5	14,1	13,6	12,3	11,4	9,7	0	6,6
17	4	9	7,4	11,5	4,3	14,1	14	11,4	9,7	8,7	2,1	7,2
18	0	7,2	7,2	1,5	11,2	14,2	13,8	10,9	10,3	0,1	7,8	2
19	2,8	8	10,6	9,3	13,6	9,8	12,2	12,4	11,5	5,1	5	7,1
20	8,7	8,3	9,3	8,3	14	9,8	13,9	11,9	11,1	10	0,2	6,1
21	7,9	6,4	4,1	1,3	13,3	11,2	13,6	12,8	11,5	0,8	1,4	4,2
22	1	8,4	1,6	6,2	6,2	14,2	13,6	12	11,3	0,4	2,2	6
23	5,5	1,3	9,7	10	14,8	10,9	13,3	12,6	11	0,3	3,2	6
24	3,5	0	4,8	7	13,7	5	13,6	12,8	9	4	8,6	7,6
25	8,1	6,9	7,7	8,5	13,1	12,6	13,2	12,2	10,1	6,2	3,1	7,1
26	5,3	8,9	3	12,9	13	12,9	10,7	12,3	9,3	7,2	0,6	1,2
27	8,6	8,5	6,1	13	13	14,4	10,3	11,9	10,7	8,8	6,2	0
28	4,3	7,8	8,3	12,9	13,7	13,1	12,5	11,3	10	8,8	4,5	0
29	2,3		1,5	11,6	9	13,7	13,1	12,6	10,2	0	3,6	5,3
30	2,1		9,8	10,5	1,2	14,2	13,1	12,7	9,9	8	6,7	0,5
31	6,8		6,7		7,3		13,4	12,2		0,5		2,7

Tabla 14. Horas de sol en Valladolid.

PRECIPITACIONES / VALLADOLID												
D\M	E	F	M	A	MY	JN	JL	AS	S	O	N	D
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
2	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	9
3	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0,4
4	0	0	0	4,2	0	0	0	0	0	0	14	0
5	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0,9
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
7	0	5	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
8	0	3,4	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	4	0	0	0,1	1,1	0,2	0,1	0
11	0	0	0	0	0,7	2	0	3	0	2	0,2	0
12	0	0	0	0	4	2	0	0	0,2	22	0	0
13	0,8	0	0	0	0,9	0	0	0	0	5	8	0
14	1,4	0	0	0	0,1	0	0	0	0	16	20	0
15	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
17	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	2,6	0	0
19	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,8	0	0
21	0	0	2	0,9	0	0	0	0	0	18	0	0
22	0	0	5,4	0	0	0	0	0	0	5	0	0
23	0	0	0	0	0	2,2	0	0	0	4,2	0	0
24	0	0,4	0,7	0,6	0	1	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	2,7	0	0	0	0	0	0	0	2	0
27	0	0	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	3
29	0		1	0	0	0	0	0	0	11,2	0	0
30	0		0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,4
31	0		0		0		0	0		13		0

Tabla 15. Precipitaciones en Valladolid.

10.2 Referencias

A continuación, se exponen las distintas fuentes de información utilizadas para la realización del proyecto.

- Páginas web de referencia:
 - [1] Centro virtual de información del agua. El primer mapamundi de la humedad del suelo servirá para hacer análisis retrospectivos y validar modelos climáticos. Recuperado de: <http://www.agua.org.mx/biblioteca-tematica/hidrometeorologia/mas-documentos/21714-el-primer-mapamundi-de-la-evolucion-de-la-humedad-del-suelo-servira-para-hacer-analisis-retrospectivos-y-validar-modelos-climaticos>
 - [2] Manejo de la humedad del suelo, Compresión del movimiento del agua en el suelo. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf
 - [3] Factores que influyen sobre el contenido de humedad del suelo. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf
 - [4] Prácticas que reducen el contenido de humedad del suelo. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf
 - [5] Prácticas que incrementan el contenido de humedad del suelo. Recuperado de: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf
 - [6] El tiempo y el clima. Meteorología y Climatología. Recuperado de: <http://www.astromia.com/tierraluna/meteorologia.htm>
 - [7] Clima y Cambio global. ¿Qué controla el clima? Recuperado de: <http://www.windows2universe.org/earth/earth.html&lang=sp>
 - [8] El tiempo y el clima. Las estaciones del año. Recuperado de: <http://www.astromia.com/tierraluna/estaciones.htm>
 - [9] Tipos de biomas en el mundo. Recuperado de: <http://www.biopedia.com/tipos-biomas>

- [10] El tiempo y el clima. Elementos del clima. Recuperado de:
<http://www.astromia.com/tierraluna/elemclima.htm>
 - [11] El tiempo y el clima. Vientos y precipitaciones. Recuperado de:
<http://www.astromia.com/tierraluna/vientolluvia.htm>
 - [12] El tiempo y el clima. Frentes, borrascas y anticiclones. Recuperado de:
<http://www.astromia.com/tierraluna/frentes.htm>
 - [13] El tiempo y el clima. Climas del mundo: Lluviosos. Recuperado de:
<http://www.astromia.com/tierraluna/climas.htm>
 - [14] El tiempo y el clima. Climas del mundo: secos y fríos. Recuperado de:
<http://www.astromia.com/tierraluna/climaseco.htm>
 - [15] Efectos del cambio climático actual. Recuperado de:
http://www.windows2universe.org/earth/climate/cli_effects.html&lang=sp
 - [16] Simulink. Mathworks. Simulación y diseño basado de modelos. Recuperado de:
<http://es.mathworks.com/products/simulink>
 - [17] Instituto Politécnico Rensselaer de Nueva York. Rensselaer Arduino Support Package (RASPIb). Recuperado de:
<http://homepages.rpi.edu/~hurstj2>
 - [18] Arduino. Arduino Products. Recuperado de:
<https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
 - [19] Biblioteca virtual de prensa histórica. Boletín meteorológico del Instituto de Meteorología de España. Boletín diario. Recuperado de:
http://prensahistorica.mcu.es/es/publicaciones/numeros_por_mes.cmd?anyo=2005&idPublicacion=1001303
- Proyectos consultados:
 - Control PID basado en eventos de un seguidor lumínico y red de sensores inalámbrica. (Herrero Sobrino, Jesús Ángel).