



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

Estudi de mesures ambientals i adequació pel cultiu en un hivernacle geodèsic

Estudiant: Joan Fondevila Piera

Especialitat: Explotacions Agropecuàries

Tutors
Oriol Batiste i Boleda
Eloi Pineda i Soler

2015

Estudi de mesures ambientals i adequació pel cultiu en un hivernacle geodèsic

Estudiant: Joan Fondevila Piera

Tutors: Batiste Boleda, Oriol
Pineda Soler, Eloi

Resum:

El Treball té l'intenció de seguir amb el Projecte del Hivernacle Geodèsic que hi ha al camp de pràctiques de l'ESAB. Aquest projecte és va iniciar amb un altre TFC anomenat: "Construcció d'un hivernacle geodèsic amb un sistema solar passiu per la producció de plàntules per a l'horticultura". Amb aquell Treball és va construir l'hivernacle, és van introduir mecanismes d'acumulació tèrmica i es va fer la comparativa de preus entre els hivernacles convencionals i el geodèsic.

Amb aquest Treball s'aprofundeix en el recull de dades ambientals a l'exterior i l'interior de l' hivernacle (temperatura del aire, temperatura del sòl, humitat relativa i radiació solar), estudiant-ne la diferència, eficàcia i viabilitat tant del propi hivernacle com dels mecanismes d'acumulació tèrmica.

També s'ha adequat l'hivernacle per poder fer cultiu experimental d'horticultura, on el pretès és poder realitzar estudis de diferents cultius coneixent les variables ambientals. Estudiant i resolent les necessitats del cultiu, fent un estudi sobre la variació de les mesures ambientals provocades i experimentant la viabilitat del propi cultiu.

Estudio de datos ambientales y adecuación para cultivo en un invernadero geodésico

Estudiante: Joan Fondevila Piera

Tutores: Batiste Boleda, Oriol
Pineda Soler, Eloi

Resumen:

El Trabajo tiene la intención de seguir con el proyecto del Invernadero Geodésico que hay en el campo de prácticas de la ESAB. Este proyecto se inició con otro TFC: "Construcción de un invernadero geodésico con sistema solar pasivo para la producción de plántulas para la horticultura". Con ese trabajo se construyó el invernadero, se introdujeron los mecanismos de acumulación térmica y se hizo la comparativa de precios entre los invernaderos convencionales y el geodésico.

Con este Trabajo se profundiza en la recopilación de datos ambientales en el exterior y el interior del invernadero (temperatura del aire, temperatura del suelo, humedad relativa y radiación solar), estudiando su diferencia, eficacia y viabilidad tanto del propio invernadero como de los mecanismos de acumulación térmica.

También se ha adecuado el invernadero para poder hacer cultivo experimental de horticultura, donde lo pretendido es poder realizar estudios de diferentes cultivos conociendo las variables ambientales. Estudiando y resolviendo las necesidades del cultivo, haciendo un estudio sobre la variación de las medidas ambientales provocadas y experimentando la viabilidad del propio cultivo.

Study of environmental measurements and adequacy for horticultural growing in a geodesic greenhouse

Student: Joan Fondevila Piera

Tutors: Boleda Batiste, Oriol
Pineda Soler, Eloi

Summary:

The Work has the aim of continuing the Geodesic Greenhouse Project that is in the practice field of ESAB. This project began with another TFC entitled "Construction of a geodesic greenhouse with a passive solar system to produce seedlings for gardening". With that work the greenhouse was built, thermal storage mechanisms were introduced and price comparison between conventional greenhouses and geodesic were realized.

The current work deepens the compilation of environmental data outside and inside the greenhouse (temperature of the air, soil temperature, relative humidity and solar radiation), studying their differences, and the effectiveness and viability of both the greenhouse itself as well as the thermal storage mechanisms.

The greenhouse is also prepared for experimental horticultural growing, where it is intended to carry out studies of different crops under controlled environmental variables; studying and meeting the needs of the crop, making a study of the variation caused by the environmental conditions and testing the viability of the crop itself.

ÍNDEX

1	Introducció i objectius.....	4
1.1	Antecedents.....	4
1.2	Història.....	4
1.3	Objectius	6
2	Sistema de cultiu	7
2.1	Sistema de Cultiu i Reg	7
2.2	Muntatge	9
2.3	Experiment del cultiu.....	11
3	Mesures experimentals.....	14
3.1	Introducció.....	14
3.1.1	Descripció del sistema de mesura.....	14
3.1.2	Tractament de les dades experimentals.....	15
3.2	Temperatura del sòl	15
3.3	Dades climàtiques	18
3.3.1	Temperatura ambiental.....	18
3.3.2	Humitat relativa.....	18
3.3.3	Radiació fotosintètica activa	18
3.3.4	Llum diària integral DLI	19
3.4	Resultats.....	22
3.4.1	Setmana 1: 4 al 10 de desembre.....	22
3.4.2	Setmana 2: 11 al 17 de desembre.....	24
3.4.3	Setmana 3: 18 al 24 de desembre.....	26
3.4.4	Setmana 4: 25 al 31 de desembre.....	28

Estudi de mesures ambientals i adequació pel cultiu en un hivernacle geodèsic

3.4.5	Setmana 5: 1 al 7 de gener	30
3.4.6	Setmana 6: 8 a 14 gener	32
3.5	Discussió dels resultats	34
4	Conclusions finals	36
5	Bibliografia	38
6	Agraïments	39

1 Introducció i objectius

1.1 Antecedents

Aquest treball té la voluntat de continuar amb el projecte Construcció d'un hivernacle geodèsic amb un sistema solar passiu. Projecte en el qual agafa un punt de partida que es l'hivernacle. Aquest hivernacle es habilitat per realitzar-hi un cultiu amb un sistema de reg. També s'agafen les dades meteorològiques per estudiar els resultats del sistema solar passiu. [1]



Imatge 1 Fotografia de Francesc García i Blasco (Castelldefels, 2012). *Construcció d'un hivernacle geodèsic amb un sistema solar passiu.*

1.2 Història

En l'antiguitat, no existien hivernacles tal i com els coneixem avui en dia encara que ja sabien desenvolupat algunes tècniques per cultivar hortalisses i flors fora de temporada. A Egipte, Grècia, Roma y Xina ja cultivaven plantes en tests que traslladaven en patis coberts durant la nit o durant períodes de fred. [2,3]

Ja en el segle XV al nord d'Itàlia i al sud d'Alemanya van ser usuals les cabanes de protecció durant l'hivern. Més endavant durant el segle XVII es van estendre per Europa les "orangeries" (popularitzades a Anglaterra al segle XVI) i reemplaçant les cabanes d'hivern. Com el seu nom indica el que més es cultivava era el taronger. S'utilitza per primera vegada finestres de vidre orientades a sud i començava també ha haver-hi alguns sistemes de calefacció rudimentaris. A partir del segle XVIII es comença un gran interès per conservar l'energia dintre de l'hivernacle mitjançant cortines i porticons per les finestres. Encara però el seu ús no és gaire generalitzat.

Durant la industrialització el desenvolupament en la tecnologia dels hivernacles i l'abaratiment de costos va comportar una forta expansió. Es començà a parlar de finestres de doble vidre i es desplaçà el focus dels hivernacles escalfats per estufes o matèria orgànica en descomposició a calefacció integral amb calderes.

A Holanda al 1937 es construeix el primer hivernacle amb estructura d'acer i coberta a base de vidre. Ja a partir de la primera guerra mundial és descobren els plàstics i amb ells el seu ús en agricultura. Llavors és quan deixen d'estar restringides per a ús de cultius d'alt valor adquisitiu com plantes exòtiques, medicinals i ornamentals. Aquesta forta expansió comporta una especialització dels hivernacles a tots els tipus de cultius i a dissenyar formats diversos amb interessos productius i no tan estètics.



Imatge 2 Fotografia de Benjamín Núñez González (París, 2014). *Invernadero del Jardín de las Plantas de París*.
Viquipèdia.

Durant els anys 60 del segle 20 a Estats Units d'Amèrica l'arquitecte, matemàtic i enginyer Robert Buckminster-Fuller va popularitzar les estructures geodèsiques com al mitjà més fort, lleuger i eficient conegut per l'home per tancar un espai. Això provocà una innovació que es podia aplicar a molts camps com el dels hivernacles. Un exemple és el projecte de la Universitat de Fordham que creà un equip interdisciplinari Fordham Urban Solar EcoSystem (FUSES) per a la realització d'un hivernacle geodèsic de baix cost alimentat per energia solar.

Actualment hi ha diverses empreses que comercialitzen hivernacles geodèsics sobretot a nivell d'usuaris d'autoconsum o petits productors.

Estructures d'hivernacle:

Les estructures d'hivernacle són molt diverses, van des de les més senzilles, fetes artesanalment amb material i coneixements locals, fins a les altament mecanitzades i equipades fetes industrialment.

Per classificar-les es solen definir 3 paràmetres:

- Característiques constructives: geometria, pendent de la coberta i orientació.
- Material coberta: vidre, plàstic rígid, plàstic flexible o combinació d'aquests.
- Material estructural: acer, alumini, fusta...

1.3 Objectius

Aquest treball es realitza en l'hivernacle geodèsic amb sistema solar passiu ubicat al camp de pràctiques del costat de l'ESAB. S'ha proposat seguir projectes anteriors realitzats en aquest hivernacle aconseguint els següents objectius:

- Recopilar i estudiar les dades meteorològiques i ambientals, tant de l'interior com de l'exterior de l'hivernacle.
- Estudiar la influència de l'hivernacle en la temperatura del sòl i subsòl.
- Dissenyar un sistema de reg i implementar un cultiu viable.
- Preparar la instal·lació experimental per estudiar en futurs treballs la influència dels factors meteorològics en els nivells de CO₂ sense cultiu i comparar-ho amb els nivells amb cultiu.

2 Sistema de cultiu

2.1 Sistema de Cultiu i Reg

L'objectiu del projecte és cultivar un cultiu en l'hivernacle i veure si aquest cultiu és viable, alhora que estudiem les dades ambientals captades pels sensors.

Per poder realitzar aquest procés es va haver de dissenyar un sistema de cultiu que respongués a les necessitats de l'estudi. Aquestes necessitats es basen en el sentit de simplificar el màxim el muntatge i el maneig del propi cultiu. En aquest aspecte s'ha de considerar que el rendiment i altres consideracions agronòmiques s'han deixat de banda per prioritzar els criteris següents.

- Simplificació del cultiu

A raó d'aquest estudi es va buscar un cultiu que fos poc exigent amb les seves necessitats i que tingués un cicle curt.

Amb aquesta idea es va escollir un cultiu d'aprofitament de fulla (rendiment associat al creixement vegetatiu). Al no ser d'aprofitament de flor ni de fruit va simplificar molt el sistema de cultiu perquè la floració i fructificació són dos etapes en les quals les necessitats del vegetal canvien. També es descartà que fos d'aprofitament d'arrel o tubercle, per minimitzar la influència del sòl i que tingués més incidència en la humitat i així és veïés més afectada per la radiació i la temperatura (tres dels paràmetres estudiats en el projecte).

De tots els vegetals, el que va ser escollit tenint en compte les característiques anteriors va ser l'enciam.

- Senzillesa de maneig

Per aconseguir aquest propòsit es va decidir cultivar directament en sac de substrat, homogeneïtzant així el sòl i eliminant aquesta variable.

També es va muntar una instal·lació de reg automàtic per degoteig.

➤ Aprofitament de l'espai

Per dur a terme el cultiu i alhora poder fer les mesures dels sensors només es va cultivar en un part de l'hivernacle. També es va decidir cultivar sobre fustes a una alçada del terra, facilitant tan l'observació com el maneig, i alhora acabant de maximitzar l'espai, utilitzant el de sota del cultiu per deixar els bidons d'aigua d'esmorteïment tèrmic, els recanvis i les eines.

2.2 Muntatge

El muntatge el dividirem en 3 fases:

- -Condicionament de l'hivernacle.

Primer es va moure tots els bidons d'aigua per fer prou espai per muntar l'estructura. Tot seguit es va col·locar els cavallets a la llargada dels llistons, uns 2,3 m, i es van col·locar els dos llistons. Finalment es van posar les fustes de vestida de manera que entre les 5 fessin una taula de treball.



Imatge 3 Detall de la taula de treball

- -El reg intern de l'hivernacle



Imatge 4 Instal·lació de reg on es visualitza marc de plantació.

Es va decidir un marc de plantació de aproximadament 20x20cm. Primer es va tallar el tub de distribució (de 13mm) en 9 trams de 20 cm i es van col·locar els connectors en T (13mmx2 a 4,6mm) unint en línia els trossos de tub al final del tub de distribució. Després, d'aquest mateix tub es va tallar un tram suficientment llarg per arribar al cabalímetre i el temporitzador. També es va incorporar un reductor de pressió com a protecció del temporitzador.

Tot seguit es van fer 30 talls de 20 cm del tub de ramificació (de 4,6 mm), dividint-los en 10 grups de 3. Un dels talls de cada grup es va ajuntar amb els connectors amb T del tub de distribució perpendicularment i tot seguit es posaren en línia els altres 2 talls units amb els degotejadors T (4,6mmx2 a degoteig). Al final de cada ramificació es col·locà un degotejador simple finalitzant la ramificació.

➤ La part exterior

Del reductor de pressió es connectà una manega de jardí d'uns 20 m que es va fer passar per una rasa per sota de l'hivernacle fins arribar al punt d'aigua on es va connectar.



Imatge 5 Temporitzador i cabalímetre



Imatge 6 Reductor de pressió



Imatge 7 Detall de la manega connectada al punt d'aigua

2.3 Experiment del cultiu

Cronologia:

- 2 d'octubre: Compra del material de construcció del sistema de reg.
- 10 d'octubre: Muntatge del sistema de reg.
- 15 novembre: Estudi del subsòl.
- 27 novembre: Compra del substrat.
- 3 de desembre: Compra dels plançons i plantació.
- 4 de desembre: Inici del estudi.
- 11 de desembre: Revisió i recopilació de les dades.
- 18 de desembre: Revisió, recopilació de les dades i reg manual.
- 21 de desembre: Revisió i reg manual.
- 25 de desembre: Revisió, recopilació de les dades i reg manual.
- 28 de desembre: Revisió i reg manual.
- 2 de gener: Revisió, recopilació de les dades i reg manual.
- 5 de gener: Revisió i reg manual.
- 8 de gener: Revisió, recopilació de les dades i reg manual.
- 12 de gener: Revisió i reg manual.
- 15 de gener: Recopilació de dades i final.



Imatge 8 Plançons d'enciam

El període de l'estudi comença el dia triat per la plantació dels 30 plançons que serà el dia 3 de desembre.

En la plantació utilitzem els sacs de substrat per uniformar el sòl on farem la plantació. Fem 3 forats a cada sac prou grans perquè a part del planter, la terra també tingui un intercanvi d'oxigen. Després plantem els 30 plançons amb molta cura. Finalment subjectem la instal·lació de

reg mitjançant uns suports clavats directament al substrat de manera que el tub de distribució amb el comptagotes quedi just al costat de cada plançó.

Comencem a recopilar dades des del dia 4 de desembre anant regularment un cop a la setmana a buidar la memòria els sensors i a revisar qualsevol problema amb el reg.



Imatge 9 Plantació dia 3 de desembre

La setmana de l'11 al 18 de desembre se'ns comunica que l'aigua de reg del camp de practiques de l'edifici de l'ESAB esta contaminada i que queda l'aigua tallada fins a nou avís. A causa d'això vam decidir seguir temporalment regant manualment venint periòdicament a regar amb garrafes. Aquest fet que després es va veure com a definitiu, provocar que tot hi que la instal·lació de reg va funcionar, només s'utilitzà durant una setmana i escaig. Vam haver de regar de forma manual 2 cops per setmana, cosa que va fer que l'estudi del funcionament del reg conclogués sense cap incidència en el funcionament.



Imatge 11 Plantació dia 11 de desembre



Imatge 10 Detall enciam dia 25 de desembre

El dia 15 de gener vam decidir concloure l'estudi en veure que amb aquestes 5 setmanes els enciams ja s'havien desenvolupat el suficient per comprovar que el cultiu era viable.



Imatge 12 Plantació dia 8 de gener



Imatge 13 Plantació dia 15 de gener. Finalització d'experiment

3 Mesures experimentals

3.1 Introducció

3.1.1 Descripció del sistema de mesura.

Per a realitzar les mesures hem utilitzat un Data Logger WatchDog Micro Station (1000 Series) de l'empresa Spectrum Technologies, Inc. El sistema de mesura es va situar a dins de l'hivernacle muntat en un trípede amb els sensors a 1m de terra. Les variables que hem mesurat són les següents:



Imatge 14 Detall del sensor Logger WatchDog i el seu protector

- Temperatura ambient interior a 1 m d'altura.
- Humitat relativa interior.
- Temperatura ambient exterior a 1 m d'altura.
- Temperatura del subsòl a 20 cm de profunditat i 1 m del perímetre a l'interior de l'hivernacle (sensor resistiu).
- Temperatura del subsòl a 20 cm de profunditat i 20 cm del perímetre a l'exterior de l'hivernacle (sensor resistiu).
- Radiació PAR 400-700 nm($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$).

Totes les mesures es van realitzar a intervals de 1 min. Cada setmana procedíem a descarregar les dades i reinicialitzar el Data Logger per tal de no esgotar la memòria. Les dades obtingudes queden guardades en fitxer de text on hi consta la dada i l'hora exacta de la mesura. El rellotge se sincronitza amb un ordinador cada vegada que iniciem una mesura nova.

3.1.2 Tractament de les dades experimentals

Les dades experimentals obtingudes amb l'estació de mesura s'han tractat i representat gràficament per tal de poder extreure conclusions sobre el comportament tèrmic de l'hivernacle i l'impacte que les variables climàtiques interiors tindran sobre els potencials cultius.



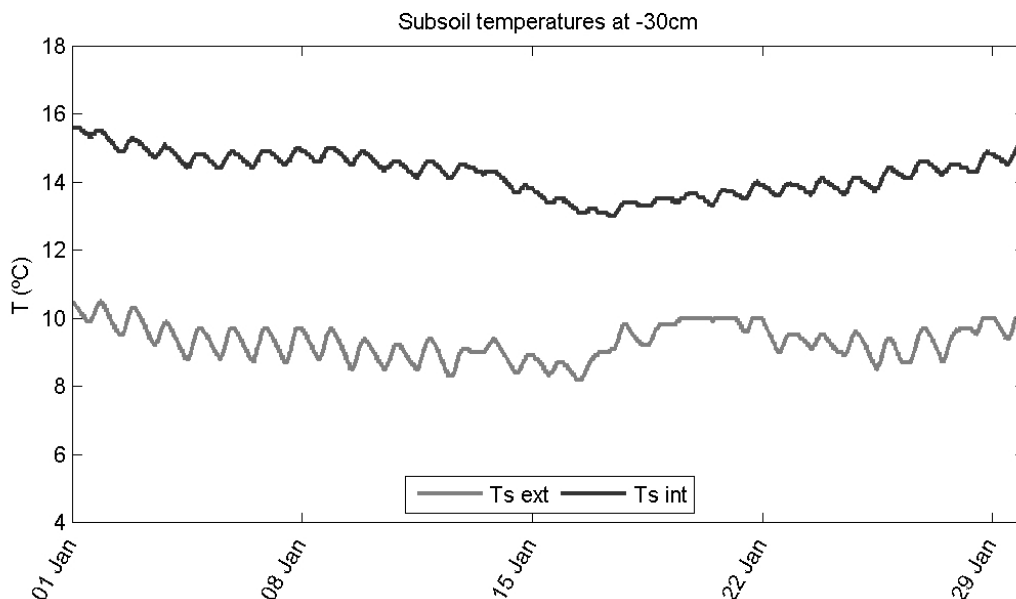
Imatge 15 Sensor Logger Watch Dog muntat

Per a calcular els graus dia acumulats, i el valor del DLI, s'han aproximat les integrals de les sèries temporals utilitzant la regla de Simpson. Per a això hem utilitzat uns programes en Matlab que llegeixen les dades dels fitxers de sortida proporcionats pel Data Logger, i que permeten fer la representació gràfica i el càlcul de les integrals.

3.2 Temperatura del sòl

Per fer l'estudi de la temperatura del sòl vam realitzar 2 reculls de dades.

El primer va ser el dels 2 sensors col·locats a 30 cm de profunditat, un a un metre a l'interior l'hivernacle i l'altre a un metre a l'exterior de l'hivernacle.

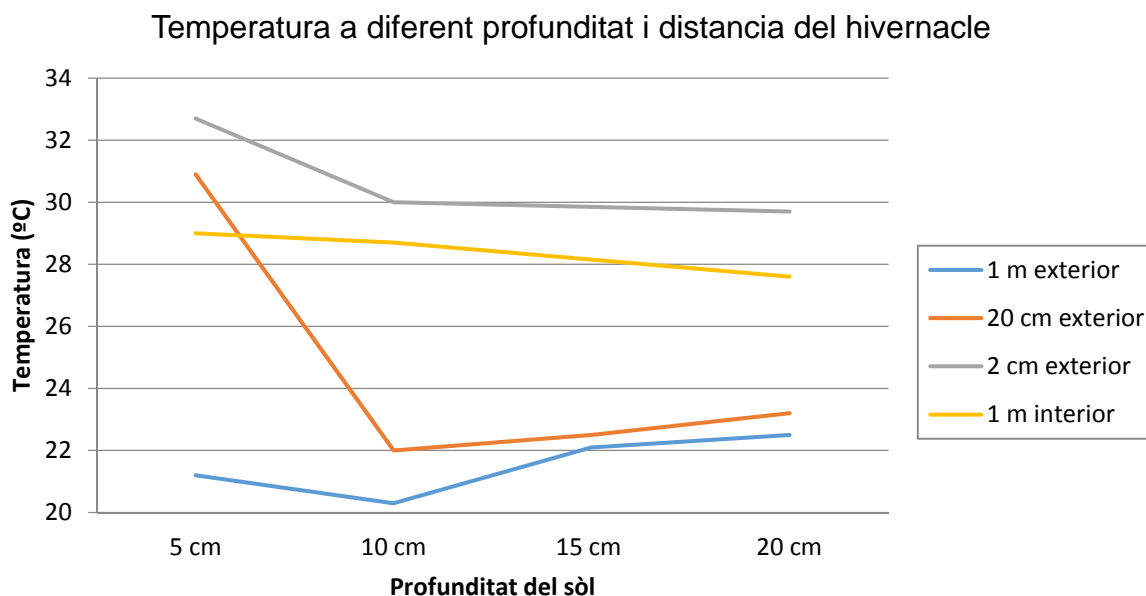


Gràfica 1 Gràfica de temperatures del sòl a 30cm de profunditat. Veiem en negre la temperatura del sòl a un metre a l'interior de l'hivernacle i en gris la temperatura del sòl a un metre al exterior de l'hivernacle.

En la gràfica 1 es mostra la temperatura mesurada per aquests sensors, i comprovem que el sòl també exerceix de reservori de calor del hivernacle al trobar-se aproximadament a 4-5°C més de temperatura a l'interior que l'exterior. També observem com les fluctuacions durant el dia són més pronunciades a l'exterior que a l'interior, fet que fa que la temperatura del sòl a l'interior sigui més estable.

L'altre recull de dades el vam fer per estudiar la diferència de temperatura a diferents profunditats i a diferents distàncies de l'hivernacle.

El dia d'aquest estudi va ser el dia 9 d'octubre de 11:20 a 13:00h. La temperatura exterior era de 24°C.



Gràfica 2 Gràfica de la temperatura del sòl a diferents profunditats. Les línies de colors són les temperatures a diferents distàncies del hivernacle; 1 m a l'exterior en blau, 20 cm a l'exterior en vermell, 2 cm a l'exterior en blau i 1 m a l'interior en lila.

Tal com veiem en la gràfica 2 i també en l'anterior gràfica 1, la temperatura del sòl ens indica que el sòl és un reservori de calor, on les diferències estan més accentuades a prop de la superfície i s'estabilitzen als 10 cm de profunditat. Veiem que curiosament la bombolla de calor produïda per l'hivernacle no és homogènia i que la temperatura més alta es troba just a la vora de l'hivernacle i no a l'interior. Observem com la bombolla provoca una afectació molt important a 5cm de profunditat a bastant distància de l'hivernacle mentre que a partir de 10 cm l'afectació ja no es nota. A un metre a l'exterior de la paret podem dir que la temperatura interior de l'hivernacle ja no afecta gens la temperatura del sòl.

3.3 Dades climàtiques

Per expressar les dades meteorològiques recollides amb els sensors durant l'estudi hem utilitzat 3 gràfiques diferents.

3.3.1 Temperatura ambiental

Les gràfiques de temperatura: consten d'una comparació entre la temperatura de l'exterior i de l'interior de l'hivernacle, expressada en graus centígrads. Hem afegit també un rang de temperatura que va dels 10°C fins els 30°C i hem remarcat l'àrea en que la temperatura interior es troba dins del rang. Aquest rang és una aproximació d'on trobem la temperatura de creixement biològic de la majoria de les plantes hortícoles (hi ha variació depenent de l'espècie i la varietat del vegetal plantat). Això ens serveix per saber la durada de temps en que la planta té una temperatura apte pel creixement. Derivat d'aquest rang també obtenim la dada de Graus Dia. Aquesta dada és molt important en agricultura perquè ens permet predir l'evolució del cultiu. Molts cultius necessiten una acumulació de temperatura durant unes hores determinades per canviar la fase de desenvolupament així també com calcular el moment de fer els tractament per maximitzar els efectes sobre les plagues.

3.3.2 Humitat relativa

Les gràfiques de la humitat relativa: Consten d'una comparació entre la humitat relativa exterior (barres) i interior (línia), expressada en percentatge. Això ens serveix per veure l'estabilitat de la humitat relativa, que és una dada important per poder controlar l'evapotranspiració i consegüentment les necessitats hídriques del cultiu.

3.3.3 Radiació fotosintètica activa

Les gràfiques PAR (Photosynthetically Active Radiation). On és veu la radiació fotosintètica activa durant el dia, expressada en micromols per cada metre quadrat i segon ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$). Això ens permet saber l'evolució de la radiació durant el dia. Gràcies a aquestes dades podem calcular el DLI (daily light integral) integrant el temps expressada

en mols per metre quadrat ($mols/m^2$), fet que ens permetrà saber la radiació acumulada durant el dia pel vegetal.

En aquest apartat vull fer esment que només vam disposar d'un sensor que captés la radiació solar i per tan no vam poder fer el seguiment de la comparativa entre la radiació captada a l'interior i la radiació captada a l'exterior. Tot hi així el dia 9 d'octubre vam captar les radiacions tan a l'exterior com a l'interior en un moment amb sol i un moment ennuvolat mitjançant un sensor portàtil.

Radiació fotosintètica activa (PAR) ($\mu mol/m^2 s$)		
	Exterior	Interior
Sense núvols	1660	820
Amb núvols	840	440

Taula 1: Radiació mesurada.

Amb aquests resultats suposem que la radiació exterior és aproximadament un 50% més que la radiació interior.

3.3.4 Llum diària integral DLI

Per aclarir aquest terme realitzem una breu explicació.

La llum és la part de l'espectre de la radiació electromagnètica visible. Aquesta radiació sigui provinent del Sol o artificial varia en la duració i intensitat espectral (quantitat de llum de cada longitud d'ona).

Per l'agricultura la franja de la radiació electromagnètica important és l'anomenada radiació fotosintètica activa o llum PAR (Photosynthetically Active Radiation) que és la llum amb una longitud d'ona que va de 400 a 700nm, coincideix amb la llum visible per l'ull humà. Quan augmentem l'energia en el rang de la llum PAR aconseguim un increment de la fotosíntesis de les plantes, per tan un augment dels processos metabòlics.

Cada espècie vegetal té una intensitat òptima de llum que maximitza el procés de la fotosíntesi. Si no hi ha una aportació suficient de llum, el creixement i la qualitat del cultiu disminueix; si la llum és excessiva, no afecta al creixement del vegetal provocant, en el cas de la llum artificial, un baix rendiment del cultiu per l'augment de costos d'aquest.

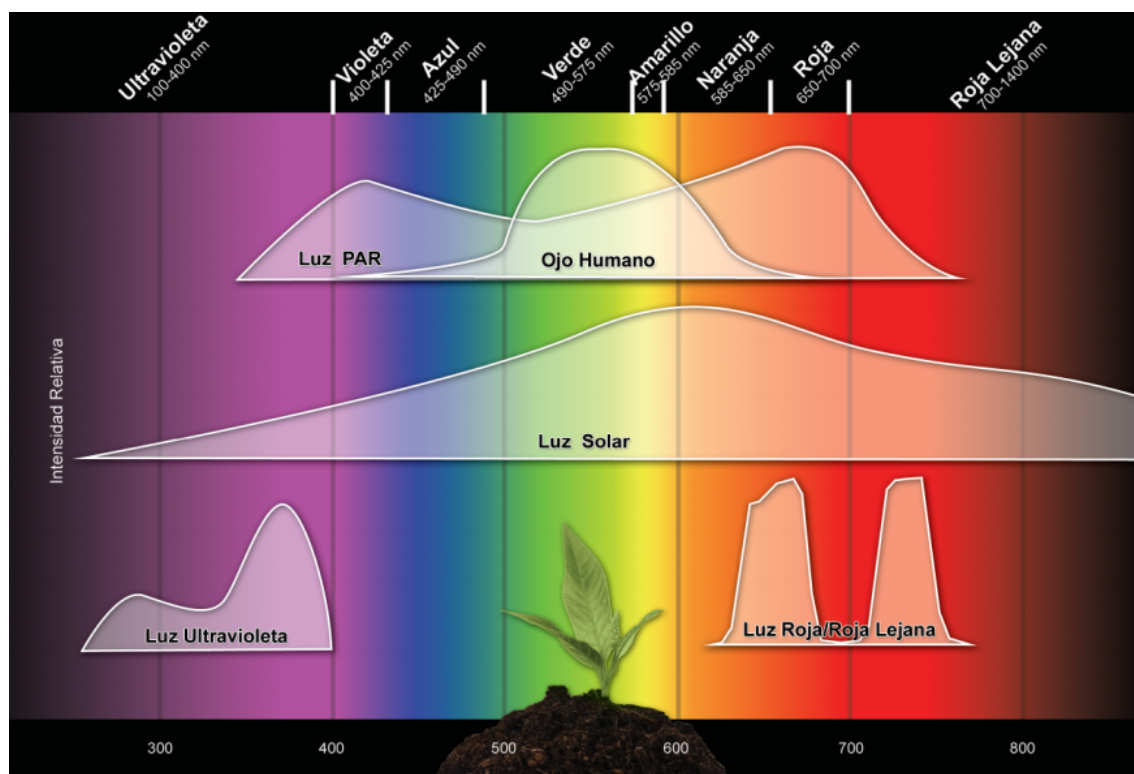


Figura 1 Erwin, J.E., Rohwer, C. and Gesick, E. Red:Far Red and Photosynthetically Active Radiation Filtering By Leaves Differs With Species. Acta Hort.1993

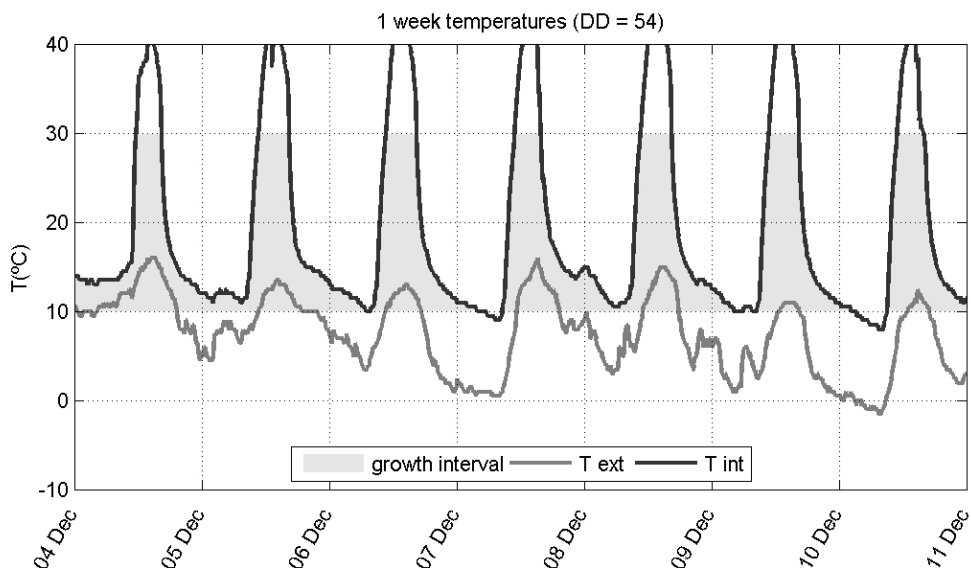
En la producció comercial en hivernacle s'utilitzen diverses estratègies per utilitzar de manera adequada la llum al llarg del dia i depenent de l'època de l'any. Les principals raons de maneig dels nivells de llum en un hivernacle són el maneig de temperatura i evapotranspiració, el control del fotoperíode, minimitzar l'estrès del cultiu i optimitzar la fotosíntesi. Les tècniques d'aquest maneig es basen, en una aportació suplementària amb llum artificial o un major aprofitament de la llum mitjançant la reflexió, per augmentar la intensitat de la llum; o utilitzant cortines d'ombra retràctil i cobertures per reduir o dispersar la llum per aconseguir un ambient òptim pel cultiu.

La manera de mesurar la intensitat de llum tradicional en lux (o peu-candela als EEUU) és mesurant la intensitat de llum instantània en el moment precís de la mesura, fent que aquesta única mesura no aportï un valor representatiu de la quantitat de llum rebuda durant el dia pel cultiu, ja que aquests valors de la llum natural van variant contínuament. A part, aquest tipus de mesura està basada en la llum que percep l'ull humà (més sensible a la llum verda), que no és adequada per indicar la llum disponible per fer la fotosíntesi en les plantes. Degut a aquest inconvenient s'ha desenvolupat una alternativa de mesura de la llum, la llum diària integrada o DLI (daily light integral).

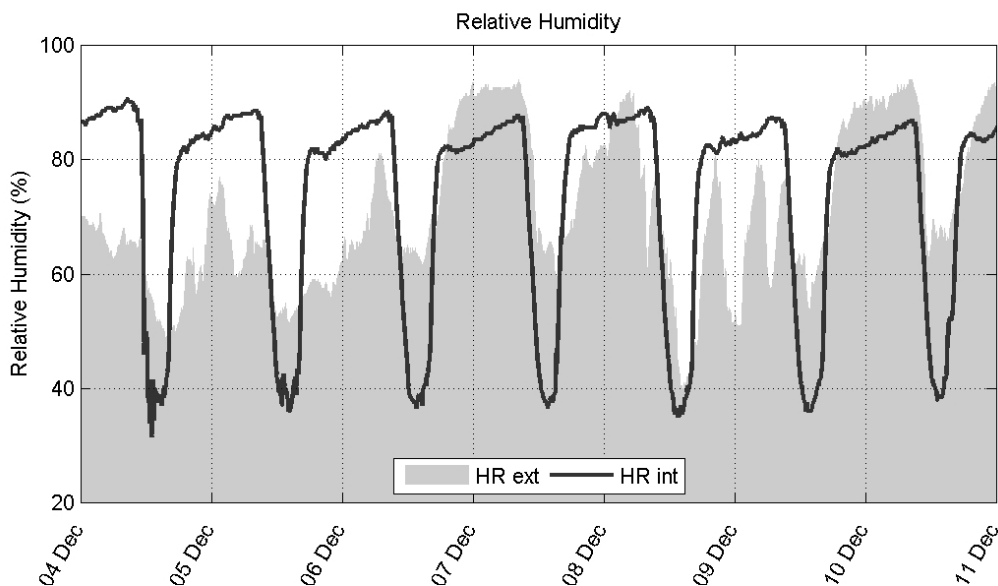
“Mesurar el DLI en un Hivernacle pot ser revelador, ja que molts productors normalment confien en la seva vista per determinar els nivells de llum i l'ull humà és un sensor terrible ja que s'ajusta a diferents estats de llum amb eficàcia ”James E. Faust Associate Professor of Horticulture Clemson University.

3.4 Resultats

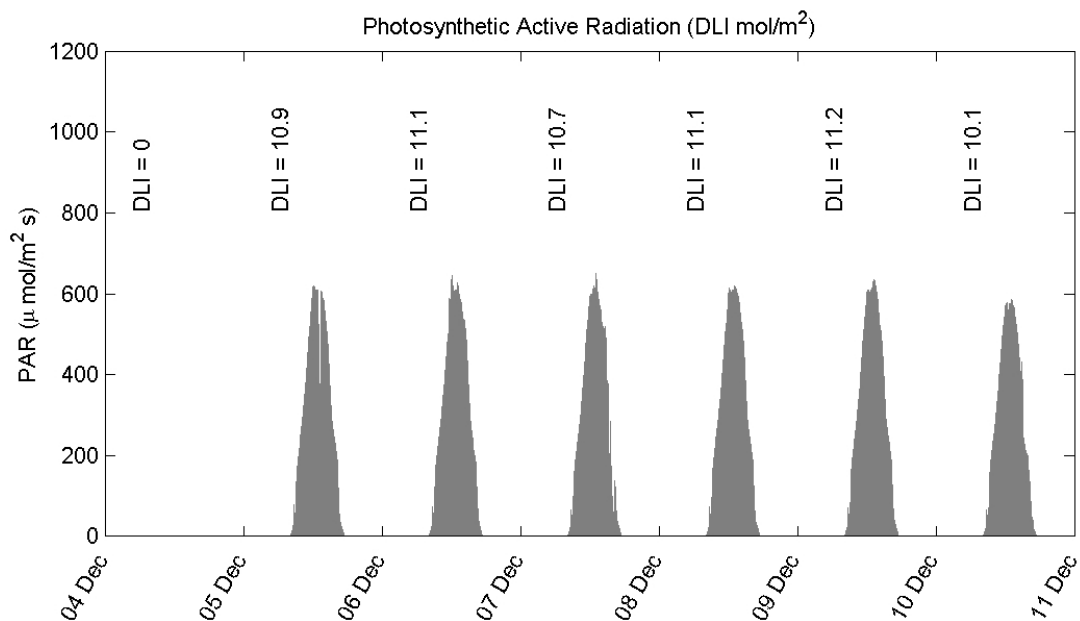
3.4.1 Setmana 1: 4 al 10 de desembre



Gràfica 3. Setmana del 4 al 10 de desembre. Comparació de la temperatura exterior (línia negra) i la temperatura interior (línia gris). També remarcuem el període que la temperatura interior està dintre el rang de 10°C a 30°C (àrea gris clar) i quants graus dia s’han acumulat en aquest període.



Gràfica 4. Setmana del 4 al 10 de desembre. Comparació de la humitat relativa exterior (franges grises) i la humitat relativa interior (línia negra).



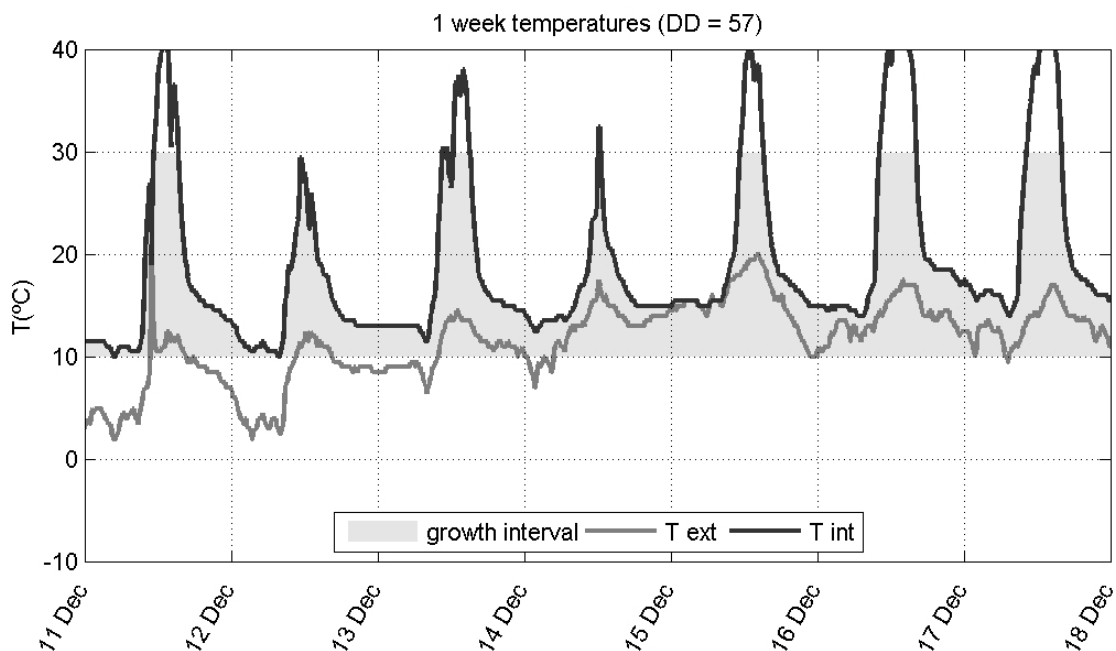
Gràfica 5. Setmana del 4 al 10 de desembre. Veiem la radiació PAR que arriba dintre de l'hivernacle i el valor del DLI de cada dia.

En aquesta gràfica observem que la temperatura exterior va tenir diferències importants entre les mínimes i les màximes i que el dia 10 s'arriba a estar per sota 0°C al mateix temps que les temperatures interiors estan per sota 10°C.

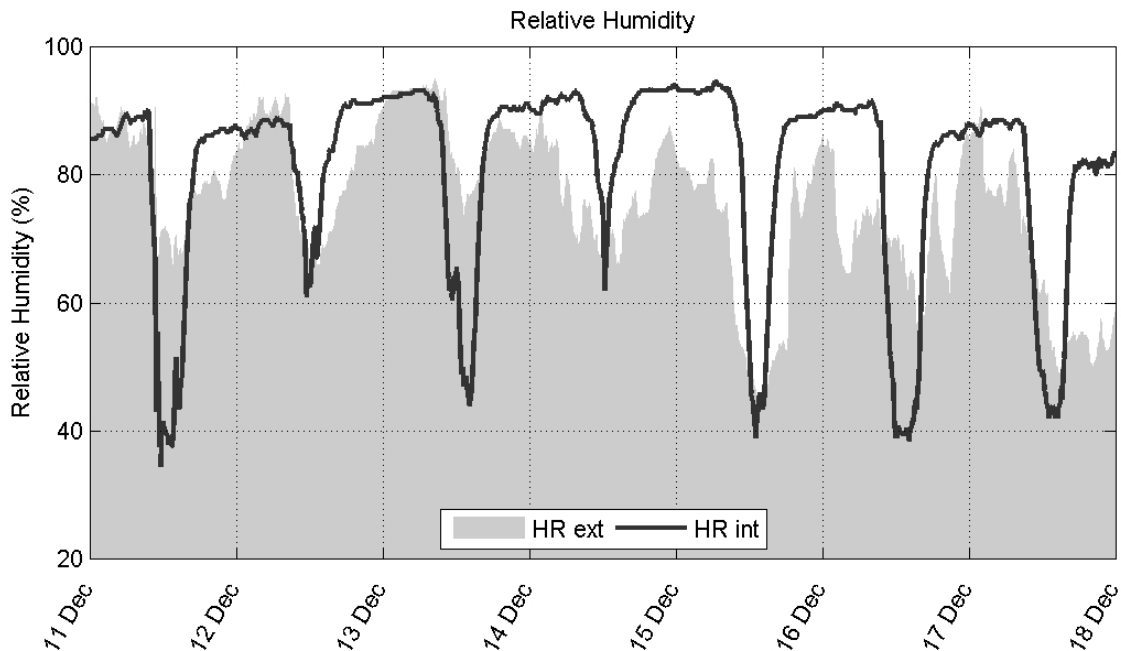
Veiem com la humitat relativa exterior és molt variable a diferència de la humitat relativa interior que manté un patró estable, les dues respon als canvis de la temperatura de la gràfica anterior.

Pel que fa a la radiació solar observem com la diferència entre els moments de màxima insolació i els de menor insolació el valor és multiplica per 4. També veiem que va ser una setmana assolellada sense gaire variació durant la setmana.

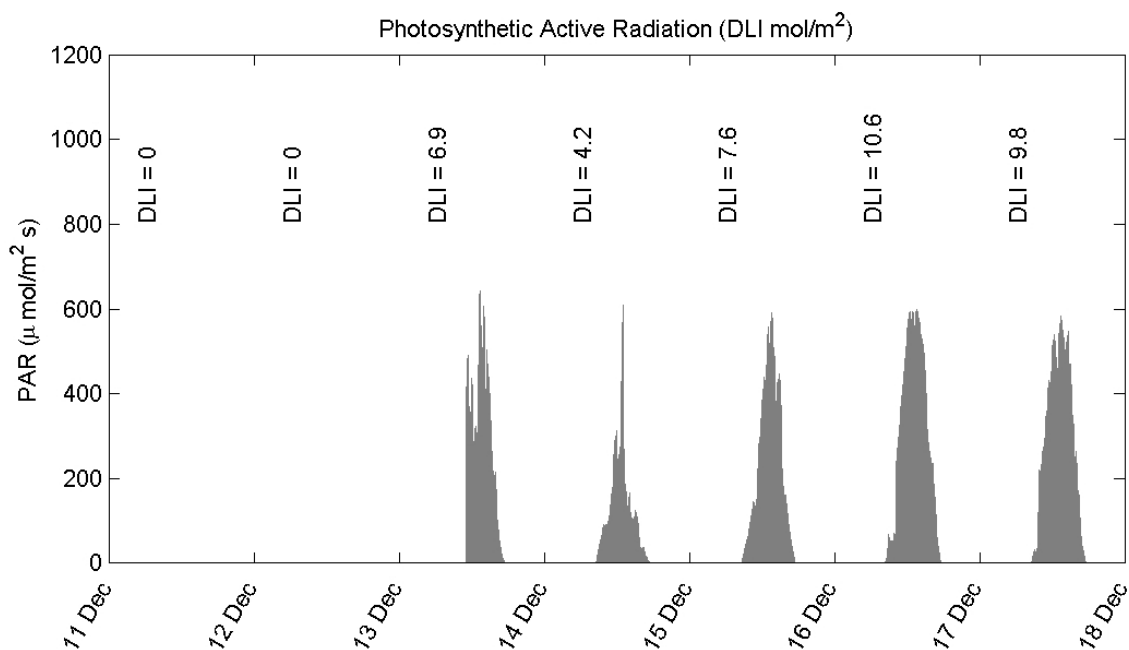
3.4.2 Setmana 2: 11 al 17 de desembre



Gràfica 4. Setmana del 11 al 17 de desembre. Comparació de la temperatura exterior (línia negra) i la temperatura interior (línia gris). També remarquem el període que la temperatura interior està dintre el rang de 10°C a 30°C (àrea gris clar) i quants graus dia s’han acumulat en aquest període.



Gràfica 5. Setmana del 11 al 17 de desembre. Comparació de la humitat relativa exterior (franges grises) i la humitat relativa interior (línia negra).



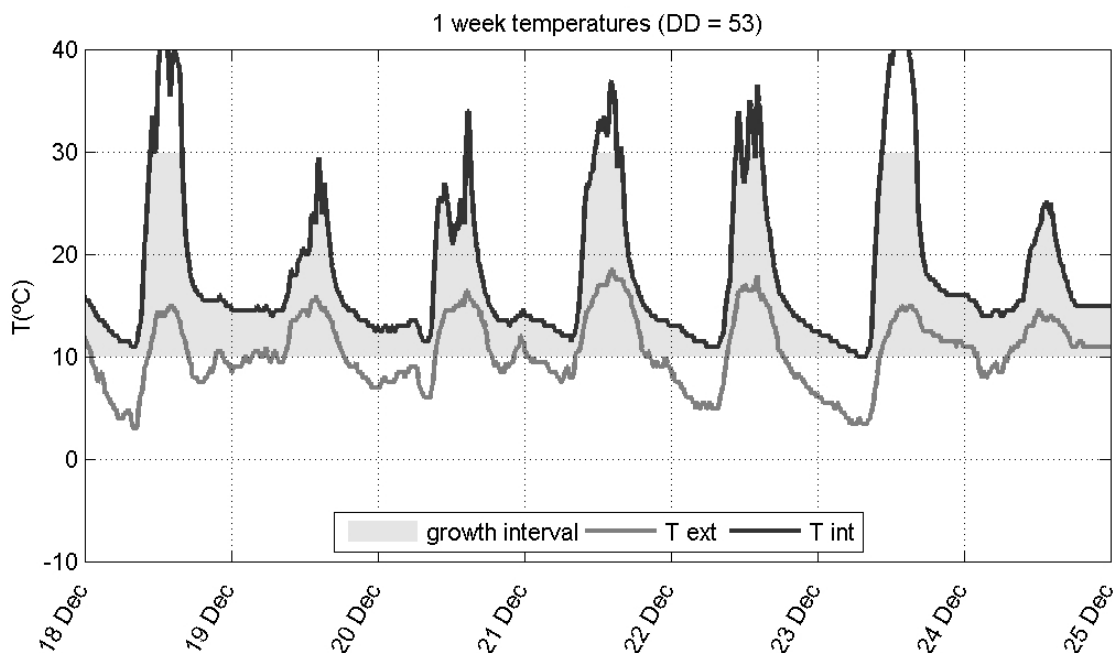
Gràfica 6. Setmana del 11 al 17 de desembre. Veiem la radiació PAR que arriba dintre de l'hivernacle i el valor del DLI de cada dia.

En aquesta gràfica observem que la setmana va tenir uns dies molt temperats amb mínimes al voltant dels 10°C. També observem que durant 3 dies la temperatura interior no superava els 40°C.

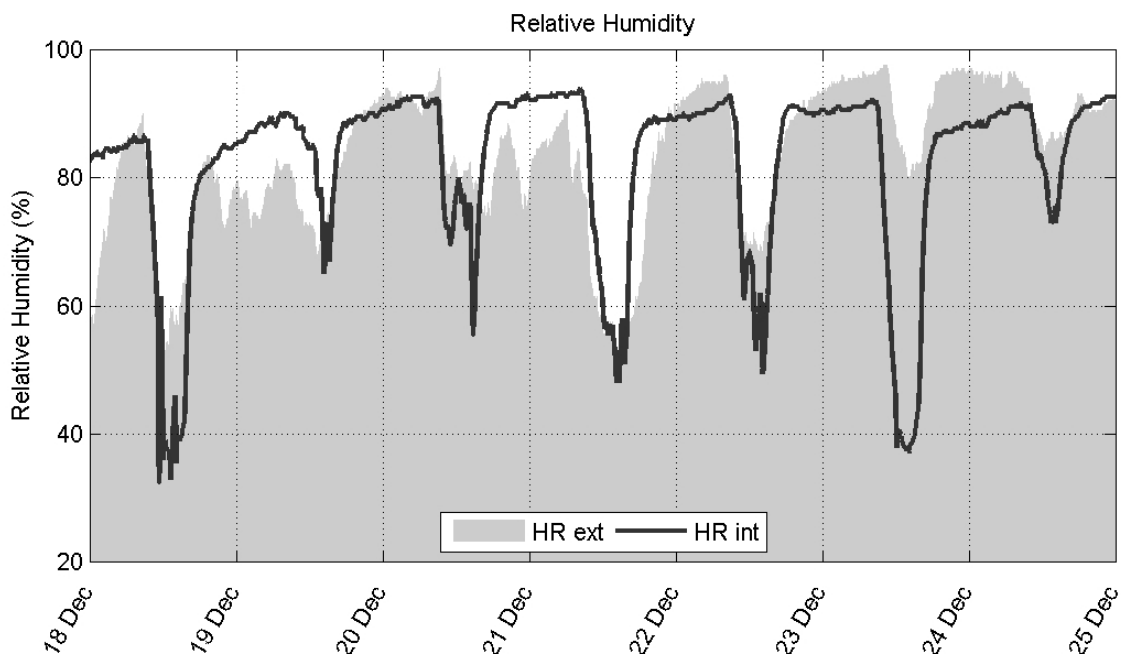
Aquesta setmana va tenir uns dies bastant humits tal com observem amb les diferències entre la màxima i mínima humitat relativa exterior, tot i així la humitat relativa segueix tenint un patró semblant a la setmana anterior però menys accentuada.

Aquesta setmana ens falten dades dels 2 primers dies a causa de la falta de bateria del sensor. Observem com el 4t dia era un dia ennuvolat i com en conjunt de la setmana es van acumular menys graus dia que l'anterior.

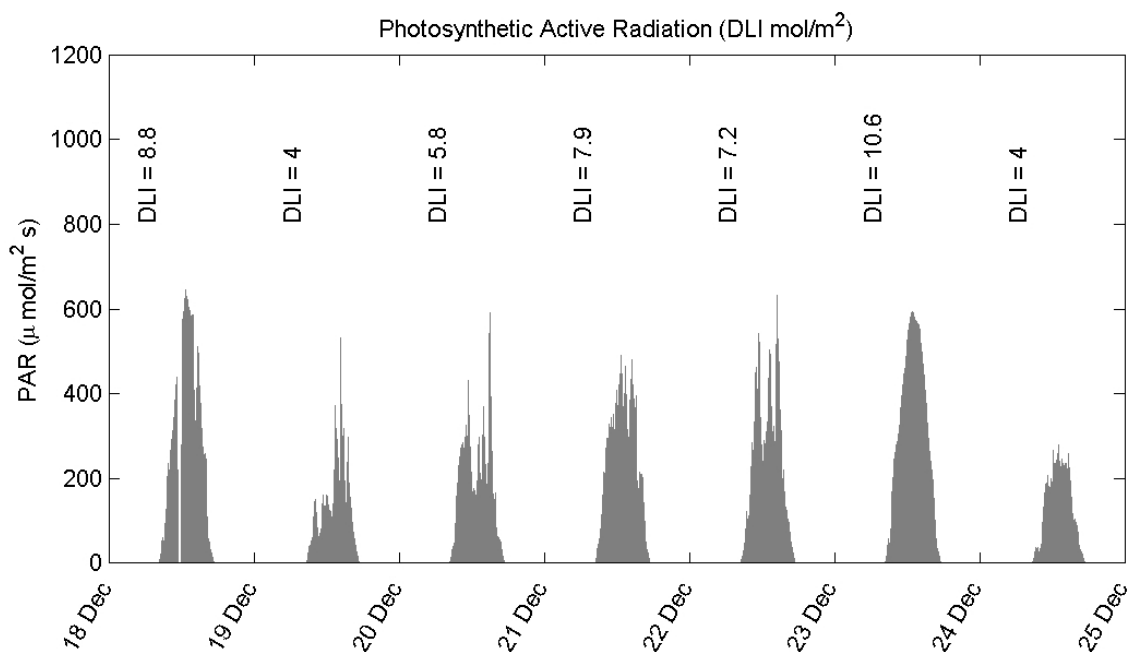
3.4.3 Setmana 3: 18 al 24 de desembre



Gràfica 7 Setmana del 18 al 24 de desembre. Comparació de la temperatura exterior (línia negra) i la temperatura interior (línia gris). També remarquem el període que la temperatura interior està dintre el rang de 10°C a 30°C (àrea gris clar) i quants graus dia s’han acumulat en aquest període.



Gràfica 8 Setmana del 18 al 24 de desembre. Comparació de la humitat relativa exterior (franges grises) i la humitat relativa interior (línia negra).



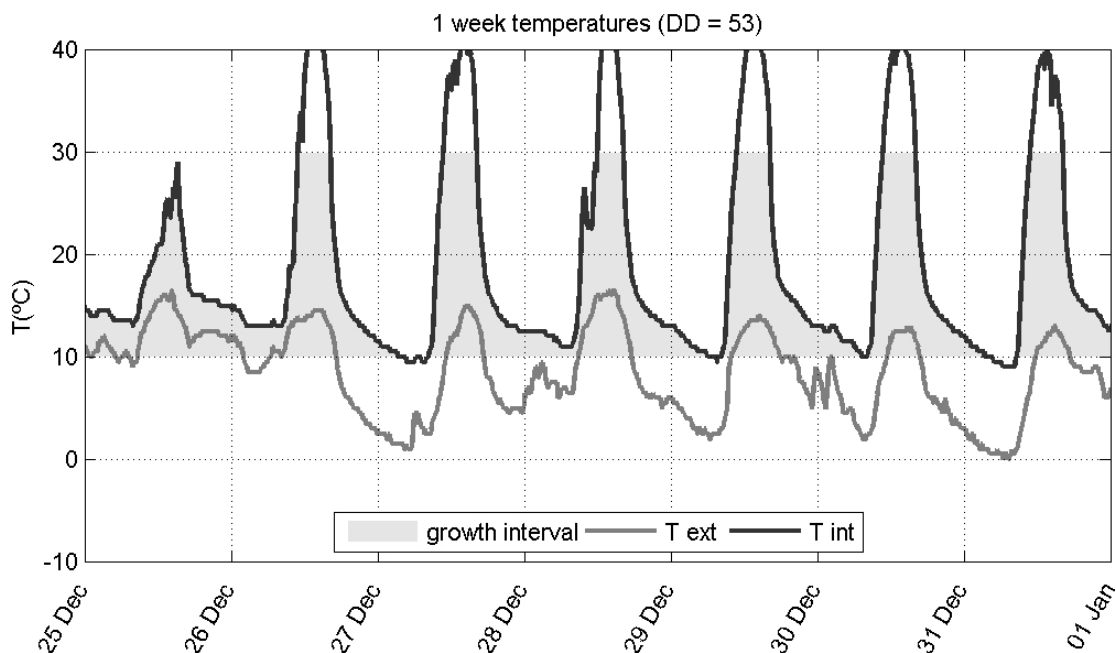
Gràfica 9. Setmana del 18 al 24 de desembre. Veiem la radiació PAR que arriba dintre de l'hivernacle i el valor del DLI de cada dia.

En aquesta gràfica observem que la setmana va tenir uns dies temperats i amb poc contrast tèrmic. A l'interior de l'hivernacle també trobem dies amb màximes per sota dels 30°C.

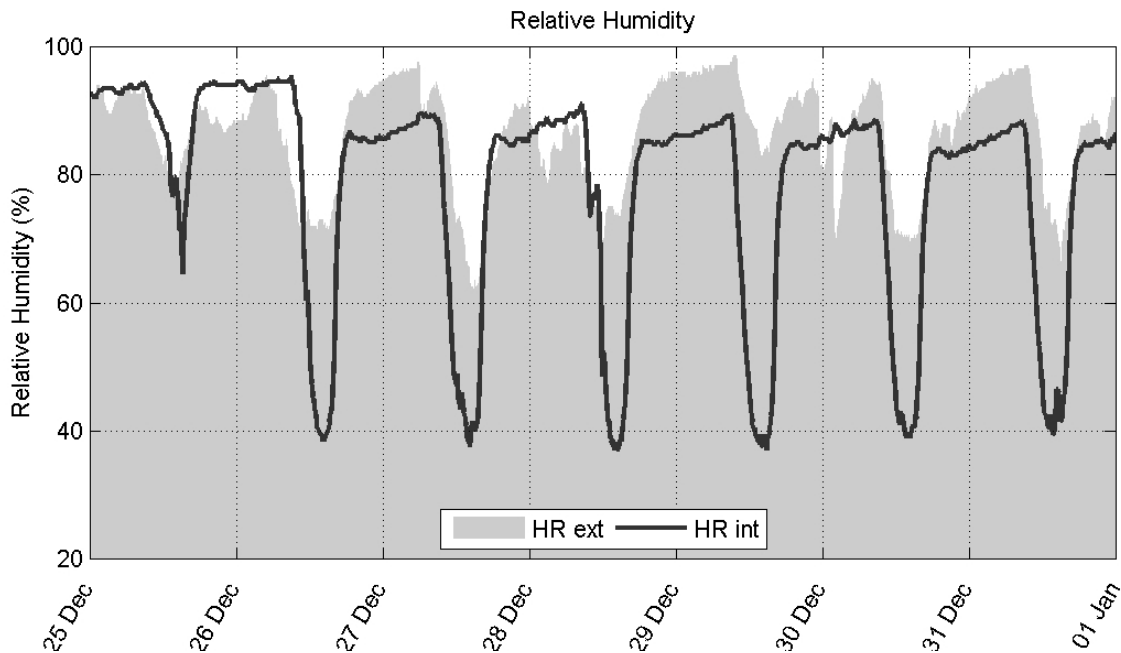
Aquesta setmana va tenir uns dies molt variables d'humitat exterior amb dies de mínima del 50% i dies del 80%. La humitat interior segueix mantenint el patró però amb baixades molt menys pronunciades els dies que no hi ha un augment de la temperatura segurament a causa de ser dies ennuvolats.

Aquesta setmana veiem que va ser bastant ennuvolada i que excepte 2 dies la resta no van passar dels 10 mol/m² de DLI. Creiem que el primer dia conté un error en una de les seves marques.

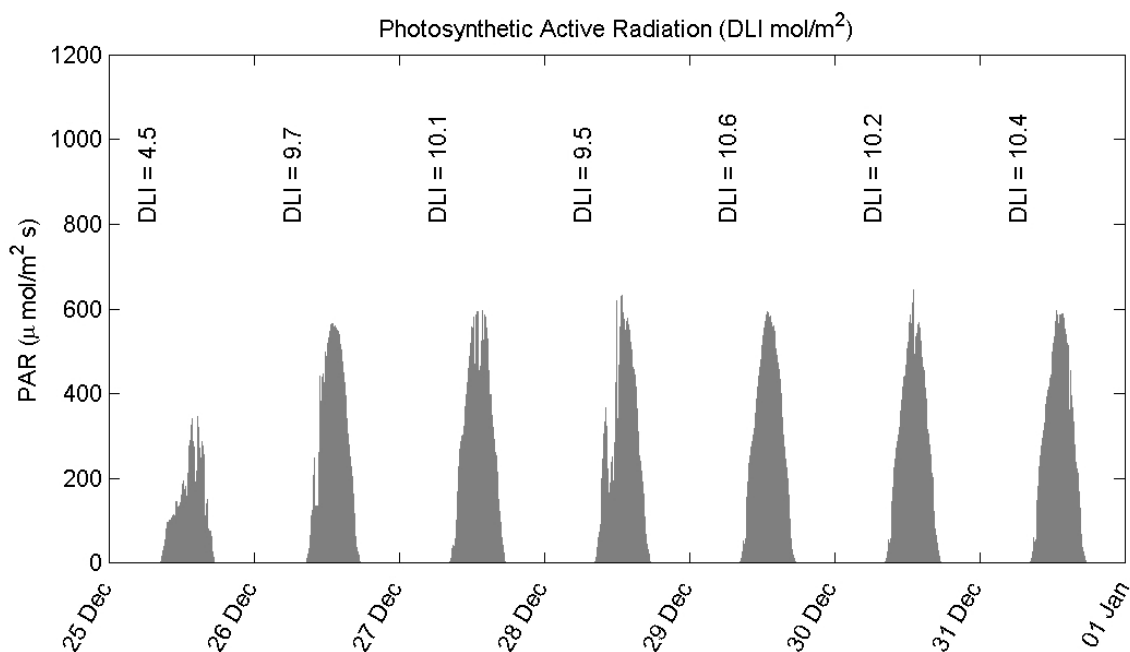
3.4.4 Setmana 4: 25 al 31 de desembre



Gràfica 10 Setmana del 25 al 31 de desembre. Comparació de la temperatura exterior (línia negra) i la temperatura interior (línia gris). També remarquem el període que la temperatura interior està dintre el rang de 10°C a 30°C (àrea gris clar) i quants graus dia s’han acumulat en aquest període.



Gràfica 11 Setmana del 25 al 31 de desembre. Comparació la humitat relativa exterior (franges grises) i la humitat relativa interior (línia negra).



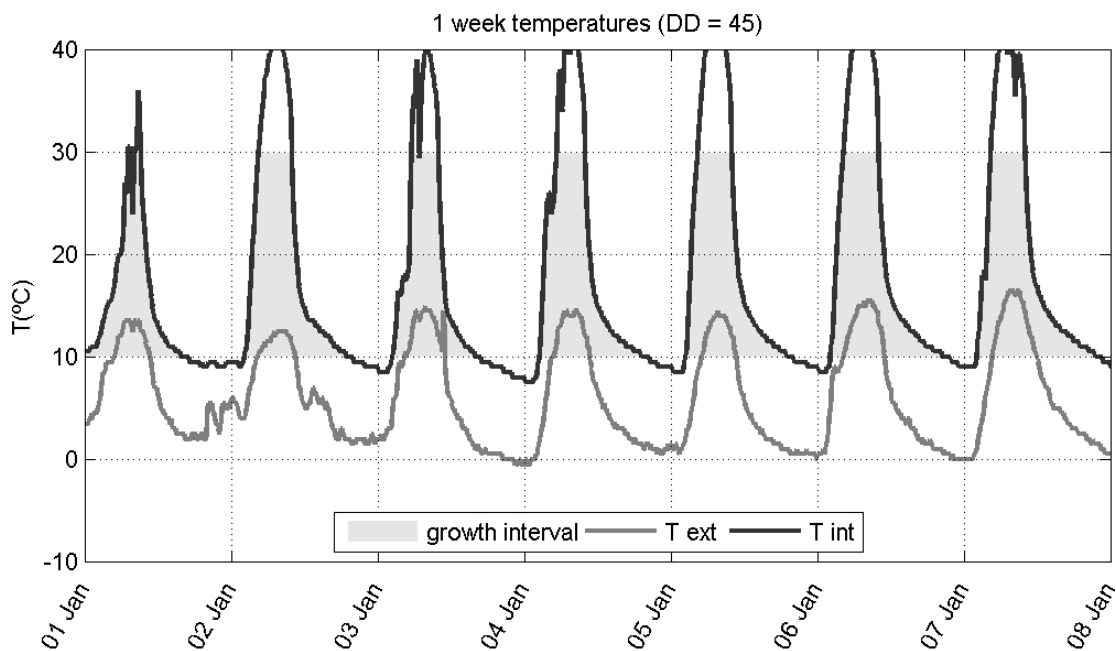
Gràfica 12. Setmana del 25 al 31 de desembre. Veiem la radiació PAR que arriba dintre de l'hivernacle i el valor del DLI de cada dia.

En aquesta gràfica veiem com després d'un primer dia temperat tornem a tenir la resta de dies amb un contrast tèrmic important sobretot a l'interior de l'hivernacle a causa de la insolació directa.

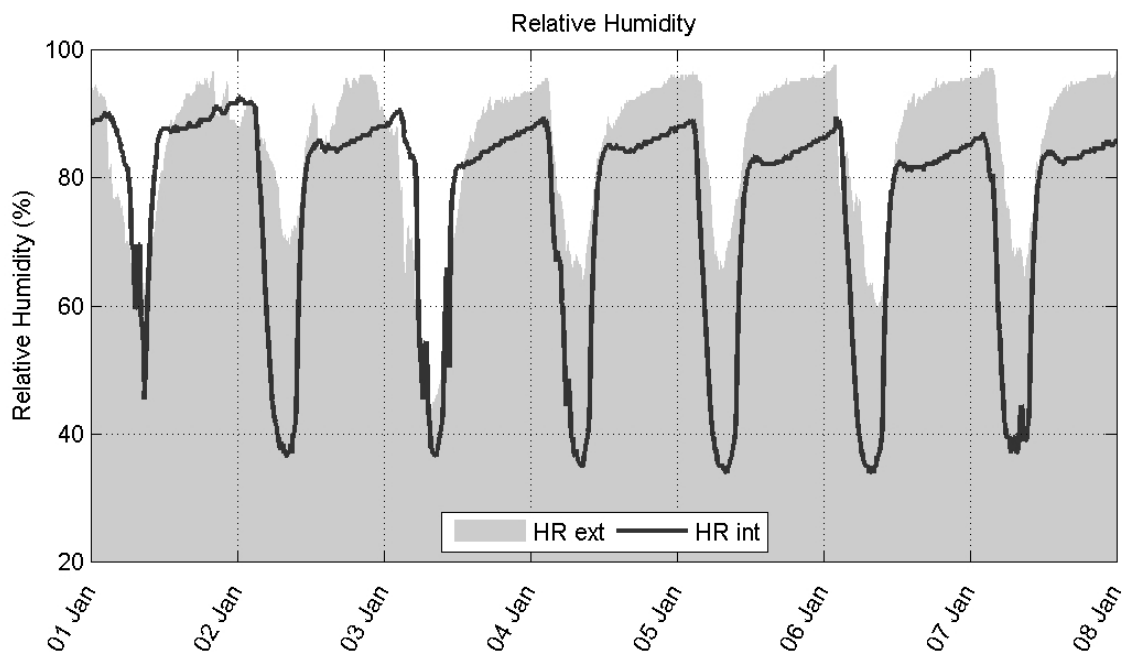
Aquesta va ser una setmana humida amb màximes a prop del 100% amb descensos provocats només a les hores de més augment de la temperatura exterior. A la humitat interior es segueix donant aquest patró bastant estable.

Veiem com excepte el primer dia va ser una setmana assolellada i que tornem a tenir una mitja al voltant del 10 mol/m^2 de DLI.

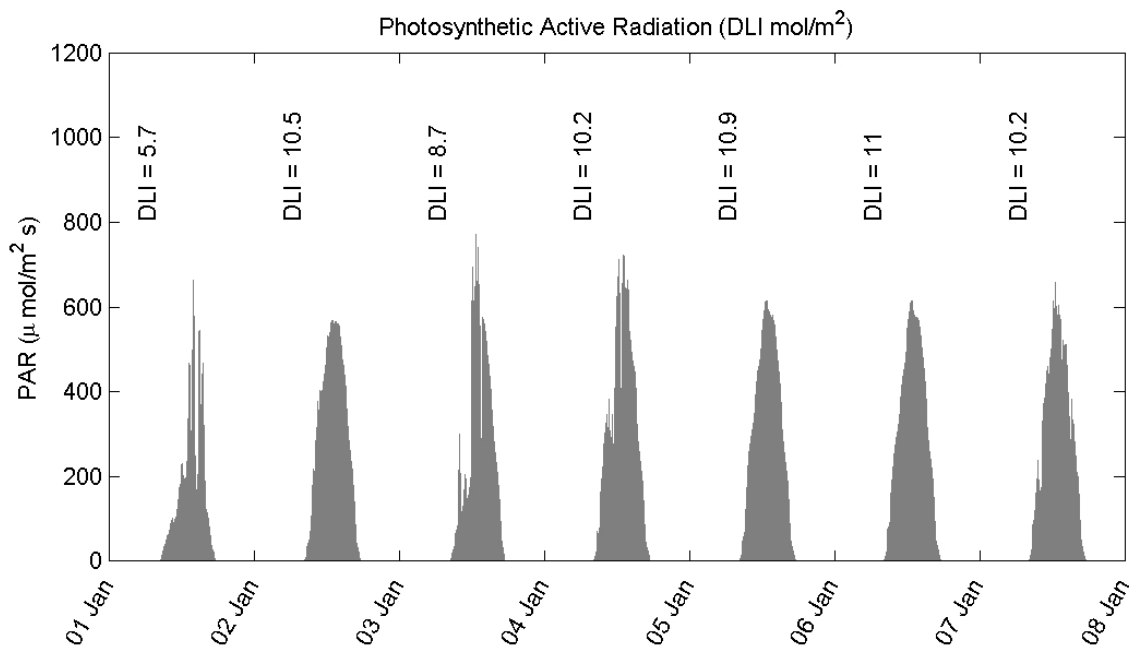
3.4.5 Setmana 5: 1 al 7 de gener



Gràfica 13 Setmana del 1 al 7 de gener. Comparació de la temperatura exterior (línia negra) i la temperatura interior (línia gris). També remarquem el període que la temperatura interior està dintre el rang de 10°C a 30°C (àrea gris clara) i quants graus dia s’han acumulat en aquest període.



Gràfica 14 Setmana del 1 al 7 de gener. Comparació la humitat relativa exterior (franges grises) i la humitat relativa interior (línia negra).



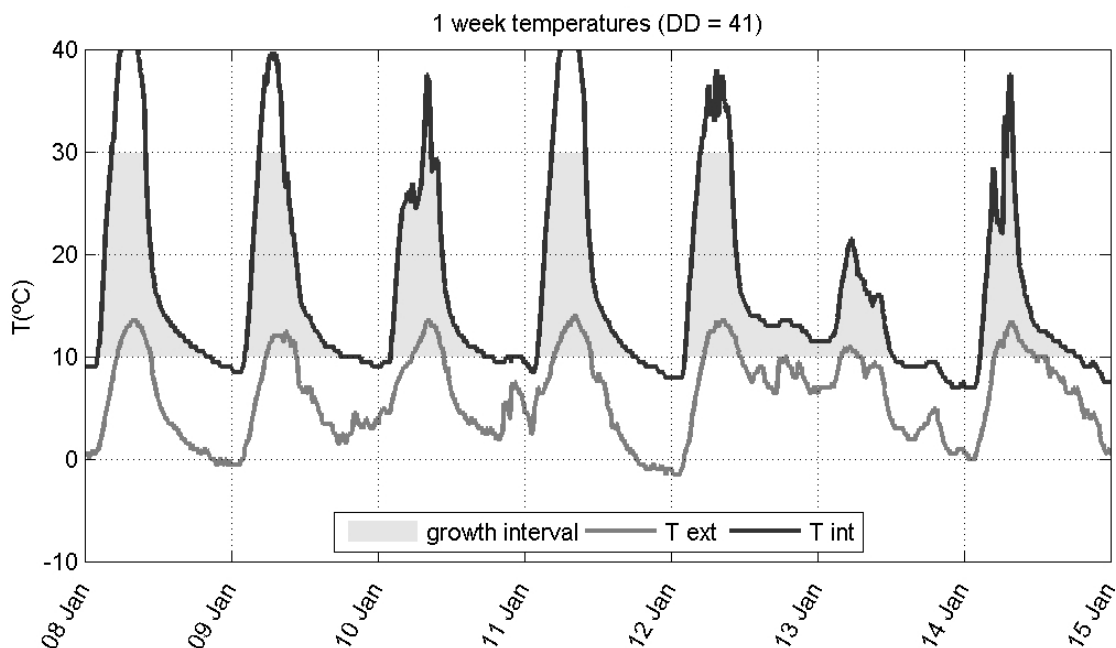
Gràfica 15. Setmana del 1 al 8 de gener. Veiem la radiació PAR que arriba dintre de l'hivernacle i el valor del DLI de cada dia.

Tots els dies es manté el mateix dibuix amb una augment del contrast tèrmic a l'exterior. A la temperatura interior veiem com tots els dies tenen algun període de temps per sota dels 10°C.

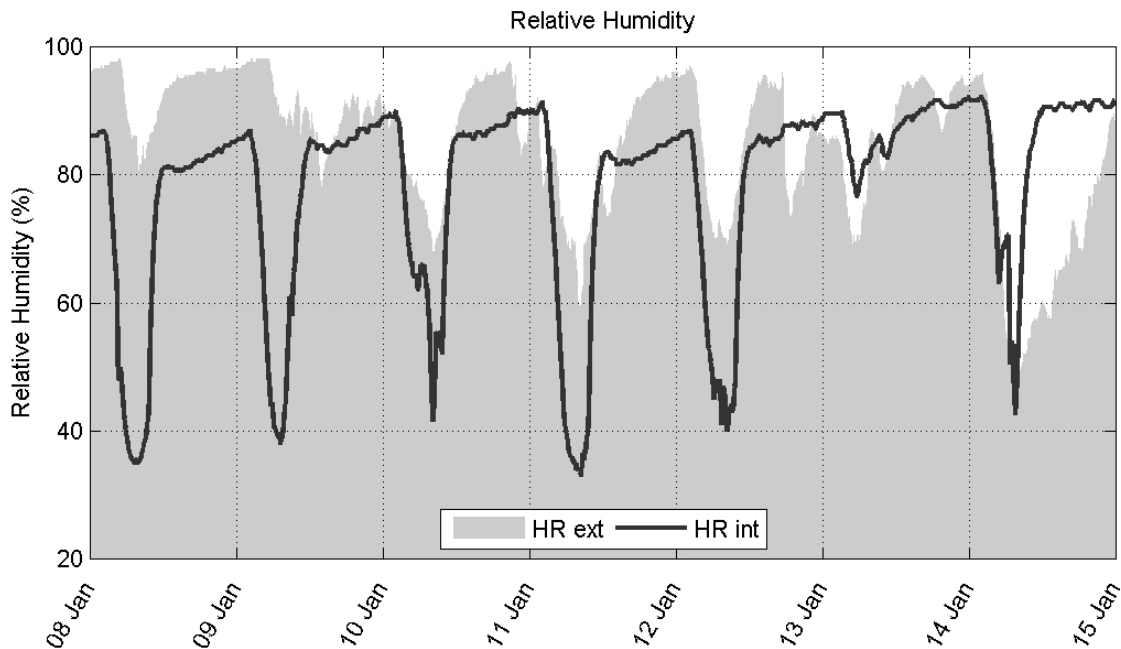
Va ser una setmana humida amb poca diferència entre dies.

Veiem com excepte el primer dia va ser una setmana assolellada i que tornem a tenir una mitjana al voltant dels 10 mol/m² de DLI excepte el primer dia que va tenir algun període de nuvolositat.

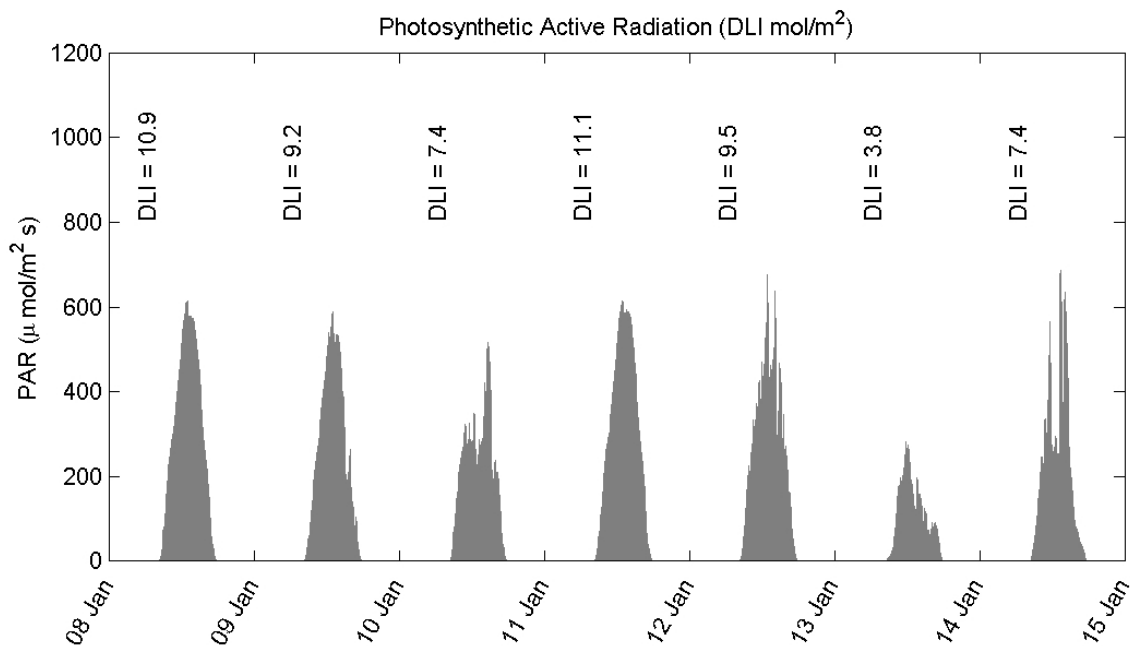
3.4.6 Setmana 6: 8 a 14 gener



Gràfica 16 Setmana del 8 al 14 de gener. Comparació de la temperatura exterior (línia negra) i la temperatura interior (línia gris). També remarquem el període que la temperatura interior està dintre el rang de 10°C a 30°C (àrea gris clar) i quants graus dia s’han acumulat en aquest període.



Gràfica 16 Setmana del 8 al 14 de gener. Comparació de la humitat relativa exterior (franges grises) i la humitat relativa interior (línia negra).



Gràfica 17. Setmana del 8 al 14 de gener. Veiem la radiació PAR que arriba dintre de l'hivernacle i el valor del DLI de cada dia.

Setmana amb dies de molt contrast tèrmic i dies amb una temperatura més estable segurament donat per la nuvolositat però també influenciada pel vent això ho veiem en les variacions del dibuix de la temperatura exterior que no es reflecteixen gaire en la temperatura interior.

Va ser una setmana molt atípica amb valors d'humitat alts però també dies baixos influenciats per la temperatura però segurament també pel vent.

Una setmana assolellada excepte el dia 10 i 13 on el 13 és el dia amb menys PAR de l'estudi.

3.5 Discussió dels resultats

En totes les gràfiques de temperatura trobarem que el sistema d'escalfament de la temperatura degut als bidons d'acumulació de calor funciona molt bé perquè en comptades ocasions la temperatura de l'interior baixa dels 10°C mentre que a l'exterior pot arribar als 0°C i trobem dies en que només 3 hores la temperatura exterior és superior a 10°C. Per contra, pràcticament tots els dies durant un període d'unes 4 hores al migdia es supera clarament la temperatura dels 30 °C mentre que a l'exterior s'arriba a uns 15 °C. Creiem que l'augment de temperatura extremat al migdia és només a causa de la insolació directe del sol perquè els dies ennuvolats o de mal temps la temperatura, tot i havent pujat, no arribava als 40°C.

En les gràfiques d'humitat relativa hem vist grans diferències entre la humitat relativa interior i exterior. La interior realitzava un dibuix repetitiu de cada dia en el qual la humitat passava d'uns 80-90% en un període llarg a fer pics de 30-40%. Aquest fet està totalment relacionat amb la temperatura interior fet que és pot veure al superposar les 2 gràfiques i veure com la humitat relativa és en funció de la temperatura, al tenir un dibuix tan estable veiem que l'intercanvi amb la humitat exterior i el vent és pràcticament nul. La humitat exterior per contra és molt menys extremada sense arribar cap dia per sota del 50%, però alhora és molt més variable, veiem com cada dia té diferents pics i hi ha dies amb màxims menors de la humitat relativa exterior i dies pròxims al 100%. Aquestes variacions les atribuïm essencialment a l'aire i al vent fet que provoca que, encara que la humitat relativa estigui directament relacionada amb la temperatura, el seu patró queda totalment afectat a les corrents d'aire, cosa que no passa dins l'hivernacle.

A les gràfiques PAR veiem pràcticament el mateix patró cada dia assolellat amb un DLI aproximat de 10 mol/m^2 . En canvi els dies ennuvolats podríem agrupar-los en 2 grups; els dies ennuvolats amb clarianes amb la característica de tenir bastants pics de radiació i que tenen un DLI molt variable; i els dies ennuvolats compactes en el qual el dibuix té un creixement uniforme però poc pronunciat i el DLI és al voltant de 4 mol/m^2 .

A part de l'anàlisi descriptiu dels diferents factor ambientals mesurats dins i fora l'hivernacle, i de les propostes de millora de les condicions que se'n deriven, els resultats anteriors permeten valorar la viabilitat de les mesures i l'adequació de la instal·lació de sensors utilitzada. La monitorització del comportament de l'hivernacle i el sòl ha funcionat de forma adequada i permet obtenir una sèrie de dades molt completa de les condicions ambientals. Aquesta instal·lació permetria en un futur realitzar experiments in situ de l'efecte d'aquestes condicions en el desenvolupament dels cultius.

4 Conclusions finals

L'estudi de les dades ambientals de l'hivernacle posa de manifest l'èxit de l'acumulació de calor de l'aigua en els bidons i de la doble coberta com aïllament tèrmic de l'exterior. Aquests elements ajuden a esmorteir les baixades dràstiques de temperatura durant la nit. Fet que permet tenir el cultiu en una temperatura mínima d'uns 10 °C durant els períodes més freds. També és veu amb claredat que aquest tipus d'hivernacle necessita incorporar ventilació per no arribar a superar els 30 -40 °C durant les hores de màxima insolació. Aconseguir que l'hivernacle pugui mantenir les temperatures mínimes utilitzant alhora una ventilació per impedir arribar a aquestes màximes seria el següent pas de millora de l'hivernacle.

Tal com hem vist anteriorment la diferència de la llum entre un dia ennuvolat i en un dia assolellat és molt important, tal com es veu en el càlcul del DLI que passa d'uns 10 a poc menys de 5 mol/m^2 . Tot hi així creiem que l'hivernacle, a causa segurament de la doble capa d'aïllament, perd per si mateix el 50% de la radiació PAR, en altres paraules és com si tinguéssim un cultiu en un dia ennuvolat quan en realitat el dia és assolellat. Creiem que és un punt a millorar canviant a una sola capa de plàstic tot l'hivernacle o només la part superior.

L'experiència d'implantació d'un sistema de cultiu amb reg la valorem positivament perquè hem demostrat que el cultiu és viable. Tot i que la instal·lació de reg només va funcionar una setmana i que després vam tenir que regar manualment durant la resta de l'experiment. Valorem positivament l'experiència perquè ens hem adonat que el reg no cal que sigui tan controlat amb cabalímetre i comptagotes, en conseqüència, per propers experiments un reg menys sofisticat és suficient. També ho considerem com una dificultat més del cultiu, que tot hi així va prosperar.

Un objectiu principal del treball és la preparació de l'hivernacle geodèsic per a la monitorització de les dades ambientals, interiors i exteriors, per poder realitzar futurs experiments de l'efecte d'aquestes variables sobre la concentració de CO₂ i altres factors associats al creixement i viabilitat dels cultius. En el disseny inicial del projecte es recollia

la instal·lació del sensor per poder mesurar el diòxid de carboni dissolt a l'aire i com aquest era modificat per les altres mesures ambientals i posteriorment pel cultiu implementat. Finalment no es completà aquesta darrera fase, principalment a causa de l'alt valor econòmic d'aquest sensor. Un cop demostrada l'adequació de la instal·lació dels bancs de cultiu, de la resta de sensors i de la recollida i tractament de dades recomanem seguir la investigació d'aquest punt important que no s'ha pogut realitzar en aquest treball.

5 Bibliografia

[1] FRANSESC GARCÍA I BLASCO; Construcció d'un hivernacle geodèsic amb sistema solar passiu per a la producció de plàntules per a horticultura. Treball final de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Tutors: Oriol Batiste i Boleda, Eloi Pineda i Soler. 2012.

[2] ELSEVIER SCIENCE; Passive Solar Agricultural Greenhouses: A Worldwide Classification, USA, Pergamon, 1994.

[3] Enoch H.Z.; Enoch Y.; The history and geography of the greenhouse. En: Ecosystems of the world, Greenhouse Ecosystems. Ed Elsevier 1999.

[4] CANOVAS, F.; DÍAZ, J.R. 1993. Cultivos Sin suelo. Curso Superior de Especialización. Ed. Instituto de Estudios Almerienses. Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería. Almería.

[5] LLURBA, M. 1997. Parámetros a tener en cuenta en los sustratos. Revista Horticultura N° 125 - Diciembre 1997.

[6] extension.purdue.edu. Consultada per últim cop el dia 20/07/2015.

[7] www.rymca.com. Consultada per últim cop el dia 15/07/2015.

[8] www.creaf.uab.es/Global-Ecology Consultada per últim cop 15/07/2015.

[9] www.burespro.com. Consultada per últim cop el dia 05/06/2015.

[10] www.gardena.com. Consultada per últim cop el dia 15/07/2015.

[11] www.forest.ula.ve/~rubenhg/crecimiento_vegetal/. Consultada per últim cop el dia 15/07/2015.

6 Agraïments

Al llarg de tot el temps que ha durat la realització d'aquest treball, he rebut la col·laboració i l'ajut de nombroses persones. Sóc conscient que sense l'ajut i el recolzament que m'han mostrat aquest treball no hauria estat possible, i per aquest motiu vull deixar constància del meu agraïment més sincer a:

Oriol Batiste i Boleda. En primer lloc, li vull agrair l'estoica paciència que hagut de mostrar a causa de les meues anades i vingudes i per l'allargament quasi infinit i innecessari que ha sofert aquest treball. En segon lloc, li vull agrair tot el que m'ha ensenyat, que no han estat poques coses, i la dedicació que ha mostrat en tot moment.

Eloi Pineda i Soler. Per haver-me confiat la realització d'aquest treball, i perquè sempre ha intentat fer lloc en la seva atapeïda agenda per orientar-me i revisar-me el treball. Ha estat un plaer haver-lo tingut com a professor i tutor.

Tota la meva família i els meus amics. Pels ànims i el recolzament (i sobretot la paciència) que han mostrat en tot moment.

Annex Material de construcció del sistema de reg

Estudi de mesures ambientals i adequació pel cultiu en un hivernacle geodèsic



Imatge d'annex 1 Taulons de fusta



Imatge d'annex 2 Cavallets metàl·lics



Imatge d'annex 3 Llistons de fusta



Imatge 4 Conectors dels tubs de distribució



Imatge d'annex 5 Tubs de distribució



Imatge 6 Connectors de la manega



Imatge d'annex 7 Temporitzador i cabalímetre



Imatge d'annex 8 Reductor de pressió