



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

ESTIMACIÓ DEL CONTINGUT DE NITROGEN EN BLAT UTILITZANT MÈTODES ÒPTICS

Treball final de grau

Enginyeria de Sistemes Biològics

Autor: Eva Iranzo Ribera

Tutor: Lydia Serrano Porta

26 / setembre / 2017

Resum

Amb l'objectiu de mesurar el contingut de nitrogen del cultiu de blat s'han estudiat diversos mètodes òptics no destructius, tant a nivell de camp com a nivell de laboratori. S'ha establert un assaig de camp a una de les parcel·les de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, al campus de Castelldefels de la UPC, i també una part experimental a un dels laboratoris de la mateixa escola. S'han aplicat quatre tractaments de fertilització nitrogenada (0, 60, 120 i 180 kg N/ha), amb tres repeticions, disposades en les diverses parcel·les. S'han determinat els nivells de clorofil·la amb el sensor CCM i la radiació fotosintèticament activa (PAR) amb el ceptòmetre, a fi de poder caracteritzar l'estat del cultiu.

Al laboratori, s'ha estimat la quantitat de clorofil·la mitjançant el sensor CCM. També s'ha estimat l'activitat fotosintètica amb el fluorímetre, amb el qual s'han determinat diversos paràmetres de fluorescència (Y_{II} , Y_{NPQ} , Y_{NO}). Finalment, s'ha prosseguit a realitzar l'extracció de clorofil·la i les lectures d'absorbància de les mostres de fulla amb l'espectrofotòmetre, i s'ha relacionat el contingut de clorofil·la amb els paràmetres òptics esmentats. D'acord amb els resultats obtinguts s'ha pogut observar com les mesures realitzades amb el sensor CCM, el contingut de pigments fotosintètics (clorofil·la), i l'activitat fotosintètica estan altament correlacionats, ja que la R^2 és molt propera a la unitat.

Resumen

Con el objetivo de medir el contenido de nitrógeno del cultivo de trigo se han estudiado varios métodos ópticos no destructivos, tanto a nivel de campo como a nivel de laboratorio. Se ha establecido un ensayo de campo en una de las parcelas de la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, en el campus de Castelldefels de la UPC, y también una parte experimental en uno de los laboratorios de la misma escuela. Se han aplicado cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada (0, 60, 120 y 180 kg N / ha), con tres repeticiones, dispuestas en las distintas parcelas. Se han determinado los niveles de clorofila con el sensor CCM y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) con el ceptómetro, a fin de poder caracterizar el estado del cultivo.

En el laboratorio se ha estimado la cantidad de clorofila mediante el sensor CCM. También se ha estimado con el fluorímetro la actividad fotosintética, con el cual se han determinado varios parámetros de fluorescencia (Y_{II} , Y_{NPQ} , Y_{NO}). Finalmente se ha proseguido a realizar la extracción de clorofila y las lecturas de absorbancia de las muestras de hoja con el espectrofotómetro, y se ha relacionado el contenido de clorofila con los parámetros ópticos mencionados. De acuerdo con los resultados obtenidos se ha podido observar cómo las medidas realizadas con el sensor CCM, el contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila) y la actividad fotosintética, están altamente correlacionados, ya que la R^2 es muy cercana a la unidad.



Abstract

In order to measure the nitrogen content of the wheat crop, several non-destructive optical methods have been studied, both at field level and at laboratory level. A field test has been performed in one of the plots of the “Escola Superior d'Agricultura de Barcelona”, at the Castelldefels campus of the UPC, and also an experimental part, in one of the laboratories of the same school. Four treatments of nitrogen fertilization (0, 60, 120 and 180 kg N/ ha) have been applied, with three repetitions, arranged in the various plots. Chlorophyll levels have been determined with the CCM sensor and the photosynthetically active (PAR) radiation with the ceptometer, in order to characterize the state of the crop.

In the laboratory, the amount of chlorophyll was measured by using a CCM sensor. The photosynthetic activity has also been estimated with the fluorimeter, with which several fluorescence parameters (Y_{II} , Y_{NPQ} , Y_{NO}) have been determined. Finally, chlorophyll extraction and absorbance readings of the leaf samples were carried out with the spectrophotometer, and the chlorophyll content was correlated with the mentioned optical parameters. According to the results obtained, it has been observed how the measurements made with the CCM sensor, the photosynthetic pigment content (chlorophyll) and the photosynthetic activity, are highly correlated, obtaining an R^2 very close to 1.

Índex

ÍNDEX DE FIGURES	5
ÍNDEX DE GRÀFICS	6
ÍNDEX DE TAULES	7
SÍMBOLS I ACRÒNIMS	8
AGRAÏMENTS	9
1. INTRODUCCIÓ	10
2. OBJECTIU	13
3. MATERIAL I MÈTODES	14
3.1 Varietat de blat utilitzada	14
3.2 Disseny experimental	15
3.3 Mesures òptiques al camp	16
3.4 Mesures òptiques al laboratori	18
4. RESULTATS	21
4.1. Resultats del laboratori	21
4.1.1. Relacions CCM vs clorofil·la	21
4.1.2. Relacions CCM vs fluorímetre	25
4.1.3. Relacions fluorímetre vs clorofil·la total	27
4.2. Resultats de camp	30
4.2.1. CCM vs tractament N	30
4.2.2. fIPAR vs tractament N	33
4.2.3. Rendiment vs fIPAR	36
4.2.4. Rendiment vs CCM	37
4.2.5. Rendiment vs tractament N	39
5. DISCUSSIÓ	40
6. CONCLUSIONS	43
7. BIBLIOGRAFIA	44



Índex de figures

<i>Figura 3.1:</i> Parcel·les experimentals	15
<i>Figura 3.2:</i> Distribució de les parcel·les.....	15
<i>Figura 3.3:</i> Ceptòmetre, lectures de PAR.....	17
<i>Figura 3.4:</i> Material emprat en l'extracció de la clorofil·la.....	19
<i>Figura 3.5:</i> Lectures amb l'espectrofotòmetre	20
<i>Figura 3.6:</i> Espectrofotòmetre	20

Índex de gràfics

<i>Gràfic 3.1:</i> Pluviometria i temperatura del cicle del blat	16
<i>Gràfic 4.1.1.1:</i> Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de clorofil·la A	21
<i>Gràfic 4.1.1.2:</i> Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de clorofil·la B	22
<i>Gràfic 4.1.1.3:</i> Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de clorofil·la A+B	23
<i>Gràfic 4.1.1.4:</i> Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de carotenoides	24
<i>Gràfic 4.1.2.1:</i> Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el paràmetre Yield (II)	25
<i>Gràfic 4.1.2.2:</i> Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el paràmetre Yield (NO).....	26
<i>Gràfic 4.1.2.3:</i> Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el paràmetre Yield (NPQ)	26
<i>Gràfic 4.1.3.1:</i> Relació entre el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i el paràmetre Yield (II)	27
<i>Gràfic 4.1.3.2:</i> Relació entre el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i el paràmetre Yield (NO).....	28
<i>Gràfic 4.1.3.3:</i> Relació entre el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i el paràmetre Yield (NPQ)	29
<i>Gràfic 4.2.1.1:</i> Variació de les lectures amb el CCM en funció del tractament de nitrogen (15 de maig)	30
<i>Gràfic 4.2.1.2:</i> Variació de les lectures amb el CCM en funció del tractament de nitrogen (26 de maig)	31
<i>Gràfic 4.2.1.3:</i> Variació de les lectures amb el CCM en funció del tractament de nitrogen (8 de juny).....	32
<i>Gràfic 4.2.2.1:</i> fIPAR en funció del tractament de nitrogen (15 de maig)	33
<i>Gràfic 4.2.2.2:</i> fIPAR en funció del tractament de nitrogen (dia 26 de maig).....	34
<i>Gràfic 4.2.2.3:</i> fIPAR en funció del tractament de nitrogen (dia 8 de juny)	35
<i>Gràfic 4.2.3.1:</i> Rendiment vs fIPAR (15 de maig).....	36
<i>Gràfic 4.2.3.2:</i> Rendiment vs fIPAR (26 de maig).....	36
<i>Gràfic 4.2.3.3:</i> Rendiment vs fIPAR (8 de juny)	37
<i>Gràfic 4.2.4.1:</i> Rendiment vs CCM (15 de maig).....	37
<i>Gràfic 4.2.4.2:</i> Rendiment vs CCM (26 de maig)	38
<i>Gràfic 4.2.4.3:</i> Rendiment vs CCM (8 de juny)	38
<i>Gràfic 4.2.5:</i> Rendiment vs tractament de N	39

Índex de taules

<i>Taula 4.2.1.1: Estadístics descriptius CCM, 15 de maig</i>	31
<i>Taula 4.2.1.2: Estadístics descriptius CCM, 26 de maig</i>	32
<i>Taula 4.2.1.3: Estadístics descriptius CCM, 8 de juny</i>	33
<i>Taula 4.2.2.1: Estadístics descriptius fIPAR, 15 de maig</i>	34
<i>Taula 4.2.2.2: Estadístics descriptius fIPAR, 26 de maig</i>	35
<i>Taula 4.2.2.3: Estadístics descriptius fIPAR, 8 de juny</i>	36
<i>Taula 4.2.5: Estadístics descriptius rendiment, 8 de juny</i>	39

Símbols i acrònims

CCM	Mesurador del contingut de clorofil·la (<i>Chlorophyll Content Meter</i>).
fIPAR	Fracció de PAR (<i>Photosynthetically Active Radiation</i>) interceptat.
Fm'	Rendiment de la màxima fluorescència d'una mostra il·luminada amb tots els centres del fotosistema II tancats.
Fo'	Rendiment de la mínima fluorescència d'una mostra il·luminada amb tots els centres del fotosistema II tancats.
IR	Infraroig (<i>Infrared</i>).
NIR	Infraroig proper (<i>Near Infrared</i>).
NO	Energia no fotoquímica no regulada (<i>Non-regulated non-photochemical energy</i>).
NPQ	Atenuació no fotoquímica (<i>Non-photochemical quenching</i>). Paràmetre que descriu la dissipació regulada d'excés d'energia.
PAR	Radiació Fotosintèticament Activa (<i>Photosynthetically Active Radiation</i>).
PSII	Fotosistema II (<i>Photosystem II</i>), que mostra el rendiment de la variable fluorescència.
UV	Ultraviolat (<i>Ultraviolet</i>).
Y_{II}	Rendiment del PSII, que fa referència a la conversió d'energia fotoquímica (fotosíntesi).
Y_{NO}	Rendiment que fa referència a les pèrdues constitutives primàries, que corresponen a la suma de la dissipació de calor no regulada i l'emissió de fluorescència.
Y_{NPQ}	Rendiment de la dissipació d'energia tèrmica regulada amb els pigments xantofil·la.



Agraïments

En primer lloc, voldria donar les gràcies a la meva tutora Lydia Serrano, que m'ha ajudat enormement, m'ha donat suport i m'ha facilitat les eines necessàries per la realització d'aquest treball.

En segon lloc, voldria també donar les gràcies al professor Gil Gorchs, que ha col·laborat en la realització de la part experimental de camp.

I per últim, agrair també al meu amic i company de treball Gerard de Moragas, amb el qual he dut a terme conjuntament la part experimental.

1. Introducció

El nitrogen és el nutrient mineral principal necessari per a la producció de clorofil·la (fonamental pel procés de fotosíntesi) i altres components cel·lulars de la planta: proteïnes, àcids nucleics i aminoàcids (Muñoz-Huerta et al., 2013). Ajustar l'aplicació de fertilitzants de nitrogen (N) als requisits de cultiu és clau per millorar l'eficiència dels fertilitzants, reduint els costos d'entrada innecessaris als agricultors i l'impacte ambiental de les pèrdues de N. Un ús excessiu de N pot causar problemes de males herbes, maduració tardana i major susceptibilitat al blat per a malalties (Skjødt, 2003). A més a més, un ús excessiu de N comporta una major pèrdua de N per volatilització, desnitrificació, escorrentia i lixiviació d'amoníac (Montemurro, 2009). És per això que, per minimitzar les pèrdues potencials de N, cal dur a terme una bona fertilització nitrogenada, una fertilització que asseguri les entrades de N en funció del moment i les necessitats del cultiu. La fertilització nitrogenada ens permet modificar la qualitat, la biomassa i el rendiment dels cultius (especialment el dels cereals d'hivern, com el blat) i, per aquest motiu, en les últimes dècades ha pres un rol molt significatiu.

La fertilització nitrogenada ha de contemplar, almenys, tres factors que responen a les següents demandes: rendiment, qualitat del producte i relacions ambientals. Aquests factors no són independents i donen lloc a resultats diversos. A fi d'assimilar aquest concepte és necessari incorporar el criteri de "cost ambiental" de cada pràctica i tenir una visió, tant a mitjà com a llarg termini, dels efectes buscats.

Existeix una gran diversitat de mètodes i tècniques que s'utilitzen per determinar l'estat del N de la planta. Els mètodes basats en l'anàlisi de teixits --digestió Kjeldahl i combustió Dumas-- s'apliquen molt a les plantes, però es necessita molt temps i són destructius. Així doncs, sempre que es pugui és preferible fer ús de tècniques no destructives. Aquestes tècniques són les que es basen en l'estima del contingut de clorofil·la de la fulla de la planta a partir de mètodes òptics. Hi ha nombrosos dispositius òptics que estimen el contingut de clorofil·la a partir de la transmitància a determinades longituds d'ona (SPAD-502, CCM) i de l'activitat fotosintètica (Dualox, fluorescència de la clorofil·la). D'altres mesuren la reflectància del fullatge en les bandes del visible i l'infraroig (Yara N-Sensor, GreenSeeker, CropScan, càmeres digitals) i els sensors satèl·lit (per exemple, QuickBird o Sentinel-2).



Molts dels mètodes de camp depenen de propietats òptiques de la planta, que es veuen afectades per diversos factors: contingut d'aigua, senescència de la fulla, malalties, nutrients de la planta i estat de N de la planta. El contingut de clorofil·la es pot utilitzar com un indicador de l'estat del N, ja que aquest és un element essencial en la síntesi de proteïnes fotosintètiques (Muñoz-Huerta et al., 2013).

L'objectiu principal d'aquest treball és comparar els mètodes òptics, CCM i fluorescència de la clorofil·la, per estimar el contingut de nitrogen d'un cultiu de blat. El CCM o SPAD-502 és un dels instruments que més s'utilitzen en estudis per la determinació del N. Una secció de la fulla queda tancada en una petita secció i està exposada a dos focus de llum: el roig (640 nm) i l'infraroig (940 nm), posicionats just a sota de la fulla. La llum filtrada a través de la fulla és capturada seqüencialment per sensors situats a sota. La diferència en la transmissió de les longituds d'ones filtrades és un indicador del contingut de clorofil·la per unitat d'àrea foliar. Aquest aparell resulta ser molt pràctic ja que és portable, presenta una resposta ràpida i té un cost assequible (Muñoz-Huerta et al., 2013).

El contingut de clorofil·la té un gran impacte en l'activitat fotosintètica de la planta. La detecció de l'activitat fotosintètica també pot fer-se mitjançant mètodes òptics com és la fluorescència de clorofil·la, que és un dels altres mètodes òptics que detecten a nivell de fulla. És per això que, per a poder entendre el fonament dels mètodes basats en la fluorescència, cal entendre el funcionament del fotosistema II, un dels dos centres d'absorció de la clorofil·la. Els electrons que formen part d'un àtom o molècula tendeixen a romandre a l'estat de menor energia, l'estat fonamental. Malgrat tot, si s'absorbeix un fotó amb suficient energia, un electró pot saltar a nivells superiors, que són més energètics, més reactius i per tant poden participar en reaccions químiques que són impossibles per a l'estat fonamental. Aquest fenomen és molt important per al procés de fotosíntesi. En absència de reaccions, l'estat excitat és inestable i pot tornar a l'estat fonamental per diferents vies, com és mitjançant l'emissió d'un fotó (aquesta emissió és el que coneixem com a fluorescència). Cal remarcar que, de l'energia lluminosa absorbida per les molècules de clorofil·la, no tota s'usa per dur a terme la fotosíntesi (energia fotoquímica). Hi ha una petita part que no pot utilitzar-se i es dissipa en forma de calor o/i és reemesa com a llum, en forma de fluorescència. Tenint en compte els aspectes considerats anteriorment, queden definits diversos paràmetres de fluorescència, els quals ens permeten caracteritzar el rendiment fotosintètic:

- Y_{II} : fa referència a la conversió d'energia fotoquímica (fotosíntesi).
- Y_{NPQ} : fa referència a la dissipació d'energia tèrmica regulada amb els pigments xantofil·la.
- Y_{NO} : fa referència a les pèrdues constitutives primàries, que corresponen a la suma de la dissipació de calor no regulada i l'emissió de fluorescència.

Altres mètodes òptics dels quals no s'ha fet ús en aquest treball, però que també resulten adequats, són els mètodes basats a nivell de coberta del cultiu. Aquests mètodes es poden classificar en passius o actius, depenent de la font de llum. Els sensors passius mesuren la reflectància del fullatge del cultiu a partir de la llum del Sol. El *CropScan* és un sensor passiu de reflectància que mesura la radiació de la llum reflectida i incident del fullatge a diverses bandes de longituds d'ones des del IR fins UV. Permet triar les longituds d'ona de reflectància per calcular els índexs de vegetació més adients per tal de determinar el nivell de N del cultiu. A diferència dels passius, els sensors actius tenen la seva pròpia font de radiació. Entre aquests hi trobem el sensor *Yara*, el *GreenSeeker*, el *N-sensor* i el *CropCircle*. El sensor *Yara* és capaç de mesurar i reproduir informació espectral en un rang més ampli que el *GreenSeeker*.

A banda d'usar sistemes de camp per tal d'estimar el nivell nitrogenat del cultiu, també s'utilitzen sensors satèl·lits. El *QuickBird* és un dels sensors satèl·lits més utilitzats en l'avaluació del N del cultiu ja que les bandes del verd (520-600 nm), el vermell (630 nm) i el NIR (760-900 nm) són importants per a discriminar l'aigua i la deficiència de N. Les dades d'imatge obtingudes amb el *QuickBird* tenen una alta resolució. Les investigacions recents s'han centrat en l'ús de mètodes d'imatges digitals per a l'estimació del N del cultiu. Diversos paràmetres biofísics i d'estrès de la planta es poden detectar amb la imatge digital, per exemple: densitat del brot, danys a insectes i deficiències de nutrients i d'aigua. La imatge digital no requereix d'instruments sofisticats, únicament d'una càmera comercial i d'un sistema de processament d'imatge. Un dels sistemes és l'ús d'un sensor d'imatge multiespectral (Muñoz-Huerta et al., 2013).



2. OBJECTIU

L'objectiu principal d'aquest treball és comparar els mètodes òptics (CCM i fluorescència de la clorofil·la) per estimar el contingut de nitrogen en un cultiu de blat.

Més concretament, podem subdividir aquest objectiu principal en els següents objectius parcials:

1. Determinar si el CCM permet discriminar entre diferents nivells d'adobat nitrogenat i detectar deficiències.
2. Establir relacions entre les lectures òptiques de CCM i contingut de clorofil·la de la fulla de blat.
3. Estudiar les relacions entre el contingut de clorofil·la i l'activitat fotosintètica a partir de mesures de fluorescència de la clorofil·la.

3. MATERIAL I MÈTODES

A nivell metodològic, aquest treball ha estat realitzat en dues parts: una part del mostreig s'ha dut a terme a les parcel·les de blat de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (UPC), l'altra als laboratoris de l'escola.

3.1 Varietat de blat utilitzada

La varietat de blat (*Triticum aestivum*) utilitzada per dur a terme aquest treball és l'odiel. Es tracta d'una varietat de blat tou de cicle curt. El blat odiel, subministrat per l'empresa *Limagran Ibérica*, és un blat d'espiga amb aresta, precoç a l'espigat, amb cicle alternatiu de primavera i de talla mitjana. Pel que fa a la seva resistència a malalties, aquest presenta una resistència mitjana a l'ajagut, a la cendrosa i al rovell groc, però una resistència de baixa a mitjana a la septòria i molt baixa al rovell bru. La densitat d'espigues és de baixa a mitjana i el pes específic és mitjà.

El blat emprat va ser sembrat el 2 de març del 2017. El 29 de març es va dur a terme el control de naixença i estadi. El 31 de març es van aplicar 4 tractaments diferents de N en les següents dosis: 0, 30, 45 i 60 kg N/ha (nitrat amònic 33,5%). Cada tractament constava de 3 rèpliques, repartides aleatòriament (teníem un total de 12 parcel·les). El 6 d'abril es va aplicar 2,5l/ha d'herbicida Certrol a fi de controlar plantes adventícies. El 4 de maig es va fer un segon adobat (es van aplicar 0, 30, 45 i 60 kg N/ha) i control d'estadi. El 9 de maig tingué lloc l'aplicació de 500 cc/ha del fungicida Amistar. Finalment, el 4 de juliol es van agafar mostres de sòls per nitrats 0-30 i 30-60 cm parcel·les 1 a 8 i el 5 de juliol mostres sòls per nitrats 0-30 i 30-60 cm parcel·les 9 a 12.



3.2. Disseny experimental

La part experimental de camp d'aquest treball es va dur a terme als camps de la Universitat politècnica de Catalunya, situada a Castelldefels (41°16'35.2"N 1°59'10.3"E), als horts de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.



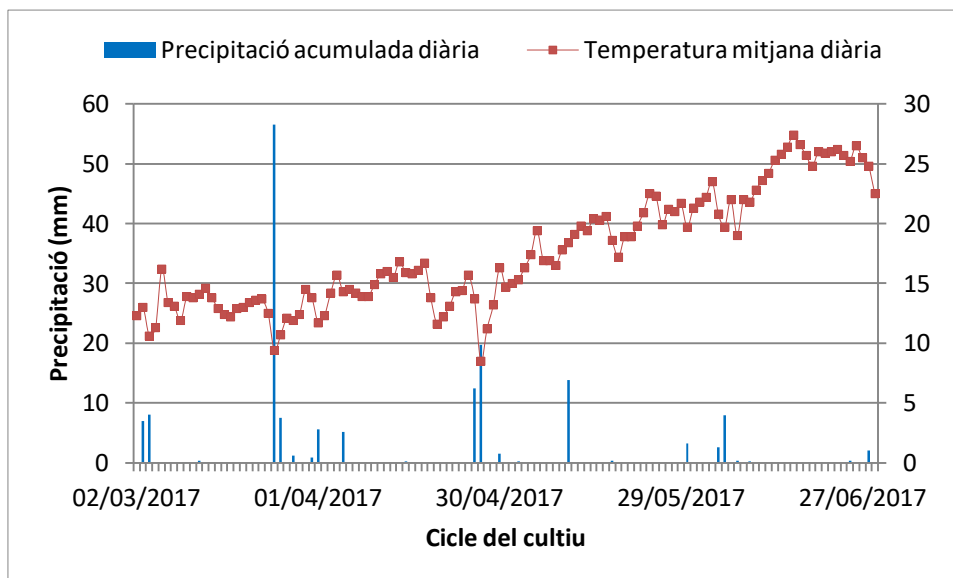
Figura 3.1: Parcel·les experimentals.

Tal i com s'observa a la *figura 3.1*, es va organitzar el bloc en parcel·les. El blat de cada parcel·la havia estat adobat amb una quantitat de N diferent (0, 60, 120 i 180 kg N/ha), tal com es pot veure en l'esquema que es presenta a continuació:

	1	2	3
1	Odiel-0	Odiel-0	Odiel-240
2	Odiel-60	Odiel-180	Odiel-120
3	Odiel-120	Odiel-60	Odiel-0
4	Odiel-0	Odiel-120	Odiel-180
5	Odiel-180	Odiel-0	Odiel-60
6	Odiel-240	Odiel-240	Odiel-0

Figura 3.2: Distribució de les parcel·les.

Les dades agrometeorològiques de temperatura i pluviometria del cicle del cultiu, proporcionades per l'estació de Viladecans de la xarxa meteorològica de Catalunya, queden recollides al següent gràfic:



Gràfic 3.1: Pluviometria i temperatura del cicle del blat.

3.3. Mesures òptiques al camp

Pel que fa a la part experimental al camp, es van realitzar 3 sessions (15 de maig, 26 de maig i 8 de juny). Els instruments utilitzats per dur aquesta part del treball foren el ceptòmetre i el mesurador de clorofil·la CCM. Amb el ceptòmetre va ser mesurat el PAR (la quantitat de Radiació Fotosintèticament Activa) i amb el dispositiu CCM la quantitat de clorofil·la.

Per mesurar la quantitat de Radiació Fotosintèticament Activa es va realitzar una mesura des de dalt (la PAR incident) i 4 des de baix (la PAR transmesa a la part inferior de la coberta), a fi de poder determinar després el percentatge de radiació interceptada, que és el següent:

$$fIPAR = \frac{(PAR_{dalt} - PAR_{baix}) * 100}{PAR_{dalt}}$$



Figura 3.3: Ceptòmetre, lectures de PAR.

Per tal de determinar la quantitat de clorofil·la i així poder calcular, a partir d'aquesta, la quantitat de nitrogen, es va utilitzar l'aparell portàtil CCM, que de manera ràpida, fiable i no destructiva, permeté estimar el contingut de clorofil·la de les fulles de blat. La mesura es realitzà a la part central de la fulla. De cada parcel·la de blat es van mesurar 8 fulles de la part superior de la coberta.

3.4. Mesures òptiques al laboratori

El 8 juny es van tornar a realitzar mesures de PAR i CCM i es va iniciar la part experimental a un dels laboratoris de l'escola. Es van preparar 15 tubs d'assaigs on posteriorment s'hi van afegir mostres de blat i es va pipetejar 5 ml de N,N- dimetilformamida sota la campana, ja que aquest dissolvent orgànic presenta cert grau de toxicitat. Es van agafar 15 fulles de diferent coloració (de més verdes a més groguenques) a fi d'establir relacions per una àmplia varietat de continguts de clorofil·la. Va ser mesurada la quantitat de clorofil·la amb el CCM i amb un fluorímetre es van determinar els paràmetres d'adaptació a la llum i a la foscor (la fluorescència màxima F_m' i fluorescència mínima F_o') per tal d'obtenir els diversos rendiments fotosintètics.

Les equacions utilitzades (Klughammers et al. 2008) són les següents:

$$Y(II) = \frac{F'_m - F}{F'_m} = \frac{\Delta F}{F'_m}$$

$$Y(NO) = \frac{F}{F_m}$$

$$Y(NPQ) = \frac{F}{F'_m} - Y(NO) = \frac{F}{F'_m} - \frac{F}{F_m}$$

$$Y(NO) + Y(NPQ) + Y(II) = 1$$

$Y(II)$ correspon a la fracció d'energia que és fotoquímicament convertida al PSII, i seria una estima en l'ús de la llum per la fotosíntesi. La fracció restant $1 - Y(II)$ constitueix el rendiment quàntic total de tots els processos de dissipació d'energia, que són $Y(NO)$ i $Y(NPQ)$. $Y(NO)$ reflecteix la fracció d'energia que es dissipa passivament en forma de calor i fluorescència. $Y(NPQ)$ correspon a la fracció d'energia dissipada en forma de calor a través del mecanisme fotoprotector regulat, és a dir a través de la interconversió dels pigments del cicle de les xantofil·les, que són uns pigments fotoprotectors.



Finalment de cada fulla es van perforar 5 discos que es van posar en tubs d'assaigs, els quals van ser aïllats amb paper d'alumini a fi que no penetrés la llum



Figura 3.4: Material emprat en l'extracció de la clorofil·la.

El 12 juny, després que l'extracció de la clorofil·la s'hagués completat, es va prosseguir a realitzar les mesures amb l'espectrofotòmetre. Es van treure els discos de cada tub d'assaig i el líquid resultant va ser dipositat en una cubeta per tal de ser analitzat mitjançant l'espectrofotòmetre. Hi havia una cubeta per la mostra i una altra on s'hi va posar N,N-dimetilformamida per fer el blanc. El contingut de pigments es determinà per mitjà d'un espectrofotòmetre, llegint l'absorbància a 480, 647, 664 i 678 nm.

Per dur a terme el càlcul de les concentracions de clorofil·la A, clorofil·la B i carotenoides en una solució amb dimetilformamida, es van utilitzar les següents fórmules (Porra et al. 1989):

$$\text{Clorofil} \cdot \text{la}_A \text{ (mg/ml)} = 11,65 \cdot A_{664} - 2,69 \cdot A_{647}$$

$$\text{Clorofil} \cdot \text{la}_B \text{ (mg/ml)} = 20,81 \cdot A_{647} - 4,53 \cdot A_{664}$$

$$\text{Clorofil} \cdot \text{la}_{A+B} \text{ (mg/ml)} = \text{Clorofil} \cdot \text{la}_A + \text{Clorofil} \cdot \text{la}_B$$

$$\text{Carotenoids} = ((1000 \cdot A_{480}) - (0,89 \cdot \text{ChlA}) - (52,02 \cdot \text{ChlB}))/245$$

L'espectrofotòmetre és un aparell emprat per determinar l'espectre d'absorció d'una determinada mostra, tot seleccionant la longitud d'ona de la llum que passa per la solució. Per determinar el contingut de pigments de les fulles de blat es realitzaren mesures a 480, 647, 664 i 678 nm. S'utilitzà l'espectrofotòmetre *Shimadzu UV-160A*.



Figura 3.5: Lectures amb l'espectrofotòmetre.



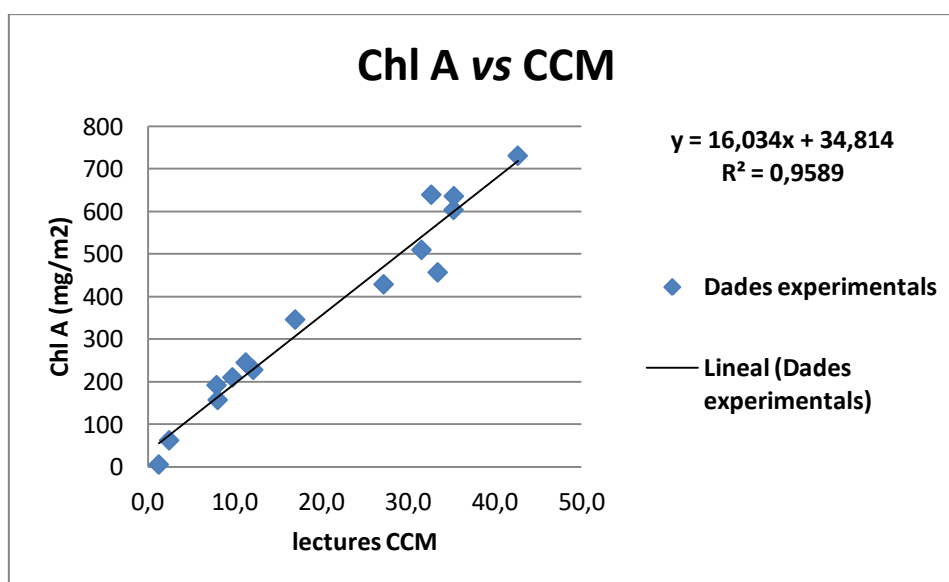
Figura 3.6: Espectrofotòmetre.

4. RESULTATS

4.1. Resultats del laboratori

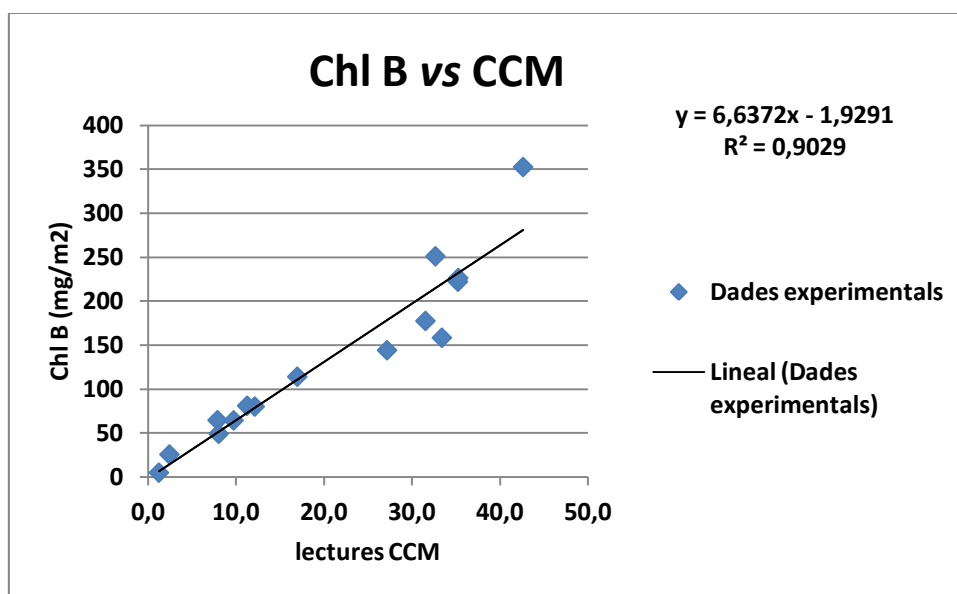
4.1.1. Relacions CCM vs clorofil·la

A partir dels gràfics que es presenten a continuació, podem observar com els valors establerts amb el mesurador CCM (índex d'intensitat del color verd) i el contingut de pigments (clorofil·la i carotenoides) estan linealment relacionats.



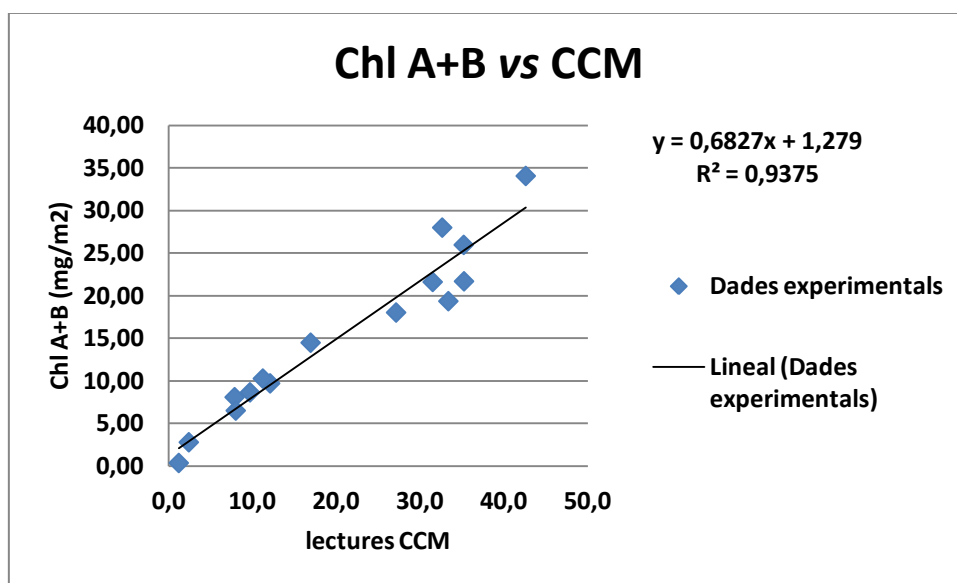
Gràfic 4.1.1.1: Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de clorofil·la A.

Al Gràfic 4.1.1.1 queda expressada la relació entre les dades de CCM i el contingut de clorofil·la A mitjançant el polinomi $y=16,034x+34,814$, on la variable x representa les lectures de CCM i la variable y el contingut de clorofil·la A per unitat d'àrea foliar. Podem justificar la bondat de l'ajust observant el coeficient de determinació, que és de 0,96, el de *Pearson* de 0,98 i el *p*-valor menor que 0,001.



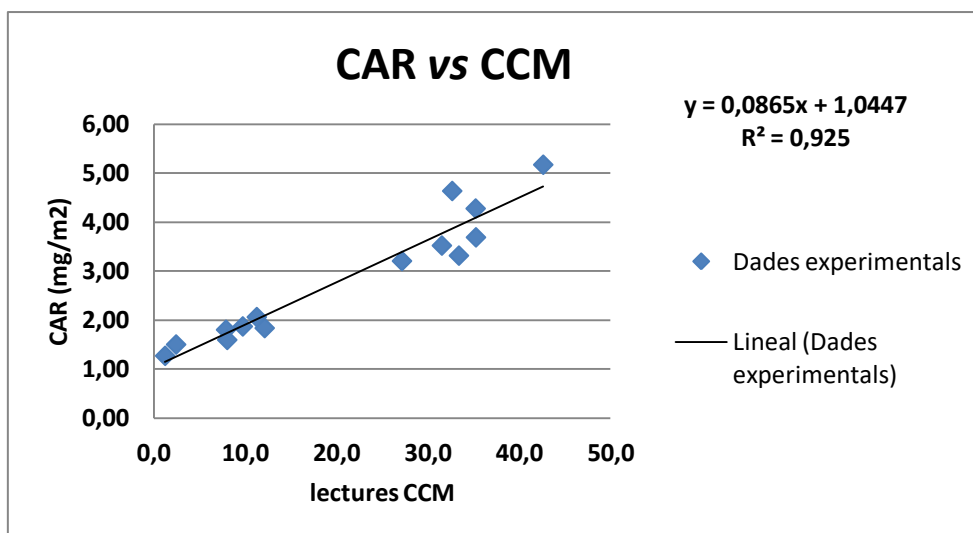
Gràfic 4.1.1.2: Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de clorofil·la B.

Tal i com passava en el gràfic anterior, en aquest *Gràfic 4.1.1.2*, també s'observa una relació lineal entre ambdues variables. Aquesta relació lineal s'expressa mitjançant el polinomi $y=6,6372x-1,9291$, on la variable x representa les lectures de CCM i la variable y el contingut de clorofil·la B. No obstant, els valors de clorofil·la B es desvien lleugerament per valors de CCM compresos entre 27,2 i 42,6, sent aquest darrer valor el que més es desvia de la recta. La R^2 és de 0,90, el coeficient de *Pearson* 0,979 i el p -valor menor que 0,001.



Gràfic 4.1.1.3: Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de clorofil·la A+B.

S'observa al Gràfic 4.1.1.3 la correlació entre el contingut de clorofil·la A+B i les lectures de CCM, expressant-se en el polinomi de primer ordre $y=0,6827x+1,279$, on la variable x representa les lectures de CCM i la variable y el contingut total de clorofil·la per unitat d'àrea foliar. El coeficient de determinació és de 0,94, de correlació de *Pearson* és de 0,976 i el p-valor menor que 0,001.

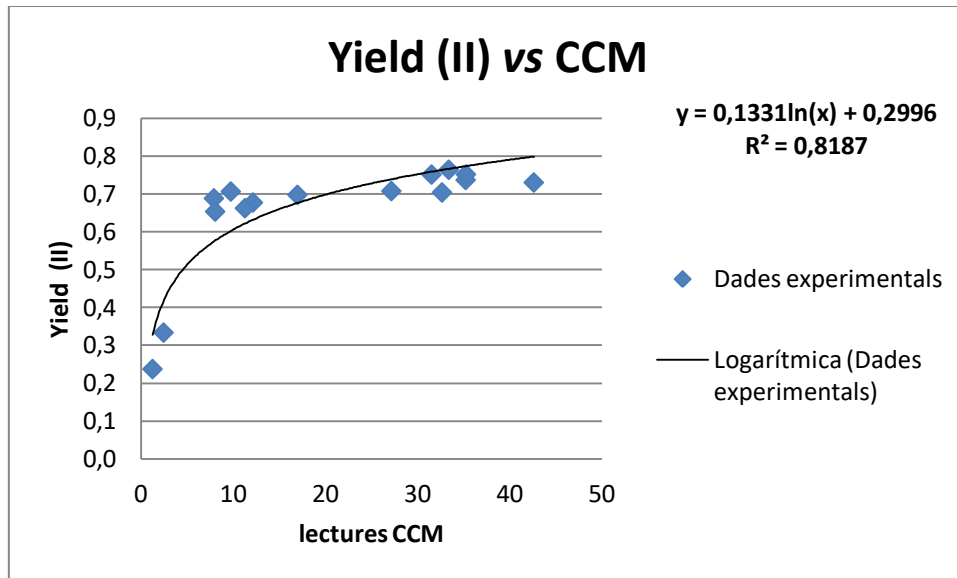


Gràfic 4.1.1.4: Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el contingut de carotenoides.

En el cas del contingut de carotenoides passa exactament el mateix que en el cas del contingut de clorofil·la; es manté una relació molt lineal amb els valors de. Aquesta relació s'expressa amb el polinomi de primer grau $y=0,0865x + 1,0447$. La R^2 és de 0,93 , el qual justifica clarament aquesta linealitat. A més a més, el coeficient de correlació de *Pearson* és de 0,872 i el p-valor de 0,001.

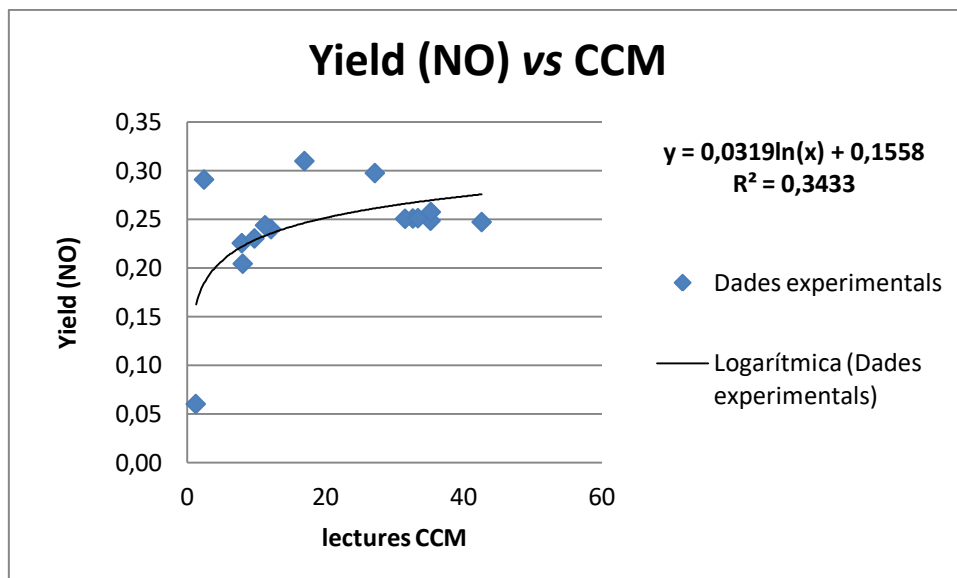
4.1.2. Relacions CCM vs fluorímetre

En els següents gràfics, queden expressades les relacions dels rendiments fotosintètics amb els valors de CCM:



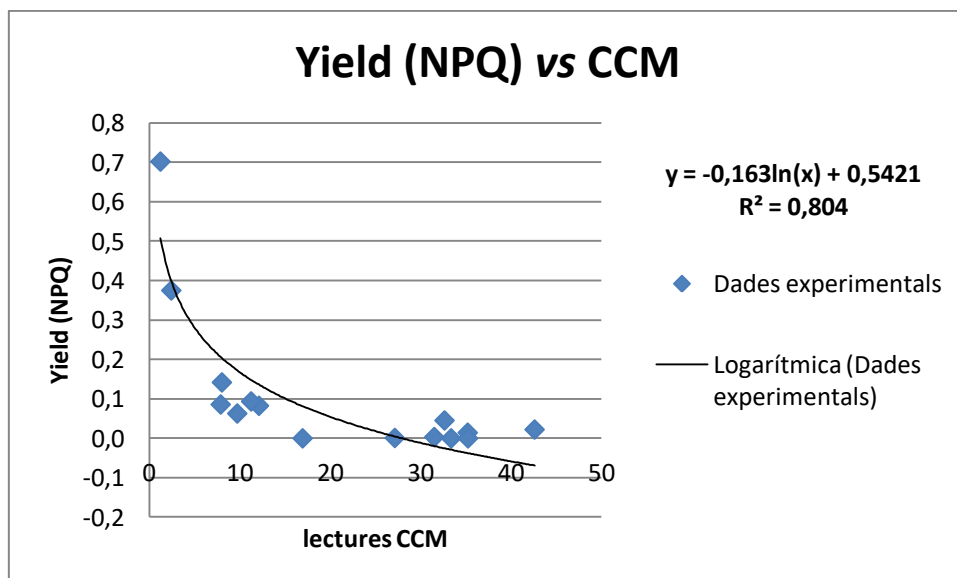
Gràfic 4.1.2.1: Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el paràmetre Yield (II).

Al Gràfic 4.1.2.1 veiem com els valors del rendiment Y(II) i els valors de CCM segueixen una mena de relació logarítmica, que queda expressada com a $y = -0,1331\ln(x) + 0,2996$, essent x els valors de CCM i y el valor de Y(II). El valor de desviació estàndard és $S = 0.693749$.



Gràfic 4.1.2.2: Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el paràmetre *Yield* (NO).

Es pot observar al *Gràfic 4.1.2.2* com els valors del rendiment $Y(NO)$ i les lectures de CCM segueixen una mena de relació logarítmica, que queda expressada com a $y=0,0319\ln(x)+0,1558$, essent x els valors de CCM i y el valor de $Y(NO)$. La R^2 té un valor de 0,34 ja que com es pot veure els resultats estan bastant desviats. El valor de desviació estàndard és $S = 0,255573$.

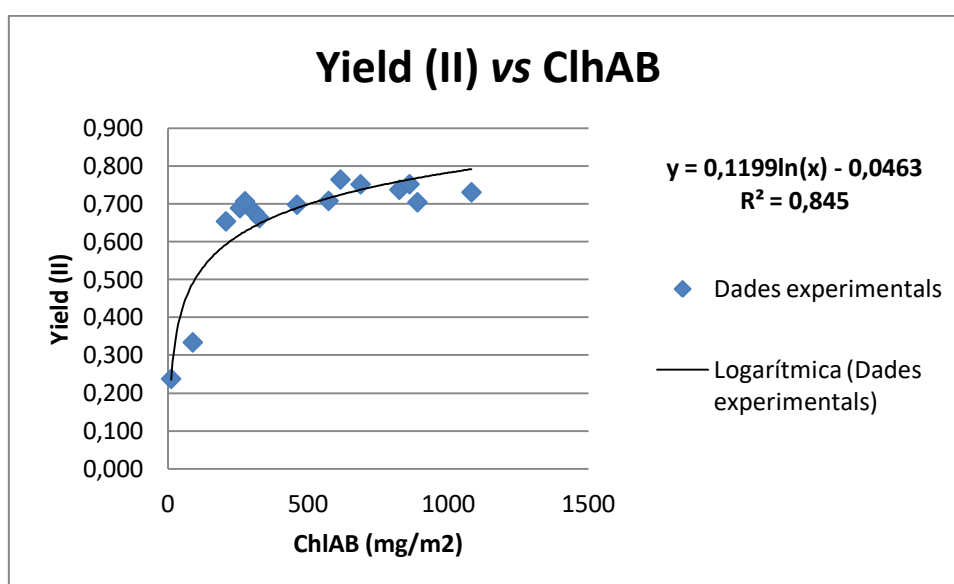


Gràfic 4.1.2.3: Relació entre les lectures obtingudes amb el CCM i el paràmetre *Yield* (NPQ).

Al *Gràfic 4.1.2.3* hi trobem representats els valors del rendiment $Y(NPQ)$ i els valors de CCM, els quals segueixen una mena de relació logarítmica negativa, que queda expressada com a $y = -0,163\ln(x) + 0,5421$, essent x els valors de CCM i y el valor de $Y(NPQ)$. La R^2 és de 0,804 i el valor de desviació estàndard és $S = 0,221045$.

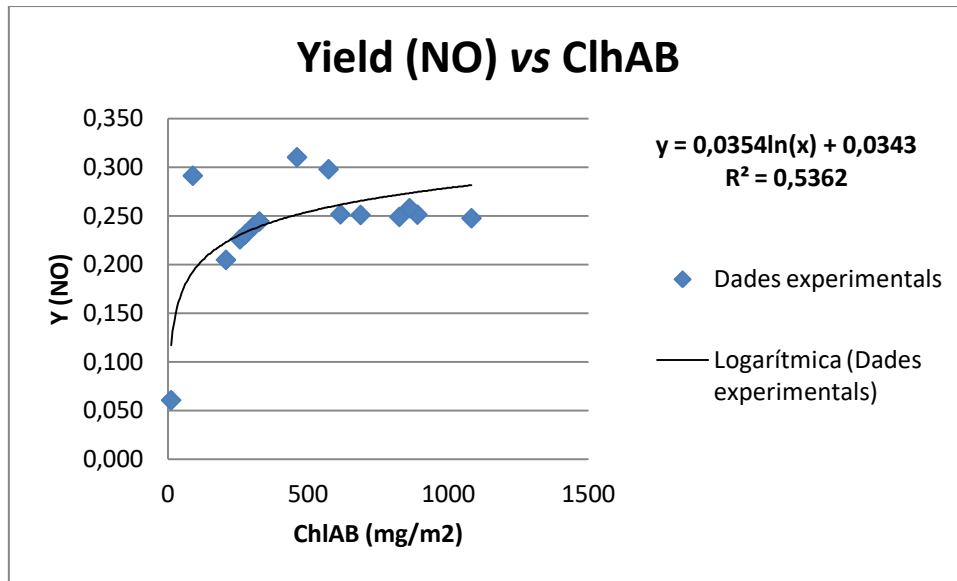
4.1.3. Relacions fluorímetre vs clorofil·la total

Com que els valors de clorofil·la lliguen amb les lectures del sensor CCM, es pot establir que els valors de clorofil·la A+B estan relacionats amb els paràmetres NO, NPQ i PSII. Aquesta relació la podem observar als gràfics que es presenten a continuació:



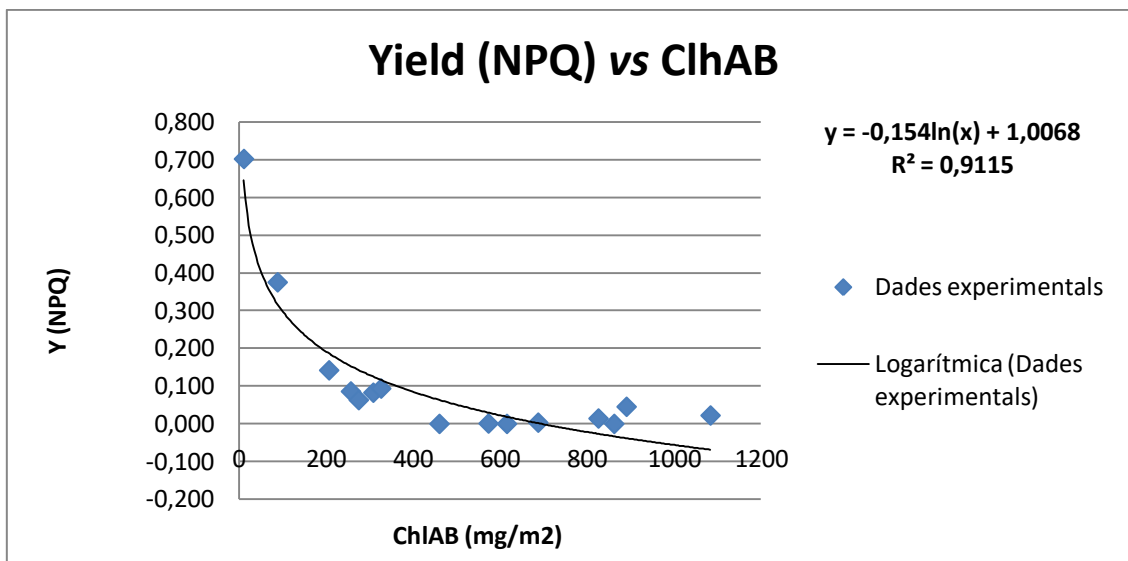
Gràfic 4.1.3.1: Relació entre el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i el paràmetre Yield (II).

Es pot observar al *Gràfic 4.1.3.1* com els valors del paràmetre $Y(II)$, que fa referència al rendiment del PSII, i els valors de contingut total de clorofil·la per unitat d'àrea segueixen una mena de relació logarítmica, que queda expressada com a $y = 0,1199\ln(x) - 0,0463$, on x és el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i y el valor de $Y(II)$. El valor de desviació estàndard és $S = 0,697349$.



Gràfic 4.1.3.2: Relació entre el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i el paràmetre Yield (NO).

Al Gràfic 4.1.3.2 hi trobem la relació entre els valors del paràmetre Y(NO), que fa referència a la dissipació de calor no regulada i l'emissió de fluorescència, i el contingut total de clorofil·la, que queda expressada com a $y=0,0354\ln(x)+0,0343$, essent x el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i y el valor de Y(NO). La R^2 és de 0,54 ja que els resultats estan força dispersos. El valor de desviació estàndard és $S= 0,255573$.

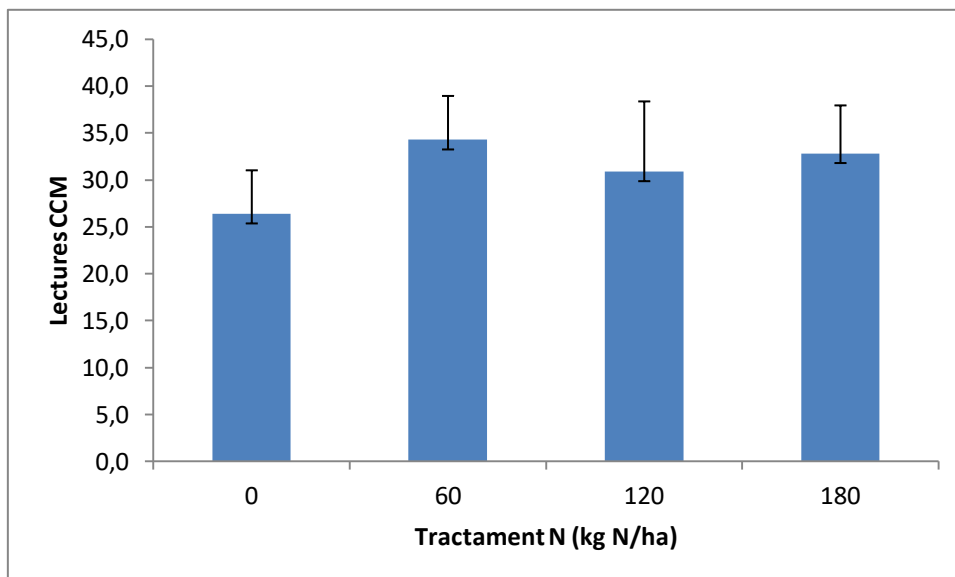


Gràfic 4.1.3.3: Relació entre el contingut de clorofil·la A+B per unitat d'àrea i el paràmetre Yield (NPQ).

Al Gràfic 4.1.3.3 podem veure com els valors del paràmetre Y(NPQ), que fan referència a la dissipació d'energia tèrmica pel mecanisme NPQ, i els valors de contingut total de clorofil·la també segueixen una mena de relació logarítmica, malgrat que negativa, que queda expressada com a $y = -0,154\ln(x) + 1,0068$, essent x el contingut de clorofil·la A+B i y el valor de Y(NPQ). El valor de desviació estàndard és $S = 0,221045$.

4.2. Resultats de camp

4.2.1. CCM vs tractament N

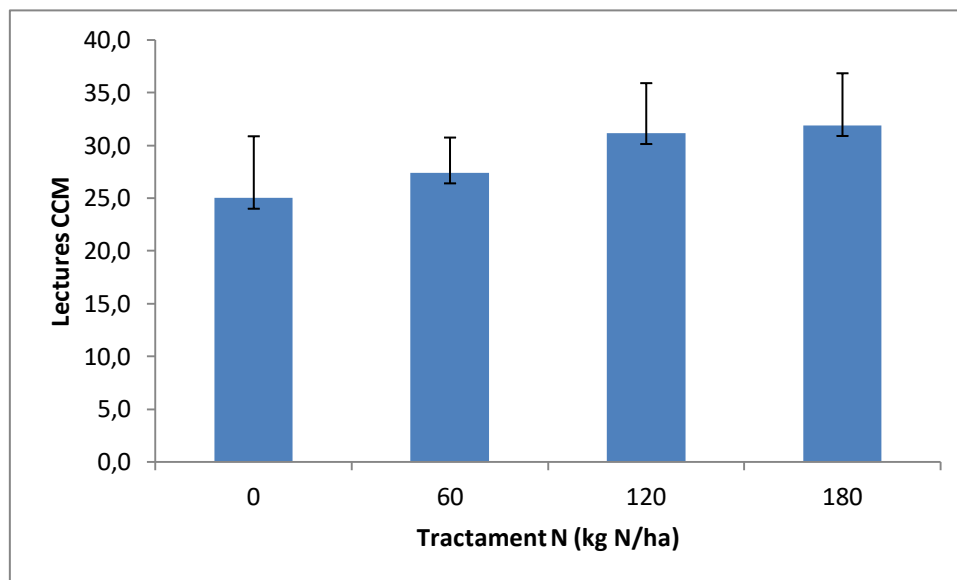


Gràfic 4.2.1.1: Variació de les lectures amb el CCM en funció del tractament de nitrogen (15 de maig).

Variable	Mitjana	Error estàndard de la mitjana	Desv.Est.	Mínim	Mediana	Màxim
CCM	31,09	1,71	3,43	26,39	31,86	34,27

Taula 4.2.1.1: Estadístics descriptius CCM, 15 de maig.

Al Gràfic 4.2.1.1 hi figuren els diferents valors mitjos de CCM per cada tipus de tractament de N. Amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ veiem que no existeixen diferències significatives entre els diversos tractaments, essent la desviació estàndard 3.43 i el tractament de nitrogen amb valors de clorofil·la més elevats és el 60 kg N/ha. Amb un nivell de significació $\alpha=0,1$ sí que hi trobem una significació= 0,076 i, per tant, diferències marginalment significatives.

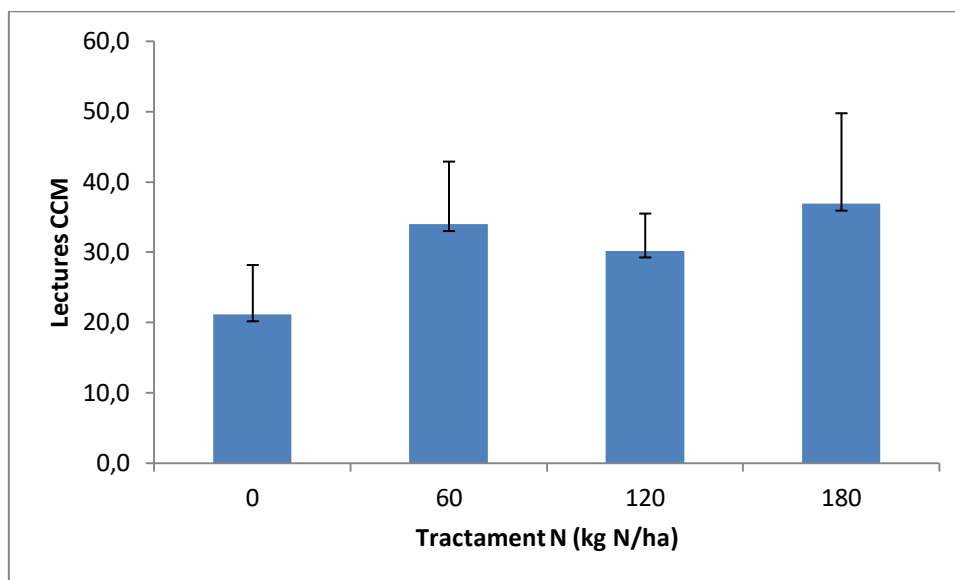


Gràfic 4.2.1.2: Variació de les lectures amb el CCM en funció del tractament de nitrogen (26 de maig).

Al Gràfic 4.2.1.2 queden representats els diferents valors mitjos de CCM per cada tipus de tractament de N. Amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ no hi trobem diferències significatives entre els diversos tractaments, sent la desviació estàndard 3,23. S'observa que, pels tractaments de més nitrogen, s'han obtingut lectures de CCM majors. Amb un nivell de significació $\alpha=0,01$ hi trobem una significació= 0,094 i, per tant, diferències marginalment significatives entre tractaments.

Variable	Mitjana	Error estàndard de la mitjana	Desv.Est.	Mínim	Mediana	Màxim
CCM	28,87	1,62	3,23	25,01	29,28	31,90

Taula 4.2.1.2: Estadístics descriptius CCM, 26 de maig.



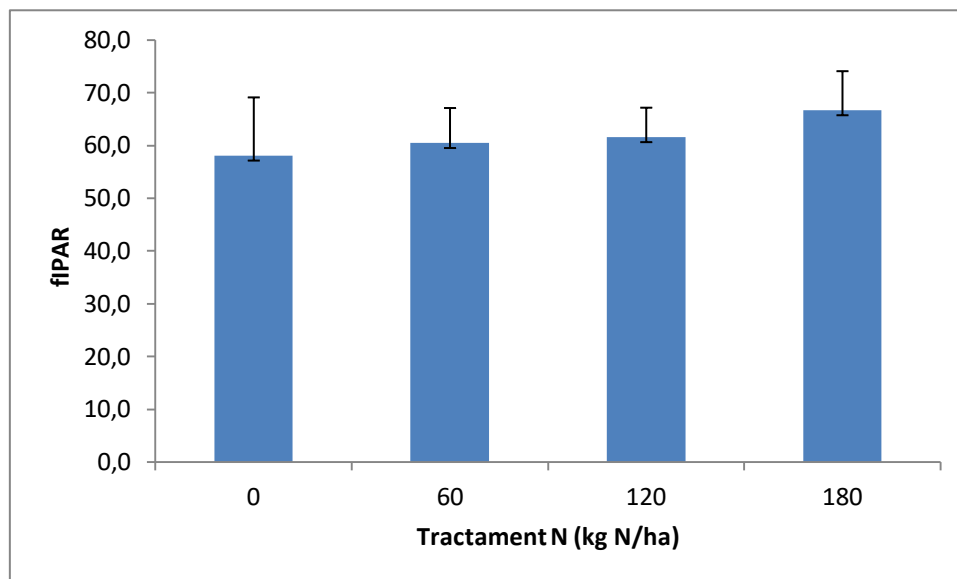
Gràfic 4.2.1.3: Variació de les lectures amb el CCM en funció del tractament de nitrogen (8 de juny).

Al Gràfic 4.2.1.3 es veuen els diferents valors mitjos de CCM per cada tipus de tractament de N. Amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ no s'observen diferències significatives entre els diversos tractaments, essent la desviació estàndard 6.84. Amb un nivell de significació $\alpha=0,1$ es troba una significació=0,079 i, per tant, diferències significatives entre tractaments.

Variable	Mitjana	Error estàndard de la mitjana	Desv.Est.	Mínim	Mediana	Màxim
CCM	30,56	3,42	6,84	21,15	32,10	36,88

Taula 4.2.1.3: Estadístics descriptius CCM, 8 de juny.

4.2.2. fIPAR vs tractament N

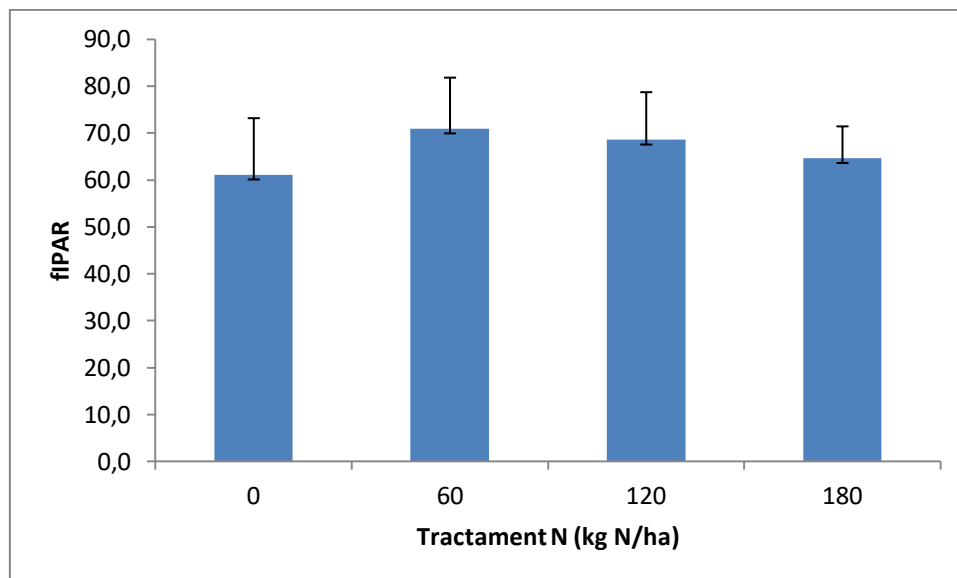


Gràfic 4.2.2.1: fIPAR en funció del tractament de nitrogen (15 de maig).

Es pot observar a l'histograma 4.2.2.1 els diferents valors de fIPAR per cada tipus de tractament de N. Amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ veiem que no existeixen diferències significatives entre els diversos tractaments, essent la desviació estàndard 3,62.

Variable	Mitjana	Error estàndard de la mitjana	Desv.Est.	Mínim	Mediana	Màxim
fIPAR	61,74	1,81	3,62	58,13	61,06	66,72

Taula 4.2.2.1: Estadístics descriptius fIPAR, 15 de maig.

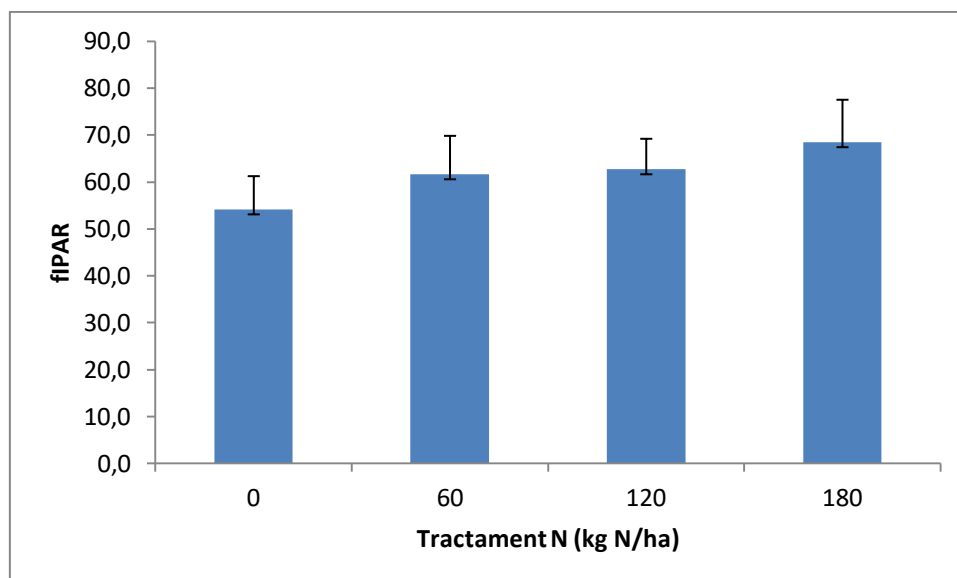


Gràfic 4.2.2.2: fIPAR en funció del tractament de nitrogen (dia 26 de maig).

Al Gràfic 4.2.2.2 trobem representats els diferents valors de fIPAR per cada tipus de tractament de N. Amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ veiem que no existeixen diferències significatives entre els diversos tractaments, essent la desviació estàndard de 4,33. Els blocs experimentals del cultiu amb tractament de 60 kg N/ha són els que han utilitzat més radiació per dur a terme la fotosíntesi.

Variable	Mitjana	Error estàndard de la mitjana	Desv.Est.	Mínim	Mediana	Màxim
fIPAR	66,35	2,17	4,33	61,16	66,63	70,98

Taula 4.2.2.2: Estadístics descriptius fIPAR, 26 de maig.



Gràfic 4.2.2.3: fIPAR en funció del tractament de nitrogen (dia 8 de juny).

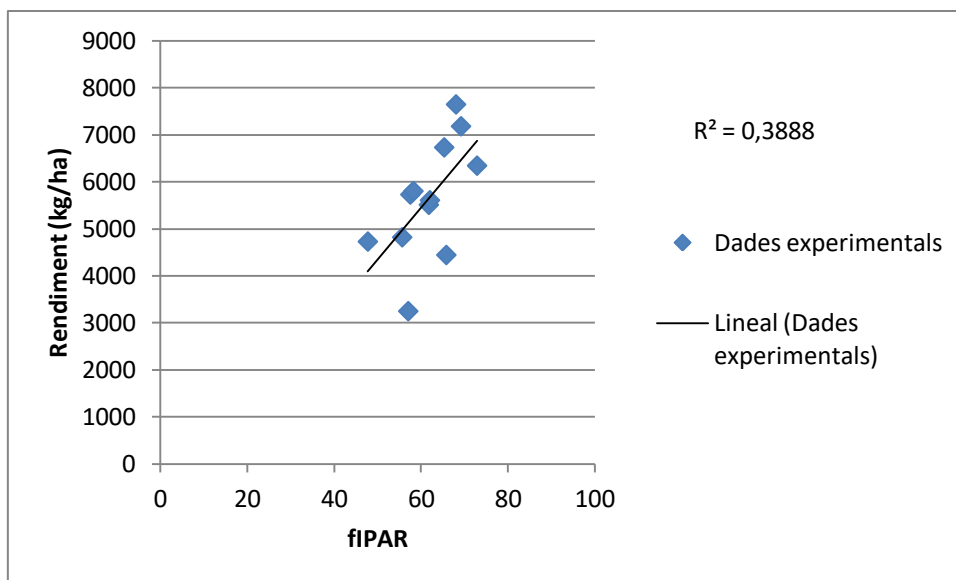
Al Gràfic 4.2.2.3 trobem representats els diferents valors de fIPAR per cada tipus de tractament de N. Amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ veiem que no existeixen diferències significatives entre els diversos tractaments, essent la desviació estàndard 5,88.

Variable	Mitjana	Error estàndard de la mitjana	Desv.Est.	Mínim	Mediana	Màxim
fIPAR	61,74	2,94	5,88	54,15	62,16	68,47

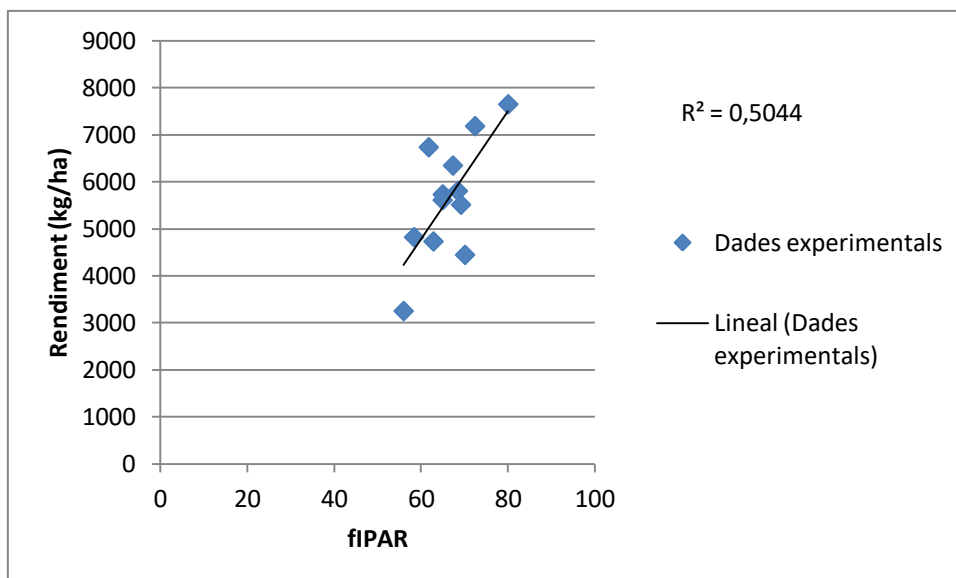
Taula 4.2.2.3: Estadístics descriptius fIPAR, 8 de juny.

4.2.3. Rendiment vs fIPAR

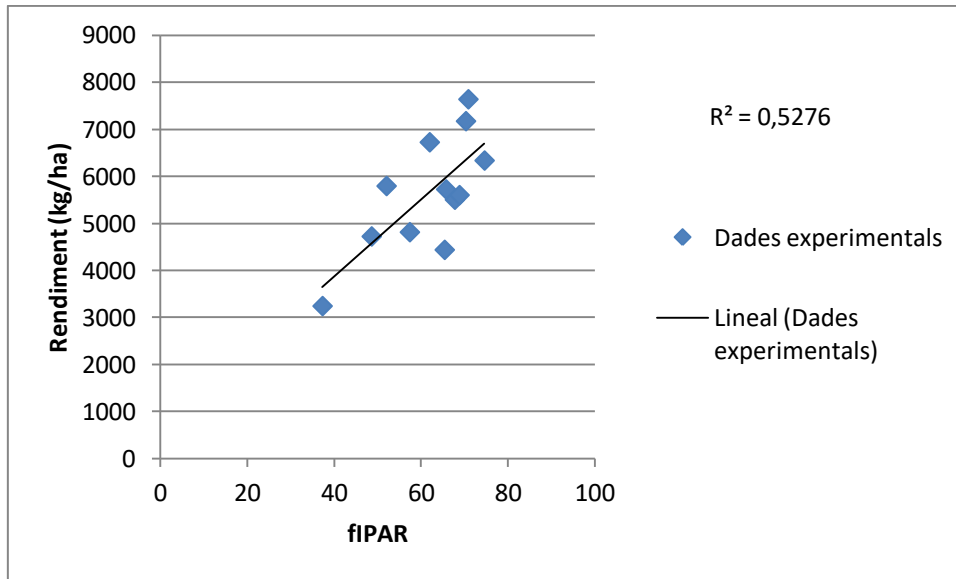
Als gràfics que es troben a continuació, hi ha representada la correlació entre els valors de rendiments i el PAR interceptat (%).



Gràfic 4.2.3.1: Rendiment vs fIPAR (15 de maig).

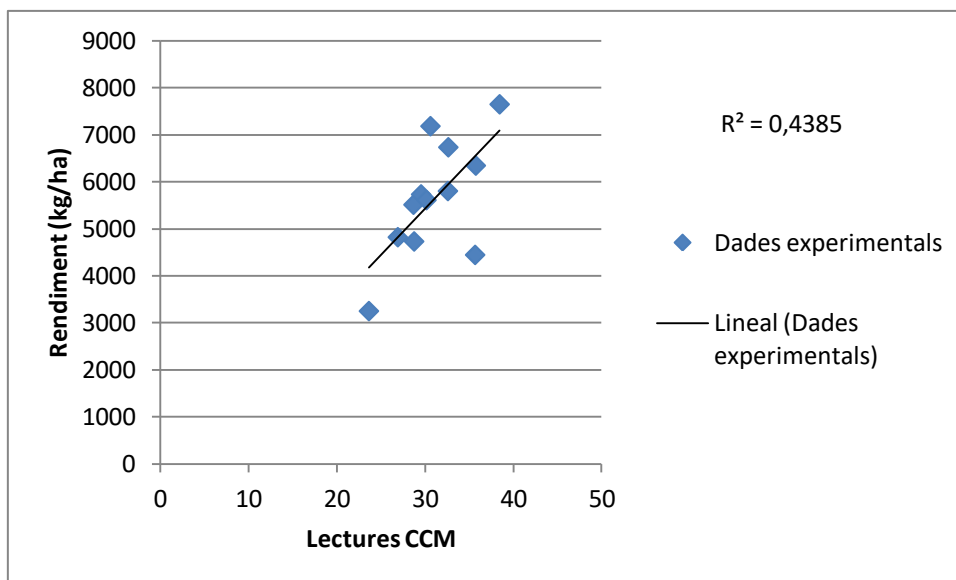


Gràfic 4.2.3.2: Rendiment vs fIPAR (26 de maig).

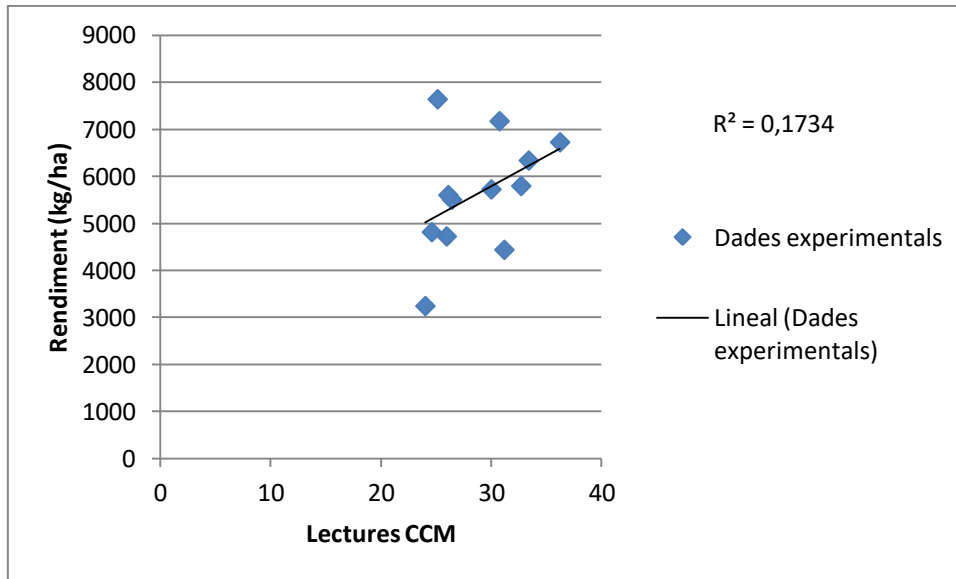


Gràfic 4.2.3.3: Rendiment vs fIPAR (8 de juny).

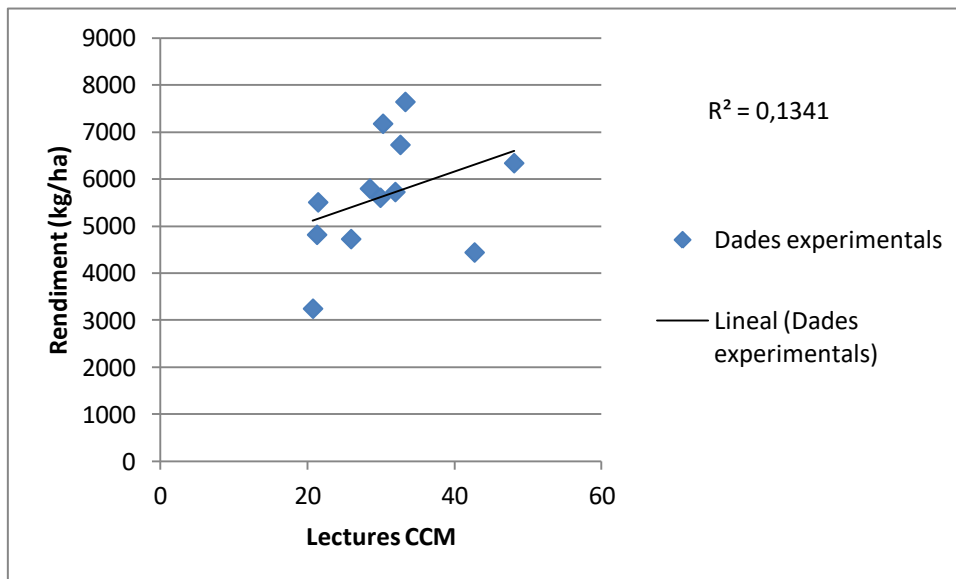
4.2.4. Rendiment vs CCM



Gràfic 4.2.4.1: Rendiment vs CCM (15 de maig).

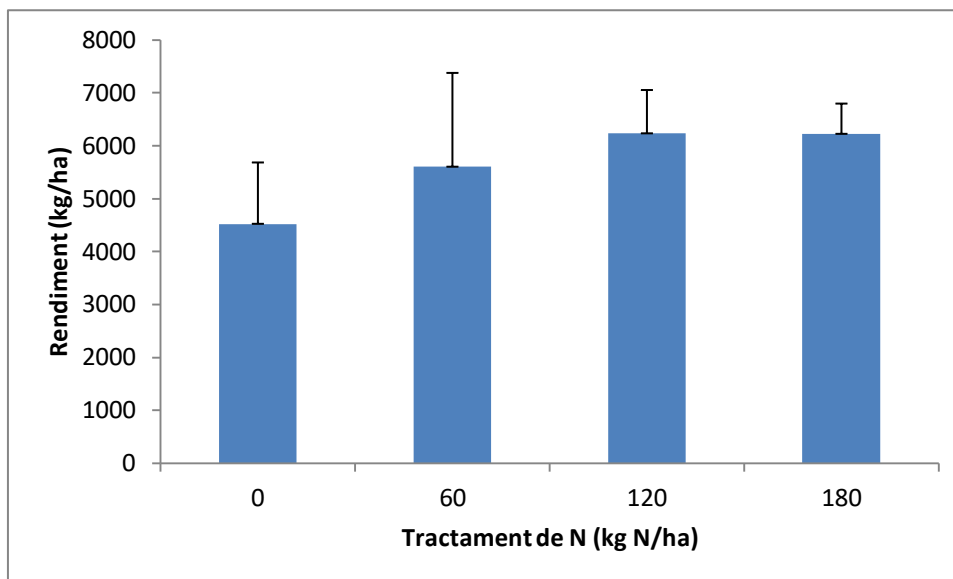


Gràfic 4.2.4.2: Rendiment vs CCM (26 de maig).



Gràfic 4.2.4.3: Rendiment vs CCM (8 de juny).

4.2.5. Rendiment vs tractament N



Gràfic 4.2.5: Rendiment vs tractament de N.

Al Gràfic 4.2.5 trobem representats els valors de rendiment per cada tipus de tractament de N. Amb un nivell de significació $\alpha=0,05$ veiem que no existeixen diferències significatives entre els diversos tractaments, essent la desviació estàndard 805.

Variable	Mitjana	Error estàndard de la mitjana	Desv.Est.	Mínim	Mediana	Màxim
Rendiment	5647	402	805	4524	5914	6235

Taula 4.2.5: Estadístics descriptius rendiment, 8 de juny.

5. DISCUSSIÓ

Les mesures de clorofil·la estan altament relacionades amb el contingut de nitrogen del cultiu (Quemada et al., 2014) i ens permeten conèixer quina dosi de nitrogen és la més adient en cada fase. S'ha trobat una correlació altament significativa entre la concentració de clorofil·la i els valors de CCM, el qual representa un gran avantatge al poder substituir la determinació de clorofil·la pel mètode tradicional (què és un mètode destructiu) per la simple lectura d'unitats CCM. Aquesta correlació la podem veure observant els diversos coeficients de determinació R^2 i els coeficients de *Pearson*, que s'utilitzen per quantificar la correlació entre les lectures de CCM i contingut de clorofil·la, ambdós coeficients amb valors molt propers a 1 per tots els casos (veure gràfics 4.1.1.1, 4.1.1.2, 4.1.1.3 i 4.1.1.4).

Pel tractament de 0 kg N/ha del 15 de maig, el valor mitjà de CCM és de 26,3875. Per aquest valor s'obté un contingut de clorofil·la $A = 6,034x + 34,814 = 6,034 \cdot 26,3875 + 34,814 = 194,036$ mg ChlA/m². Pel tractament de 180 kg N/ha d'aquest mateix dia el valor mig de CCM és de 32,825 i s'obté un contingut de clorofil·la $A = 6,034x + 34,814 = 6,034 \cdot 32,825 + 34,814 = 232,880$ mg ChlA/m². Aquests resultats són inferiors als que trobem en altres articles (Serrano et al., 2000). Això pot ser degut a que moltes fulles del *Triticum aestivum* ja havien entrat en senescència quan es van agafar per mostrejar. A part, la temperatura i la radiació poden afectar, així com l'estat fenològic del cultiu i la presència de possibles estressos.

Els diferents continguts de clorofil·la comporten diferent activitat fotosintètica i poden tenir efecte en el rendiment i qualitat del cultiu. Les relacions entre els paràmetres de fluorescència i contingut de clorofil·la indiquen diferències de l'activitat fotosintètica. Del gràfics 4.1.3.1 a 4.1.3.3 podem veure la variació dels rendiments dels paràmetres de fluorescència amb el contingut de clorofil·la total. Veiem que en tots els casos se segueix una relació logarítmica amb base e, sent positiva pels casos de Y(II) i Y(NO) i sent negativa pels casos de rendiment Y(NPQ). Aquests resultats tenen sentit ja que, en absència d'altres estressos, a major contingut de clorofil·la, es produeix un major rendiment fotosintètic i una possible major pèrdua en forma de calor, amb la qual cosa menor part d'energia lluminosa s'emet en forma de fluorescència.



Als gràfics 4.1.2.1, 4.1.2.2 i 4.1.2.3 queda representada la relació dels rendiments de fluorescència en funció de les lectures de CCM. Veiem que també tenen una relació logarítmica neperiana, ja que els valors de CCM i el contingut de clorofil·la van lligats directament, amb una relació lineal.

Amb la finalitat d'avaluar les possibles diferències entre tractaments pel que fa a les lectures de PAR i CCM, s'han analitzat els resultats estadísticament mitjançant l'anàlisi de la variància (ANOVA). Pel que al PAR interceptat, no s'han trobat diferències significatives entre els tractament per cap dels dies en que s'han fet les lectures. Es pot afirmar, doncs, que el PAR no comporta diferències en el ritme fotosintètic i, per tant, en la biomassa de cada un dels tractaments. Tampoc es pot considerar que el PAR tingui efecte en els diversos valors de CCM (i, per tant, de clorofil·la). En relació als resultats de CCM, en canvi, sí que hi trobem diferències marginalment significatives, establint-se una significació S de 0,076 el 15 de maig, una S de 0,094 pel 26 de maig i una S de 0,079 pel 8 de juny. Per tant, es pot afirmar que existeixen petites diferències entre tractaments. Aquestes diferències poden ser fruit dels diversos nivells de nitrogen al sòl.

Tot i que no hi ha diferències significatives en el rendiment, la capacitat per interceptar radiació és el que determina el rendiment. fIPAR seria l'equivalent a un LAI*Chl. Tot i que no hi ha diferències significatives, l'adobat nitrogenat ha comportat una variació tant en l'estructura de la coberta (LAI) com en el contingut de clorofil·la i és per això que els valors de PAR interceptat provoquen diferent rendiment.

Pel que fa a les variacions del contingut de clorofil·la, tot i que presenten diferències marginalment significatives entre tractaments, només el 15 de maig presenta una correlació significativa amb el rendiment.

En les condicions de l'assaig, els diferents nivells d'adobat nitrogenat han comportat diferències en la biomassa del cultiu (LAI) i contingut de clorofil·la, amb el consegüent efecte en el rendiment. Aquestes variacions en el rendiment són probablement degudes a variacions en l'activitat fotosintètica, com es deriva que els valors de CCM presenten correlacions molt estretes amb l'eficiència fotosintètica. A part, també cal tenir en compte el fet de que les parcel·les tinguin tractament NO no significa que el sòl no tingui cap element en forma nitrogenada.

El 15 de maig el que condiona més el rendiment és el contingut de clorofil·la (amb una significació de 0,03), mentre que pel 26 de maig i el 8 de juny tant el LAI com el contingut de clorofil·la condionen els rendiments (significació de 0,01 i 0,007, respectivament).

Pel que fa a la relació entre fIPAR i rendiment, tal i com es veu als gràfics 4.2.3.1, 4.2.3.2 i 4.2.3.3, es pot observar que quan més ens acostem a la collita, més relacionats estan.

Pel que fa a la relació entre CCM i rendiment, tal i com es veu als gràfics 4.2.4.1, 4.2.4.2 i 4.2.4.3, es pot observar que quan més ens acostem a la collita, menys relacionats estan. Això pot ser degut a la senescència de les fulles.



6. CONCLUSIONS

- No hi ha diferències significatives en el rendiment entre tractaments, malgrat que els valors són notablement diferents i augmenten a majors dosis d'adobat nitrogenat.
- Les variacions en la dosi d'adobat han comportat diferències marginalment significatives en els valors de CCM.
- Els valors CCM són més baixos pel tractament 0 kg N/ha i només et permeten detectar deficiències severes.
- Les lectures del mesurador de clorofil·la CCM estan altament correlacionades amb el contingut de pigments fotosintètics.
- A major contingut de clorofil·la, major rendiment fotosintètic $Y(II)$ i $Y(NO)$, i menor $Y(NPQ)$.

7. Bibliografia

Diacono, M., Rubino, P., & Montemurro, F. (2013). Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 219-241.

Klughammer, C., & Schreiber, U. (2008). Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method. *PAM Application Notes*, 1(2).

Loewy, T. (2004). Fraccionamiento del nitrógeno y fertilización foliar en trigo. In *Actas del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná (Entre Ríos)*(pp. 22-25).

Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *Journal of experimental botany*, 51(345), 659-668.

Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-Gonzalez, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., & Ocampo-Velazquez, R. V. (2013). A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors*, 13(8), 10823-10843.

Ortuzar, M. A., Aizpurua, A., Castellón, A., Alonso, A., & Estavillo, J. M. (2003). Evolución del contenido de nitrato y amonio en lixiviados bajo diferentes formas de fertilización nitrogenada en trigo. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, 6, 234-244.

Producció de cereals d'hivern nou material vegetal, desherbat mecànic i racionalització de l'adobat nitrogenat. (2012). Disponible a: https://www.ruralcat.net/c/document_library/get_file?uuid=a2454f22-3edc-4281-bca3-8ba35c2ae043&groupId=10136 [Accedit 1 Setembre. 2017].

Quemada, M., Gabriel, J. L., & Zarco-Tejada, P. (2014). Airborne hyperspectral images and ground-level optical sensors as assessment tools for maize nitrogen fertilization. *Remote Sensing*, 6(4), 2940-2962.



Ruralcat.net. (2017). Ruralcat. La comunitat virtual agroalimentària i del món rural - Prediccions del temps, informació de plagues, dades i models agrometeorològics. [online] Disponible a: <https://www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo> [Accedit 1 Setembre 2017].

Serrano, L., Filella, I., & Penuelas, J. (2000). Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Science*, 40(3), 723-731.

Silva, A. R. " Análisis económico de la fertilización nitrogenada en Trigo.

Sorbet Pezonaga, S. (2013). Utilidad del medidor de clorofilas (SPAD-502®) en los programas de fertilización nitrogenada de trigo (*Triticum aestivum* L.) en regadío.

Torres Netto, A., Campostrini, E., Oliveira, J. G. D., & Yamanishi, O. K. (2002). Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14(3), 203-210.

Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of plant physiology*, 144(3), 307-313.