

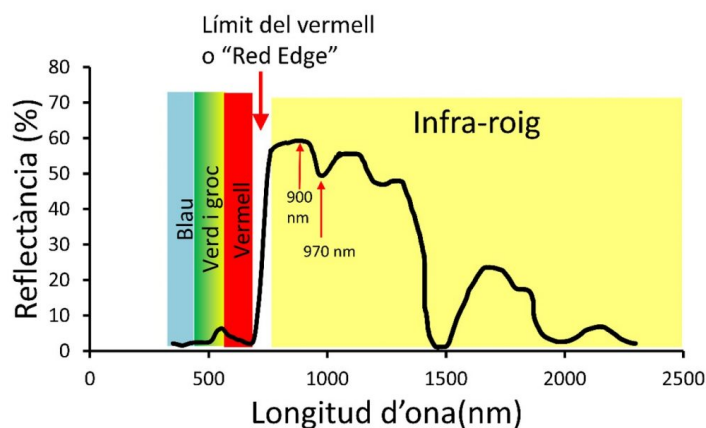
Índexos espectrals en cereals d'hivern: Altres índexos

febr. 25, 2022 |

Tot i que l'índex spectral més conegut és el NDVI, existeix tot un ventall d'altres índexos que ens poden ajudar a controlar els nostres camps i proporcionar informació sobre els nostres cultius. En aquest article expliquem les característiques d'alguns dels índexos més utilitzats.

Què son els índexos espectrals?

Els índexos espectrals s'anomenen "índexos" perquè són valors que es calculen amb una fórmula matemàtica i "espectrals" perquè els valors s'obtenen de mesurar porcions de l'espectre electromagnètic. Els sensors utilitzats per mesurar els índexos espectrals no poden fer mesures en tot l'espectre, sinó que cada sensor detecta senyal en un parell (o un ventall) de zones de l'espectre. A cada zona de l'espectre on el sensor detecta canvis se l'anomena "banda". Les bandes poden ser estretes o amples, en funció del sensor i de l'objectiu de la mesura. La figura 1 mostra on es situen algunes de les bandes més utilitzades en agricultura de precisió.



Amb els valors obtinguts de mesurar cadascuna de les bandes es poden construir diversos índexos espectrals. Els més utilitzats en agricultura es poden classificar (Figura 2) segons el

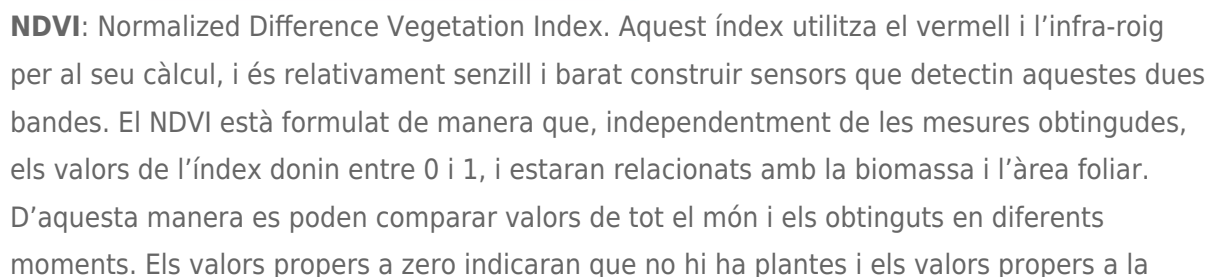
```

graph TD
    A[ÍNDICES DE VEGETACIÓ] --> B[QUANTIFICAR BIOMASSA]
    C[ÍNDICES DE PIGMENTS] --> D[QUANTIFICAR CLOROFIL·LA]
    E[ÍNDICES HÍDRICS] --> F[QUANTIFICAR ESTRÉS HÍDRIC]
  
```

El diagrama de flujo ilustra la relación entre tres tipos de índices y sus respectivas funciones de cuantificación:

- ÍNDICES DE VEGETACIÓ** (índice de vegetación) se utiliza para **QUANTIFICAR BIOMASSA** (cuantificar biomasa).
- ÍNDICES DE PIGMENTS** (índice de pigmentos) se utiliza para **QUANTIFICAR CLOROFIL·LA** (cuantificar clorofil·la).
- ÍNDICES HÍDRICS** (índices hídricos) se utilizan para **QUANTIFICAR ESTRÉS HÍDRIC** (cuantificar estrés hídrico).

Les plantes reflecteixen la llum infra-roja, especialment quan hi ha molta vegetació, i absorbeixen llum visible per fer la fotosíntesi. Els índexos de vegetació aprofiten aquest fet per estimar la quantitat de biomassa vegetal calculant la diferència entre les bandes de l'espectre visible (zona del blau, verd o vermell) i l'infra-roig. A mesura que tenim més biomassa vegetant al nostre camp, més gran serà la diferència entre el visible i l'infra-roig, cosa que es pot quantificar amb diversos índexos (Figura 3).



unitat que la vegetació és molt abundant. Els problemes més greus d'aquest índex són:

a) Desviacions en cobertura parcial: Si el sòl del camp no està totalment cobert per plantes, el sensor detectarà conjuntament les plantes i la superfície nua del sòl. L'índex calcularà el valor mitjà entre la zona sense plantes i la zona amb plantes, donant un valor més baix de l'esperat. Aquest serà el cas dels cultius extensius quan les plantes són petites, quan hi hagi una zona sense cultivar (per exemple a les files d'aspersors, roderes de pivots, casetes dins el camp, etc.), o quan el cultiu es distribueix en files separades (cas dels arbres fruiters, vinya, etc.).

b) Saturació del senyal: Un cop arribats a valors alts, propers a 1, encara que el nostre cultiu produeixi més fulles i més biomassa, l'índex no serà capaç de detectar canvis. Això és degut a que en general els sensors detecten el senyal des de dalt, de manera que poden veure les primeres capes superiors de vegetació però no detecten si per sota hi ha un pam o un metre de planta. En el cas del NDVI la saturació té lloc per valors relativament baixos d'índex d'àrea foliar (LAI, Leaf Area Index), limitant la utilitat de l'índex.

SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index. Aquest índex és una variació de NDVI que es va dissenyar per als casos on hi ha menys d'un 40 % de coberta vegetal (p.ex.: a les primeres etapes de l'establiment d'un cultiu extensiu), ja que inclou un factor de correcció pel sòl en la seva fórmula. El factor, però, no és constant, pel que caldria ajustar-lo per a les diferents condicions. A la pràctica se sol fer una simplificació que redueix les avantatges de l'índex.

MSAVI: Modified Soil Adjusted Vegetation Index. Aquest índex es va formular per tal de canviar el factor inclòs al SAVI (que era un valor desconegut que es simplificava) i posar-lo en funció de la reflectància, de manera que només amb les mesures de vermell i infra-roig, però amb un càlcul més complex, es poden obtenir valors semblants al NDVI tot minimitzant l'efecte del sòl quan hi ha poca vegetació.

GNDVI: Green Normalized Vegetation Index. Aquest índex utilitza el verd en lloc del vermell en la fórmula del NDVI. La detecció del verd millora la quantificació de la clorofil·la, de manera que hi ha menys saturació del senyal que en el cas del NDVI quan hi ha molta biomassa. El GNDVI es va formular directament per a utilitzar-lo des dels satèl·lits.

EVI, EVI2: Enhanced Vegetation Index. L'índex EVI utilitza dades de la banda blava, a més de la vermella i infra-roja, per obtenir una estimació millorada de l'índex d'àrea foliar. La relació entre l'àrea foliar i l'índex EVI és lineal i no tendeix a saturar-se com el NDVI. A més, la interferència de l'atmosfera és menor. L'índex EVI2 es va formular posteriorment amb les mateixes avantatges que l'EVI però sense necessitar la banda blava perquè alguns satèl·lits no tenen sensor de blau. L'avantatge del blau es pot compensar fent servir altres mesures i tècniques de càlcul complexes que redueixen la interferència atmosfèrica abans de calcular

els índexos.

NDRE: Normalized Difference Red Edge. Aquest índex té una fórmula semblant a NDVI però utilitza la reflectància en l'infra-roig i en el "red-edge" en lloc del vermell. L'índex es va dissenyar per a ser mesurat mitjançant drons o avionetes perquè els primers satèl·lits que es van posar en òrbita no tenen sensor de "red-edge". Aquest índex és útil quan el NDVI es satura, ja que permet detectar vegetació més enllà de les fulles a més alçada.

ARVI: Atmospherically Resistant Vegetation Index. Aquest índex es va formular per ser utilitzat des del satèl·lit MODIS. L'ARVI utilitza la banda blava per fer una correcció de la interferència atmosfèrica de manera semblant al cas de l'EVI, que ja s'ha comentat.

El fet que hi hagi tanta quantitat d'índexos de vegetació proposats per l'estimació de la biomassa, i tot i així el NDVI es segueixi utilitzant àmpliament, és un indicatiu que no hi ha cap índex perfecte, sinó que tots tenen els seus avantatges i els seus inconvenients.

2. ÍNDEXOS DE PIGMENTS

Els índexos basats en la detecció de pigments es basen en fórmules que utilitzen bandes situades a l'espectre visible (vermell, verd, blau...) i alguns van fins al límit de l'infra-roig, en el "red edge". Els més coneguts són els següents:

MCARI, MCARI2: Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index. Aquests índexos es van desenvolupar per quantificar la clorofil·la com a mesura indirecta de la biomassa que fa fotosíntesi. Algunes modificacions en les fórmules per intentar millorar-ne les prestacions van resultar en millors estimadors de l'índex d'àrea foliar que de la concentració de clorofil·la. Per aquesta raó es van desenvolupar diversos índexos amb les seves variacions per estimar l'àrea foliar, i es poden utilitzar en agricultura de precisió com una aproximació de la biomassa del cultiu.

SIPI: Structure Insensitive Pigment Index. Aquest índex mesura i compara les reflectàncies de la clorofil·la (pigment verd) i els carotenoids (pigments grocs, taronja o vermells) per estimar en quina proporció es troben aquests dos tipus de pigments a les fulles sense interferència del tipus de fulla (prima, gruixuda, de cereal, de colza, etc.). Aquest índex pot indicar la presència d'algun tipus d'estrès.

PRI: Photochemical Reflectance Index. Aquest índex utilitza les mesures en les bandes del blau i el vermell, i es va dissenyar per quantificar l'eficiència fotosintètica de les plantes. Posteriorment s'ha pogut comprovar que, en algunes circumstàncies, pot ser indicador de l'eficiència en l'ús de la radiació solar per part dels cultius. Aquesta eficiència és una variable que es fa servir en alguns models d'estimació de rendiment.

3. ÍNDEXOS RELACIONATS AMB L'AIGUA

WI. Water Index. Quan els teixits vegetals contenen molta aigua es pot detectar una petita depressió a la zona de 970 nm, comparat amb la de 900 nm, totes dues bandes a l'infraroig. Si es fa una comparació de les dues bandes es pot estimar si el cultiu està més o menys hidratat i de vegades aquest fet està relacionat amb una millor tolerància a la sequera. El problema principal que té aquest índex per ser utilitzat en agricultura de precisió és que aquestes dues bandes són molt properes i es troben en el límit dels sensors òptics (longituds de banda massa altes) i també dels sensors d'infraroig (longituds de banda massa baixes), pel que és molt difícil mesurar-lo amb precisió.

CWSI: Crop Water Stress Index. Quan les plantes no tenen suficient aigua per transpirar de manera normal tanquen els estomes de les fulles per evitar la pèrdua d'aigua. Això fa que la planta deixi de refrescar-se per l'evaporació de l'aigua transpirada i la fulla s'escalfa uns graus. Aquest índex utilitza la mesura de la temperatura de la planta i una sèrie d'equacions i mesures ambientals per estimar l'estrès hídric dels cultius. L'índex CWSI és útil per programar i monitoritzar la uniformitat dels regs, però el seu càlcul és relativament complex.

En conclusió, hi ha una gran diversitat d'índexos espectrals que mesuren diferents zones de l'espectre electromagnètic. Aquests índexos estan en constant desenvolupament i perfeccionament, i el seu ús s'està estenent per la disponibilitat de nous sensors i satèl·lits. Tot i això, no s'ha d'oblidar que són mesures indirectes de l'estat del nostre cultiu i que no hi ha un únic índex que ens pugui donar tota la informació sobre quin és l'estat del cultiu, quins problemes tenen o quina serà la collita.

AUTORS

DOLORS VILLEGAS
IRTA Programa de Cultius Extensius
Sostenibles (Lleida)

JUDIT VALLVERDÚ
IRTA – Programa de Cultius Extensius
Sostenibles

FRANCESC DOMINGO
IRTA Programa de Cultius Extensius
Sostenibles (Mas Badia)