***Detección del desarrollo del cultivo mediante imágenes de Drones***

**Motivación**

El cultivo de trigo es una alternativa otoño-invernal sustentable para la rotación de cultivos en la empresa agropecuaria, ya que reduce los efectos negativos producidos por excesos y/o déficit hídrico a causa de la variabilidad climática. Las variedades de ciclo más corto ubicarán su etapa de espigazón y llenado de grano en un período más favorable y en buenos ambientes tendrán igual posibilidad de rendimiento que las variedades de siembra temprana.

Si bien las variedades de trigo con mayor difusión en la región triguera central norte durante las últimas campañas son de ciclo intermedio a largo. Cuando por alguna causa se atrasa la fecha de siembra, estas variedades tienden a desplazar su espigazón más allá de los primeros días de octubre, ubicando la etapa de llenado de grano en un período con mayor probabilidad de altas temperaturas. La posible consecuencia de esto es un acortamiento en la duración de la etapa de llenado de los granos, reduciendo su peso individual y afectando el rendimiento.

* **Ciclos cortos, Ciclos Largos**

Cada cultivar de trigo pan tiene características particulares, ya sea por su ciclo, clasificándolos como largos, intermedios o cortos; Cuando se habla de ciclo de cultivo en trigo pan, se coincide que el momento más importante para lograr los mejores resultados (período crítico) se produzca en las mejores condiciones posibles. Comprende desde 10 días antes de floración (etapa fenológica) hasta 15 días posteriores a ella Para lograr que se produzca en esa banda de 10 días debemos conocer el ciclo de los cultivares a sembrar para evitar corrimientos que disminuyan el potencial de rendimiento.

* ***Fechas de siembra***

Para efectuar una correcta siembra se cuenta con la valiosa información de los criaderos que realizan ensayos de distintas fechas de siembra antes de lanzar al mercado cada variedad. Esa información permite inferir con datos propios la ventana de siembra óptima, sub óptima y  no recomendada de cada variedad.  La fecha óptima es aquel período de tiempo donde se realiza la siembra que permita lograr una espigazón en el mejor momento para aumentar la probabilidad de mejores rendimientos. Esta información ayuda a decidir la fecha de siembra de cada variedad pero también definir su reemplazo cuando por algún motivo se retrasa la siembra, y es necesario cambiarla para no perder productividad.

* ***Características Genéticas-Variedades***

Dentro de las características genéticas a tener en cuenta existen 2 aspectos de los cultivares: la necesidad o no de acumular horas de frío (temperaturas entre 0°C y 7°C) entre la emergencia y el macollaje, y la alta o baja sensibilidad al alargamiento de los días (fotoperíodo).

Se pueden encontrar en el mercado y recomendadas para nuestros ambientes más de 70 variedades de trigo pan, lo cual hace que exista una gran variabilidad genética, posibilitando encontrar cultivares para cada ciclo o circunstancias de siembra. Es importante que el productor/asesor conozca las características de los cultivares a sembrar, pudiendo ubicar a cada uno en su fecha correcta.

* ***Variabilidad espacial***

La variabilidad espacial en un campo de cultivo se puede deducir con la aplicación de agricultura de precisión. Se obtiene un medio económico y rápido para identificar la variabilidad espacial mediante el uso de geotecnología (imágenes de campo de cultivo, procesamiento de imágenes, enfoque de modelado GIS, uso de GPS, y UAV) y técnicas de minería de datos para el desarrollo de modelos. Se siguen técnicas de procesamiento de imágenes más avanzadas para establecer más precisión.

La tecnología de cámaras Multiespectrales montadas en UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado) ha demostrado un gran potencial para el control de los parámetros de los cultivos. Los sensores Multiespectrales pueden obtener características espectrales basadas en la radiación de visible a infrarrojo cercano las longitudes de onda. Los avances en la tecnología han aumentado la cantidad de características que pueden ser recogidas. Además, los UAV pueden obtener imágenes de teledetección con mayor resolución temporal, espacial y terrestre que los satélites. El uso de vehículos aéreos no tripulados en aplicaciones agrícolas y medioambientales otorgan numerosas ventajas en comparación con los vehículos aéreos convencionales, incluyendo menor costo, peso, vuelo velocidad y altitud de vuelo.

**Descripción del Ensayo**

El objetivo de este trabajo fue investigar la fortaleza de los índices de vegetación espectral para la predicción de rendimiento y detección de etapas fenológicas de cultivos agrícolas utilizando técnicas como redes neuronales y visión por computadoras.

Se investigaron 4 bandas espectrales y 12 índices espectrales (construidos con las bandas) utilizados en estudios de rendimientos de cultivos de trigo irrigado. El en ensayo se realizó en el sitio de investigación del área de pruebas de INTA Manfredi, Córdoba.

Las bandas espectrales obtenidas del procesamiento de imágenes fueron:

1. Banda Rojo
2. Banda Verde
3. Banda Azul
4. Banda Infra Rojo
5. Banda Borde Rojo

Índices:

(a) (NDVI) índice de vegetación de diferencia normalizada con base en rojo e infrarrojo cercano (NIR)

(b) (NDRE) índice de borde rojo de diferencia normalizada con base en borde rojo y (NIR)

(c) (SAVI) índice de vegetación ajustado al suelo basado en rojo y NIR

(d) (SCCI) índice de vegetación simplificado de contenido de clorofila en el dosel con base a las bandas infra-rojo y borde rojo

(e) (GNDVI) índice de vegetación de diferencia normalizada verde

(f) (GVI) índice de vegetación verde basado en NIR

(g) (RVI) índice de vegetación rojo basado en NIR

(h) (RedEdgeVI) índice de vegetación de borde rojo basado en NIR

(I) (LNVI) índice de vegetación basado en el log neperiano de borde rojo

(j) (GRVI) índice de vegetación verde rojo basado en bandas visibles

(h) (MGRVI) índice de vegetación modificado de GRVI, normalizado basado en bandas visibles

(k) (NGRVI) índice de vegetación modificado de MGRVI, inversa basado en bandas visibles

**Materiales y Métodos**

* EL ensayo se realizó en la Estación Experimental (EEA- MANFREDI), Córdoba, Argentina. El experimento consistió en la evaluación de 22 genotipos de trigo de invierno con dos fechas de siembra y dos ciclos para cada fecha de siembra (ciclo largo y ciclo corto) durante el mismo año.
* El trigo de invierno con dos fechas de siembra, ciclo largo y ciclo corto, se disponen en 198 Micro Parcelas con iguales cantidades de fertilizantes e iguales niveles de riego.
* El ensayo fue conducido bajo un diseño en bloques incompletos (DBCI, arpa láttice) con tres bloques y tres repeticiones. Se asignaron aleatoriamente, 22 genotipos diferentes en cada bloque con sus respectivas repeticiones georreferenciadas con latitud y longitud en Micro parcelas de tamaño (1,5m x 2 m) 3m2 de superficie.

*Diseño por Bloque incompleto- Alpha Láttice*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| PRIMERA FECHA DE SIEMBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CICLOS CORTOS | | | | | | | | | | | | | | |  | CICLOS LARGOS | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **60** | **61** | **62** | **63** | **64** | **65** | **66** | **67** | **68** | **69** | **70** | **71** | **72** |  |  |  | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** | **32** | **33** |  |
|  | 4 | 9 | 13 | 1 | 3 | 11 | 6 | 5 | 8 | 12 | 10 | 2 | 7 |  |  |  | **8** | **1** | **11** | **3** | **7** | **2** | **10** | **6** | **5** | **9** | **4** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **59** | **58** | **57** | **56** | **55** | **54** | **53** | **52** | **51** | **50** | **49** | **48** | **47** |  |  |  | **22** | **21** | **20** | **19** | **18** | **17** | **16** | **15** | **14** | **13** | **12** |  |
|  | 5 | 12 | 8 | 11 | 2 | 7 | 9 | 4 | 10 | 13 | 1 | 6 | 3 |  |  |  | **2** | **8** | **10** | **6** | **1** | **9** | **4** | **11** | **7** | **3** | **5** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **34** | **35** | **36** | **37** | **38** | **39** | **40** | **41** | **42** | **43** | **44** | **45** | **46** |  |  |  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |  |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |  |  |  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| SEGUNDA FECHA DE SIEMBRA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CICLOS CORTOS | | | | | | | | | | | | | | |  | CICLOS LARGOS | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **132** | **133** | **134** | **135** | **136** | **137** | **138** | **139** | **140** | **141** | **142** | **143** | **144** |  |  |  | **95** | **96** | **97** | **98** | **99** | **100** | **101** | **102** | **103** | **104** | **105** |  |
|  | 5 | 3 | 12 | 1 | 9 | 4 | 8 | 11 | 6 | 13 | 2 | 7 | 10 |  |  |  | **10** | **4** | **9** | **1** | **7** | **11** | **3** | **6** | **2** | **5** | **8** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **131** | **130** | **129** | **128** | **127** | **126** | **125** | **124** | **123** | **122** | **121** | **120** | **119** |  |  |  | **94** | **93** | **92** | **91** | **90** | **89** | **88** | **87** | **86** | **85** | **84** |  |
|  | 4 | 7 | 9 | 11 | 13 | 8 | 10 | 12 | 2 | 1 | 5 | 6 | 3 |  |  |  | **7** | **5** | **11** | **8** | **10** | **2** | **4** | **1** | **6** | **9** | **3** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | **106** | **107** | **108** | **109** | **110** | **111** | **112** | **113** | **114** | **115** | **116** | **117** | **118** |  |  |  | **73** | **74** | **75** | **76** | **77** | **78** | **79** | **80** | **81** | **82** | **83** |  |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |  |  |  | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

* Entre las variables que se consideran que determinan el componente de rendimiento se encuentra el Peso de Grano. Además se evaluó; Vuelco, Altura, Aspecto, Peso Hectolítrico, Peso 1000 granos, Humedad, Peso Ajustado y Rendimiento al final del ensayo.
* Otras variables medidas a campo que se relacionan con posibles enfermedades que presentó el cultivo, como Roya, Manchas Foliares, Fusiarosis, Carbón, Adversidades.
* Las fechas de espigazón y fecha de madurez, determinan una escala precisa de ZADOCKS que describe el desarrollo casi exacto del cultivo.
* El dato días entre fechas se refiere a la rapidez con la que se desarrolla cada variedad
* Se obtuvieron las características espectrales de los datos obtenidos de tres vuelos del UAV(air vehicle not transported) en los mismos estadios fenológicos de espigazón (Z5) para el año 2017- 2018-2019 y el estadio fenológico antésis (Z6, Zadoks) Se analizaran las relaciones entre el peso del grano, rendimientos, asociación directa con Zadoks y los datos espectrales obtenidos de un vuelo de UAV.
* Para la mentoría tendremos a disposición bajo secreto estadístico de investigación y anonimización de variedades el ensayo correspondiente al 2018.

**Imagen UAV,**

El UAV utilizado en el ensayo es de ala fija con un sensor Micasense (Micasense, Northlake Way, Seattlen, EEUU), descrito en detalle en la Tabla 1. Todas las imágenes se tomaron entre 12:00 y 13:00 horas en condiciones de cielo despejado. Se tomó una imagen de referencia blanca para calcular la reluctancia enmarcando un panel de calibración de teflón justo antes del vuelo. La altitud de vuelo se fijó en 150 m (AGL), con una velocidad de vuelo de UAV de 50 km / h. Esos ajustes permiten una superposición de la imagen de 72%, mientras que una ruta de way points planificada ad - hoc aseguró una superposición del 40% de la imagen, lo suficientemente alta para garantizar un procesamiento fotogramétrico óptimo.

Características UAV

|  |  |
| --- | --- |
|  | **UAV** |
| **Proveedor** | **Foto aérea Micasense** |
| **Plataforma** | Asesor 5 |
| **Cámara** | MicaSense |
|  |  |
| **Bandas Espectrales** | 455-495 nm |
| 540-580 nm |
| 658-678 nm |
| 707-727 nm |
| 840-840 nm |
| **Dimensión** | 12,1 x 6,6 x 4,6 (cm) |
| **Peso** | 0.180 kg |
| **Longitud Focal** |  |
| **FOV** | 47,2º |
| **Datos de Salidas** | 10 bit RAW |
| **Tamaño de Imagenes** |  |
| **Altura de Plataforma** | 120 m |
| **Velocidad de Vuelo** | 50 km/h |
| **Constelación** | - |
| **Resolución Sobre la tierra** | 8 cm/pixel a 120 de altura de vuelo (AGL). |
| **Revisita** | ¿? |
| **Cobertura Diaria** | ¿? |
| **Dimensión de Imágen** | ¿? |
| **Total Imágenes** | 85 |

***Antecedentes en Maíz***

Estos 12 índices y otros 3 más fueron investigados para el rendimiento de maíz durante 3 años (2017, 2018 y 2019) y para los datos agrupados de estos 3 años. Inicialmente, se desarrollaron modelos de Red Neural de Retropropagación (BPNN), incluyendo modelos (12 índices \* 3 años, incluidos los datos de los años combinados) para evaluar la eficiencia de esos 12 índices de vegetación en la predicción del rendimiento del cultivo de maíz. El rendimiento del trigo se predijo mejor utilizando los modelos BPNN que utilizaron los medios y las desviaciones estándar de las imágenes de la cuadrícula. En los tres años, proporcionó mayor precisión de predicción, coeficiente de determinación (r2), y menor error estándar de predicción que los modelos que incluyen información de imágenes GVI, NDVI y SAVI. Los modelos GVI, NDVI y SAVI para los tres años arrojaron predicciones promedio de predicciones de prueba de 24.26% a 94.85%, 19.36% a 95.04% y 19.24% a 95.04%, respectivamente, mientras que los modelos RVI para los tres años proporcionaron una predicción de prueba promedio precisiones de 83.50% a 96.04%. El modelo de conjunto de RVI proporcionó una precisión promedio de predicción de prueba del 94% con respecto a otros modelos de vegetación, para los que varió del 89 al 93%. De forma similar, el modelo de grupo de RVI proporcionó un valor de coeficiente de determinación (r 2 ) de 0,45 en comparación con 0,31-0,37 para otros modelos de índice. Log 10la técnica de transformación de datos se utilizó para mejorar la capacidad de predicción de los modelos RVI ya que se eligió como el índice preferido.

Otro modelo (Transformed RVI (Pool)) se desarrolló utilizando la información de imagen RVI transformada log 10 para mostrar su aplicación global. Los modelos RVI transformados proporcionaron exactitudes de predicción de rendimiento de maíz promedio de 90%, 97% y 98% para los años 1998, 1999 y 2001, respectivamente. El modelo transformado RVI proporcionado como la precisión media de pruebas de 93% junto con r 2 valor de 0,72 y error estándar de predicción de 0,05 t / ha.