

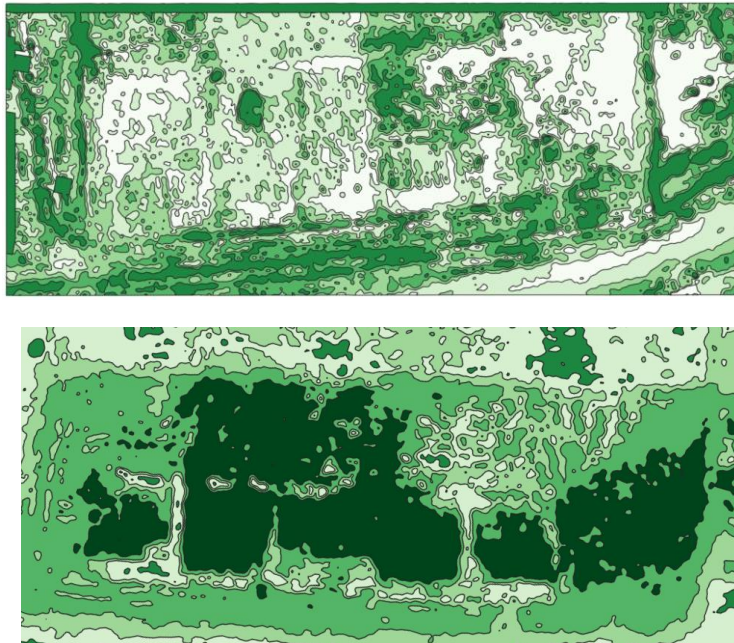
Mapas de prescripciones con Drones

metodología de trabajo

Por Lic. MSc. Edwin M. Aguiar¹

Introducción

Los mapas de prescripciones consisten en un mapa georreferenciado creado por drones, procesado con la aplicación de índices espectrales que refiera a algún interés (*por ejemplo, la fenología de un cultivo, el estado del suelo, agua u otras variables agronómicas*) a los fines de aplicar tratamientos agrícolas para optimizar el uso de dichos recursos, hacerlo de manera más amigable con el medio y producir una mayor productividad. Esto se logra porque los índices espectrales revelan a diferencia de las imágenes realistas de un ortomosaico, aspectos de interés que se aglutinan como en una categorización generando zonas de iguales propiedades. Por ejemplo, la imagen siguiente²:



Estas imágenes procesadas en un ortomosaico sobre un lote de pasturas de ensayos, fue fotografiado en un primer vuelo luego de una limpieza y corte, la segunda imagen es de dos meses después de varias lluvias donde se han regenerado los ensayos antes cortados. La actividad fenológica se categorizo con un índice espectral VARI y posteriormente agrupada (o clusterizada) en cinco categorías. El armado del modelo da por resultado zonas de gran actividad y zonas de menos actividad. Este ejemplo permite ver no solo la evolución del ensayo sino también -gracias al ortomosaico- medir la superficie y volumen de dicha pastura, así como determinar su calidad.

¹ aguiar.edwin@inta.gob.ar

² Aguiar E.; "lotes pasturas N" Ing. Agr. S. Ferrari, EEA Corrientes, 2024

Línea del procesado

El proceso generalmente implica el uso de drones equipados con sensores y cámaras especializadas, no siendo nuestro caso que utilizaremos drones profesionales genéricos (por su avanzada aviónica) que recopilan datos sobre el estado de los cultivos, como la salud de las plantas, la presencia de plagas, la humedad del suelo, entre otros, generando un ortomosaico que compone la totalidad de la zona sobrevolada y fotografiada cenitalmente.

Con este ortomosaico se procesa en base a un índice espectral de bandas visibles, ya que deliberadamente carecemos de drones con cámara de banda infrarroja cercana o NIR, y con este mapeo espectral determinamos las zonas de anomalías que deseamos corregir.

En base a esto se crea un mapa vectorial que podremos importar a nuestro dron pulverizador (por ejemplo los DJI Serie T Agrass) o a nuestra maquinaria pulverizadora, para automatizar la dosificación de manera puntual. Es decir, solo se aplicara donde sea menester en una dosis adecuada.

Esto es el "mapa de prescripción" que ejemplificamos indica las áreas específicas del campo que requieren tratamientos particulares.



Imagen: procesamiento de un ortomosaico de un ensayo de arroz para detección de malezas (Ciperáceas) mediante la combinación de técnicas de ortomosaico e IA.³

Este enfoque permite a los agricultores aplicar insumos de manera más precisa y eficiente, lo que puede tener beneficios económicos y ambientales al reducir el desperdicio de productos químicos y mejorar la salud general de los cultivos. Este tipo de tecnología es parte de la tendencia más amplia de agricultura de precisión, que utiliza diversas tecnologías, incluidos drones, sensores y sistemas de información geográfica (SIG) para tomar decisiones informadas en la gestión agrícola. Lo mismo aplica para la siembra de semillas u otras labores que implique este sistema.

¿Qué necesidades identificamos en el suelo mapeado de un cultivo?

3 Aguiar E.; "Ensayos de TT y N en Arroz, campaña 2023-2024" Ing. Agr. L. Herber, EEA Corrientes.

- Presencia o ausencia de manifestaciones de plagas o enfermedades
- Depredaciones de fauna
- Enmalezamientos
- Problemas de laboreo del cultivo
- Falta o ausencia de riego
- Necesidades de aplicaciones (fertilizantes) u otras de manera puntual.
- Emergencia o falta de ella en un cultivo, etc.

1. **Definiciones**

Un mapa de prescripción realizado por un dron es una representación digital cenital, es decir con un ángulo perpendicular al horizonte terrestre, en 90 grados hacia abajo, de un área de tierra que muestra las áreas que necesitan una aplicación diferente de insumos agrícolas. Los mapas de prescripción se pueden crear utilizando imágenes aéreas tomadas por drones que posean la capacidad de georreferenciar las imágenes individuales y guardar una serie de datos espaciales (altura por ejemplo) en sus metadatos, para luego incorporarlos al procesamiento del ortomosaico.

2. **Las imágenes aéreas tomadas por drones** se procesan utilizando software para identificar las diferencias en la vegetación, el suelo además de alturas, colorimetría, etc. Estas diferencias se pueden utilizar para crear un mapa de prescripción que discrimina las áreas que necesitan una aplicación diferente de insumos agrícolas.
3. **Los mapas de prescripción realizados por drones** tienen una serie de ventajas sobre los métodos tradicionales de creación de mapas de prescripción. Los drones son la opción más flexible volando a altitudes más bajas, lo que permite obtener imágenes de mayor resolución espacial con respecto a otros medios (*aviones, satélites etc.*).



Ejemplos de ortomosaicos 1- parte de un lote de Agricultura Familiar en donde se ha analizado la emergencia y crecimiento de ejemplares de ensayos⁴ y 2- ejemplo del total del lote de ensayos

4 Aguiar E.; "Lote Agricultura Familiar" (parte) Grupo de AF, EEA Corrientes, 2024. Aguiar E.; "lote completo AF", Ing. Agr. J. Bertollo, EEA Corrientes 2024



Metodología de trabajo



Para ejemplificar el método de trabajo, tomamos un lote donde se están realizando ensayos de Arroz; por consiguiente, no presenta homogeneidad en el cultivo, sino que son varias líneas diversas de ensayos y materiales (arroz) que presentan diferencias fenológica de crecimiento, coloración, parcelamiento, etc. Aun así, este ejemplo es aplicable a superficies de cultivos homogéneos, es decir con un mismo material en todas las áreas.

La metodología de trabajo implica una serie de pasos procedimentales:

1. Planificación de vuelo, según objetivos
2. Procesamiento de ortomosaico
3. Procesamiento de índices espectrales contrastantes
4. Realización de prescripción automática
5. Realización de prescripción manual

1. Planificación de Vuelo

La planificación del vuelo es la serie de parámetros que regulan la misión y que tiene por resultado darnos un producto, el ortomosaico, fiable, realista y utilizable. La idea es que debemos diagnosticar el lote que sobrevolemos para detectar las anomalías

que esperamos o las inesperadas. Como ya se ha dicho hay varias clases (*plagas y enfermedades, depredaciones, laboreos mal efectuados, falta de nutrientes, exceso o falta de agua etc*).

Tabla de altitudes y detalles de superficie

id	altitud	Detalle/ área por fotografía	Cobertura por fotografía	objeto	Obs.
1	10 - 15 m	8.04 cm ² /px ⁻¹ 13 x 10m	130 m ²	Ensayos de cultivos, detalles pequeños	Requiere velocidad baja
2	30 m	1.04 cm ² /px ⁻¹ 40 x 30 m	1200 m ²	Ensayos y ortomosaicos con detalle medio. Conteo animales	Requiere velocidad media
3	50 m	1.78 cm ² /px ⁻¹ 76.5 x 54.7 m	4184 m ²	intermedio	intermedio
4	60 m	2.24 cm ² /px ⁻¹ 84 x 61 m	5124 m ²	Ortomosaicos con detalles medios en mas de 5 Ha. Conteo animales	Requiere velocidad mas que la media
5	90 m	2.64 cm ² /px ⁻¹ 112 x 82 m	9184 m ²	Ortomosaicos con detalles grandes en mas de 10 Ha.	Requiere mas velocidad para cubrir el terreno
6	120 m	3.46 cm ² /px ⁻¹ 130 x 100 m	13000 m ²	Ortomosaicos con detalles grandes en mas de 10 Ha.	Requiere mas velocidad para cubrir el terreno

Es importante aclarar que la teledetección es una forma de **diagnostico no invasivo**, que corre por cuenta de un doble rol: el analista de imágenes aéreas *-usualmente el piloto y renderizador del ortomosaico-* y la interpretación *-usualmente un ingeniero agrónomo que posee la experticia en la materia del cultivo específico-* el trabajo en tándem suma las potencialidades de los dos profesionales que permite obtener no solo los efectos sino también determinar las causas de dichas anomalías.

La primera acción que debemos tomar es planificar el día y hora de vuelo. Si hacemos a posterior mas

vuelos deberán ser en el mismo horario para así poseer siempre la misma temperatura de luz⁵ lo que permite que los resultados guarden siempre una línea de homogeneidad de condiciones. También es importante definir la altura de vuelo del Drone (*ver cuadro*) ya que esta permite varias cosas: **La velocidad de vuelo** para así poder solapar las fotografías y componer el ortomosaico; **El nivel de detalle** (la resolución espacial) que puede ser desde 0,5 cm por pixel representado a 15 metros a 3,5 cm a 120 metros - *recuerden que no se deben volar a mas de esta altura, según la ley (ANAC)-*; y obviamente **la cantidad de fotografías** que conformaran el ortomosaico.



Un ejemplo es la siguiente imagen obtenida a 30 m de altitud con una velocidad máxima de 2,5 m*s⁻¹. Esta altitud permite crear ortomosaicos

con una resolución espacial de 1,09 cm*px⁻¹ lo que significa que cada pixel representa en la pantalla 1 cm y fracción. En la comparación vemos la fotografía completa y a su lado una ampliación de un detalle de la misma.

Entonces si buscamos detalle debemos volar a alturas de 30 metros, si no importan tanto los detalles podemos volar entre 90 y 120 metros de altura.

5 En física, la temperatura de color es una medida de la tonalidad de la luz. Se mide en grados Kelvin (K). Cuanto mayor sea la temperatura de color, más azul será la luz. Cuanto menor sea la temperatura de color, más roja será la luz.

En fotografía, la temperatura de color se puede controlar utilizando diferentes tipos de iluminación. La luz solar directa tiene una temperatura de color de aproximadamente 5500 K. La luz de una bombilla incandescente tiene una temperatura de color de aproximadamente 3200 K. La luz de una bombilla fluorescente tiene una temperatura de color de aproximadamente 4000 K.

Una vez determinada la altitud y velocidad de vuelo debemos calcular cuantas baterías insumirá este vuelo. Por regla general los drones actuales (*del tipo DJI Mini Mavic 1,2 y 4*) suelen poseer una autonomía de 30' de vuelo, pero en realidad son 26' efectivos, ya que debe considerarse la energía de regreso y los imprevistos por vientos o maniobras.

Al despegar debemos también previamente explorado si hay obstáculos a nuestra altura de vuelo y las condiciones climáticas, especialmente vientos, lluvia e índice Kp.

2. Procesamiento del Ortomosaico

En el vuelo de ejemplo, a 30 metros con una velocidad máxima de $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ se obtuvieron las 55 imágenes fotográficas cenitales que se observan en la imagen lateral.

Estas fotografías son cenitales, es decir apuntan en un ángulo de 90° hacia el suelo y están georreferenciadas además de incorporar diferentes tipos de metadatos (*como la altura por ejemplo*). El procesamiento sigue la línea habitual de ordenamiento de cámaras o fotografías (la nube dispersa), la densificación de la nube, el mallado de la trama, DEM y Ortomosaico; con las calidades de procesamiento en Alta o Media en todos los casos, porque aunque esto no involucre la cuestión fotográfica si afecta a la cuestión planimétrica que posee directa incidencia con el tema de crear los marcados del mapa de prescripción.

Para procesar el ortomosaico hemos utilizado el software **Agisoft Metashape**, aunque podría utilizarse el **Pix4dfields** el cual es muy recomendable por su eficiencia y rapidez.

3. Índices espectrales



Una vez obtenido el OM (ortomosaico) como vemos en la ilustración siguiente, hay que someterlo a un proceso de modelización. Este es el método para lograr una imagen con un contraste alto y diferenciado que nos permita resaltar las anomalías que se presentan en el cultivo.

¿En qué consiste esta modelización? En un proceso por el cual con el **álgebra de matrices y de bandas** trabajamos las bandas disponibles, las visibles RGB que corresponden a los colores, para generar una visualización que resalta determinados aspectos que buscamos diferenciar. Para esto utilizamos el

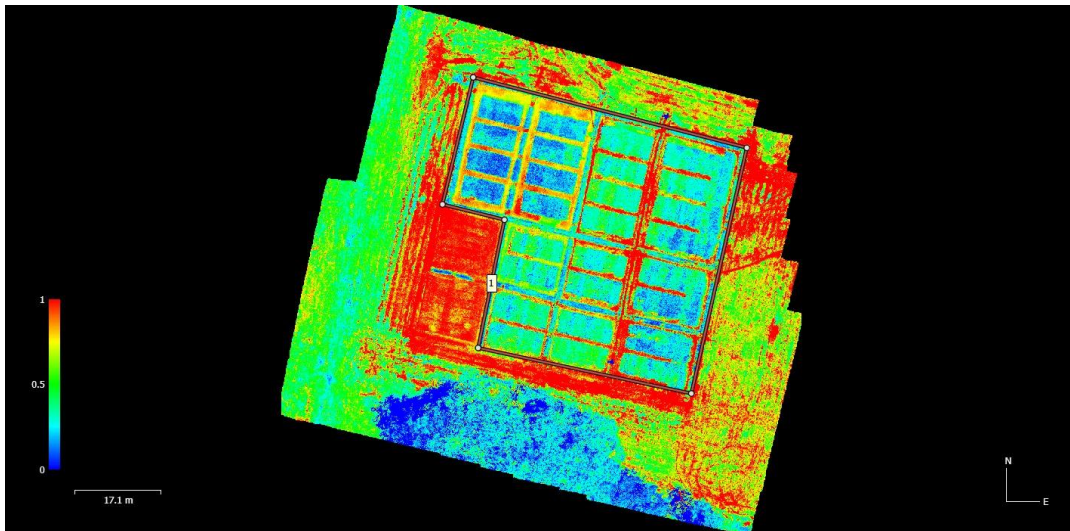
conocido índice NDVI o índice diferencial normalizado de vegetación, que originalmente es con las bandas R (roja) y NIR (infrarrojos cercanos) pero que en nuestro Drone hemos reemplazado por G (verde) y R (rojo) con la siguiente formulación⁶:

6 Actualmente nos rinde mejores resultados el **INDICE VARI** que este, pero igual lo utilizamos para contrastar entre varios, incluyendo satelitales, para una mejor aproximación modélica.

$$xNDVI = \frac{(B1 - B2)}{(B1 + B2)}$$

$$xNDVI2 = \frac{(B1 - B2)}{(B1 + B2)} * B2$$

Donde **B1** es la banda R (roja) y **B3** es G (Verde), la primera formula es derivada de la NDVI original y la segunda un resaltado de los verdes para mejor contrastación. La "x" alude a que es de Bandas Visibles. Un ejemplo del trabajo con estos índices genera un OM mapeado como el siguiente

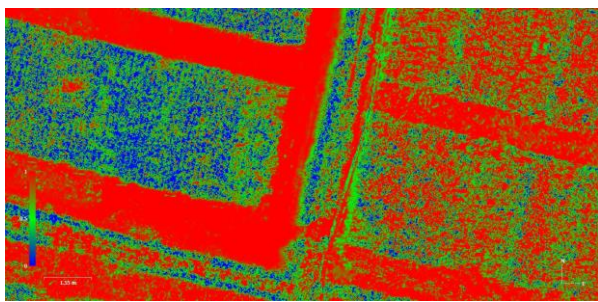
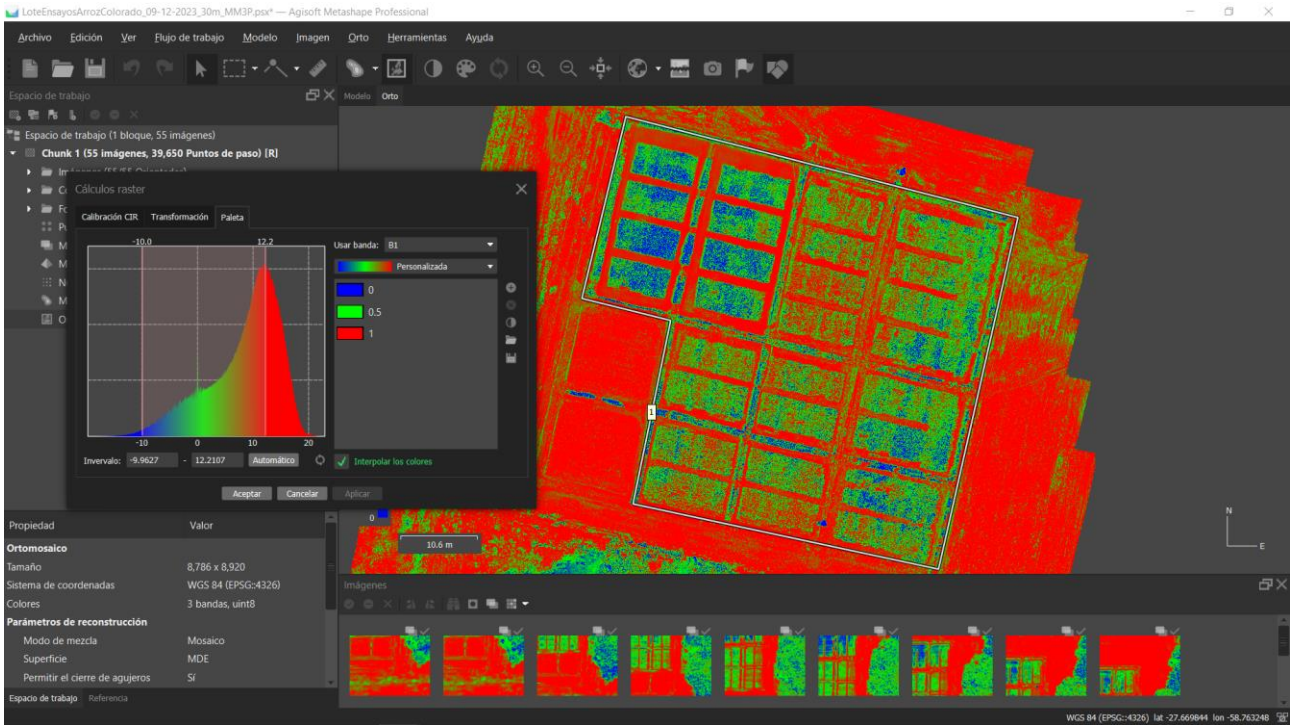


Hemos abstraído los detalles realistas del Ortomosaico en un mapa espectral que marca distintos tipos de vegetación. En rojo donde no hay vegetación, en verde, azul y turquesa donde la hay en distinto gradiente. Sobre esto podemos aplicar ya un concepto de varias regiones diferenciadas:

- Donde no hay que pulverizar
- Donde hay que pulverizar una dosis "n"
- Donde hay que pulverizar una dosis "n++"⁷

Ajustamos quitando categorías intermedias (5 en total) y extremando solo a 3 categorías marcadas por colores bien definidos (Azul, verde y rojo), ajustando la curva para contrastar las diferencias

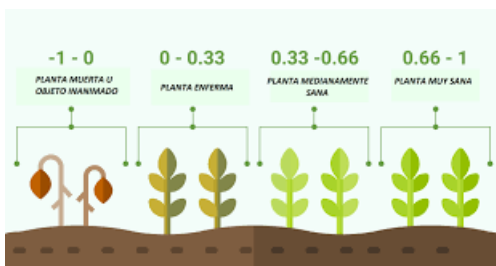
⁷ Si se desea aplicar solo un tipo de dosis, las categorías son 2, donde se pulveriza y donde no.



Esta definición centimétrica (el ortomosaico posee una resolución espacial de $1.09 \text{ cm}^* \text{px}^{-1}$) puede generar a diferencia de las imágenes satelitales, un exceso de información que puede ser contraproducente, por eso la depuración de las celdas de pulverización es un concepto que trataremos a continuación.

Observando el detalle del recorte del ortomosaico vemos que los lotes "A" y "B" poseen distinta composición espectral. La parcela "A" posee mayor densidad vegetal que la "B" que muestra un crecimiento menor y permite la visualización del suelo más pronunciada. Si vamos a pulverizar A será en distinta dosis -por ejemplo, de fertilizante- que B, por lo que serán dos zonas distintas, pero observando en detalle cada una de estas parcelas vemos que hay variabilidad en cada una, por lo que puede darse el caso que tener mucha variación aun dentro de B o A.

¿Como lo resolvemos? Aplicando un criterio de categorización en el cual cuantifiquemos las variables de nuestro interés, por ejemplo el estado de vegetación usando el índice NDVI o similares



En la ilustración lateral vemos el clásico espectro NDVI que señala la vegetación muy sana (+63) medianamente sana (+33) la enferma (0) y muerta (-0). **Por supuesto esto es una generalización porque en general pueden variar estos índices un poco dependiendo de varios factores, entre ellos**

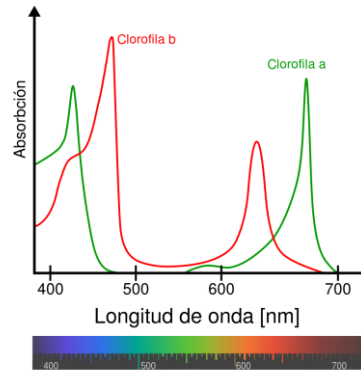
los picos de Clorofila y el componente de pigmentación que es responsable de la percepción de las plantas verdes.

Esta es la responsable no solo del color de la masa foliar, sino de la fotosíntesis en las plantas y otros organismos fotosintéticos. Hay varios tipos de clorofila, pero todas comparten una estructura química básica que incluye un anillo porfirínico⁸. La clorofila absorbe la luz en las regiones azul y roja del espectro electromagnético y refleja la luz verde, lo que da a las plantas su color característico. Precisamente esta reflectancia en la gama de los rojos e infrarrojos cercanos (NIR) es lo que determina la salud de la vegetación, cuando menos NIR refleja, más absorbe y por lo tanto más deteriorada está la estructura vegetal, por senescencia o enfermedad. Esto a su vez afecta al pigmento clorofílico reflejando menos aun el verde. Por lo tanto, es factible medir esa reflectancia en una escala normalizada que nos determina una aproximación a la salud de la planta.

Pero, aunque hay diferentes tipos de clorofila, como la clorofila a y la clorofila b, todas comparten esa capacidad de **absorber la luz en las regiones azul y roja (en cierta medida) y reflejar la luz verde**. Esto es lo que hace que las plantas parezcan verdes para nosotros. Sin embargo, en algunas condiciones específicas, como cambios en el pH o en la disponibilidad de luz, las plantas pueden producir pigmentos adicionales que pueden afectar temporalmente el color de las hojas. Pero en términos generales, la clorofila es el pigmento principal que da a las plantas su color verde. Por supuesto no existe un solo tipo de pigmentación en la sabia vegetal. Porque además de la clorofila verde, existen otros pigmentos en las plantas que contribuyen a la diversidad de colores. Algunos de estos pigmentos son:

1. **"Clorofila a y b:"** Junto con la clorofila a, es uno de los principales pigmentos fotosintéticos en las plantas. Absorbe luz en longitudes de onda ligeramente diferentes a la **clorofila a**, lo que amplía el rango de luz que las plantas pueden utilizar en la fotosíntesis. Cada una de estas "clorofilas" posee una curva característica denominadas **clorofila A y B** donde esta mensurada dicha diferencia, tal como podemos apreciar en el grafico

8 Un anillo porfirínico es una estructura química cíclica que forma la base de varios pigmentos biológicamente importantes, incluyendo la clorofila. El anillo porfirínico tiene una estructura plana y está formado por cuatro subunidades pirrólicas (anillos de cinco miembros que contienen un átomo de nitrógeno) conectadas mediante enlaces covalentes. En el caso específico de la clorofila, el anillo porfirínico forma la estructura central de la molécula. En el centro del anillo, hay un átomo de magnesio que coordina con el nitrógeno de los anillos pirrólicos. La clorofila absorbe la luz para llevar a cabo la fotosíntesis, y la conjugación en el anillo porfirínico es esencial para la absorción de la luz. (Marchessi E., 1998, "Biología vegetal")



(Gráfico de pigmentos fotosintéticos clorofilas A y B, Wikipedia, consultado diciembre de 2023)

2. "Carotenoides:" Son pigmentos que van desde amarillos y naranjas hasta rojos. Los carotenoides, como el beta-caroteno, luteína y licopeno, están involucrados en la captación de luz y la protección contra daños causados por la luz excesiva. También tienen propiedades antioxidantes.

3. **Antocianinas:** Son responsables de los colores rojos, azules y morados en muchas frutas, flores y hojas. Estos pigmentos pueden actuar como protectores contra la radiación ultravioleta y también atraer polinizadores.

4. **Flavonoides:** Incluyen una variedad de pigmentos que contribuyen a una gama de colores, como amarillos, naranjas y rojos. Además de su función en la coloración, los flavonoides tienen propiedades antioxidantes y pueden desempeñar un papel en la defensa de las plantas contra patógenos y herbívoros.

La presencia y la proporción de estos pigmentos pueden variar entre diferentes especies de plantas y en diferentes partes de una misma planta. La combinación de estos pigmentos da como resultado la amplia variedad de colores que observamos en la naturaleza. Entonces queda claro que per se no es factible de aplicar la escala visual que hemos visto párrafos arriba; esto implica que la sanidad de ese cultivo en particular dependerá de la etapa fenológica y de la planta (especie) en sí misma.

Por eso es necesario que además de instrumental y técnicas tengamos a un experto en el cultivo en particular, para que la discriminación en categorizaciones sea real a la producción que se está llevando a cabo. El ejemplo más claro es este mismo ensayo que estamos utilizando de conejillo de indias.

Hay varias especies diferentes de arroz, todas son obviamente *Oryza Sativa*, gramíneas, que poseen dos grandes subespecies: japónica e indica. Pero a lo largo de los años se han creado de estas más variedades y aquí las vemos reflejadas en pequeñas parcelas de diferentes colores.

Estos colores se deben a la diferente etapa fenológica de cada variedad (hay tempranas, tardías y normales) como así también a cierta diferenciación en su "verdor" que implica orgánicamente diferencias posiblemente en su savia con distintos tipos de clorofilas y

otras sustancias. Entonces, aunque estén todas sanas nos darían diferentes estados en el mapeo espectral.

Diferente es si es un cultivo homogéneo, uno de producción, ya que aquí las diferencias serían entonces algún tipo de anomalías.

Concluyendo este punto tenemos que además del analista de imágenes aéreas, que las toma y las procesa en un ortomosaico y en un mapeo espectral, también debe ser asistido por un experto en el cultivo específico, un ingeniero agrónomo, que determina que es cada categorización que obtengamos.

4. Prescripción automatizada

Para las prescripciones automatizadas utilizaremos como insumo de entrada el ortomosaico generado por el vuelo del drone sobre los lotes de ensayos. Comenzaremos con el **Agisoft Metashape**.



El ortomosaico, ya terminado⁹, refleja la composición de 55 imágenes aéreas cenitales, con una resolución espacial de 1,09 cm/px mostrando 10 parcelas grandes con varias más pequeñas para las repeticiones de los ensayos. A simple vista se observan las diversas variedades de arroz.

Alrededor del perímetro del área de interés, los cultivos, hemos delimitado un polígono (1) que nos servirá para contener nuestro mapa de prescripciones, de no hacerlo lo haríamos con zonas que no interesan.

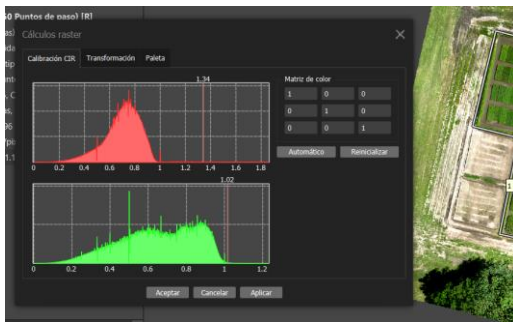
Previamente hemos aplicado el índice xNDVI que se expuso en párrafos anteriores y contrastamos ajustando las curvas de colores para que sean bien diferenciadas pero representativas del material que estamos clasificando.

Para lograr esta separación es necesario que nos interioricemos en las particularidades de la calculadora ráster de Metashape.

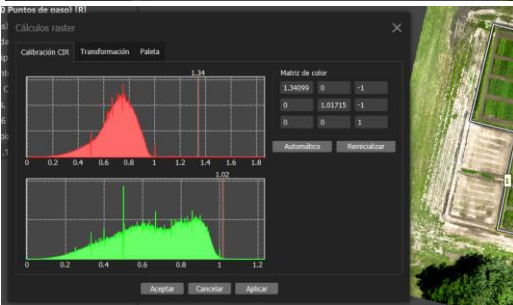
Para este paso utilizamos la calculadora ráster del programa, con los **ajustes de calibración CIR¹⁰** correspondientes y la formulación algebraica antes mencionada.

⁹ Para la realización del ortomosaico véase otros artículos que hablan de este tema o los videos del canal de Youtube. NdA.

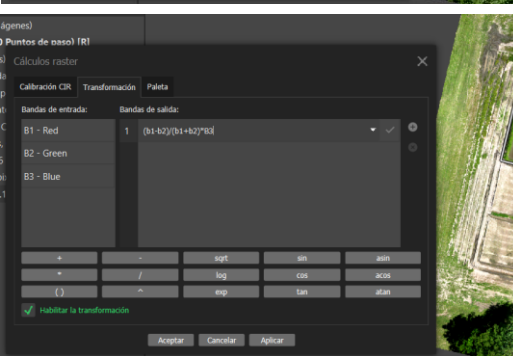
¹⁰ **La calibración CIR generalmente se refiere a la calibración de imágenes tomadas en el espectro infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés).** En la la captura de imágenes en el rango de infrarrojo cercano puede ser útil para ciertas aplicaciones, como la detección de vegetación saludable. Las plantas reflejan la luz en el espectro infrarrojo cercano de manera diferente en comparación con otras longitudes de onda, lo que permite obtener información valiosa sobre su salud y vigor. En general **Agisoft Metashape** incluye la opción de calibración CIR, que está diseñada para manejar imágenes tomadas en el espectro infrarrojo cercano y permitir una calibración adecuada para mejorar la



Con el ortomosaico ya realizado procedemos a abrir la calculadora ráster (*icono de paleta de colores en la barra*). Aquí nos aparecerá la matriz de color, procedemos a ajustarla pulsando en “automático” y luego de concluida dichas curvas, en “aplicar”. La imagen del ortomosaico virara a una imagen tipo **RG-NIR** típica



Observen que la matriz de color cambia de la original (*a la que pueden regresar con “reinicializar”*) dando valores que afectan a la colorimetría del ortomosaico. Este artificio aprovecha las posibilidades de las cámaras ¹¹ RG-NIR pero además se pueden usar en RGB también. Recordemos que estamos en la pestaña



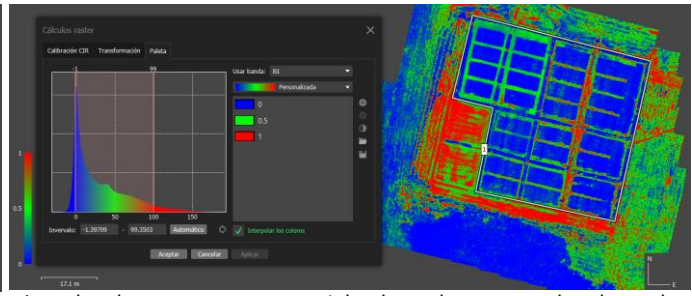
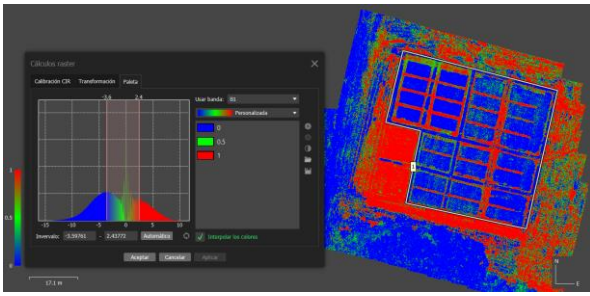
Calibración CIR. Ahora pasaremos a la pestaña “Transformación”. Aquí es donde insertaremos la formulación algebraica de bandas como la **xNDVI** ya vista, teniendo por guía las bandas de entrada ($B_1: R; B_2: G; B_3: B$) y escribiendo la formulación en el espacio de “bandas de salida”. Podemos ayudarnos con los elementos inferiores que escribirán las operaciones y signos que necesitamos. Terminado, se puede aplicar.



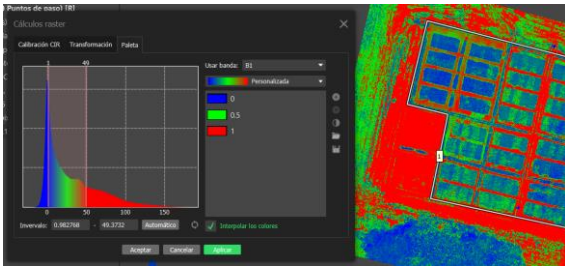
¿Es necesario el ajuste de color CIR usando cámaras “normales” de RGB? En general es posible usar el ortomosaico realista en RGB sin bandas infrarrojas, pero el ajuste suele resultar en algunos casos en una mejoría en la aplicación del índice, en todo caso conviene probar si este ajuste beneficia puntualmente a un ortomosaico en particular. En el caso que nos ocupa se han hecho los dos ejemplos para graficar como queda la curva y el visionado en las imágenes siguientes.

precisión de los resultados, especialmente en aplicaciones relacionadas con la vegetación. En el caso de RGB esta calibración ayuda a mejorar los resultados espectrales ayudando a crear una banda R más cercana al NIR.

- 11 **Una cámara CIR, o cámara de infrarrojo cercano y color, también llamadas RG-NIR por manejar las bandas roja, verde e infrarrojo cercano (reemplazando al azul)** es una cámara que captura imágenes en las tres bandas espectrales mencionadas. La banda NIR captura luz con longitudes de onda de 700 a 1000 nanómetros, **típicamente 650 μm** , la banda verde captura luz con longitudes de onda de 520 a 560 nanómetros y la banda roja captura luz con longitudes de onda de 630 a 660 nanómetros.

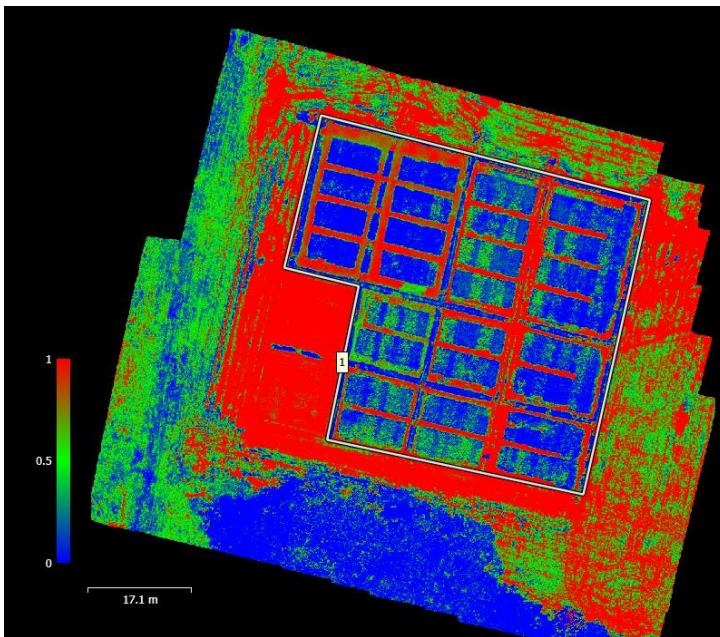


Izquierda: curvas con matriz de color normal y derecha con curva de color ajustada CIR. El resultado que vemos en la aplicación de la curva de color y ajustes de contrastes estrechando el índice espectral en su rango. (NdA.)



En la tercera pestaña "Paleta" procedemos a ajustar la curva marcando en el símbolo de refrescar (al lado de "automático") y luego trazar los márgenes de la curva con "automático". Para ajustar podemos mover ambos márgenes estrechándolos y cambiando el rango de su alcance, esto generara un mapeo mas contrastado o por el contrario más diverso.

Para nuestro caso estimamos ajustar un poco -no perdiendo de vista que debemos aplicar y a que no- para obtener un mapeo representativo. Finalmente aplicamos y queda listo.



Mapeo espectral finalizado: aquí vemos dentro del delimitador (polígono "1") claramente definidas varias zonas:

1-En rojos zonas que no vamos a aplicar.

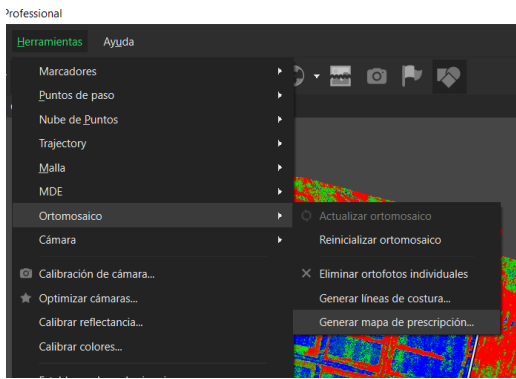
2-En zonas verdes: buen desarrollo del cultivo, dosis mínima.

3-Zonas azules: vegetación en estado intermedio que requiere dosis de aplicación.

Como este es un ejemplo, suponiendo que fuera un cultivo

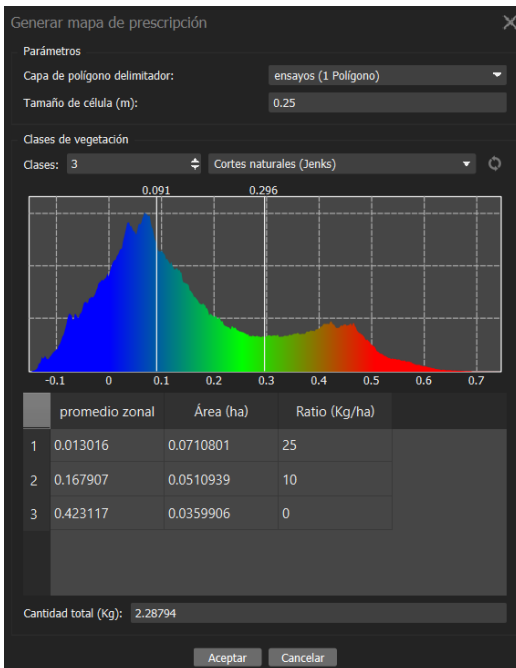
homogéneo y no ensayos, estaríamos frente a dos casos: Vegetación sana y vegetación no desarrollada. Podríamos suponer también que es para aplicar algún tipo de aplicación y este criterio nos resolvería donde aplicar diferenciadamente dos cantidades distintas de dosis, según el caso. También tenemos una zona que definitivamente no aplicaríamos porque son senderos o zonas sin cultivo.

Con este ortomosaico "ajustado" al criterio de clases, es decir de zonas donde aplicar cada cantidad o no, procedemos a crear el mapa de prescripción.



En Agisoft Metashape sencillamente vamos al menú "**Herramientas** → **Ortomosaico** → **Generar mapa de prescripción**".

Esto habilitara un cuadro donde podremos configurar los parámetros que nos permitan general el esquema del mapa y los valores que asignaremos para la aplicación.

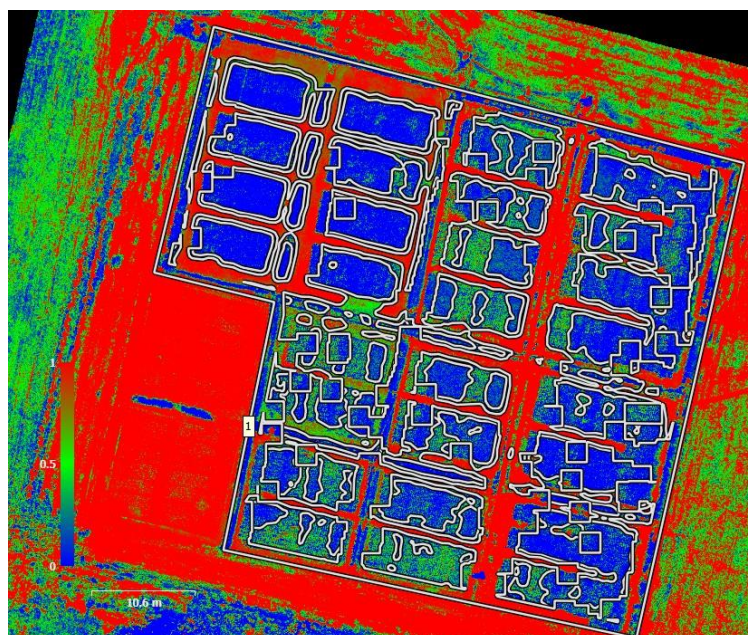
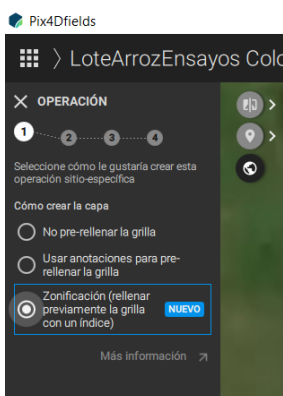


En el cuadro lateral vemos la configuración del mapa de prescripción. En **capa del polígono delimitador** seleccionamos el polígono 1, esto acotara el mapa en formato vectorial donde se aplicara el mapeo.

En el tamaño de la célula determinamos el espacio mínimo de configuración. En el ejemplo se configuro 25 cm (0,0625 cm²) de cuadrícula, por defecto es de 1 m².

En clases de vegetación determinamos el número de clases y el tipo de corte de cada una, entendiendo por tal, al criterio para delimitar las dosis a aplicar. En el ejemplo seleccionamos 3, por lo tanto habrán tres espacios que vemos en la gráfica con la curva del índice y allí podremos

desplazar los márgenes para achicar o agrandar el intervalo de cada una, y en el listado se puede en "ratio" cambiar la dosificación en Kg/ha. Una vez configurado esto se acepta y se generara un mapeo de vectores como el siguiente



Aplicado al Qgis junto con las capas vectoriales de ortomosaico, DEM o mapeo espectral obtenemos una detallada información visual para entender como trabajara el drone pulverizador o mosquito.



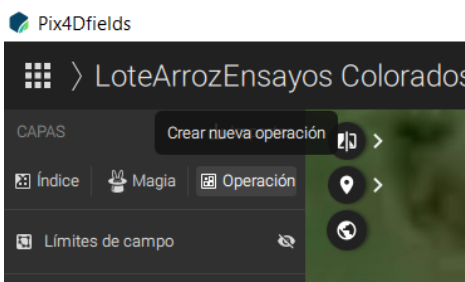
Prescripción automática y manual en Pix4Dfields

La creación de la prescripción con este software es mucho más sencilla que en Metashape porque Pix4Dfields es un software que hace hincapié en la usabilidad en entornos productivos, en el ámbito agropecuario, donde en cuestión de minutos es posible obtener el ortomosaico y posteriormente los distintos productos (*mapas espectrales* y *mapas de prescripciones llamados aquí **operaciones***).

Partimos desde el ortomosaico ya creado



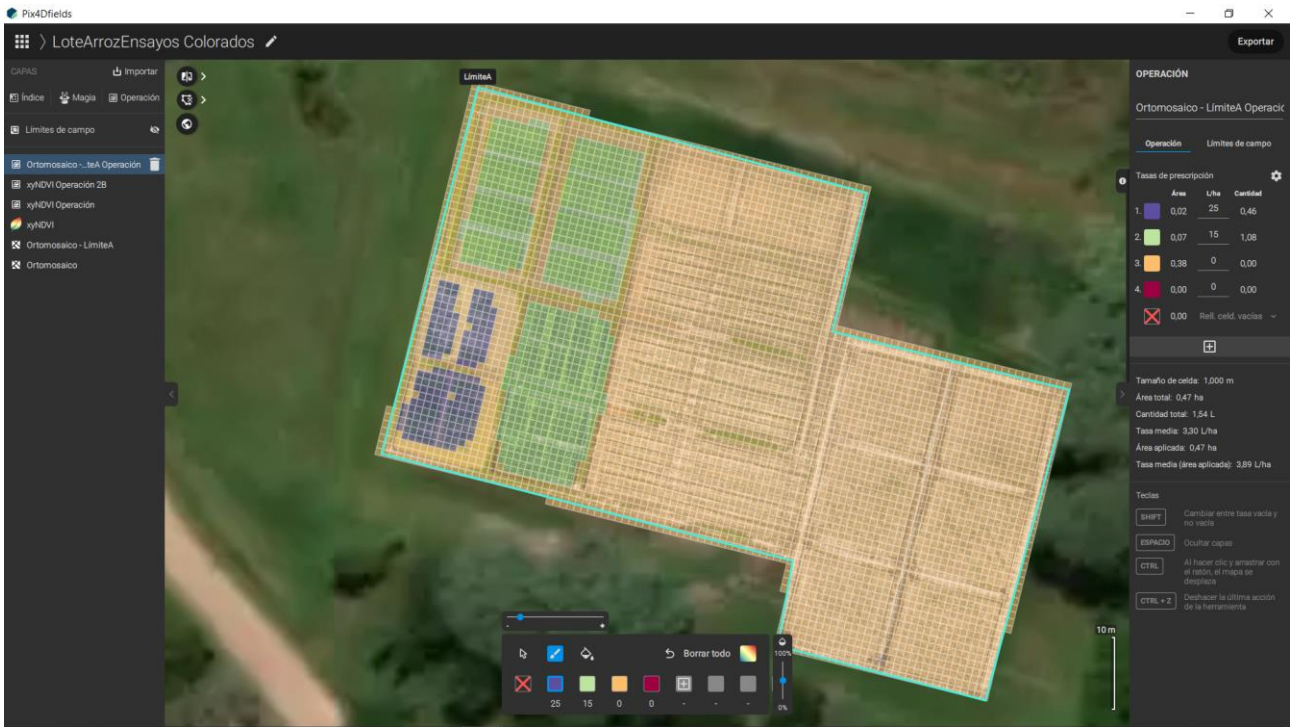
En primer plano observamos el ortomosaico y en segundo plano una versión de imagen satelital renderizada a $5 \text{ m}^* \text{px}^{-1}$ que se nos ofrece como guía, aunque podemos si es necesario bajar imágenes realistas y espectrales de la zona o polígono delimitador desde el Sentinel 2 a resolución nativa $10 \text{ m}^* \text{px}^{-1}$ de la fecha que nos sea mas conveniente (*si no esta nublado, claro*). Del ortomosaico del cultivo que nos ocupa, en el caso es un nuevo vuelo de fecha 23/12/2023 donde **se ha agregado un mapeado de una nueva zona de ensayos con los laboreos y siembra reciente**, trabajamos el índice espectral xNVDI de referencia, contrastándolo para que nos ofrezca su mejor contraste en 5 categorías.



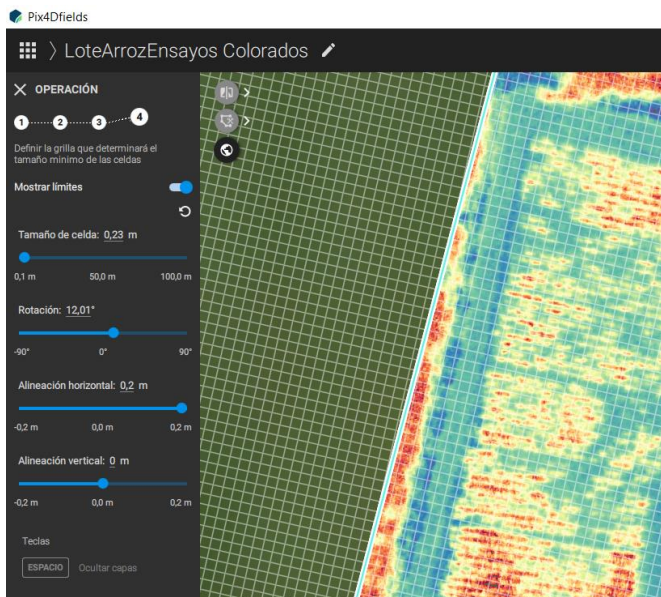
Aquí aplicamos un LUT que nos permite ver la vegetación en color rojo decreciente según sea su vigor en decadencia. El azul indica zonas sin ella y el amarillo escasa muy vegetación.

Ahora procederemos a crear una nueva operación, que es la denominación que poseen estos mapas de prescripciones en Pix4Dfields. Vamos a la barra lateral y seleccionamos **Operación** que nos abrirá una serie de pantallas para crearla. La primera de las configuraciones que nos aparecerán es la determinación del mapa espectral a utilizar, en este caso el xNVDI y seleccionamos la zonificación, que es el rellenado de la grilla con este índice.

Si no usamos un índice espectral, podemos hacerlo manualmente con el ortomosaico determinando visualmente esta operación (seleccionar **No pre-rellenar la grilla**), aparecerán herramientas para que configuremos la cantidad de clases que necesitamos y colores con los cuales simbolizaremos las dosificaciones y pintaremos manualmente con una brocha lo que nos interesa. Lo que quede sin pintar se puede rellenar con una dosificación nula, por ejemplo.



En este ejemplo manual de mapeo prescriptivo creamos 4 clases (*dos nulas y dos de dosis crecientes*) obviando detalles finos (la brocha para pintar se puede configurar del tamaño adecuado).



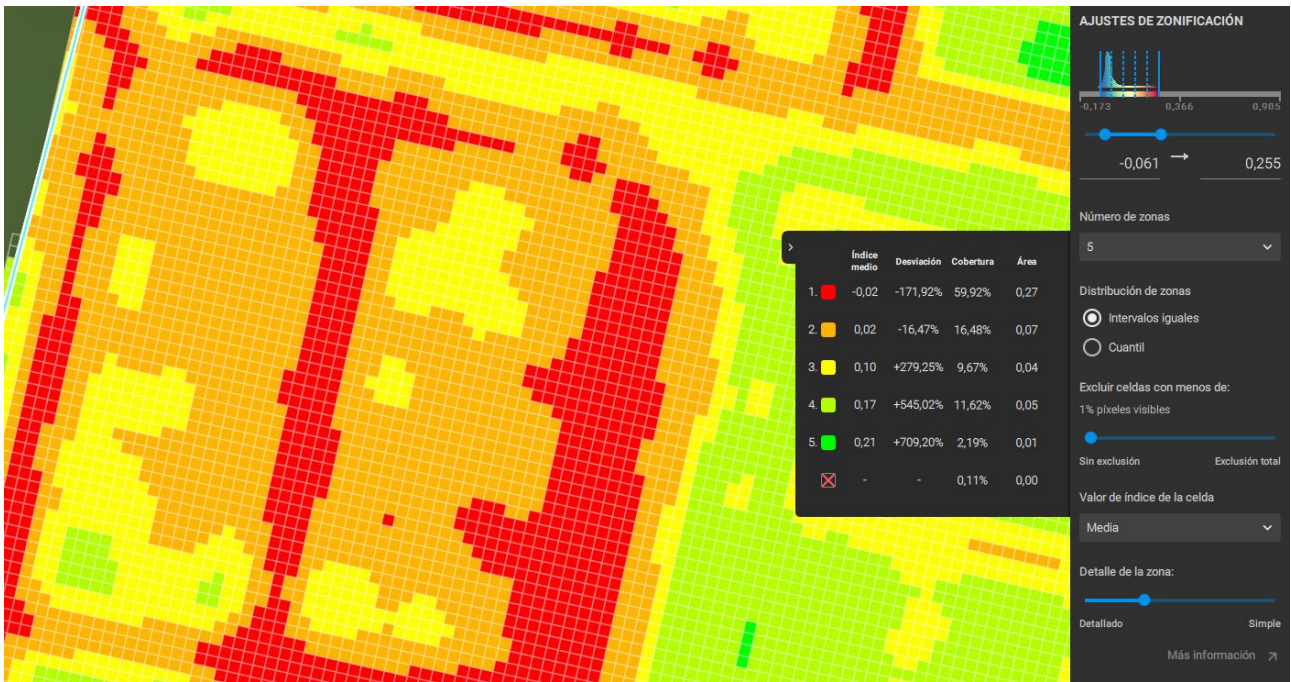
Prosiguiendo con el proceso (ambos, manual y automático) **después del tercer paso** procederemos a delimitar la celda o célula de pulverización. Por defecto viene en 3 metros, pero podemos ampliar y reducir.

Luego se ajusta la cuadrícula para que coincida con el trazado del cultivo rotando la grilla y ajustando la verticalidad y horizontalidad.

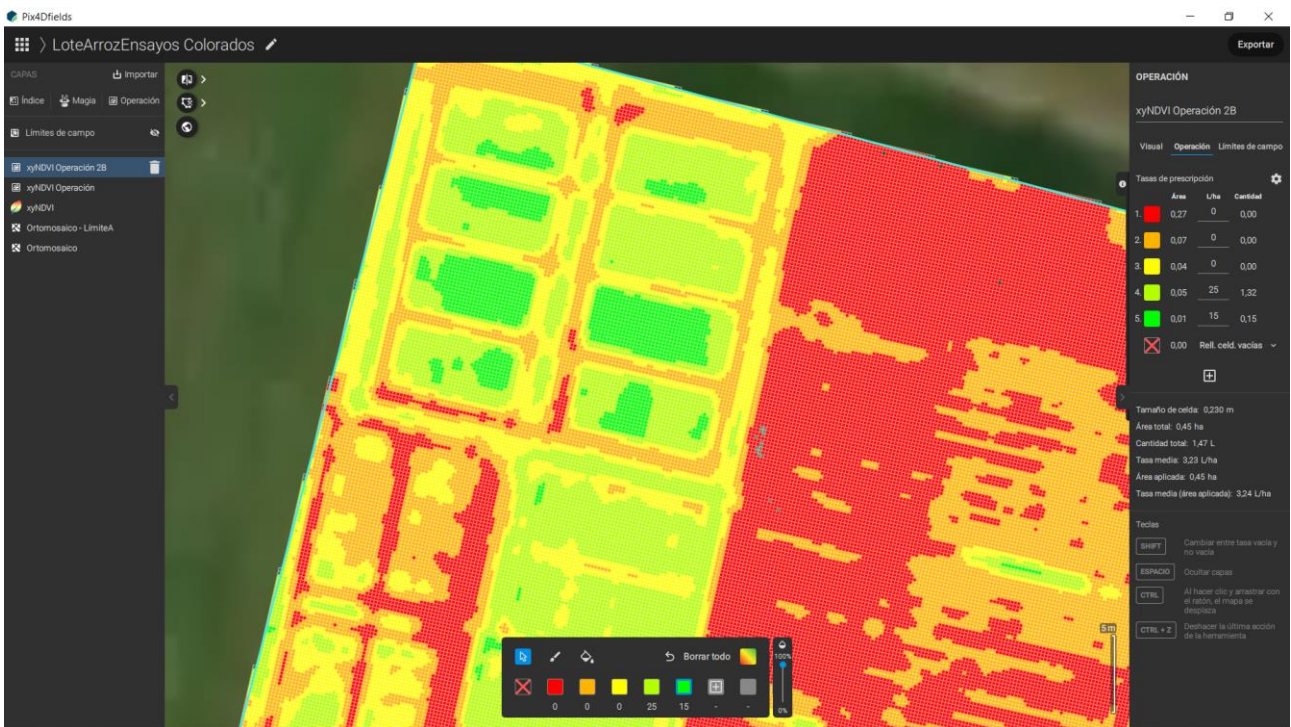
Ya con este ajuste se puede pasar a la etapa final en donde automáticamente se delimitan las categorías en un

rellenado según parámetros. En este ejemplo automático se han creado 5 categorías, aunque pueden reducirse o ampliarse según el caso.

Para tratar anomalías es interesante que se puedan aplicar dosis exactas en el lugar preciso y al resto no, con algún tipo de tratamiento, pero si se desea pulverizar en la totalidad con dosis diferenciadas este mapeo con valores diferentes servirá adecuadamente.



Finalmente nos queda el mapa de prescripciones, sea uno u otro, conformado con un aspecto similar a este

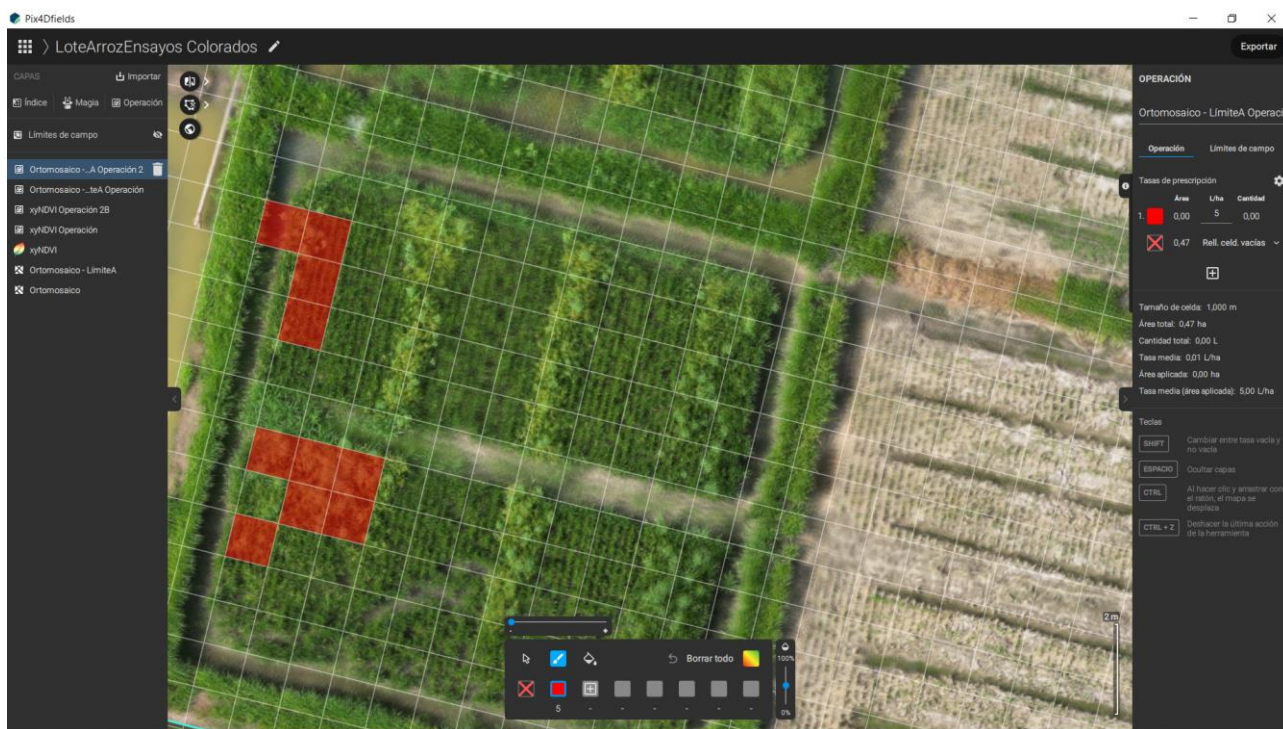


Solo queda la exportación que dependerá a que tipo de dispositivo pulverizador sea enviada la información, en el menú es factible exportar para tres tipos de drones especializados (*DJI Agras* y *otros*) además de maquinaria usual para este tipo de trabajo.

Consideraciones finales

Si estamos deseando hacer aplicaciones muy puntuales, es más sencillo hacer este tipo de mapeos, solo hay que plantar marcadores y delimitar en el caso de drones la altura de dispersión y su ancho.

La utilización de marcadores puede ser incorporada en forma de importación de mediciones de un GPS o bien agregadas manualmente por la visualización del ortomosaico.



En la imagen ejemplo de marcación manual de malezas ciperáceas (Cyperaceae) en un punto de un ensayo, con una grilla de 1 m², el resto no aplicara. El resultado final lo vimos en las primeras imágenes de este artículo.

Consultas y capacitaciones: aguia.edwin@inta.gov.ar