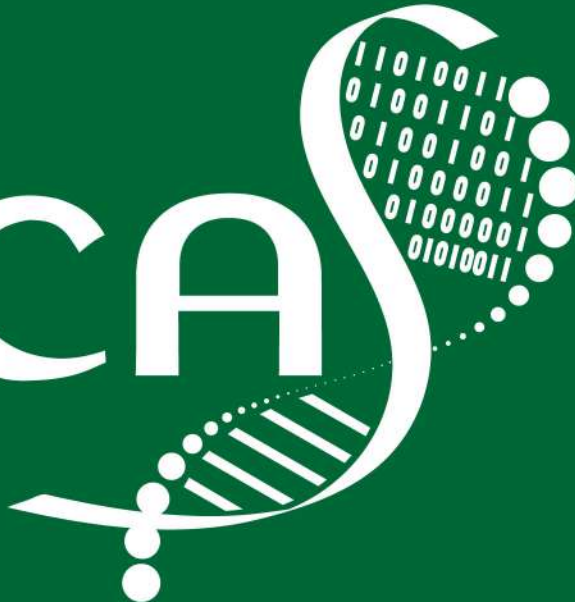


ómica

A stylized graphic on the right side of the word 'ómica'. It features a white DNA double helix structure. The top part of the helix is composed of a series of white dots of varying sizes, arranged in a circular pattern. Inside this circular arrangement, there is binary code (0s and 1s) in a white, sans-serif font. The bottom part of the helix is a solid white line that curves upwards, ending in a small white arrowhead pointing to the right.

El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



Modelado y Control de Drones autónomos para monitoreo agrícola por medio de imágenes aéreas

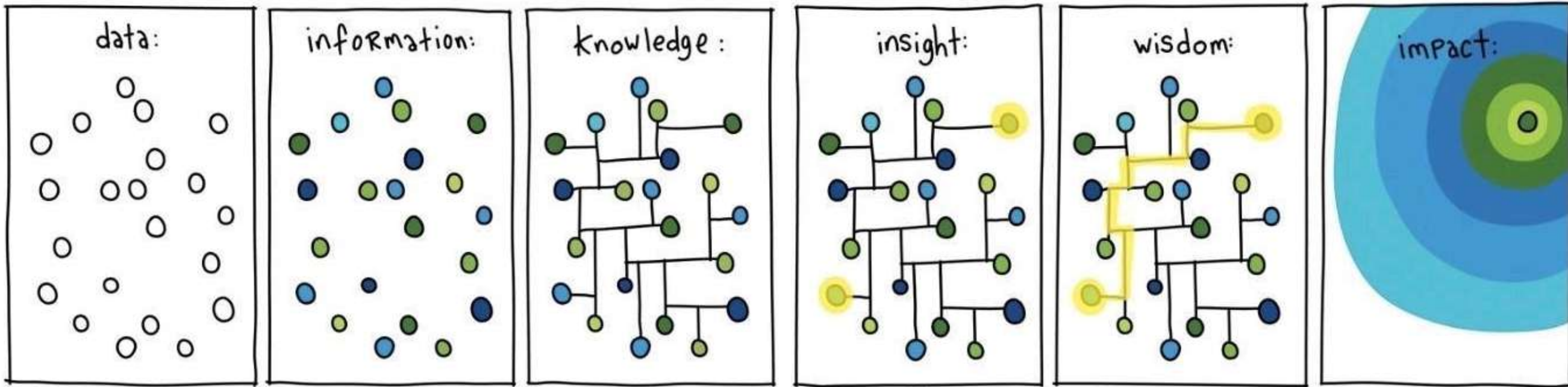
1. OMICAS: Fenotipificación
2. UAVs en Agricultura de Precisión
3. Control de vuelo de alta precisión
4. UAV para Fenotipificación



Julian Colorado
PhD in Robotics – UAV Control
Profesor Javeriana Bogotá



OMICAS: Fenotipificación



Fenómica

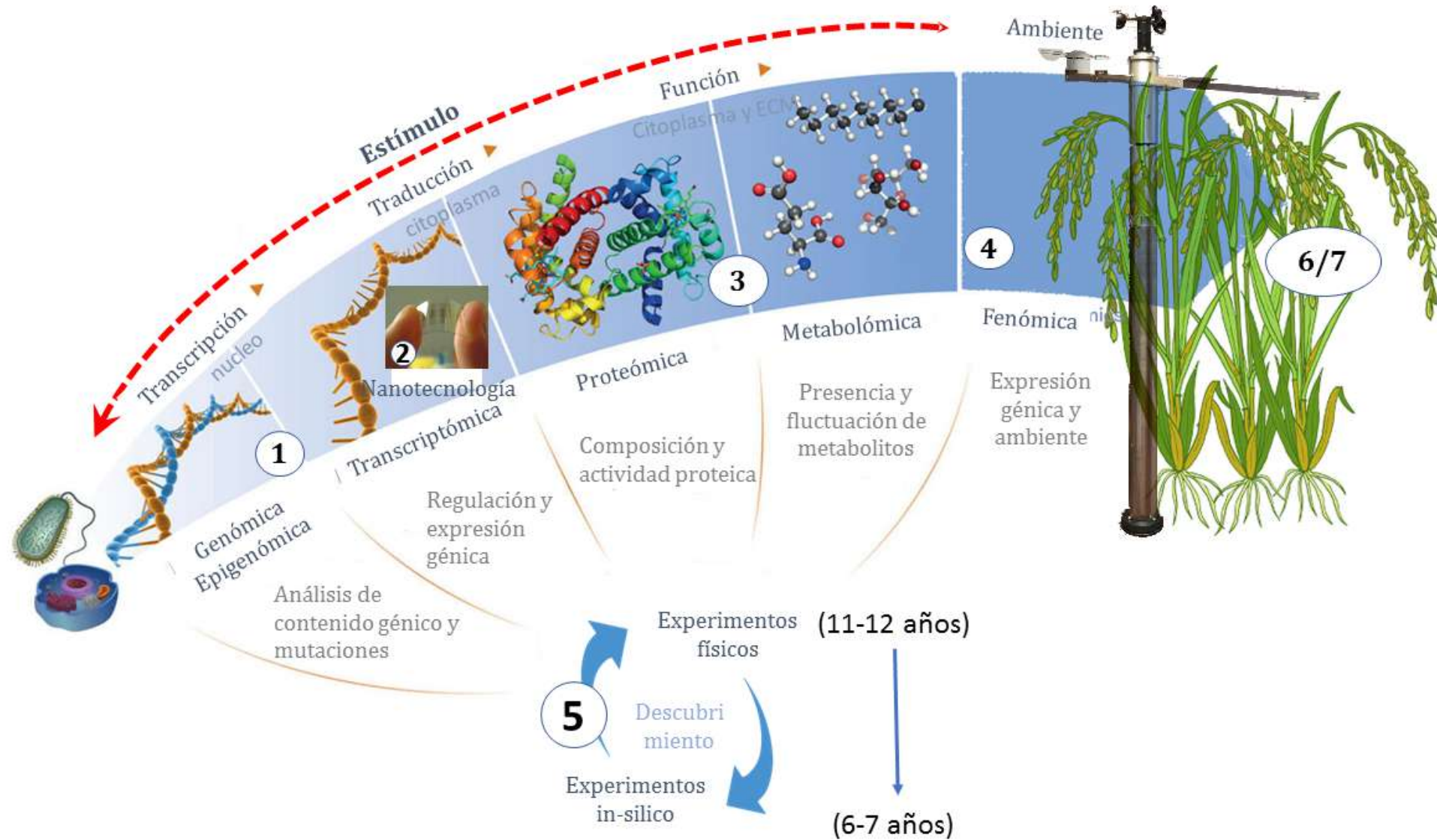


El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



OMICAS: Fenotipificación



Fenómica



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



OMICAS: Fenotipificación



Aérea

Variables (Canopy - Level)

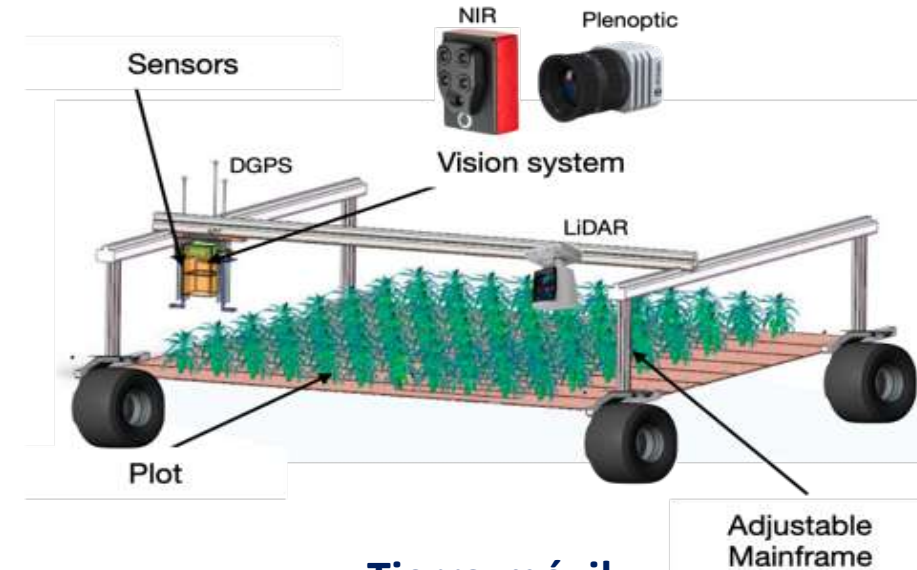
- NIR, RGB, Térmico
- Nitrógeno, Clorofila, Fósforo
- Biomasa
- Indices (NDVI...)
- Estrés hídrico



**Tierra-fija
(IoT-WSN)**

Variables (Plot/soil - Level)

- RGB
- Indices (NDVI...)
- Temperatura, Humedad
- Velocidad aire
- CO₂, N₂O, Metano
- Radiación



**Tierra-móvil
(AGV)**

Variables (Plant/soil - Level)

- 3D LiDAR - Morphology
- 3D Light-Field - Architecture
- NIR - Indices (NDVI...)
- Suelo: K⁺, NO₃⁻, pH, temp/hum
- Follaje, Impedancia - Fotoacústica
- Clorofila - Fotoluminiscencia

UAVs en Agricultura de Precisión

Growth in Industry Adoption (YoY)

While dozens of industries use drones, the fastest growing commercial adopters of aerial data come from the construction, agriculture, and mining industries.



Fenómica

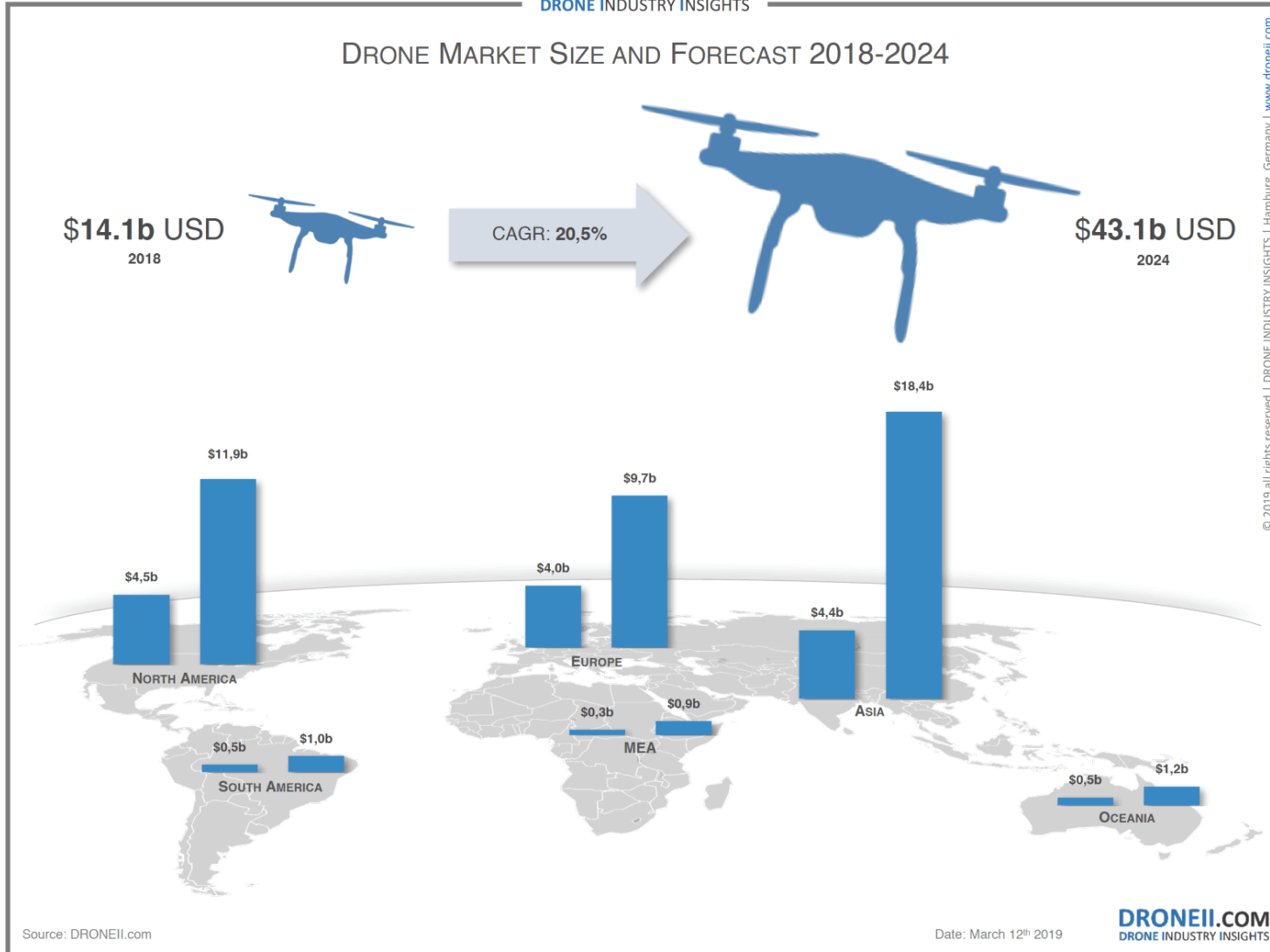


El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



UAVs en Agricultura de Precisión

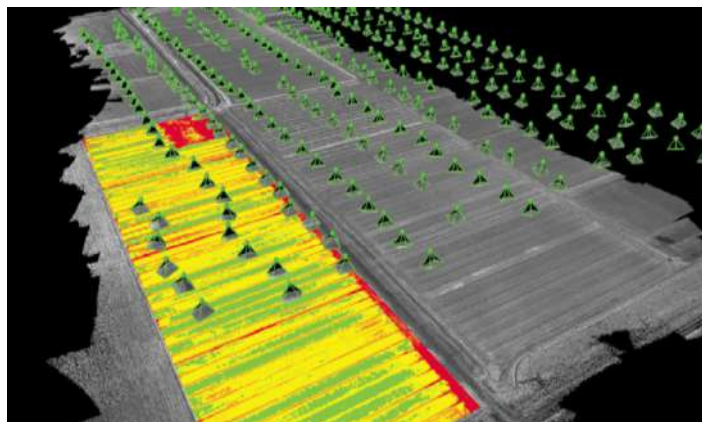


- ✓ Crecimiento exponencial en la última década
- ✓ UAVs comerciales cada vez más económicos (~1500 USD)
- ✓ Integran cámaras, LiDAR y alto poder de cómputo
- ✗ Aún hay restricciones de la capacidad de carga (~1Kg para los UAVs de bajo costo)
- ✗ Límites en autonomía de vuelo (~20min según carga)
- ✗ Autopilotos cada vez mejores, pero con falencias en precisión y control de altura.

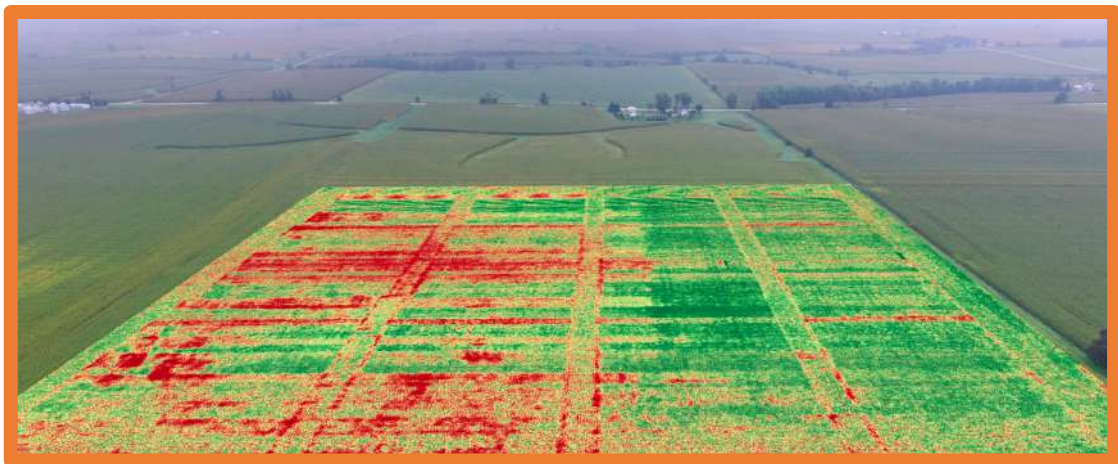
UAVs en Agricultura de Precisión



Riego de pesticidas o hídrico



Modelos 3D de cultivos



Modelos hiperespectrales

Smart-Farming



Fenómica



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



UAVs en Agricultura de Precisión



Parrot®



Parrot bluegrass system



Sequoia NIR camera



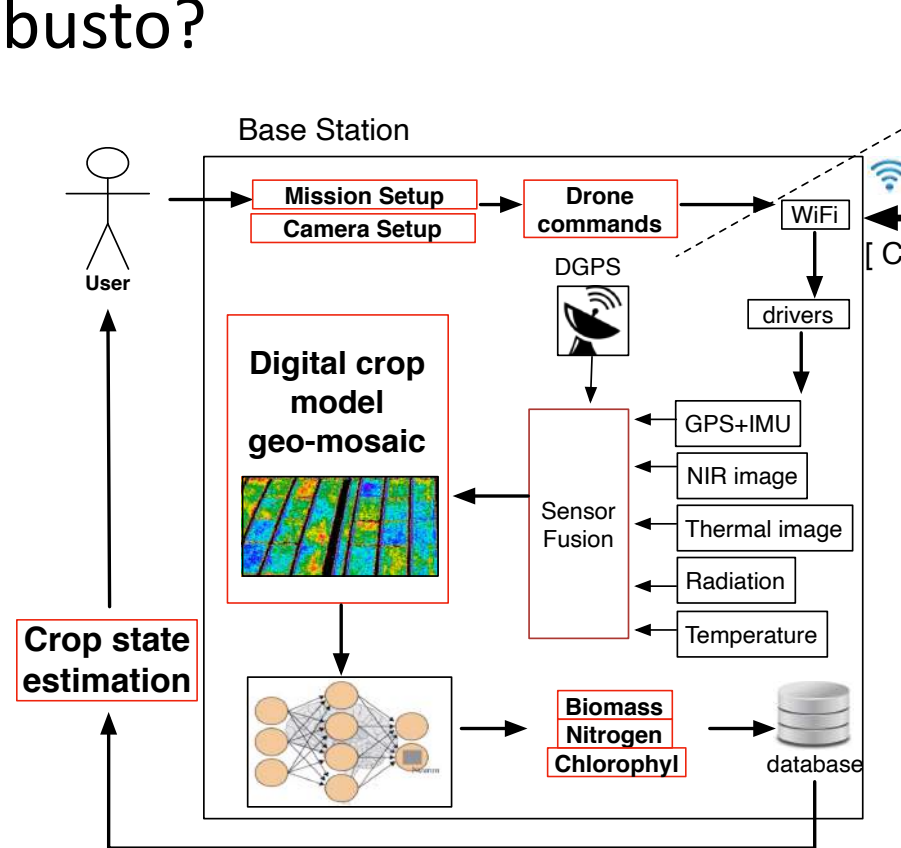
Parrot®
PROFESSIONAL

Fenómica

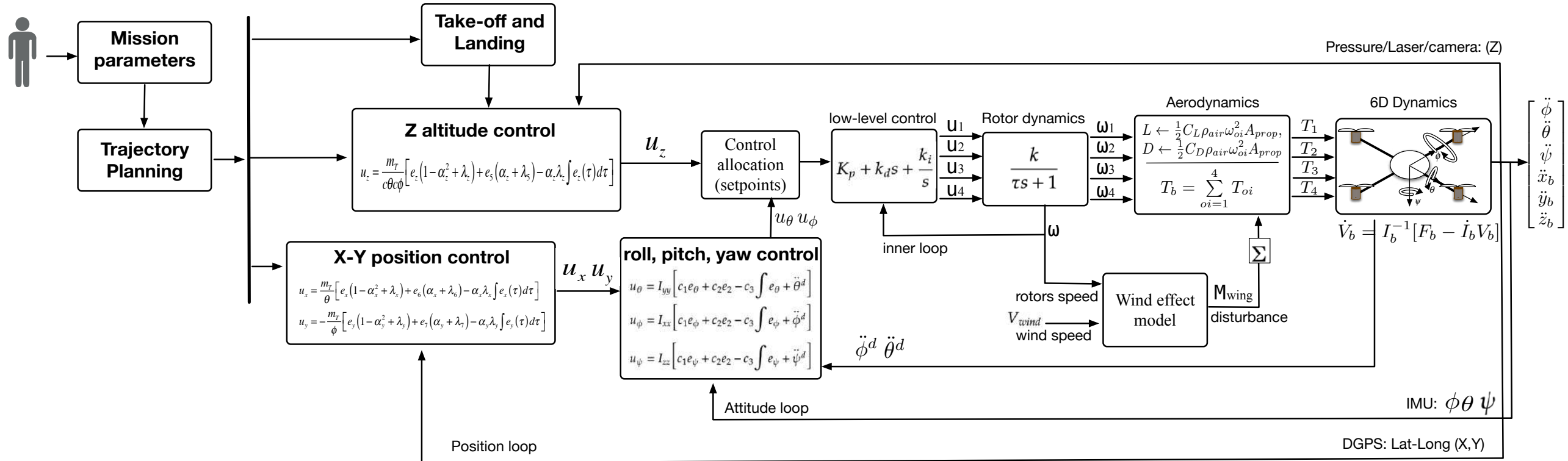


Control de vuelo de alta precisión

Por qué necesitamos un autopiloto robusto?



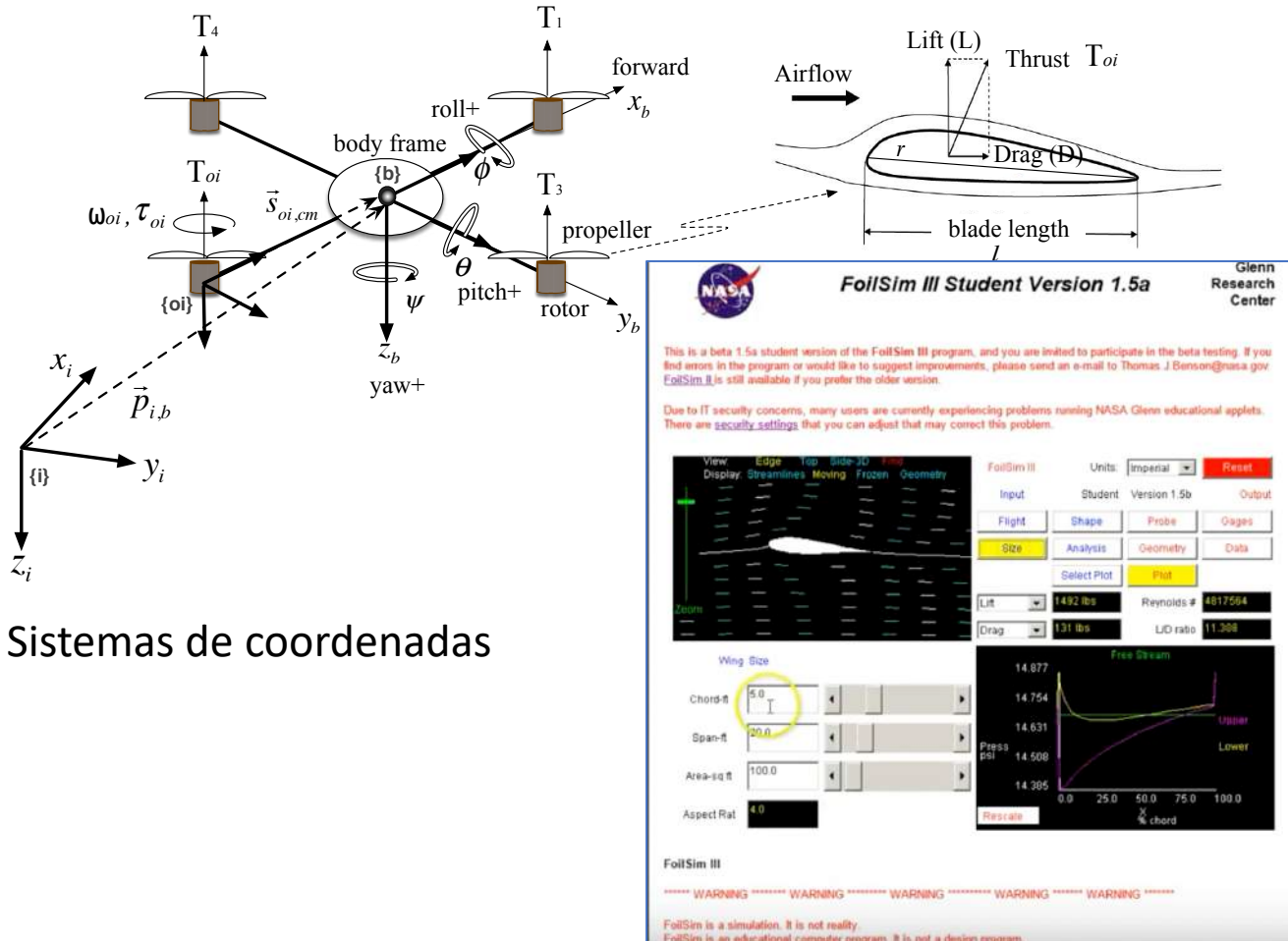
Control de vuelo de alta precisión



- ❑ UAV/drone → 6 DoF (12 variables de estado)
- ❑ Sistema altamente no-lineal (variables de estado acopladas)
- ❑ Sistema sub-actuado
- ❑ **Cinemática**: Angulos Euler, **Dinámica**: Newton Euler 6D, **Aerodinámica**: Elementos Finitos

Control de vuelo de alta precisión

Modelo Dinámico 6D



Sistemas de coordenadas

- Aceleración 6D en CM:

$$\dot{V}_b = \begin{bmatrix} \dot{\omega}_b \\ \dot{v}_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \\ \ddot{x}_b \\ \ddot{y}_b \\ \ddot{z}_b \end{bmatrix} \rightarrow \dot{V}_b = I_b^{-1} [F_b - \dot{I}_b V_b]$$

- Matriz de Inercia 6D:

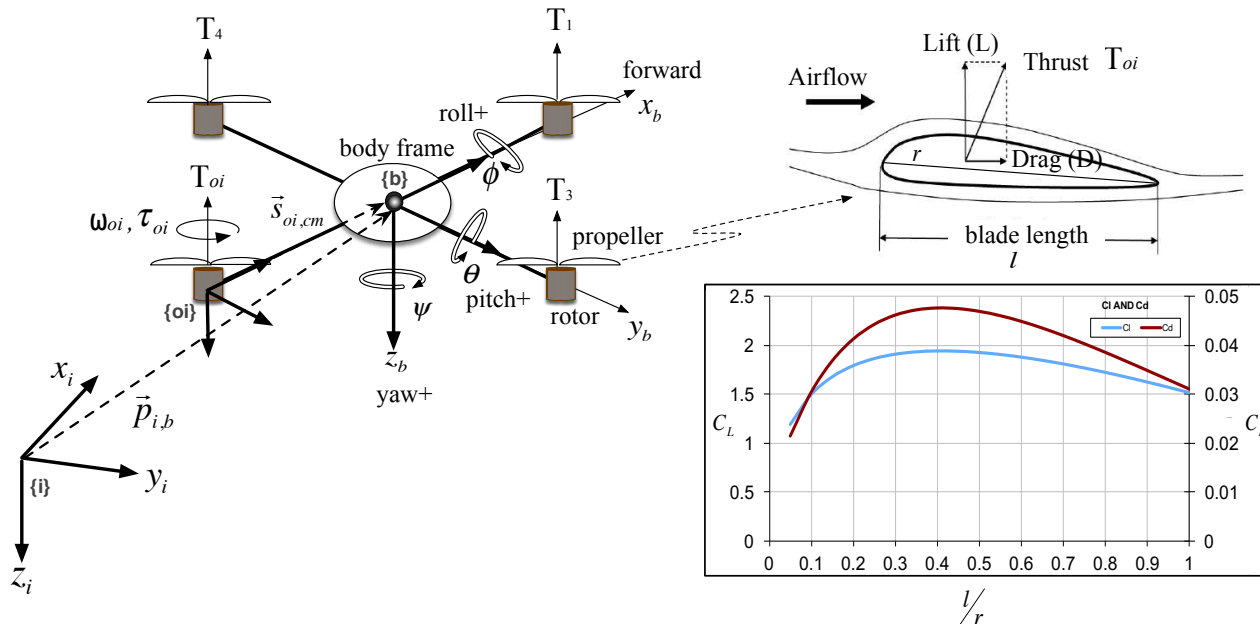
$$I_b = \begin{bmatrix} J_b & 0 \\ 0 & mU \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_{yy} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m \end{bmatrix}$$

- Fuerza 6D:

$$F_b = \begin{bmatrix} N_b \\ f_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_{b,x}) + (\tau_\phi) \\ (N_{b,y}) + (\tau_\theta) \\ (N_{b,z}) + (\tau_\psi) \\ f_{b,x} \\ f_{b,y} \\ f_{b,z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\dot{\theta}\dot{\psi} [I_{yy} - I_{zz}]) + s_{oi,b}\hat{j}(T_4 - T_3) \\ (\dot{\phi}\dot{\psi} [I_{zz} - I_{xx}]) + s_{oi,b}\hat{i}(T_1 - T_2) \\ (\dot{\theta}\dot{\phi} [I_{xx} - I_{yy}]) + (T_3 + T_4 - T_1 - T_2) \\ (s\psi s\phi + c\psi s\theta c\phi) T_b \\ (-c\psi s\phi + s\psi s\theta c\phi) T_b \\ mg - (c\psi c\phi) T_b \end{bmatrix}$$

Control de vuelo de alta precisión

Modelo Aerodinámico 6D



Sistemas de coordenadas

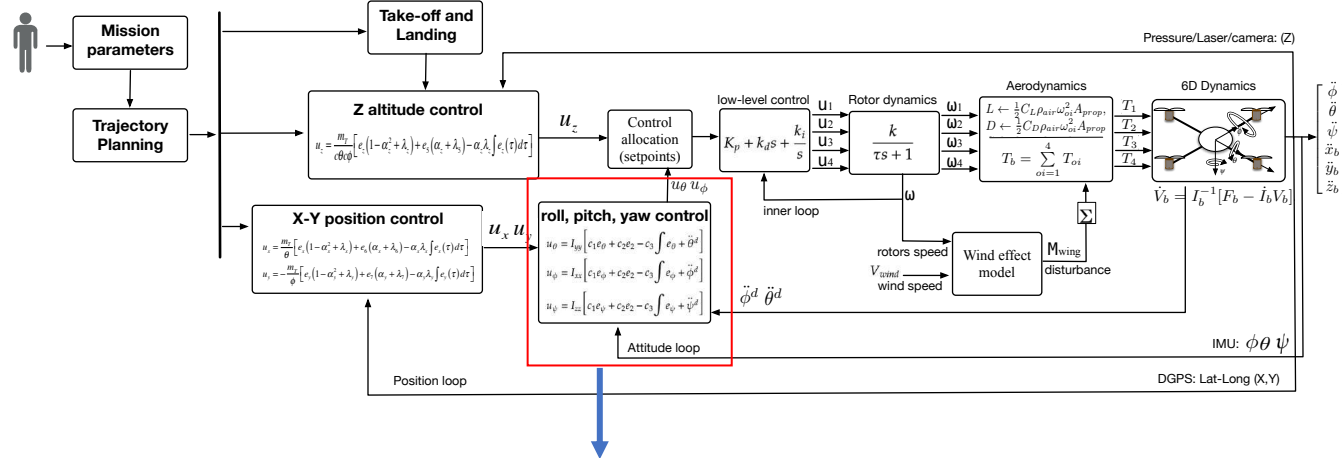
FoilSim III simulator
(NASA) – Blade Element
Theory

$$F_b = \begin{bmatrix} N_b \\ f_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_{b,x}) + (\tau_\phi) \\ (N_{b,y}) + (\tau_\theta) \\ (N_{b,z}) + (\tau_\psi) \\ f_{b,x} \\ f_{b,y} \\ f_{b,z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\dot{\theta}\dot{\psi} [I_{yy} - I_{zz}]) + s_{oi,b}\hat{j}(T_4 - T_3) \\ (\dot{\phi}\dot{\psi} [I_{zz} - I_{xx}]) + s_{oi,b}\hat{i}(T_1 - T_2) \\ (\dot{\theta}\dot{\phi} [I_{xx} - I_{yy}]) + (T_3 + T_4 - T_1 - T_2) \\ (s\psi s\phi + c\psi s\theta c\phi) T_b \\ (-c\psi s\phi + s\psi s\theta c\phi) T_b \\ mg - (c\psi c\phi) T_b \end{bmatrix}$$

- Empuje vertical (rotor): $T_{oi} = L + D$
 $= \frac{1}{2} \rho_{air} \omega_{oi}^2 A_{prop} (C_L + C_D)$
- Empuje en el CM: $T_b = \sum_{oi=1}^4 T_{oi}$

Control de vuelo de alta precisión

Control Backstepping



5. Dinámica del error para la ley virtual:

$$\dot{e}_2 = k_p \dot{e}_\phi + \ddot{\phi}^d + k_i e_\phi - \dot{\omega}_x$$

donde: $\ddot{\phi} \rightarrow \dot{\omega}_x = I_{xx}^{-1} \tau_\phi$ ← Acción de control!

6. Reemplazando en (5), siendo $u_\phi \rightarrow \tau_\phi$

$$u_\phi = I_{xx} [k_p \dot{e}_\phi + \ddot{\phi}^d + k_i e_\phi - \dot{e}_2]$$

Sin embargo, las derivadas de $\dot{e}_\phi$ y $\dot{e}_2$ introducen errores numéricos acumulativos. Por tanto,

$$\dot{e}_\phi = \dot{\phi}^d - k_p e_\phi$$

$$\dot{e}_2 = e_2 - k_p e_\phi$$

Finalmente,

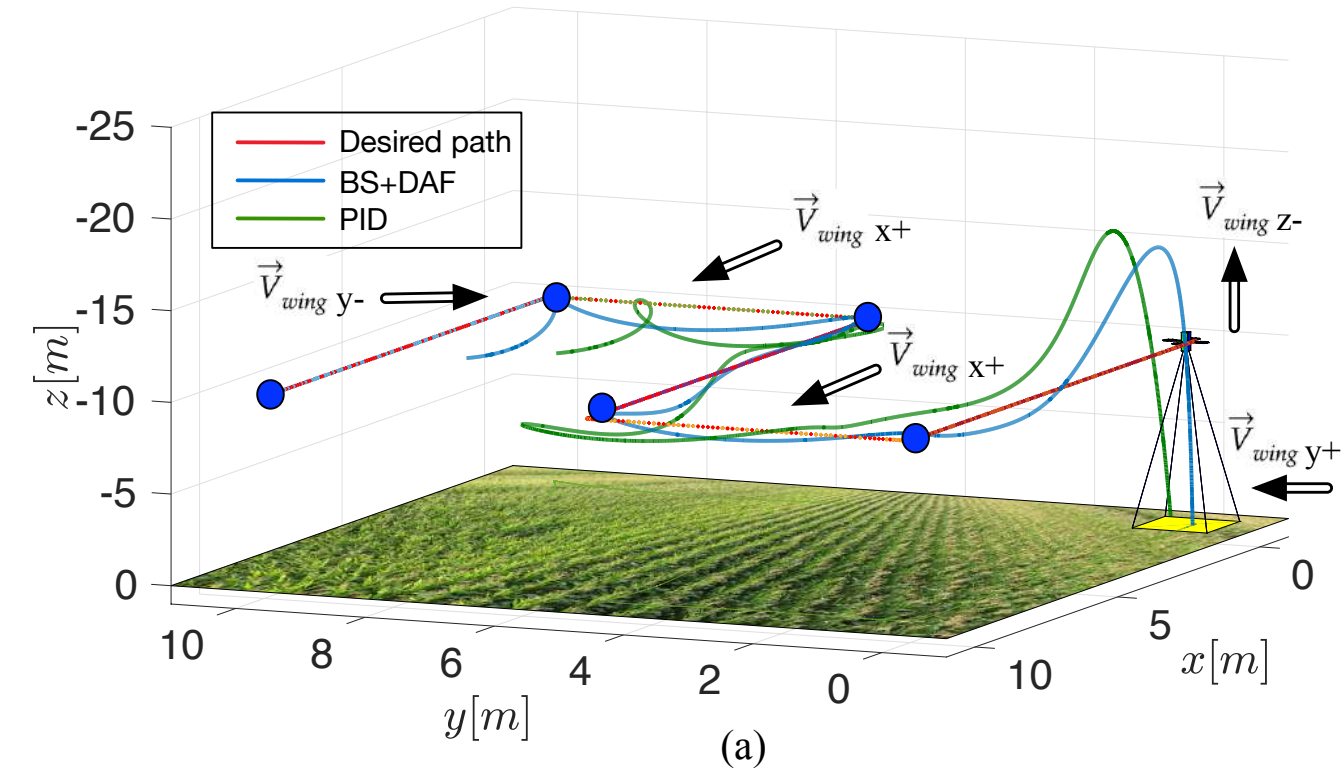
$$u_\phi = I_{xx} [e_\phi (k_p - k_i - k_p^2) + e_2 (k_p - 1) - k_p k_i \int e_\phi + \ddot{\phi}^d]$$

1. Dinámica del Error: $\dot{e}_\phi = \dot{\phi}^d - \omega_x$
2. Se propone una ley de control virtual: $e_2 = \omega_x^d - \omega_x$
3. Se define una estructura PID para la ley virtual: $\omega_x^d = k_p e_\phi + \dot{\phi}^d + k_i \int e_\phi(t) dt$
4. (3) en (2):

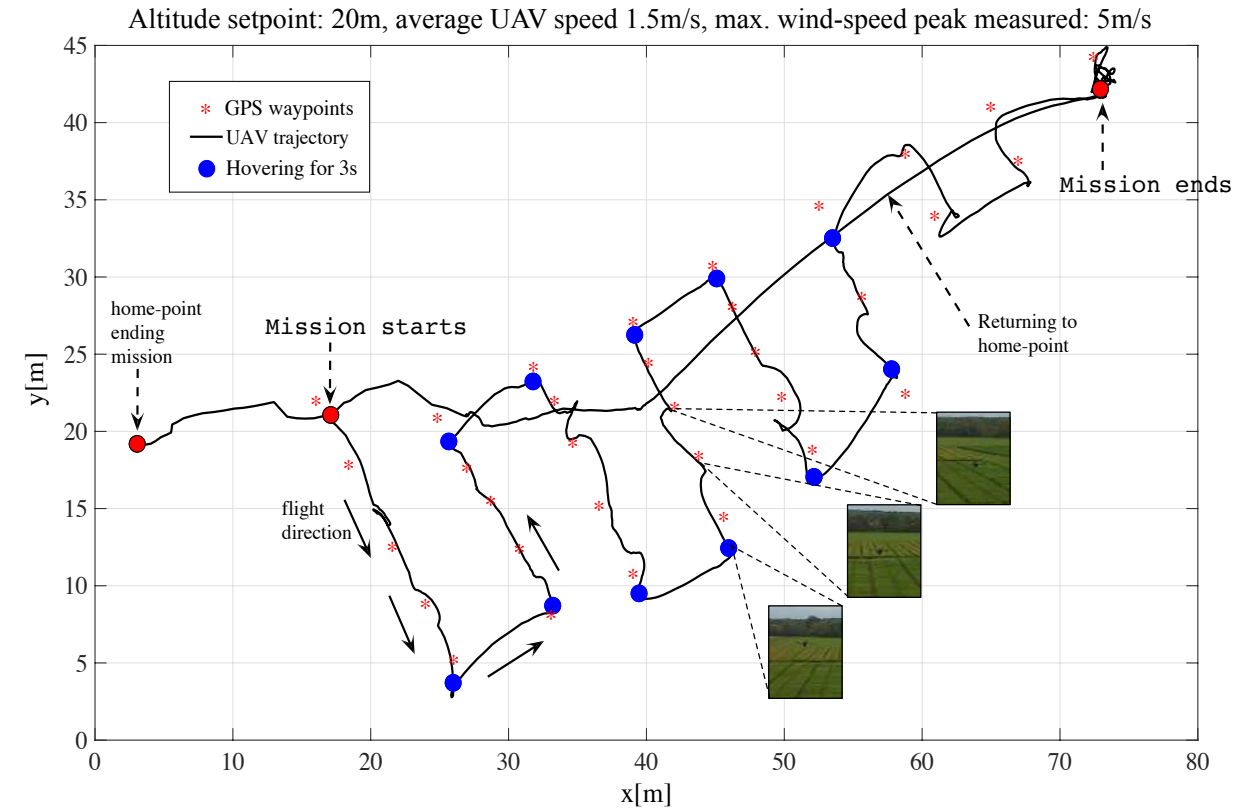
$$e_2 = \omega_x^d - \omega_x = k_p e_\phi + \dot{\phi}^d + k_i \int e_\phi(t) dt - \omega_x$$

Control de vuelo de alta precisión

Simulación:

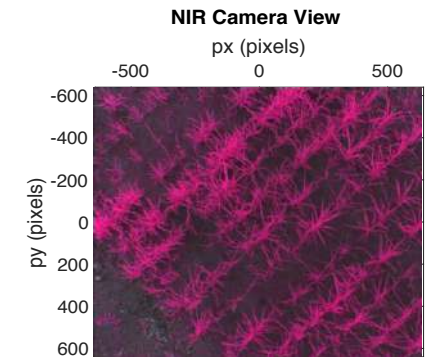
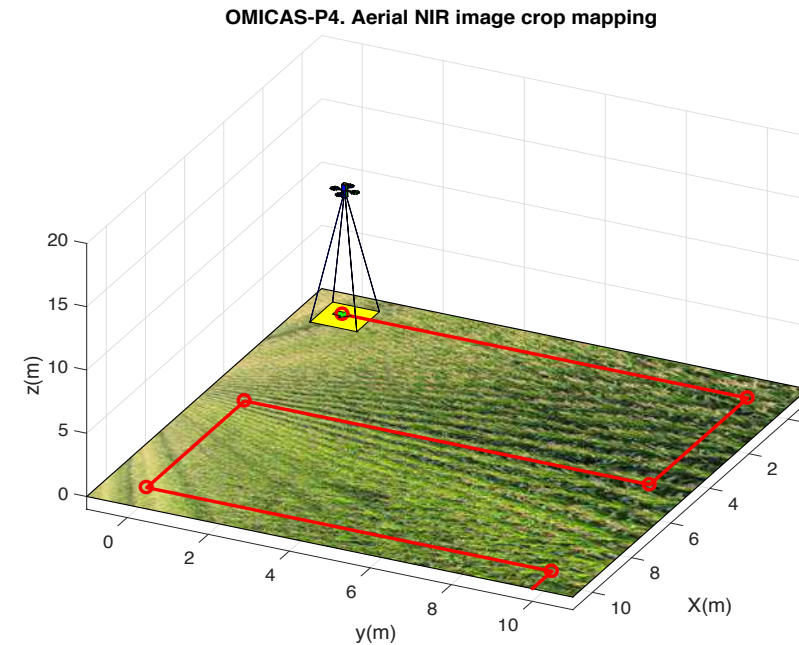
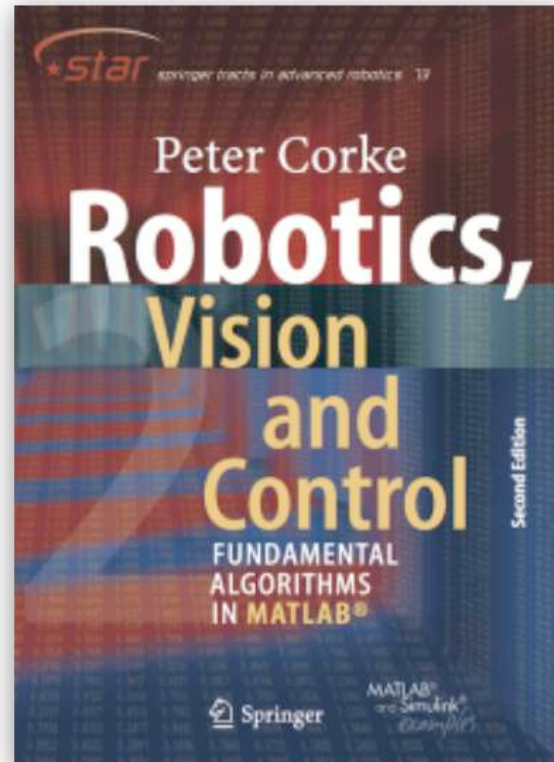
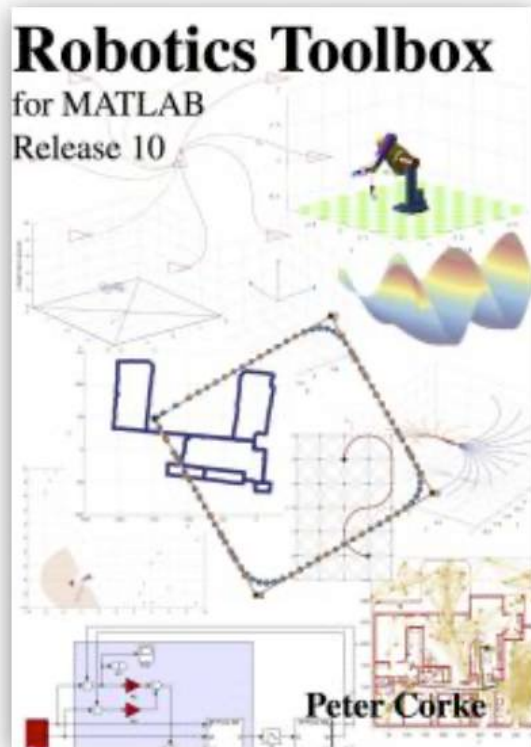


Experimentales:



Control de vuelo de alta precisión

Robotics Toolbox



Fenómica



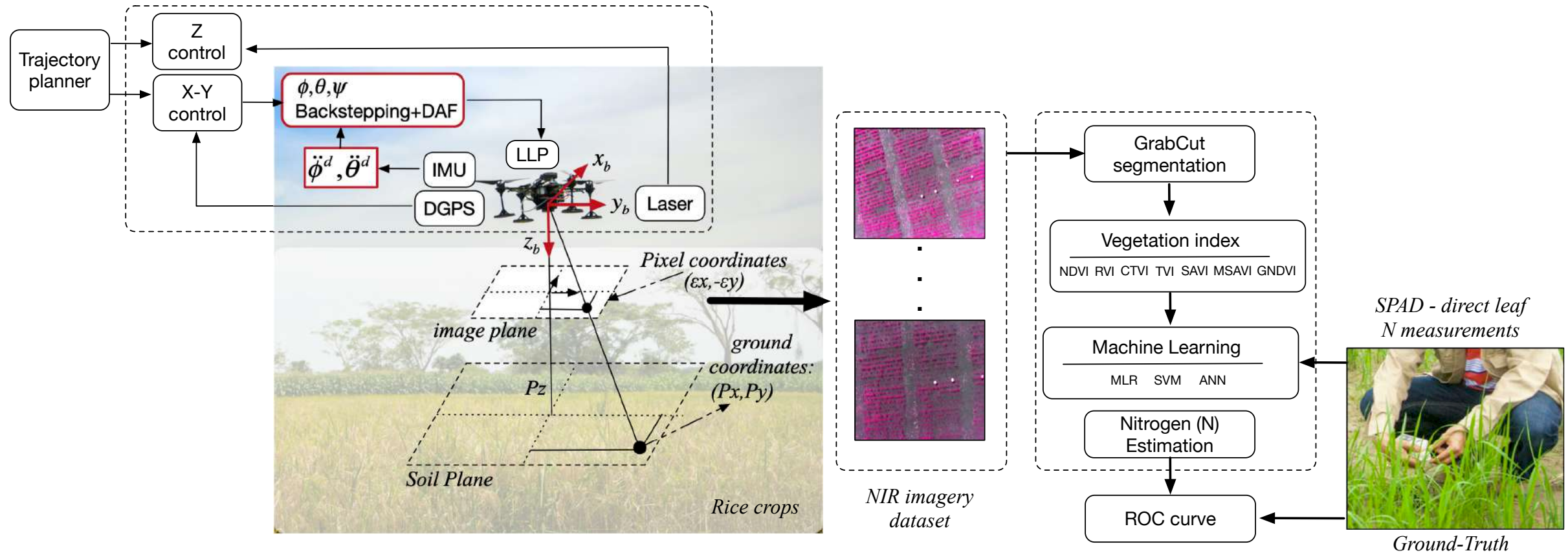
El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



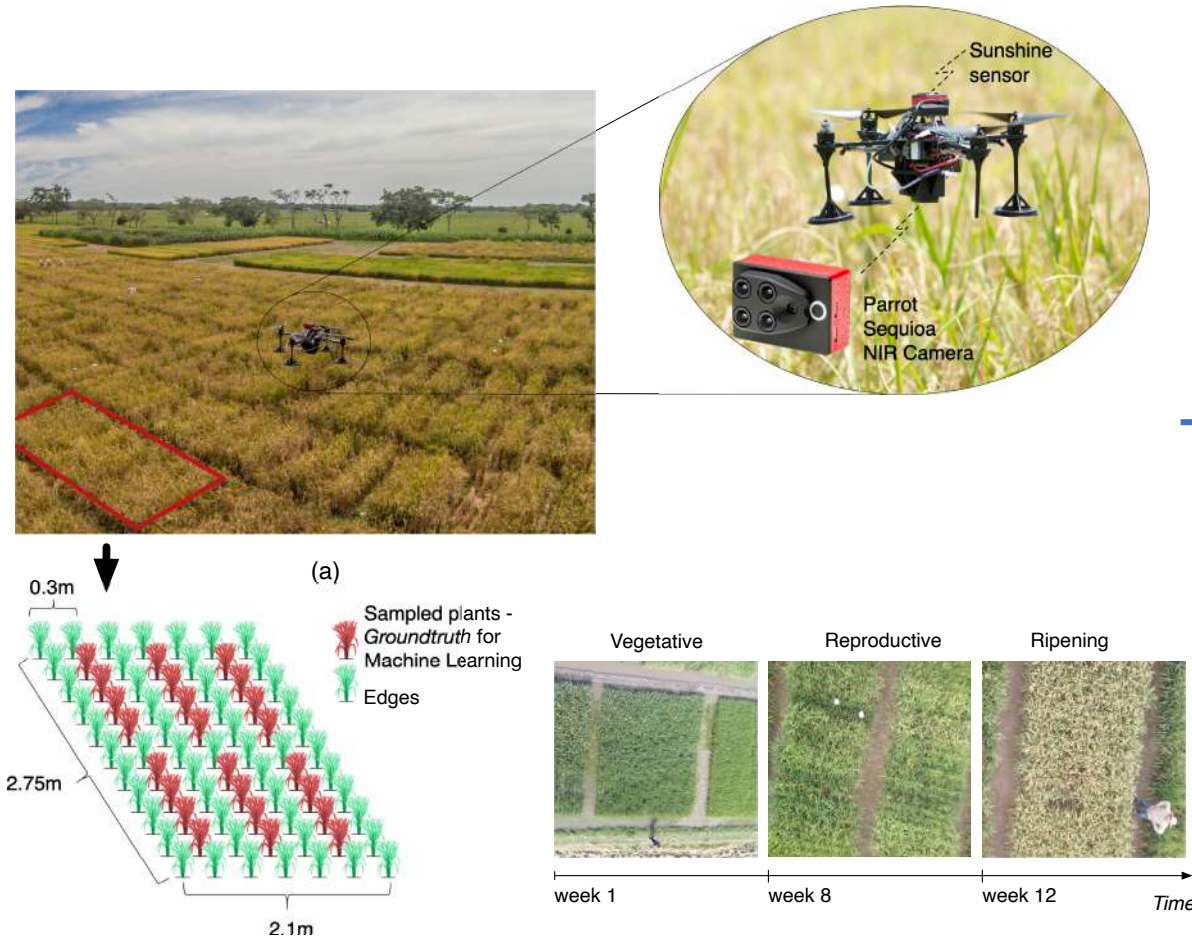
UAV para fenotipificación

UAV + Machine Learning para estimación de variables de cultivo: biomasa, Nitrógeno, Estrés hídrico y Fósforo



UAV para fenotipificación

Setup



Plot	Genotype	Rep	Biomass (g)	SPAD
1	AZUCENA	1	1472.76	56.55
2	ELWEE	1	1949.84	47.80
3	LÍNEA 23	1	1032.36	54.55
4	UPLRI7	1	1597.05	46.32
5	NORUNKAN	1	1682.75	43.30
6	IR64	1	1723.10	32.91
7	FED50	1	1832.02	47.06
8	MG2	1	1641.10	43.36
9	AZUCENA	2	1281.67	49.26
10	IR64	2	1577.04	42.59
11	LÍNEA 23	2	875.57	49.82
12	UPLRI7	2	1567.63	48.15
13	ELWEE	2	1917.16	41.29
14	FED50	2	1888.46	46.29
15	NORUNKAN	2	1945.11	42.82
16	MG2	2	2120.31	38.96
17	FED50	3	1640.32	49.20
18	UPLRI7	3	1590.09	40.88
19	IR64	3	1760.36	40.23
20	AZUCENA	3	1435.09	55.81
21	NORUNKAN	3	1528.36	43.96
22	ELWEE	3	2314.02	49.70
23	LÍNEA 23	3	770.55	46.45
24	MG2	3	2032.56	42.67

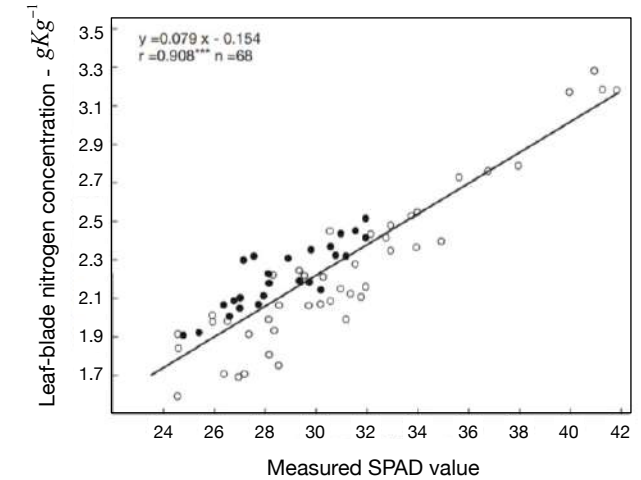


Table 2. Correlation between SPAD readings and leaf N concentration [8].

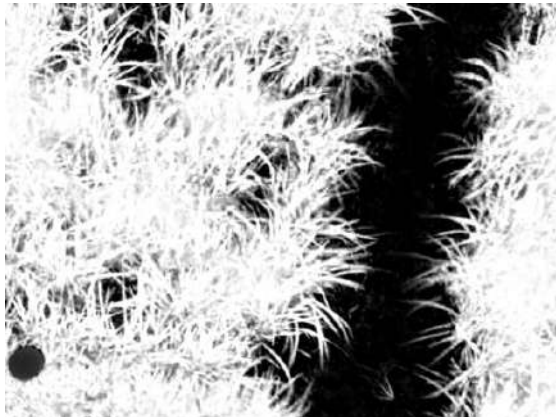
UAV para fenotipificación

Pre-procesamiento NIR

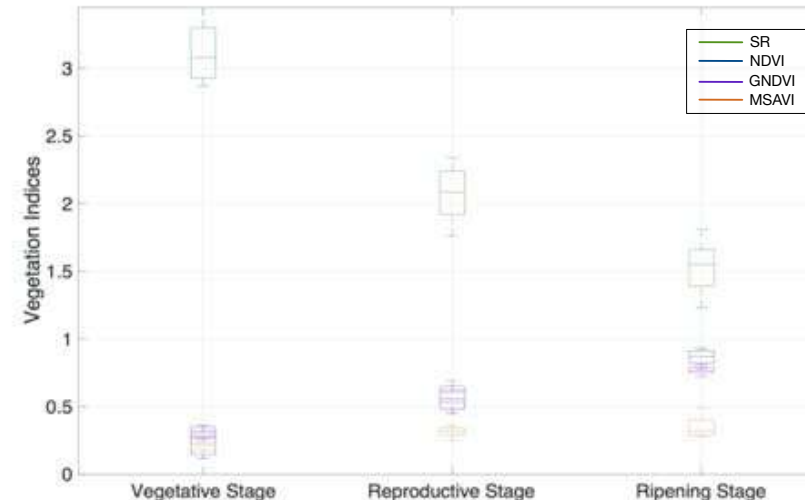
Segmentación - GrabCut



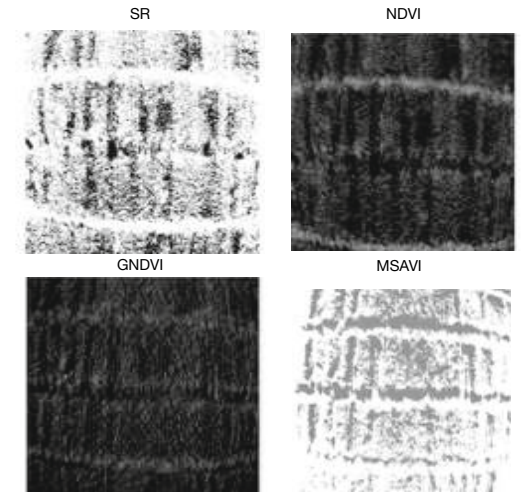
Extracción de características - VIS



Name	Equation
Normalized Difference Vegetation Index [32]	$NDVI = \frac{\rho_{780} - \rho_{670}}{\rho_{780} + \rho_{670}}$
Green Normalized Difference Vegetation Index [33]	$GNDVI = \frac{\rho_{780} - \rho_{500}}{\rho_{780} + \rho_{500}}$
Simple Ratio [32]	$SR = \frac{\rho_{780}}{\rho_{670}}$
Soil-Adjusted Vegetation Index [33][34]	$SAVI = (1 + L) \left(\frac{\rho_{800} - \rho_{670}}{\rho_{800} + \rho_{670} + L} \right)$ with $L = 0.5$
Modified SAVI [34]	$MSAVI = \frac{1}{2} \left(2\rho_{800} + 1 - \sqrt{(2\rho_{800} + 1)^2 - 8(\rho_{800} - \rho_{670})} \right)$
Triangular Vegetation Index [33]	$TVI = \frac{1}{2} \left(120(\rho_{780} - \rho_{500}) - 200(\rho_{670} - \rho_{500}) \right)$
Corrected Transformed Vegetation Index [35]	$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ NDVI + 0.5 } \sqrt{ NDVI + 0.5 }$



(a)



(b)

Fenómica



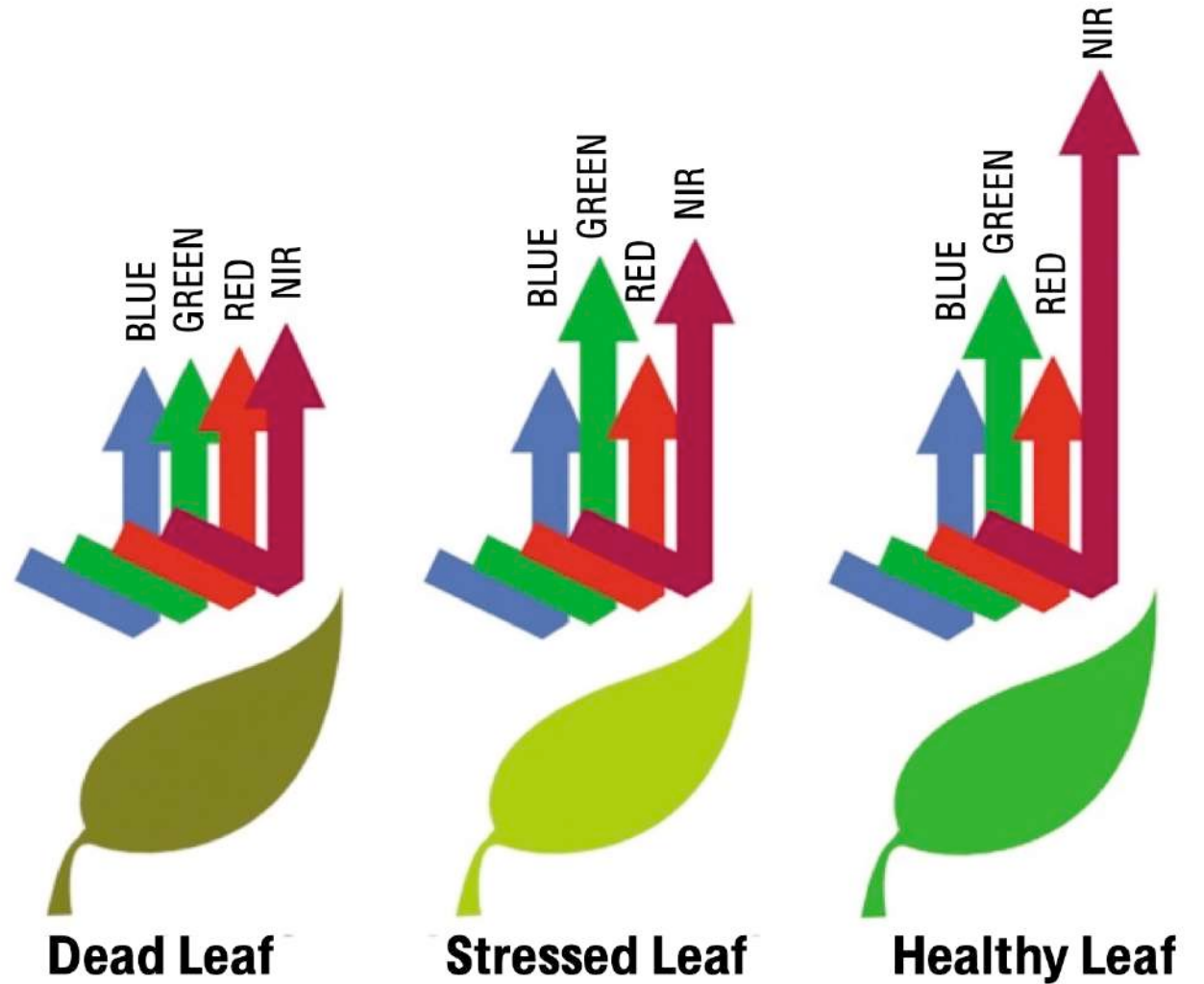
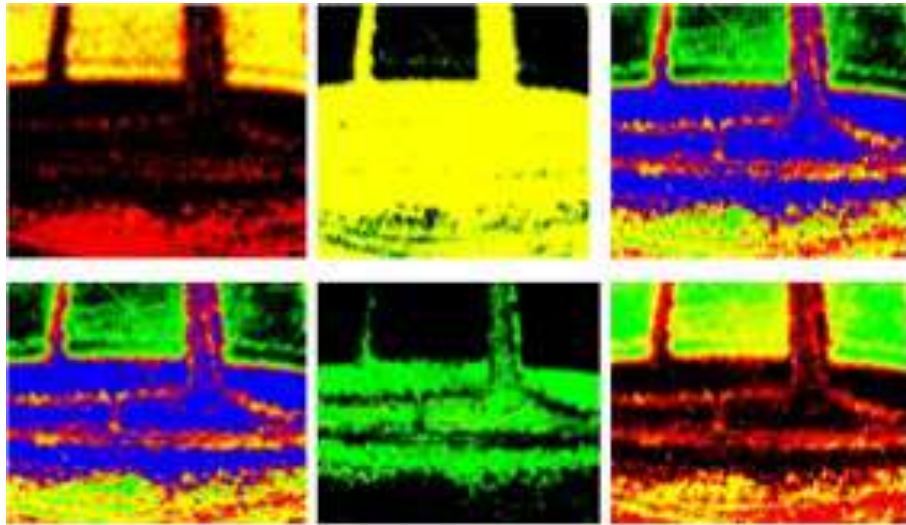
El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



UAV para fenotipificación

Información multi-espectral:



Fenómica



El futuro
es de todos

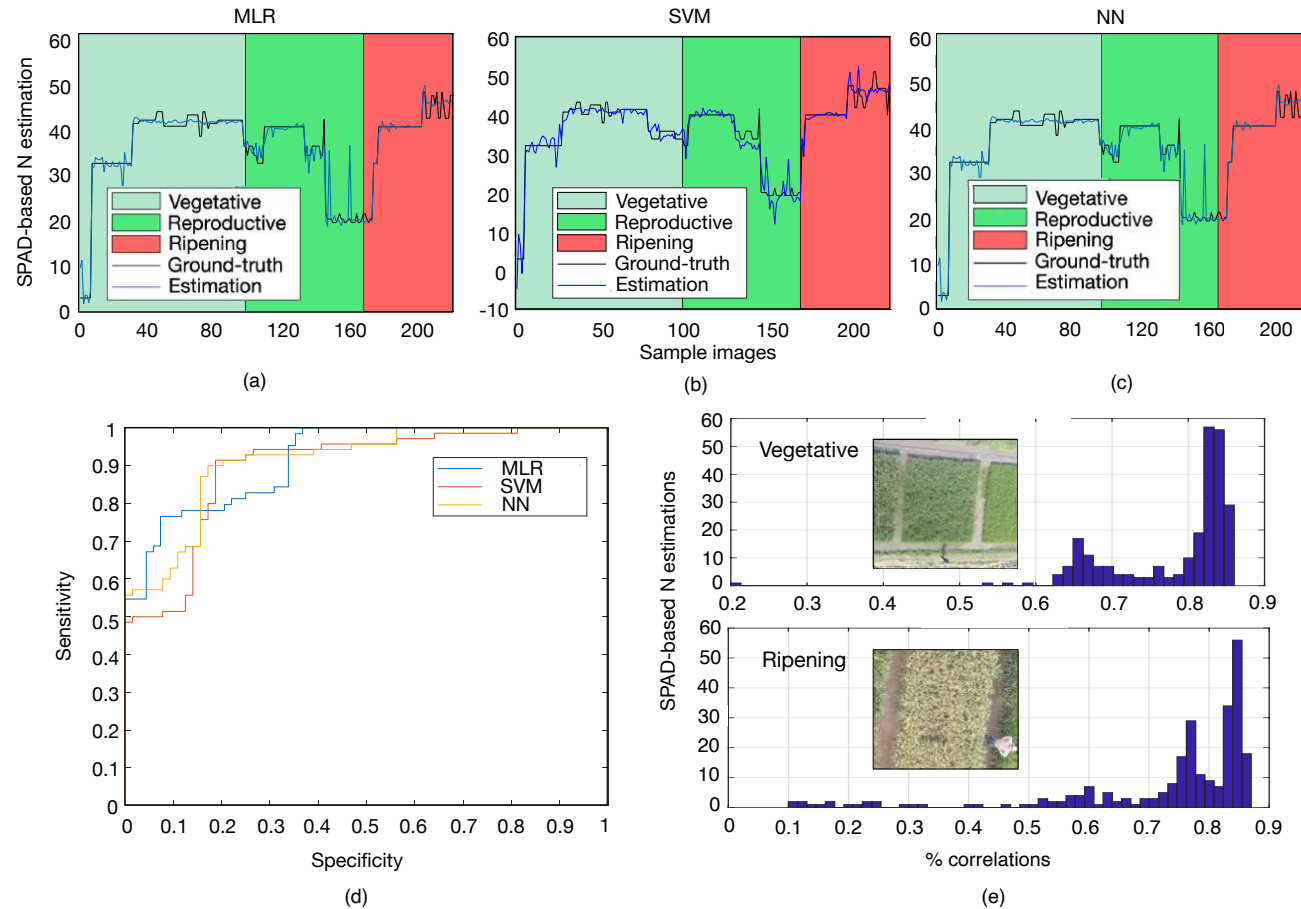
Gobierno
de Colombia



UAV para fenotipificación

Resultados. Estimación N:

36,850 imágenes, 8 genotipos, 6 meses, 3 repeticiones



Datos promedio:

NN Training function	Crop Stage	Correlation	RMSE	R^2
Levenberg-Marquardt	Vegetative	0.983	1.855	0.966
	Reproductive	0.9442	3.007	0.891
	Ripening	0.890	1.835	0.792

Method	Average N estimations			Average N measurements			Correlation		
	V	R	Ri	V	R	Ri	V	R	Ri
MLR	36.923	30.766	42.669				0.935	0.890	0.82
SVM	35.7472	29.2902	42.5226	35.7906	29.6338	42.4207	0.9699	0.9467	0.8770
NN	36.173	30.495	43.2648				0.986	0.9442	0.890



Aliados



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

IES Ancla



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

Apoyan



El futuro
es de todos

Gobierno
de Colombia



COLOMBIA
CIENTÍFICA
Construyendo el futuro con la ciencia