



Construcción y evaluación de una App Hardware/software para estimación de Kc a través del NDVI

Cristhian Delgado (Consultor CCAFS LAM)

Jesús David Martínez (CCAFS LAM)

Karla Sanabria (CCAFS LAM)

Melvin Guevara (ASORECH)

Deissy Martínez Barón (CCAFS LAM)

Diciembre, 2021



RESEARCH PROGRAM ON
Climate Change,
Agriculture and
Food Security



Contenido

Introducción.....	4
Metodología.....	4
Resultados y discusión	7
Conclusiones y recomendaciones.....	8
Bibliografía	9
Anexos.....	10
Anexo 1. Ajuste de accesorios y uso adecuado de la cámara.....	10
Anexo 2 Buenas prácticas para garantizar la buena toma de imágenes	18
Anexo 3 Lista de verificación.....	21
Anexo 4 Código de programación de la cámara	22

Esquemas

Esquema 1. Estructura para tomar fotos en campo	5
Esquema 2. Firma espectral del filtro Roscolux #19 Fire	5
Esquema 3. Ejemplo de adquisición y procesamiento (2021-07-02).....	7

Figuras

Figura 1. Curvas calculadas de NDVI y Kc del cultivo del frijol.....	8
--	---

Introducción

Las condiciones climáticas en todo el mundo han venido cambiando constantemente de manera que el clima se ha vuelto impredecible, lo que se ha traducido en un gran reto para la humanidad cuya alimentación depende en gran medida de cultivos de secano.

Por lo anterior, uno de los factores más importantes para la producción agrícola actual y futura, es el uso óptimo y racional del recurso hídrico. Para lograr esto, es relevante, además de contar con pronósticos climáticos adecuados, conocer los requerimientos hídricos de las distintas especies cultivadas y de sus variedades y/o híbridos. En la actualidad dicha información es escasa y la mayoría de la que se consigue es para materiales comerciales y/o desarrollados por centros de investigación, lo que deja a los materiales criollos usados por muchos agricultores sin información.

Por lo anterior, esta investigación exploratoria tiene el objetivo de desarrollar una herramienta de bajo costo, que permita estimar requerimientos hídricos de forma precisa y sitio específica, tanto de variedades criollas como de variedades comerciales. Con el propósito de facilitar a extensionistas en campo, asociaciones de productores y otros usuarios la obtención de información sobre el requerimiento hídrico para mejorar la toma de decisiones sobre cuales materiales sembrar, cuando sembrarlos y en caso de contar con agua, saber cuando y cuanto se debe programar el riego.

Este estudio se basa en diversos trabajos previos que han mostrado la posibilidad de estimar el coeficiente del cultivo (K_c), que es el cociente entre la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas (ET_c) y la evapotranspiración de referencia (ET_0). De acuerdo con Cuesta et al. (2005), K_c se puede estimar a partir del denominado índice de vegetación normalizado ($NDVI$), que se calcula mediante una combinación algebraica de la reflectividad espectral de la cubierta vegetal en las bandas del rojo e infrarrojo cercano.

Para que este método sea efectivo, se deben tener en cuenta al menos 4 etapas del cultivo consideradas por la FAO (2006) en el periodo de crecimiento de un cultivo, las cuales son: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada. Cada etapa requiere de distintos cuidados, especialmente en relación con el riego, Fernández et al. (2015) afirman que la producción en relación con el riego aumenta rápidamente al principio y más lentamente al aproximarse a su máximo potencial, y a partir de ese punto no se registra aumento en la producción a pesar de que se aumente el riego en el cultivo e incluso puede llegar a disminuir por problemas de exceso de agua en el suelo.

Metodología

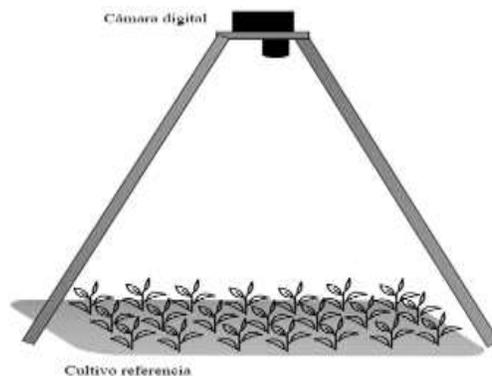
El sitio experimental se ubicó en el Territorio Sostenible Adaptado al Clima (TeSAC) de Olopa (Guatemala), en la comunidad de Valle Nuevo, donde se evaluó la respuesta espectral del genotipo ICTA Chorti de frijol, del cual se adquirieron 7 imágenes en el periodo comprendido entre el 6/11/2021 y el 8/13/2021.

Las imágenes fueron adquiridas entre las 10:00 am y 2:00 pm para minimizar sombras, siguiendo las recomendaciones dadas el Anexo 2 y el protocolo descrito en el Anexo 3

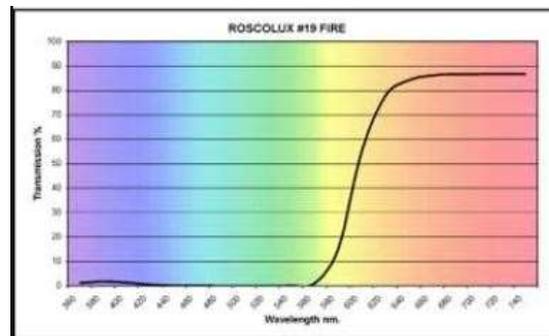
El ensayo se realizó junto con la Asociación Regional campesina Ch'orti' (ASORECH) que es el socio de CCAFS en el TeSAC de Olopa y con agricultores voluntarios, quienes prestaron las parcelas para el ensayo e hicieron las actividades de manejo del cultivo bajo las mejores condiciones posibles (fertilización, riego, manejo de malezas, plagas y enfermedades, etc.).

este ensayo tuvo un enfoque participativo, en primer lugar, se diseñó una presentación para explicar la configuración, ajuste de accesorios y uso adecuado de la cámara (Anexo 1). Luego, se hizo una explicación de buenas prácticas para garantizar una toma de imágenes con una alta calidad (Anexo 2) y finalmente, se diseñó una lista de verificación para garantizar la rigurosidad en la toma de los datos y su estandarización (Anexo 3).

Para este ensayo se utilizaron cámaras Raspberry Pi Noir de bajo costo¹ (~ 100 dólares), colocadas en una estructura sobre el suelo para fotografiar el proceso de crecimiento del cultivo (Esquema 1). Estas cámaras carecen del filtro NIR ubicado encima del detector CMOS. Se habilitó el ajuste de exposición automático en la cámara. Se colocó un filtro Roscolux #19 Fire encima del detector. Este filtro transmite principalmente radiación roja y NIR (Esquema 2). El filtro NIR ausente hace que el canal azul detecte principalmente radiación NIR.



Esquema 1. Estructura para tomar fotos en campo



Esquema 2. Firma espectral del filtro Roscolux #19 Fire

¹ Las cámaras tradicionales para hacer este tipo de estudios oscilan entre los 1000 y 3000 dólares.

El NDVI se calculó usando las medidas de reflectancia adquiridas en [1], en donde, R_{pi} se refiere a la salida del canal rojo de la Raspberry Pi Noir (y así sucesivamente para los canales verde y azul). R_{true} se refiere al color rojo verdadero (y así sucesivamente para azul, verde y NIR):

$$R_{pi} = 0.286R_{true} + 0.026G_{true} + 0.021B_{true} + 0.666N_{true} \quad (1)$$

$$B_{pi} = 0.061R_{true} + 0.055G_{true} + 0.308B_{true} + 0.625N_{true} \quad (2)$$

Debido a la presencia del filtro tenemos:

$$R_{pi} = 0.286R_{true} + 0.666N_{true} \quad (3)$$

$$B_{pi} = 0.061R_{true} + 0.625N_{true} \quad (4)$$

En la ecuación (4), R_{true} representan el 6.1% de la señal, por lo tanto:

$$R_{pi} = 0.286R_{true} + 0.666N_{true} \quad (5)$$

$$B_{pi} = 0.625N_{true} \quad (6)$$

De las ecuaciones (5) y (6), se puede definir R_{true} y N_{true} con más detalle como:

$$R_{true} = \frac{R_{pi} - 0.666N_{true}}{0.286} \quad (7)$$

$$N_{true} = \frac{B_{pi}}{0.625} \quad (8)$$

Se colocó además un panel de reflectancia blanco (Teflon®) en el campo de visión de las cámaras, el cual se utilizó, para convertir los datos crudos adquiridos por la cámara en datos calibrados de reflectancia. Sea ref el valor de reflectancia del panel blanco (para nuestro caso 0.99) y $W(canal)$ la intensidad de píxel promedio del área representada por el panel de referencia blanco para un canal dado. Los factores de calibración se calculan entonces como sigue:

$$R_{cal} = \frac{0.99}{W(R_{true})} \quad (9)$$

$$N_{cal} = \frac{0.99}{W(N_{true})} \quad (10)$$

Definimos el NDVI como sigue:

$$NDVI = \frac{N_{cal} - R_{cal}}{N_{cal} + R_{cal}} \quad (11)$$

Posteriormente, enmascaramos la superficie foliar (sf) para diferenciarla del suelo desnudo y extraer estadísticas locales del cultivo, utilizando para ello, una corrección gamma del $NDVI$ seguido por una clusterización de Otsu (1979). De esta forma el $NDVI_{sf}$ esta dado por:

$$NDVI_{sf} = NDVI * sf \quad (12)$$

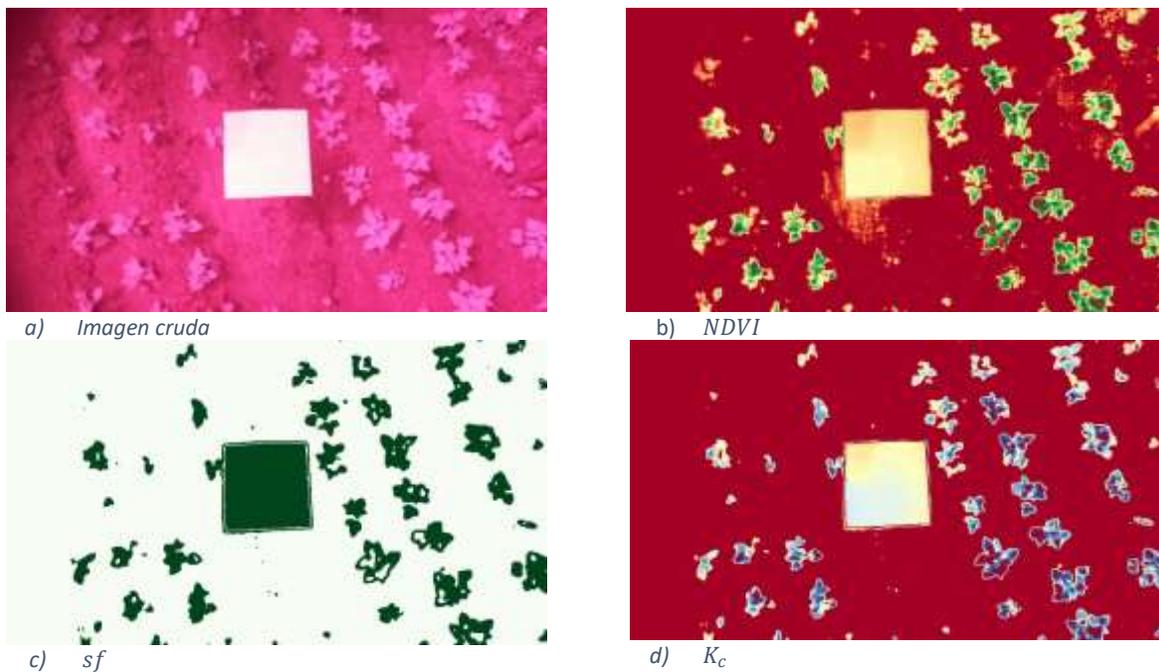
El K_c se define como sigue [3]:

$$K_c = 1.08 * NDVI_{sf} + 0.22 \quad (13)$$

Esta relación puede ser calculada para cada cultivo o puede tomarse la de referencia por Camacho et al., (2008), el procedimiento consta de un pre-experimento en el cual se toman varias parcelas del cultivo que a analizar y luego se obtiene el coeficiente de cultivo donde el máximo sea el máximo de cobertura vegetal y el mínimo el suelo desnudo de cada cultivo. Estos datos también se pueden obtener en el documento FAO (2006) en la página 127 donde se explica la “Elaboración de la curva de “Kc”. En cuanto al NDVI se fotografían las parcelas y se diferencian la banda del rojo y el infrarrojo para sacar los datos del cultivo por medio de la cuantificación de los píxeles. Finalmente, se extrae la media de los valores de los píxeles reconocidos como superficie foliar en los productos $NDVI_{sf}$ y K_c . La implementación del algoritmo fue embebida en una aplicación web y su codificación en Python se encuentra en el Anexo 1.

Resultados y discusión

Un ejemplo de las adquisiciones y su procesamiento se muestra en la Esquema 3, en donde la imagen blanca en el recuadro central es el panel de reflectancia.



Esquema 3. Ejemplo de adquisición y procesamiento (2021-07-02)

Con base en las imágenes, se construyeron las curvas de los valores medios calculados de los productos $NDVI_{sf}$ y K_c , cuyos resultados se muestran en la Figura 1.

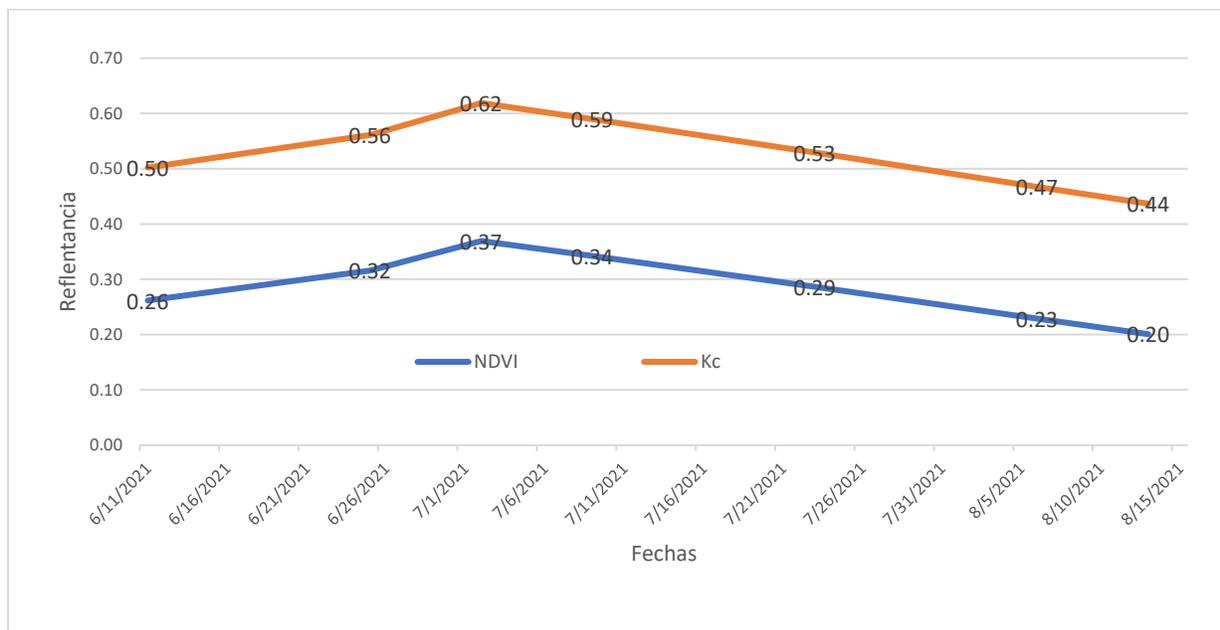


Figura 1. Curvas calculadas de NDVI y Kc del cultivo del frijol

La Figura 1 corresponde a una curva característica de los cultivos de ciclo corto, tal y como se puede observar en FAO (2006), por lo tanto, con base en el ensayo se puede afirmar que la cámara es sensible a los cambios fenológicos del cultivo.

Sin embargo, sus valores no están validados y podrían estar subestimados o sobrestimados. Comparando los resultados con los datos para frijol presentados en FAO (2006) calculados por Kimberly en 1974, el K_c obtenido de este ensayo para la etapa inicial y final del cultivo esta sobrestimado y en la etapa media el K_c esta subestimado.

Esto podría deberse a diversos factores propios de una investigación participativa, entre lo que se encuentran manejo del cultivo, numero de muestras, condiciones de campo, rigurosidad en la toma de la información, etc. También podría ser el filtro de la cámara y la metodología de procesamiento de esta. No obstante, no se debe descartar del todo que la variedad de frijol con la que se trabajó en este ensayo tenga unos valores de K_c considerablemente distintos a los de FAO (2006).

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los resultados de este análisis exploratorio, el uso de la Raspberry Pi tiene un gran potencial de ser utilizado para determinar curvas de crecimiento de los cultivos que además pueden servir para caracterizarlos fenológicamente. La información colectada y analizada permite pensar que haciendo una debida calibración del instrumento y estandarizando mejor los protocolos de toma de datos para usuarios finales, se pueden utilizar las Raspberry Pi para determinar $NDVI$ y K_c con un buen grado de precisión. Por lo anterior se sugiere realizar un proceso de calibración usando otro sensor, similar al

proceso realizado por Glenn & Tabb (2019). Este ejercicio, además, validaría la metodología, robusteciendo los resultados para futuras publicaciones.

Continuar con el desarrollo de esta herramienta puede ser relevante para tener de forma costo-efectiva y fácil, información que puede ser de utilidad para técnicos extensionistas en diversas partes del mundo y en el caso particular de este ensayo a aquellos localizados en el corredor seco centroamericano donde el acceso al agua en épocas secas es uno de los principales retos.

Recientemente Raspberry Pi liberó una metodología para la estimación del NDVI (<https://projects.raspberrypi.org/en/projects/astropi-ndvi/0>), que incluye un algoritmo inteligente para el balance de blancos (awb_auto_is_greyworld), lo que se espera que mejore el desempeño de las fotos tomadas por la cámara. Esta metodología, se está implementando actualmente en las cámaras que CCAFS tiene en los TeSAC de Olopa y santa Rita y se recomienda en el futuro realizar el mismo ejercicio descrito en este informe a fin de evaluar su respuesta en el tiempo.

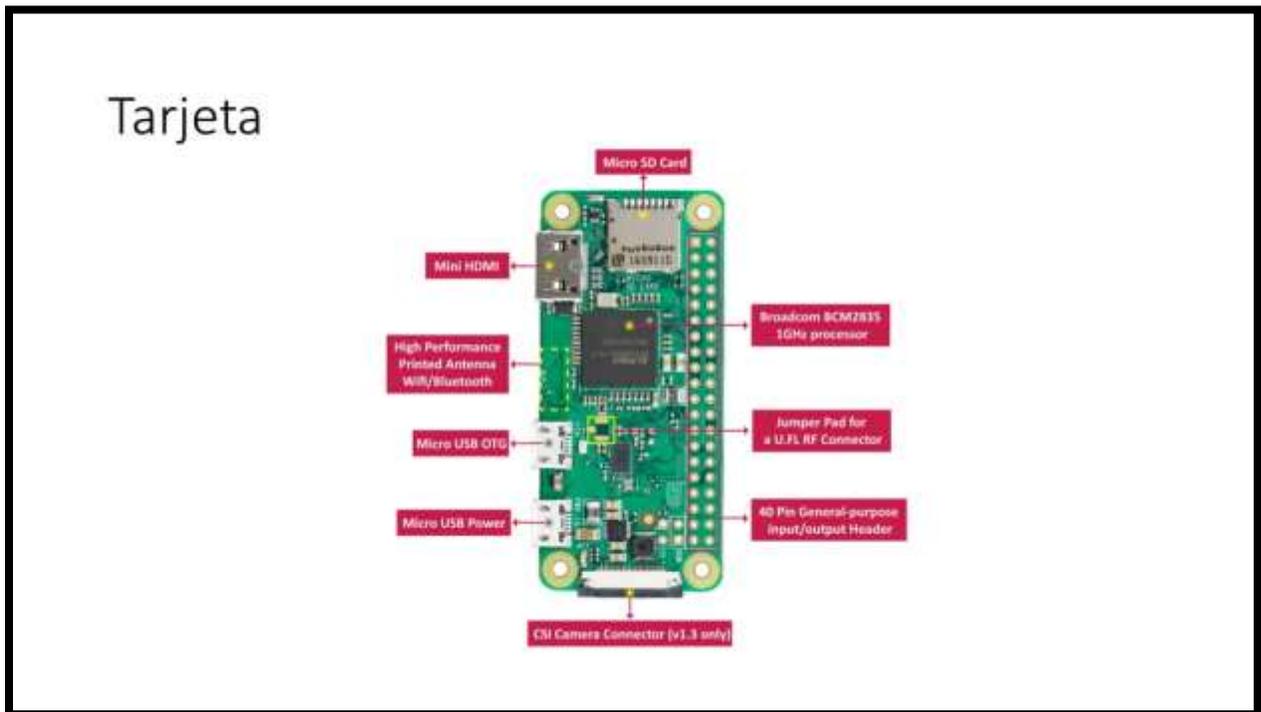
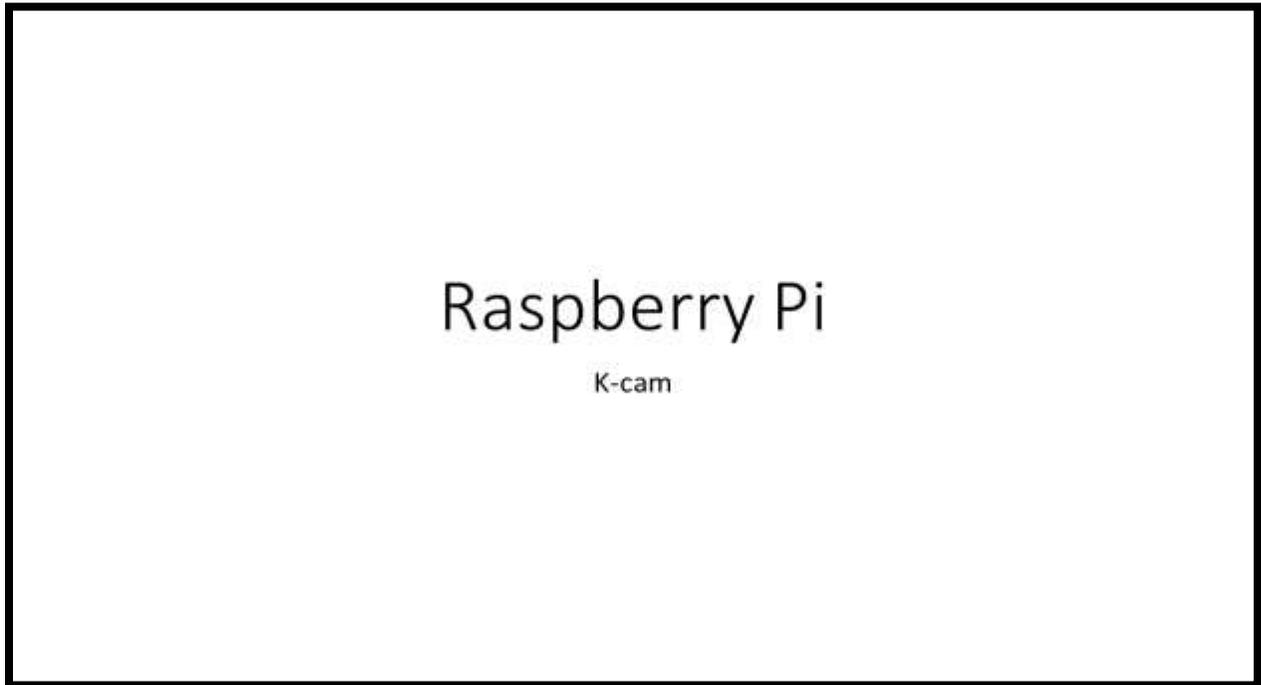
Con respecto al trabajo de investigación participativa con técnicos agricultores, se recomienda fortalecer el desarrollo de los protocolos de toma de datos ya que en ocasiones se puede perder información y tiempo por una mala aplicación de estos.

Bibliografía

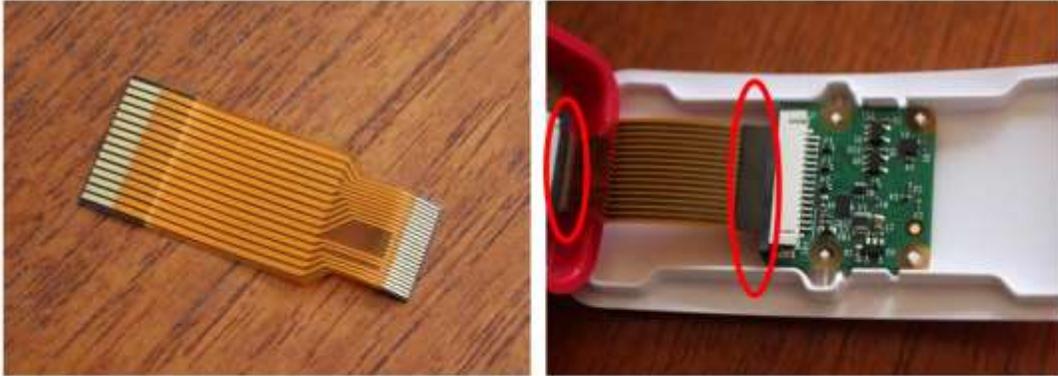
- Camacho, F., Ruiz, G., Vaya, J., Marinez, B., Jimenez, J. C., Gonzalez-Piqueras, J., & Alonso, L. (2008). Management and Optimization of the water resources in irrigated agriculture through the use of remote sensing, agrometeorological data and information technologies. In International conference on Drought management: Scientific and technological innovations (Vol. 1, pp. 339-343).
- Cuesta, A., Montoro, A., Jochum, A.M., López P., y Calera, A. (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. ITEA, Vol. 101 (3), 212-224.
- FAO. (2006). Estudio FAO riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.
- Fernández, J.E., Romero, r., Pérez, A., y Cuevas, M.V. (2015). Estrategias y programación del riego. Instituto de Recursos Naturales y agrobiología de Sevilla. Grupo de riego y ecofisiología de cultivos.
- Glenn, D. M., & Tabb, A. (2019). Evaluation of five methods to measure normalized difference vegetation index (NDVI) in apple and citrus. International Journal of Fruit Science, 19(2), 191-210.
- Otsu, Nobuyuki. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 1979, vol. 9, no 1, p. 62-66.

Anexos

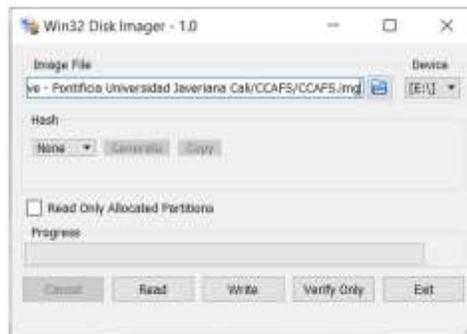
Anexo 1. Ajuste de accesorios y uso adecuado de la cámara



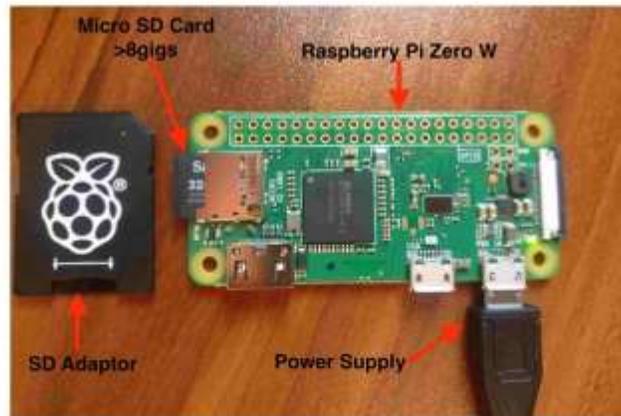
Camara



Sistema Operativo



SD



Carcasa



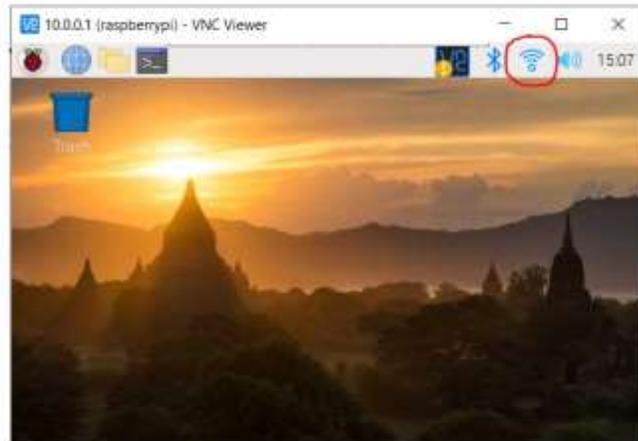
Alarma para encender la cámara

- Start_time = 10:00
- End_time = 14:00
- Time Difference = 14:00 - 10:00 = 2:00
- Sleep = 24:00 - 2:00 = 20:00

Passwords para conectar el celular a la cámara

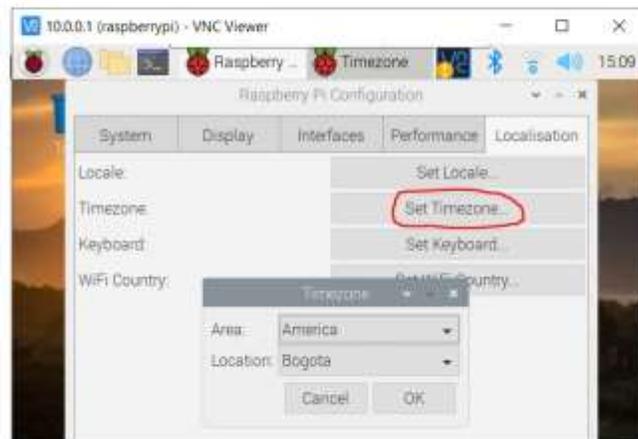
- WIFI:
 - Network: Raspberry-Pi
 - Password: test1234
- VNC Viewer:
 - IP: 10.0.0.1
 - User: pi
 - Password: raspberry

Conectarse a internet en el OS de la cámara

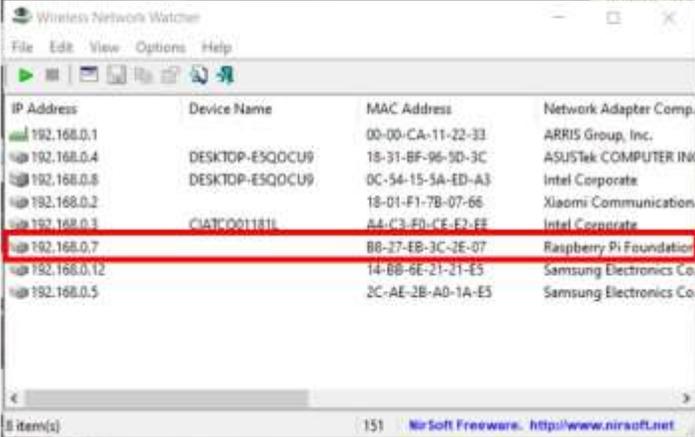


Cambiar zona horaria

Start > Preferences > Raspberry Pi Configuration

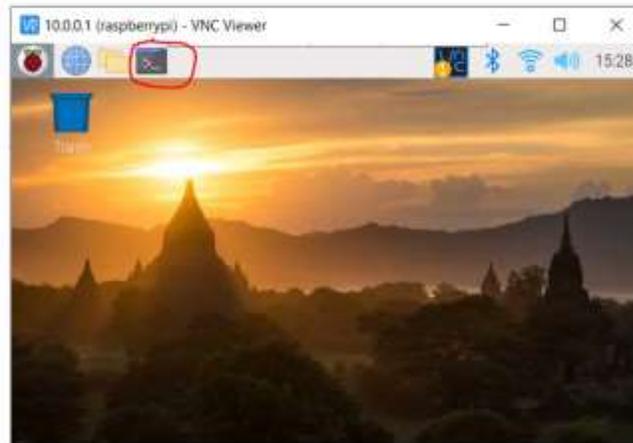


Revisar IP



IP Address	Device Name	MAC Address	Network Adapter Comp.
192.168.0.1		00-00-CA-11-22-33	ARRIS Group, Inc.
192.168.0.4	DESKTOP-ESQOCU9	18-31-BF-96-3D-3C	ASUSTek COMPUTER INC
192.168.0.8	DESKTOP-ESQOCU9	0C-54-15-5A-ED-A3	Intel Corporate
192.168.0.2		18-01-F1-7B-07-66	Xiaomi Communication
192.168.0.3	CIATPC001181L	AA-C3-E0-CF-E2-EE	Intel Corporate
192.168.0.7		88-27-EB-3C-2E-07	Raspberry Pi Foundatio
192.168.0.12		14-B8-6E-21-21-E5	Samsung Electronics Co
192.168.0.5		2C-AE-2B-A0-1A-E5	Samsung Electronics Co

Conectarse al terminal



Commandos

- Escribir la hora del sistema operativo en el Reloj de tiempo real:
`sudo hwclock -w`
- Comprobar la hora del RTC:
`sudo hwclock -r`
- Expandir memoria SD
`sudo raspi-config --expand-rootfs`
- Reiniciar
`sudo reboot`

CGIAR PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE CGIAR EN
**Cambio Climático,
Agricultura y
Seguridad Alimentaria** CCAFS

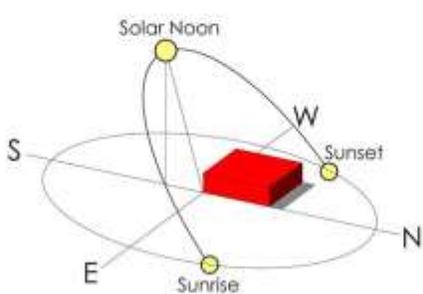
Buenas Prácticas

Recopilación de datos con sensores multiespectrales

CGIAR PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE CGIAR EN
**Cambio Climático,
Agricultura y
Seguridad Alimentaria** CCAFS

Mejor momento para la captura

La hora del día para la captura de datos es importante. Las capturas deben realizarse dentro de las dos horas y media del mediodía solar local.



Al hacer esto, la salida no sufre sombras profundas, que pueden afectar significativamente los resultados multiespectrales. Las sombras no solo oscurecen parte de la vegetación, sino que también pueden afectar los valores de los índices de vegetación en áreas que están total o parcialmente sombreadas.

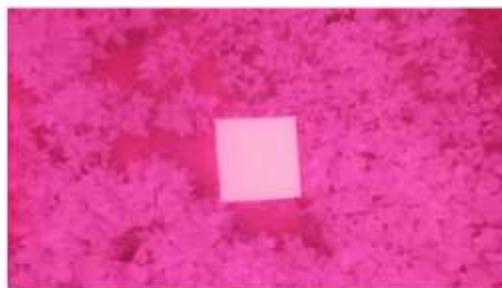
Evita las manchas solares

La única excepción sería si se capturan datos en condiciones muy soleadas donde, si el sol estuviera directamente sobre su cabeza, produciría manchas solares brillantes en los datos que captura.



Paneles de reflectancia calibrados

Para crear salidas compensadas por reflectancia, se debe capturar una imagen de con un panel de reflectancia calibrado.



Paneles de reflectancia calibrados

El panel debe colocarse plano en el suelo, lejos de cualquier objeto que pueda afectar la luz que lo ilumina. Apunte la cámara de manera que el panel esté centrado en el campo de visión y de manera que no haya sombras en el panel. La cámara debe estar directamente sobre el panel si es posible, o desplazarse ligeramente para evitar sombras.



Escena

En lo posible, la escena debe estar limpia de malezas. Idealmente en la imagen solo deben aparecer las plantas, el panel y el suelo desnudo.



Protocolo uso de cámaras

(Check la siguiente lista antes durante y después de salir a campo a recoger imágenes)

Antes de instalar la cámara en campo

- Dispositivo móvil
- Batería cargada / Cable OTG
- Cámara
- Cable USB
- Panel de reflectancia
- Checklist

Durante

- Instalar la cámara en el soporte.
- Conectar la cámara a la batería.
- Calibrar la cámara (5 min).
- Instalar el panel de reflectancia.
 - Verificar nivelación.
- Conectarse a la red Raspberry-Pi (test1234).
- Acceder a la aplicación.
- Capturar foto para verificar:
 - hora/fecha.
 - nitidez.
 - ausencia de objetos.
 - ausencia de sombras.
 - iluminación uniforme.

Después

- Descargar fotos, datos y tablas con NDVI y Kc.
 - Verificar calidad y hora/fecha..



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE CGIAR EN
**Cambio Climático,
Agricultura y
Seguridad Alimentaria**



Anexo 4 Código de programación de la cámara

```
def comp uteProducts(self, frame, reference, slope, intercept):
    #Channels
    b_pi, _, r_pi = cv.split(frame)
    #Normalize
    b_pi = b_pi.astype(float)/255
    r_pi = r_pi.astype(float)/255
    #Ungamma
    b_pi = np.power(((b_pi+0.055)/1.055),2.4)
    r_pi = np.power(((r_pi+0.055)/1.055),2.4)
    #Estimate bands
    n_true = b_pi/0.625
    r_true = (r_pi - (n_true * 0.666))/0.286
    #Factors
    F_r = (int(reference)/100)/np.mean(r_true[290:350,210:270])
    F_n = (int(reference)/100)/np.mean(n_true[290:350,210:270])
    #Calibrate
    n_cal = n_true*F_n
    r_cal = r_true*F_r
    #Avoid division by zero
    mask = np.greater(n_cal + r_cal, 0)
    #Compute NDVI
    ndvi = np.choose(mask,(0, (n_cal - r_cal) / (n_cal + r_cal)))
    # Enforce maximum and minimum values
    ndvi[ndvi > 1] = 1
    ndvi[ndvi <= 0] = 0
    #crop masking
    cc = self.CC_mask(ndvi)
    #Kc
    kc = float(slope)*(ndvi*cc)+float(intercept)
    #Stats
```

```
mu_ndvi = self.stats(ndvi*cc)
mu_cc = np.mean(cc)
mu_kc = self.stats(kc)
return ndvi, cc, kc, mu_ndvi, mu_cc, mu_kc
```

#Crop Masking

```
def CC_mask (self, ndvi):
    blur = cv.GaussianBlur(ndvi, (9,9), 10.0)
    blur = self.contrast_stretch(blur)
    blur = blur.astype(np.uint8)
    _CC = cv.threshold(blur,0,255,cv.THRESH_BINARY+cv.THRESH_OTSU)
    return CC/255
```

#Contraste stretch

```
def contrast_stretch(self, im):
    in_min = np.percentile(im, 5)
    in_max = np.percentile(im, 95)
    out_min = 0.0
    out_max = 255.0
    out = im - in_min
    out *= ((out_min - out_max) / (in_min - in_max))
    out += in_min
    return out
```

#Stats

```
def stats(self, img):
    img = img.astype('float')
    img[img == 0] = 'nan'
    mu = np.nanmean(img)
    return mu
```