



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.
Asociación Civil de Usuarios del Sistema de Riego y Drenaje



Uso de Sensores Remotos para Evaluar el Desempeño de Distritos de Riego y Pequeñas Áreas Regadas

Enrique Palacios Vélez, Felipe Pedraza Oropeza, Luis A. Palacios Sánchez



Landsat 8
(~ 11 píxeles por hectárea)

Distrito de Riego 03, Valle del Mezquital

El estudio de pequeñas parcelas bajo riego requiere de una adecuada resolución espacial



Sentinel 2
(100 píxeles por hectárea)

Para el análisis de utilizaron imágenes de los satélites Sentinel 2A y Sentinel 2B, con una resolución espacial de 10 metros y la ventaja de su disponibilidad gratuita cada 5 días, lo cual permite un cubrimiento adecuado para estudiar zonas agrícolas, librando días con nubosidad. Se ha utilizado el software TerrSet (nuevo IDRISI) y Qgis (Open Source)



El área de estudio se encuentra ubicada en el Distrito de Riego 03, Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo. Se analizó el ciclo primavera verano de los cultivos establecidos en este distrito para 2019. Se utilizaron los datos vectoriales del Sistema de Información Geográfica del distrito.

Para estimar el desarrollo del cultivo de maíz, se utilizaron dos índices que permiten evaluar dicho desarrollo, ya que están correlacionados con la generación de la biomasa y los procesos evapotranspirativo de los cultivos



$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$$

$$\text{SAVI} = (1 + L) * \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R} + L}$$

Donde NIR es la reflectancia en la banda del infrarrojo cercano, R es la reflectancia en la banda roja y L es una corrección por el efecto suelo que suele considerarse como 0.5, aunque puede variar acorde con las condiciones del suelo.

Para estimar el comportamiento del cultivo de maíz en dos parcelas del distrito de riego, se utilizaron las funciones Logística y Gompertz, que suelen representar bien el desarrollo de los cultivos.

Las ecuaciones diferenciales en que se basa el desarrollo de la biomasa, para el caso del modelo logístico es:

$$\frac{dy}{dt} = k(Y_m - y)y$$

Para el modelo de Gompertz es:

$$\frac{dy}{dt} = -k[\ln(Y_m) - \ln(y)]y$$

Donde y es la variable dependiente que para el caso podría ser la cantidad de biomasa, t el tiempo del desarrollo, k una constante de proporcionalidad, Y_m es el valor máximo que alcanza la variable y .

Al integrar se obtienen las funciones siguientes:

$$y = \frac{Y_m}{1 + \frac{Y_m - y_0}{y_0} e^{-ct}}$$

que puede expresarse como:

y_0 es el valor inicial de la variable, que para $t=0$ vale:

Para la función de Gompertz es:

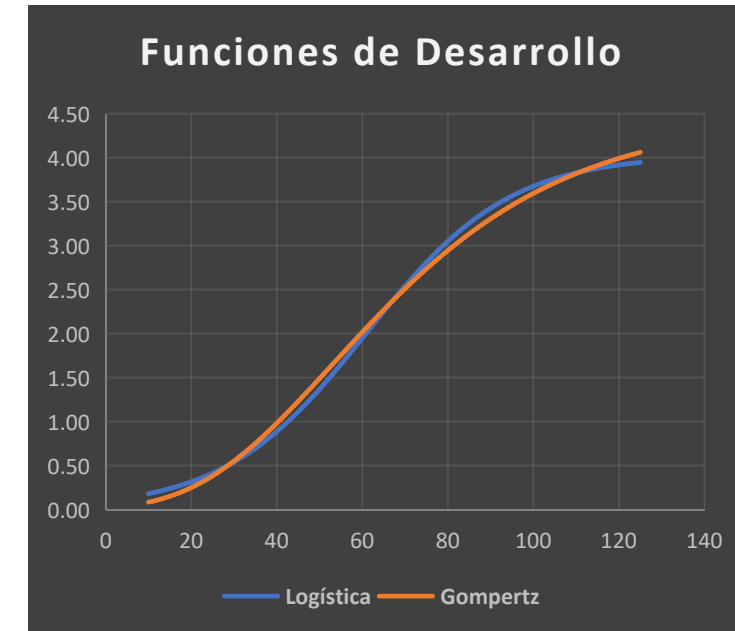
que puede expresarse como:

$$y = \frac{a}{1 + be^{-ct}}$$

$$y = \frac{a}{1 + b}$$

$$y = Y_m e^{-e^{(b-kt)}}$$

$$y = ae^{-e^{(b-ct)}}$$



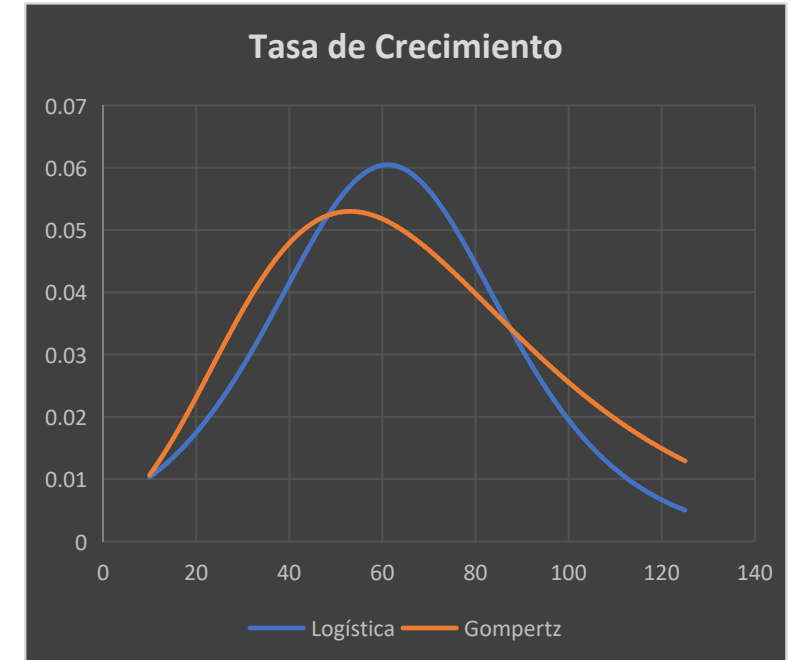
También suele utilizarse en ambos casos la tasa de crecimiento basadas en las funciones, esto es sus derivadas con respecto al tiempo. Estas tasas que se presentan como una función con forma de campana, tienen un valor máximo en el punto de inflexión y es un buen indicador de cuándo se inicia la maduración y la senescencia del cultivo. Para el caso de la función logística el valor máximo se alcanza a un tiempo:

$$t_m = -\frac{1}{c} \ln \left[\frac{1}{b} \right]$$

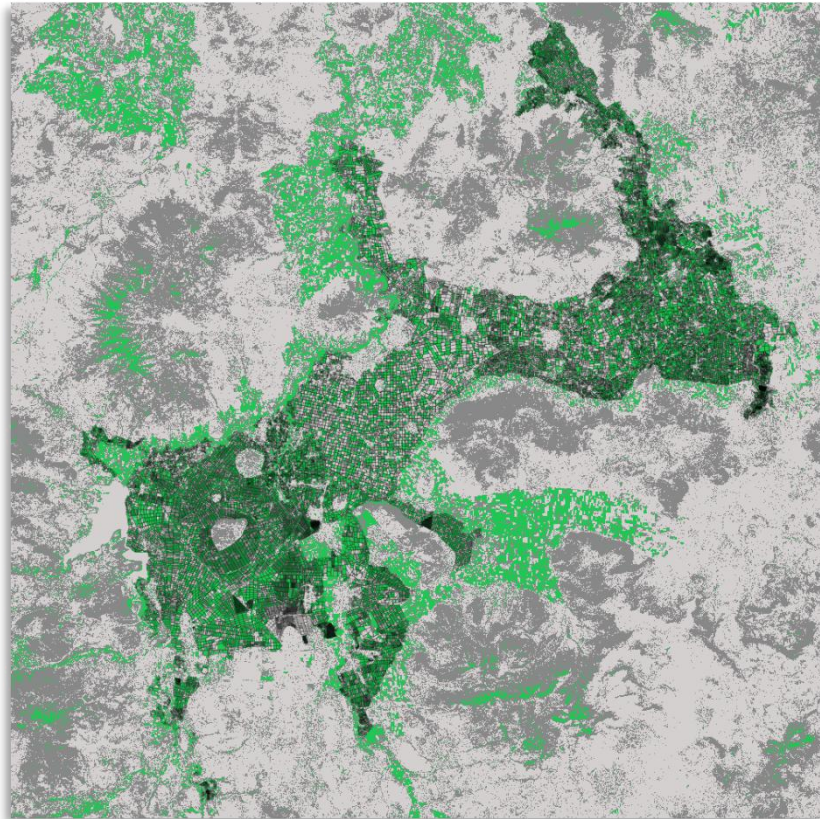
Para el caso de la función de Gompertz este valor se alcanza cuando:

$$t_m = \frac{b}{c}$$

Debido a un mejor ajuste se opto por usar la función logística



Para la estimación de la superficie establecida en el distrito de riego, se realizó una clasificación con base en valores umbrales del NDVI. Se clasificaron las áreas regadas en función del valor del NDVI en 3 niveles, de -1 hasta 0.25, sin cultivos, luego de 0.25 a 0.5 que es la etapa de crecimiento o de declinación de los cultivos y de 0.5 a 1 que es cuando el cultivo tiende a llegar a su máximo desarrollo. Para lograrlo se genero una máscara con el valor de 1 en cada parcela y valor de 0 en el resto del área de estudio



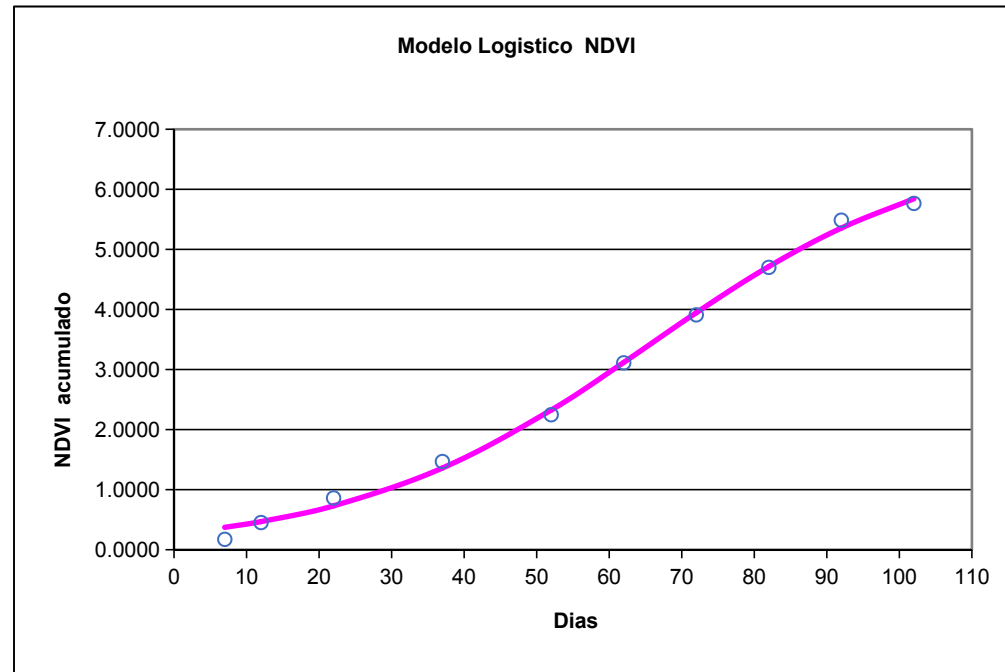
Al llevar al cabo este trabajo, se obtuvo como resultado para la etapa de crecimiento de 0.25 a 0.5 ningún valor y para los cultivos en pleno desarrollo de 0.5 a 1.0 se obtuvo una superficie de 53,692 ha. Lo que coincide con lo reportado en el último informe disponible de los distritos de riego de CONAGUA para el año agrícola 2015-2016 que fueron para este distrito 52,597 ha.

03/03/2019

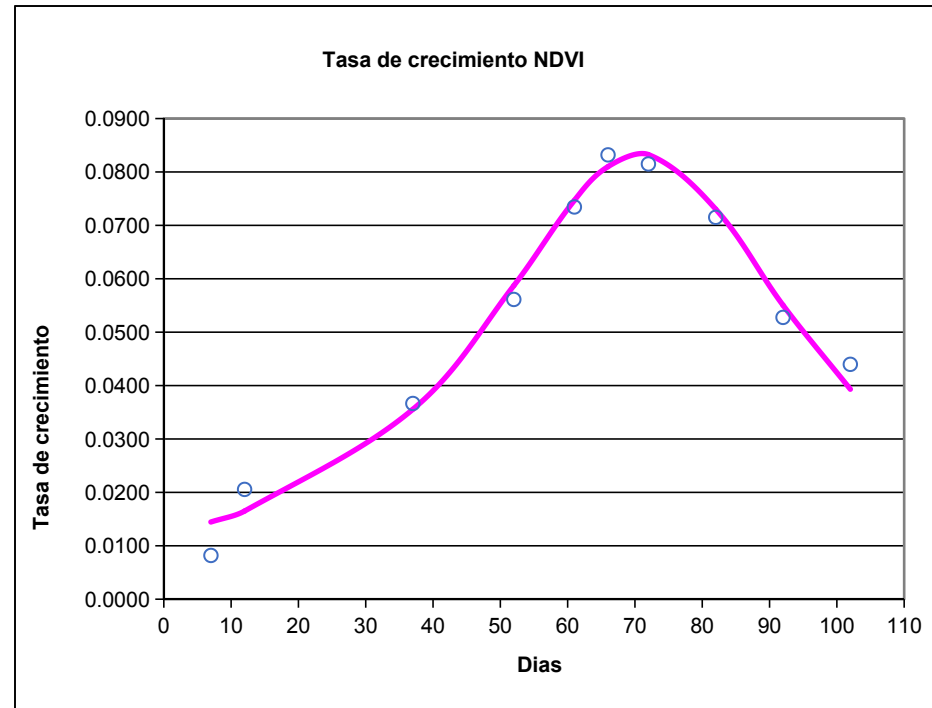
En el análisis de dos pequeñas parcelas que sembraron maíz, la parcela número 20120 y la 20102, se utilizó el ajuste a una función Logística para simular el desarrollo del cultivo ya que fue la que mejor resultados tuvo. Se analizaron 11 imágenes de los satélites Sentinel 2A y Sentinel 2B, utilizando los índices NDVI y SAVI.



En la parcela 20120, el ajuste de los valores acumulados del índice NDVI a una función logística, $Y=6.84/(1+24.4*exp(-0.0487*X))$ se tiene un valor del coeficiente de determinación R^2 de 0.997, con un error estándar de 0.1194, equivalente a 4.23%. Este ajuste se muestra en la siguiente figura:

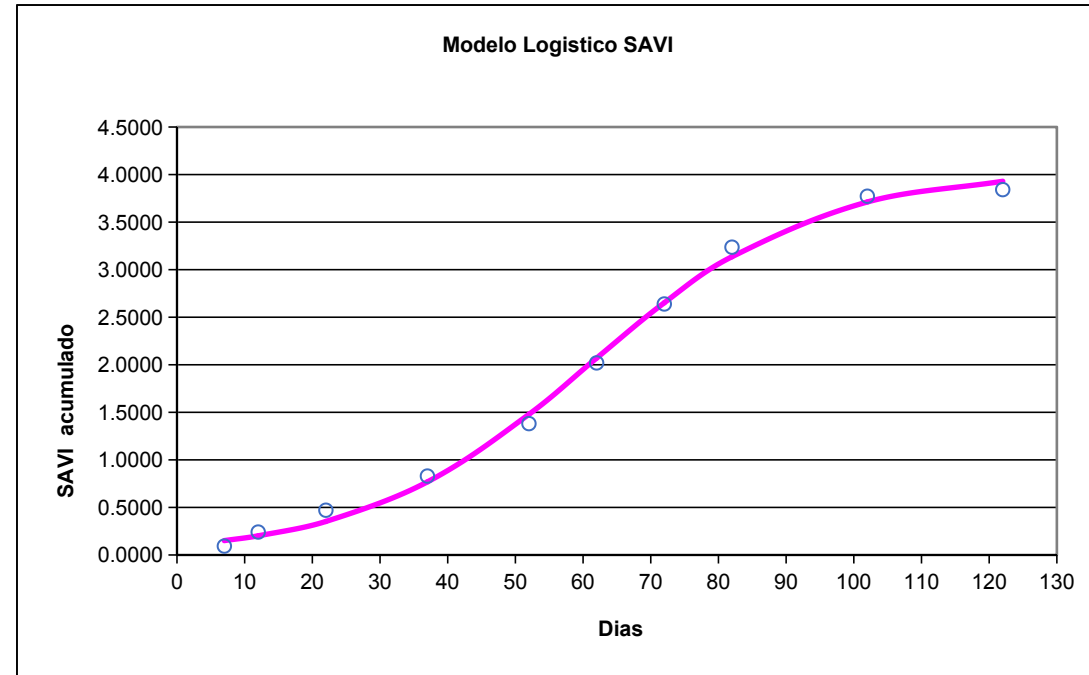


Por otra parte, la tasa de crecimiento se ajusta a una curva cuadrática recíproca $Y=1/(82.4-1.98X+0.0139X^2)$ como se observa en la figura.

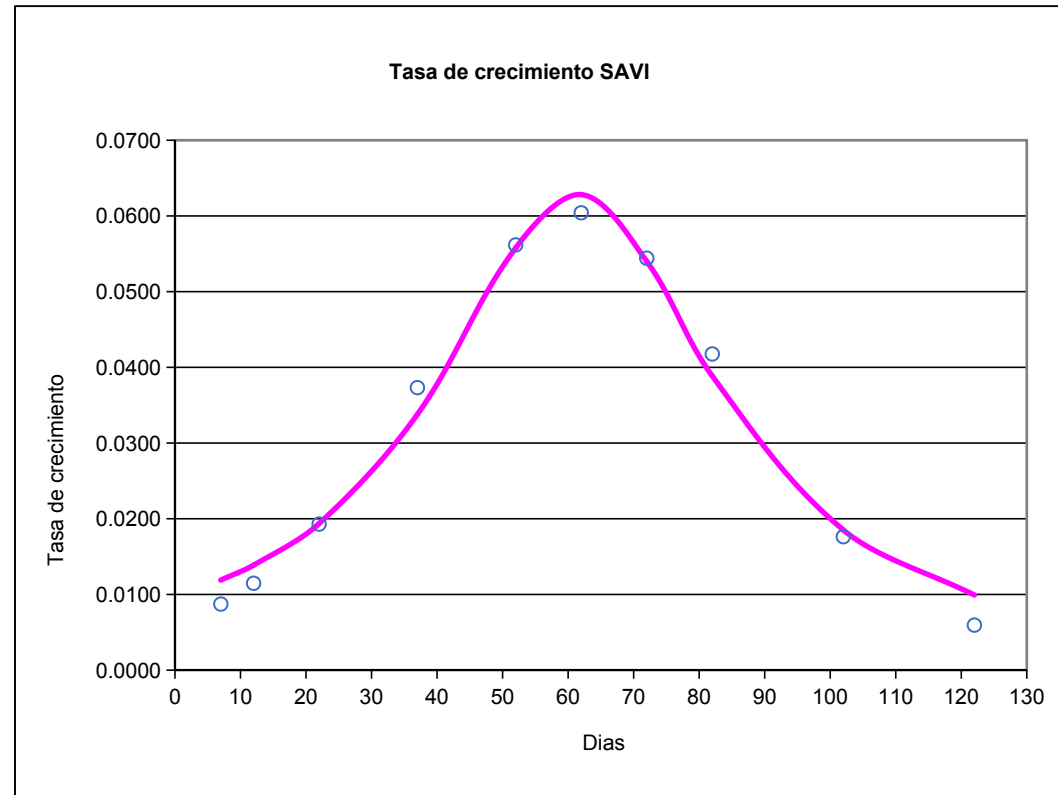


El punto de inflexión cuando alcanza el máximo desarrollo es a los 65.6 días.

Un proceso similar se lleva al cabo con los valores del índice SAVI, que como se observará también tiene un aceptable ajuste a las mismas funciones que el índice NDVI, observándose un ajuste más regular en la tasa de crecimiento. El ajuste a la función logística del índice SAVI se muestra en la figura 3 con la función: $Y=4.03/(1+39.06*exp(-0.06*X))$ con R^2 de 0.997, error de 0.0896 equivalente a 4.84%.

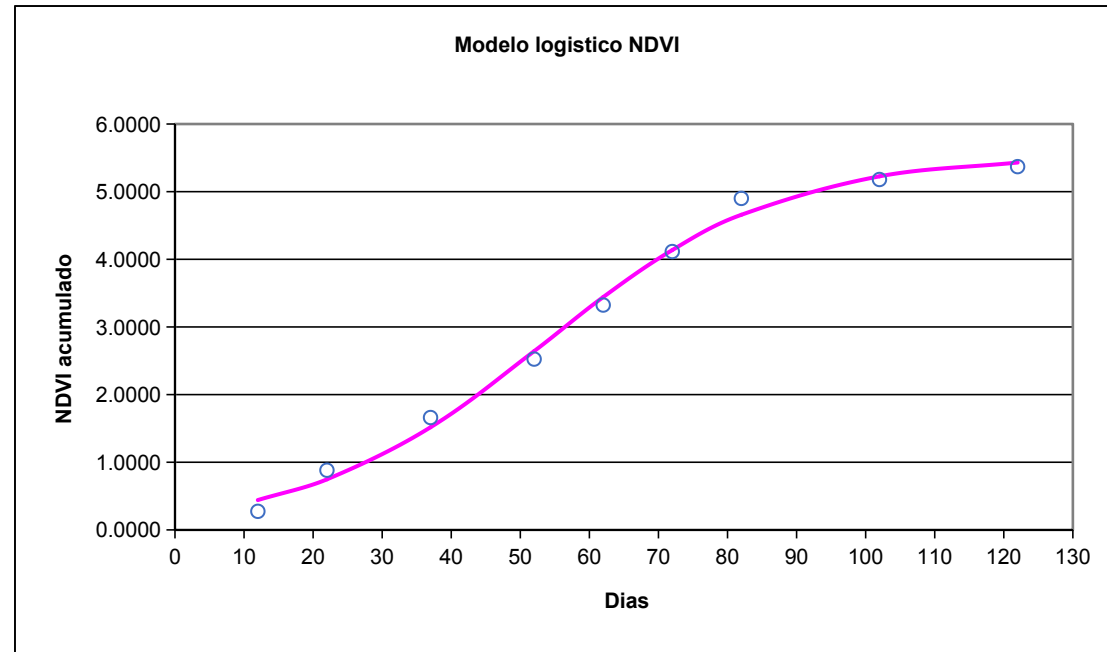


La tasa de crecimiento del SAVI, también se ajusta a una curva cuadrática inversa más regular que la del NDVI como se muestra en la figura.

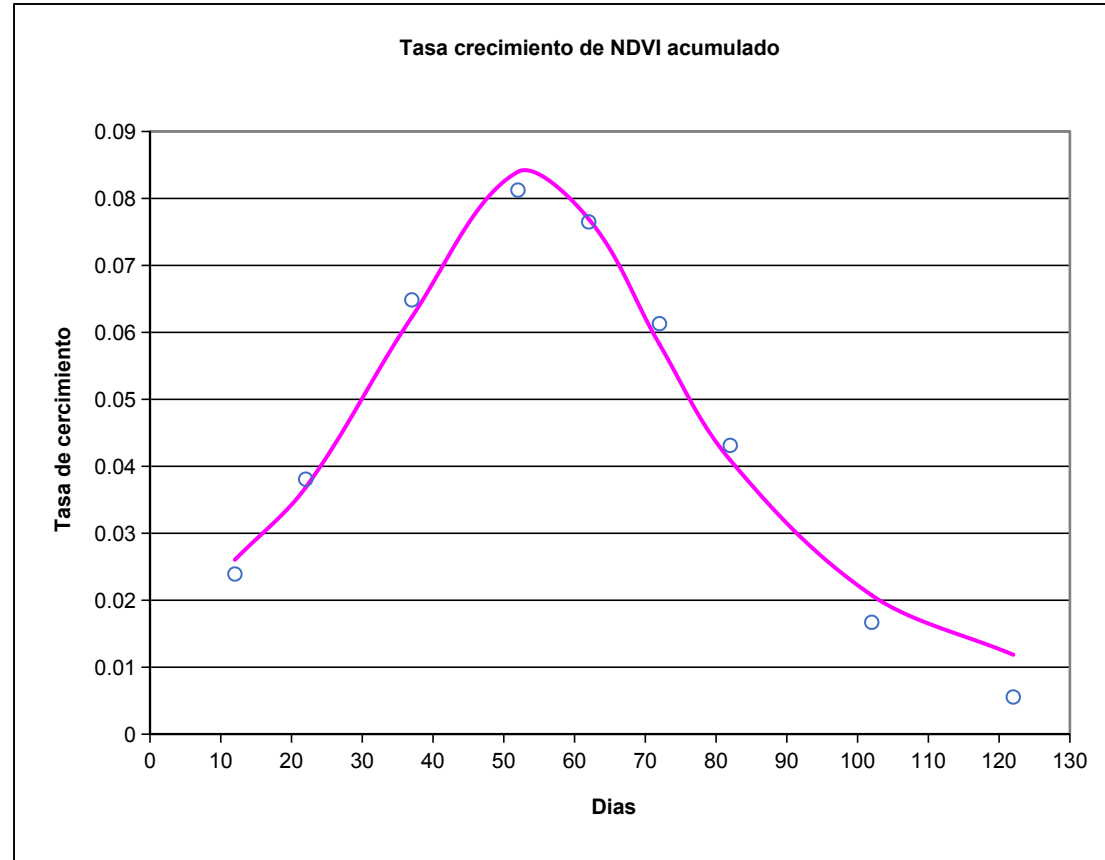


Para el caso del índice SAVI el máximo crecimiento y punto de inflexión ocurre aproximadamente a los 61 días muy similar al NDVI.

Para la parcela 20102 las gráficas de variación se presentan a continuación, con los valores observados por ambos casos. Para este caso la función encontrada es: $Y=5.526/(1+23.38*\exp(-0.059*t))$

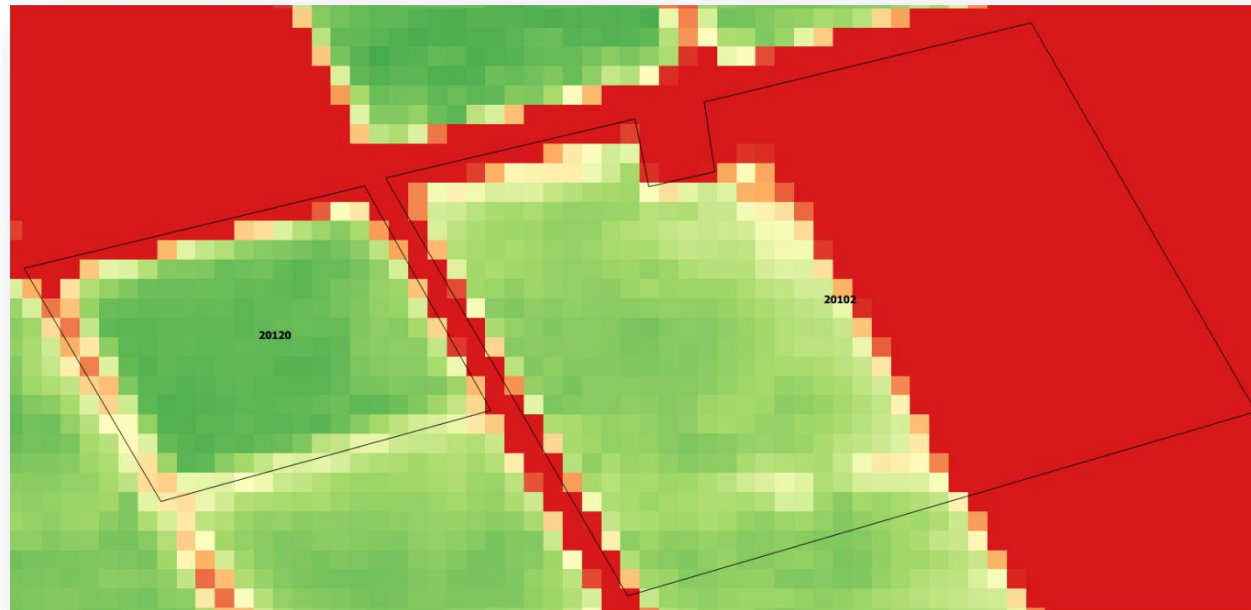


La tasa de crecimiento del NDVI se ajustó a $Y = 1/(55.966 - 1.649 X + 0.0154 X^2)$ y el punto de inflexión se presenta a los 53 días.



Por otra parte, al hacer un análisis de la variabilidad espacial en las dos parcelas, se observó mayor variabilidad en la parcela 20102, que en la 20120; el área sembrada y regada en la parcela 20120 fue de 2.36 ha y en la 20102 el área sembrada y regada neta fue de 3.40 ha. A pesar de que la parcela tiene un área total de 4.74 ha

De acuerdo a la información proporcionada por el Jefe de Operación del distrito, en el ciclo anterior los rendimientos obtenidos fueron muy similares del orden de las 11 toneladas en la parcela 20120 y 11.5 en la parcela 20102. Se está esperando que nos comunique los rendimientos obtenidos en este ciclo agrícola.



Otro indicador que puede ser de utilidad, es obtener el Índice de Área Foliar (IAF) en función del valor del SAVI ya que según Bastiaanssen la relación entre SAVI y IAF (LAI por su nombre en inglés) se ajusta a la siguiente expresión:

$$\text{SAVI} = C_1 - C_2 \exp(-C_3 \text{ LAI})$$

Despejando LAI queda: $\text{LAI} = 1/-C_3 * \ln((C_1 - \text{SAVI})/C_2)$. Los valores para los índices para maíz que reporta este autor son: $C_1 = 0.68$, $C_2 = 0.5$ y $C_3 = 0.55$; sin embargo, para el caso se tienen valores de SAVI del orden de 0.68, por lo que se ajusta $C_1 = 0.7$

Para la parcela 20120 el valor máximo de SAVI es de 0.68 y para la parcela 20102 es de 0.66, por lo que los valores obtenidos del índice de área foliar son respectivamente 5.85 y 4.59.

Como se puede observar, hay congruencia con los valores respectivos de los parámetros A de las funciones sigmoideas obtenidas tanto para SAVI como para NDVI en ambas parcelas.

Conclusiones

La información que puede obtenerse de los satélites Sentinel 2A y 2B, disponibles cada 5 días, en relación con el desarrollo de los cultivos agrícolas mediante el uso de índices como el NDVI y el SAVI, puede ser de mucha utilidad para que los productores regantes en los distrito y en las unidades de riego conozcan como se desarrollan sus cultivos, aunque sus parcelas sean de tamaño pequeño como se muestra en los ejemplos presentados en este trabajo; ya que la resolución espacial de 10 metros, que representan 100 píxeles por hectárea es suficiente para obtener un conocimiento de la variabilidad espacial dentro de las parcelas. Como se observa en las gráficas, la tasa de crecimiento del SAVI acumulado es más regular en su forma a la del NDVI acumulado, lo cual se debe seguramente al efecto suelo y permite conocer cuando se alcanza el máximo desarrollo.

También como se ha mostrado en este trabajo, es relativamente fácil estimar el área que esta cultivada y regada en un distrito o unidad de riego, si se dispone del vectorial donde se disponga de la forma y tamaño de sus parcelas; esto es de utilidad para conocer la superficie cultivada en el distrito o unidad, sobre todo tomando en consideración que en los distritos de riego se ha comprobado que los responsables de la operación de los módulos de riego suelen reportar superficies menores a las regadas.

Gracias