

**Universidad Pública de Navarra**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

**NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA**

*“Comparación de índices de vegetación en zona  
semiárida de Navarra”*

presentado por

Marcos Abaurrea Pereda

INGENIERO AGRÓNOMO

*Septiembre 2013*



# UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA NAFARROAKO UNIBERTSITATE PUBLIKOA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

*“Comparación de índices de vegetación en zona semiárida de Navarra”*

Trabajo Fin de Carrera presentado por Don Marcos Abaurrea Pereda al objeto de optar al título de Ingeniero Agrónomo. Dirigido por Rafael García Santos

Director

Autor

Rafael García Santos

Marcos Abaurrea Pereda

## Resumen

**Palabras clave:** Teledetección, índices de vegetación, NDVI.

**Keywords:** Remote sensing, vegetation indices, NDVI.

Un reto de la Teledetección consiste en estudiar la vegetación de una escena a partir de medidas de reflectividad con independencia de todos los factores que perturban a la señal radiométrica, entre los que cabe resaltar la reflectividad del suelo. Es decir, para establecer una relación entre la medida efectuada por Teledetección y los parámetros biofísicos que caracterizan una cubierta vegetal, es necesario derivar algún parámetro a partir de la reflectividad que normalice la influencia de todos los factores perturbadores, de forma, que esta magnitud adopte el mismo valor para una cantidad de vegetación dada aunque esta se asiente sobre suelos con propiedades ópticas distintas o la medida se realice bajo diferentes condiciones atmosféricas.

Con este trabajo, se pretende comparar una serie de índices de vegetación con la ayuda del programa IDRISI Taiga, en una zona concreta de Navarra en la cual se conoce la vegetación existente de forma preliminar. Y con ello se quiere conseguir unas conclusiones sobre la capacidad de cada índice a la hora de detectar las diferentes formaciones vegetales existentes.

El trabajo se realizó en una zona semiárida de Navarra, en la cual se encuentra una formación arbórea autóctona Navarra, formada por *Pinus halepensis* y matorral bajo. Hay unas zonas en las cuales encontramos campos de cultivos, en ellos se encuentra una variedad de especies cerealistas cultivadas, cebada, arroz y maíz, los cuales proporcionan variabilidad a la hora de estudiar la zona.

## **Índice**

Antecedentes.....	1
Área de Estudio .....	3
Trabajos Relacionados .....	6
Objetivos.....	10
Material y Métodos .....	11
Material.....	11
Software: .....	11
Índices de vegetación .....	11
Metodología.....	19
Procesamiento de las imágenes.....	19
Cálculo de índices .....	20
Comparación de los índices.....	20
Resultados y discusión;.....	21
Conclusiones .....	31
Bibliografía.....	32

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Espectros de reflectividad típicos de vegetación y suelo .....	2
<b>Figura 2:</b> Ortofoto de la zona seleccionada para el estudio de los índices.....	4
<b>Figura 3:</b> Comunidad foral de Navarra y comunidades limítrofes .....	5
<b>Figura 4:</b> El Índice de Vegetación Perpendicular (de Richardson y Wiegand, 1977) .....	15
<b>Figura 5:</b> Distancia desde la línea de Suelo .....	16
<b>Figura 6:</b> Resultado del análisis AVI .....	21
<b>Figura 7:</b> Resultado del análisis CTVI.....	21
<b>Figura 8:</b> Resultado del análisis DVI .....	22
<b>Figura 9:</b> Resultado del análisis NDVI.....	22
<b>Figura 10:</b> Resultado del análisis NRVI .....	23
<b>Figura 11:</b> Resultado del análisis PVI.....	23
<b>Figura 12:</b> Resultado del análisis PVI1.....	24
<b>Figura 13:</b> Resultado del análisis PVI2.....	24
<b>Figura 14:</b> Resultado del análisis PVI3.....	25
<b>Figura 15:</b> Resultado del análisis RVI .....	25
<b>Figura 16:</b> Resultado del análisis SAVI .....	26
<b>Figura 17:</b> Resultado del análisis TTVI.....	26
<b>Figura 18:</b> Resultado del análisis TVI.....	27
<b>Figura 19:</b> Primer componente, resultado del análisis de componentes, el cual describe un índice de vegetación en general .....	27
<b>Figura 20:</b> Segundo componente, representa los índices de vegetación que corregir el suelo .	28
<b>Figura 21:</b> Componente tres, que describe la humedad del suelo .....	28
<b>Figura 22:</b> Línea de regresión entre la banda infrarroja y roja .....	29
<b>Figura 23:</b> Resultado del análisis de componentes principales, en los diferentes índices estudiados. ....	30

## **Antecedentes**

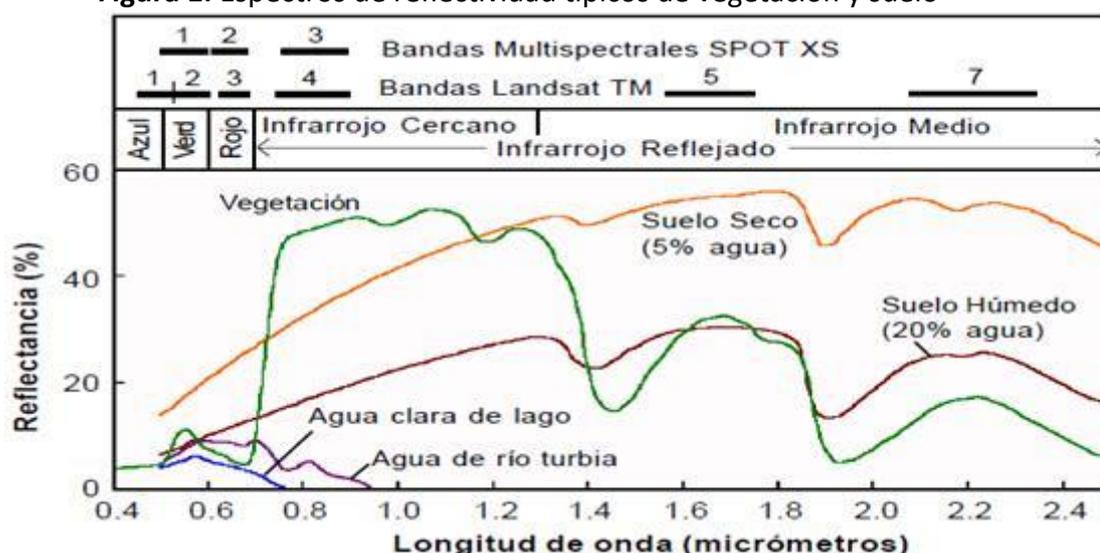
La Teledetección tiene por finalidad identificar y caracterizar los materiales de la superficie terrestre y los procesos que en ella ocurren a partir de la radiación electromagnética procedente de la misma, entendiendo por tal tanto la emitida por la propia superficie terrestre como la reflejada de la que le llega del sol, prevaleciendo una sobre otra en función del intervalo espectral considerado. En la región óptica del espectro, o espectro solar (0.4-3.0  $\mu\text{m}$ ), la radiación procedente de las superficies es la radiación solar reflejada. En general, cuando la radiación solar incide sobre un material, una parte de la misma se refleja en la parte más superficial del mismo y el resto se propaga por su interior. Allí, parte es absorbida y el resto sufre un proceso de dispersión (en todas direcciones) de tal modo que parte de la energía dispersada emerge del material por la misma superficie por la que penetró, sumándose así a la radiación reflejada en la capa superficial.

La reflectividad de las cubiertas vegetales viene determinada, además de por los factores externos, por las características ópticas y distribución espacial de todos sus constituyentes (incluyendo el suelo sobre el que se asiente la vegetación), así como por sus proporciones. En este contexto, el gran reto de la Teledetección consiste en estudiar la vegetación de una escena a partir de medidas de reflectividad con independencia de todos los factores que perturban a la señal radiométrica, entre los que cabe resaltar la reflectividad del suelo. Es decir, para establecer una relación entre la medida efectuada por Teledetección y los parámetros biofísicos que caracterizan una cubierta vegetal, es necesario derivar algún parámetro a partir de la reflectividad que normalice la influencia de todos los factores perturbadores, de forma, que esta magnitud adopte el mismo valor para una cantidad de vegetación dada aunque esta se asiente sobre suelos con propiedades ópticas distintas o la medida se realice bajo diferentes condiciones atmosféricas.

La solución a este problema se ha abordado tradicionalmente en Teledetección a partir del diseño de los denominados *índices de vegetación*. De forma genérica se podría definir un índice de vegetación (IV) como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda y que pretende extraer de los mismos la información relacionada con la vegetación minimizando la influencia de perturbaciones como las debidas al suelo a las condiciones atmosféricas.

El índice de vegetación ideal ha sido descrito por Jackson et al. (1983) como “aquel particularmente sensible a la cubierta vegetal, insensible al brillo y color del suelo y poco afectado por la perturbación atmosférica, los factores medioambientales y las geometrías de la iluminación y de la observación”. Evidentemente, el IV ideal no existe y los IVs definidos hasta el momento tienen en común el uso de los valores de reflectividad en las zonas espectrales de rojo (*r*) e infrarrojo cercano (irc). Esto es fácil de comprender si observamos nuevamente la Figura 1 y comprobamos el diferente comportamiento espectral que presentan la vegetación verde y el suelo en dichas zonas espectrales: la reflectividad de la vegetación pasa de un mínimo relativo en el rojo correspondiente a la banda de absorción de la clorofila a un máximo absoluto en el infrarrojo cercano que es consecuencia de las dispersiones múltiples de la radiación por el interior de la estructura celular; la reflectividad del suelo, sin embargo, presenta también una tendencia ascendente entre estas dos regiones espectrales pero mucho más suave. Se puede decir que, aproximadamente el 90% de la información relativa a la vegetación esta contenida en las bandas *r* e irc; la roja, fuertemente correlacionada con el contenido en clorofila y la infrarroja, controlada por el LAI (*leaf area index* o índice de superficie foliar) y la densidad de vegetación verde.

**Figura 1:** Espectros de reflectividad típicos de vegetación y suelo



Los IVs publicados hasta el momento se presentan agrupados bajo distintos tipos de clasificaciones. Así, por ejemplo, Bannari et al. (1995) hablan de índices de primera y segunda generación, mientras que Rondeaux et al. (1996) los clasifican en índices intrínsecos y en índices que utilizan la línea de suelo. En este trabajo, los reagrupamos en *índices basados en la pendiente* y en *índices basados en la distancia*

## Área de Estudio

El área de estudio (**Figura 2**) se seleccionó por sus diversas zonas de vegetación, encontrando cultivos, arbórea y matorrales. La formación arbórea autóctona predominante, es la formada por *Pinus halepensis*, la cual tiene la particularidad, que es formada por grandes individuos alejados entre sí, lo cual deja entrar los rayos de luz, esto crea un soto bosque cerrado y denso. Entre otras formaciones podemos encontrar las formadas por las especies *Lavandula betula* y *Rusmarinus officinalis*.

Las formaciones naturales ocupan en la zona seleccionada el menor porcentaje de ocupación del territorio, siendo en mayor medida el terreno de cultivo. Como particularidad de la zona, encontramos una zona explotada por cultivos de secano y otra en la cual los cultivos son de regadío, como cultivos de secano encontramos la cebada, como cultivos de regadío, arroz y maíz.

**Figura 2:** Ortofoto de la zona seleccionada para el estudio de los índices



Navarra es una comunidad foral española situada en el norte de la Península Ibérica. Limita al norte con Francia, al este y sureste con la comunidad autónoma de Aragón (provincias de Huesca y Zaragoza), por el sur con la de La Rioja y por el oeste con la del País Vasco (provincias de Álava y Guipúzcoa). Posee un exclave (Petilla de Aragón) rodeado totalmente por la provincia aragonesa de Zaragoza. Es el territorio correspondiente a la Alta Navarra del Renacimiento (la Baja Navarra forma parte de Francia).

**Figura 3:** Comunidad foral de Navarra y comunidades limítrofes

Está compuesta por 272 municipios y cuenta con una población de 644 566 habitantes (2012), 4 de la que aproximadamente un tercio vive en la capital, Pamplona (197 604 habitantes), y más de la mitad en el área metropolitana de la misma (328.511 habitantes)

Se encuentra situada en el norte de España. La mayor parte del territorio es montañoso, dominado por la cordillera pirenaica, contrastando con las llanuras del valle del Ebro del sur La Ribera.

En el relieve de Navarra se diferencian dos zonas: Al norte la zona montañosa del Pirineo navarro, accidentada y abrupta. Y al sur, la Ribera, zona de extensas llanuras con pendientes medias. Entre ambas hay una zona de transición llamada Navarra Media o Zona Media, con sierras en su parte norte y amplias llanuras al sur

Desde el punto de vista climático, Navarra es una mezcla de influencia montañosa de los Pirineos y mediterránea del valle del Ebro, habiendo una gran diferencia entre el clima del norte (mucho más húmedo y con precipitaciones frecuentes), al clima del sur (más mediterráneo y con temperaturas más altas y precipitaciones más esporádicas), pasando de los húmedos valles cantábricos del norte a las áridas y esteparias Bardenas Reales a orillas del río Ebro en pocos kilómetros.

La Comunidad Foral de Navarra posee una población de 644 566 habitantes, con una densidad de población de 62,03 hab./km<sup>2</sup>.

## Trabajos Relacionados

Sancha Navarro (2010) Comprobó a partir de índices de vegetación poder establecer e identificar diferentes periodos climáticos de sequía y húmedos, cálidos y templados. Concluyo que los índices de vegetación son instrumentos valiosos tanto en temas de ecología, como en cuestiones climáticas, siendo una base importante de estudios.

J.A. Delgados; P. Illera y P. Rodriguez, estudiaron en zonas de secano, la estimación de la producción agrícola por medio de la utilización del NDVI. Concluyeron que este índice es útil para el seguimiento de etapas en el desarrollo de los cultivos, y obtuvieron buena correlación entre los rendimientos de los cereales y la integral de dicho índice.

C. Mattar; J.A. Sobrino; J. P. Wigneron , estudiaron el uso de los índices de vegetación para así poder relacionarlos con la humedad del suelo. Concluyendo que el índice NDVI resulta útil para la estimación la humedad del suelo, a través de regresiones semi-empíricas.

F. Gonzalez, M. Dauden, J.M. Ureña, Comparan la utilidad y viabilidad de realizar la clasificación de los usos del suelo mediante el empleo de índices de vegetación. Concluyeron que la clasificación obtenida, no es del todo satisfactoria en ninguno de los casos, aunque destacan que lo obtenido a partir de los datos TM, se observa mejor que la obtenida a partir de los datos obtenidos de MSS. Los valores de NDVI permiten establecer una graduación entre los diferentes tipos de cubiertas.

R. Isla y R. Lopez-Lozano, Evaluaron la aptitud de diferentes índices de vegetación para la detección de deficiencias nitrógenas en maíz. Concluyeron que sería posible la detección de grandes cadencias de N, pero no es posible una clara diferenciación entre dosis próximas al óptimo.

M. Bisquert; J.M Sanchez; V. Caselles; M. Ipaz Andrade; J.L Legido Compararon ocho índices de vegetación para determinar el más apropiado en determinar el riesgo de incendio en las regiones de Galicia y Asturias, usando una serie de incendios de 6 años en esas mismas regiones. Determinaron que un alto % de incendios se ajusta a algunos índices de vegetación, siguiendo una distribución lineal. El EVI se muestra como el más favorable de todos ellos.

Tg. Purevdorj; R. Tateishi; T. ishiyama; Y. Honda. Estudiaron la relación que pudiera existir entre la cubierta vegetal y los índices de vegetación derivados de la reflectividad espectral. Concluyeron que con datos de la línea de suelo TSAVI nos proporciona la mejor estimación de cobertura vegetal. Sin estimación de línea de suelo, NDVI proporciona unos buenos valores de cobertura en densidades bajas de vegetación. La relación obtenida en el estudio entre los índices y el % de vegetación puede ser aplicado en zonas semi-áridas.

T. Javzandulan; R. Tateishi y T. Sanjaa. Estudiaron la degradación que experimenta la biomasa vegetal en zonas áridas a lo largo de los años. Para ello monitorizaron la biomasa con ayuda de los índices de vegetación. Sus estudios demostraron, que imágenes por satélite pueden ser utilizado como herramienta en el control de la degradación de la vegetación y conocer la cantidad de biomasa en algunas áreas semiáridas.

H. Schmidt; A. Karmieli. Estudiaron la sensibilidad de los índices de vegetación, evaluándolos en la capacidad de medir en zonas semi-áridas y cobertura vegetal con escasa vegetación. Demostraron que el NDVI es muy sensible al basalto como elemento que compone el suelo, respondiendo con valores elevados, mientras que SAVI y PVI responden a superficies brillantes con mayores valores. La diferencia en la respuesta entre (SAVI/NDVI), (SAVI/TSAVI) al material es causada por el brillo, mientras que (SAVI/PVI) no muestra la misma dependencia al brillo. La sensibilidad de los índices de vegetación en zonas áridas esta influenciado por el tipo de material que compone el suelo.

Fuming Wang; Jingfeng Huang y La Chen. Estudiaron el desarrollo de un Nuevo índice de vegetación basado en el análisis de las limitaciones de RVI y PVI en la estimación del LAI y comparar el rendimiento de este nuevo índice en la estimación de LAI. Se concluyó con la creación de un nuevo índice de vegetación (RMPVI), el cual se demostró que, es menos afectado por las condiciones atmosféricas, además de una relación lineal con e LAI, pudiendo ser utilizado para su estimación.

P.M. Seevers; R.W. Ottmann. Estudiaron el NDVI para estimar la evapotranspiración potencial (ET), el cual es muy utilizado para realizar estudios de necesidades hídricas en las plantas. Concluyeron que existe correlación entre estos dos parámetros, pero indican que deberían realizarse más estudios para poder llevar el estudio aun marco más amplio de aplicación.

J.T. Al-Bakrio y A.S. Suleimon. Estudiaron la posible relación entre la lluvia y el NDVI en diferentes zonas en Jordan, facilitando de esta manera el estudio de la ecología del lugar. Obtuvieron una buena correlación entre el NDVI y la lluvia acumulada en 10 días, sobre todo en zonas con climatología mediterránea.

A.Vercher; M.A. Gilabert; F. Camacho de Coca y J. Melia. Estudiaron la sensibilidad de algunos índices de vegetación frente a la variación en el ángulo cenital solar. Concluyeron que todos los índices dependen exponencialmente del LAI, pudiendo ser ajustados a una ecuación. Existe anisotropía, la cual produce un error en la medida, el cual no elimina la tendencia mencionada anteriormente. La dependencia de los IVS frente a la geometría de observación e iluminación es más acusada en cubiertas con bajo LAI y cubiertas con poca continuidad.

Carbacho Bart,L. y Sanchez Martinez, M. compararon cinco índices de vegetación (NDVI, SAVI, ARVI, GreenNDVI y EVI) determinando sus comportamientos según cubiertas, en dos periodos del año (verano e invierno) de los años 2001, 2003 y 2005. Obtuvieron que las tendencias generales de las mediciones del vigor son semejantes, aunque existen deferencias localizadas que hace evidente la necesidad de elegir correctamente el tipo de IV adecuándose al tipo de estudio.

Ray D.Jackson y Alfredo R. Huete. (1991). Estudiaron las características de los índices de vegetación. Concluyeron que los IVs, son útiles evaluando la cantidad y el estado de la vegetación, a partir de imágenes de satélites. Sin embargo, se ven limitados por condiciones atmosféricas, ángulos cenitales del sol, así como el tipo de suelo y tipo de vegetación. Para el uso correcto de los índices de vegetación, se requiere tener en cuenta la interacción de todas las condiciones que afectan a sus mediciones, al mismo tiempo.

J.Qi; A. Chehbouni; A.R. Huete; Y.H. Kera; S. Soraashiar. Estudiaron el desarrollo de una línea de suelo autoajustable, de este modo aumenta la sensibilidad del SAVI, reduciendo los efectos del suelo. Así se mejoraría la cantidad de vegetación señal frente al reflejo del suelo

Brian D. Wardlow y Stephen L. Egbert. Evaluaron en series Modis-250m, con los índices EVI y NDVI con los objetivos de establecer una precisión de clasificación para diferentes cultivos, establecer similitudes y diferencias de los índices e identificar el índice de vegetación que mejores datos proporciona en estas condiciones.

## **Objetivos**

Con este trabajo, se pretende comparar una serie de índices de vegetación con la ayuda del programa IDRISI Taiga, en una zona concreta de navarra en la cual se conoce la vegetación existente de forma preliminar. Y con ello se quiere conseguir unas conclusiones sobre la capacidad de cada índice a la hora de detectar las diferentes formaciones vegetales existentes.

## **Material y Métodos**

### **Material**

#### **Software:**

- Idrisi Taiga 16.0
- Microsoft Word
- Microsoft Excel

#### **Índices de vegetación**

El uso de cualquiera de estas transformaciones depende del objetivo de la investigación y de las características geográficas generales del área de aplicación. En teoría, cualquiera de ellas se puede aplicar en cualquier área geográfica, sin importar su sensibilidad a varios componentes ambientales que pueden limitar su efectividad. Con respecto a esto, uno puede considerar la aplicación de los índices basados en la pendiente porque son simples de usar y producen resultados numéricos fáciles de interpretar. No obstante, incluyendo el reconocido NDVI, todos tienen una debilidad principal que es la incapacidad de minimizar los efectos del fondo de suelo. Esto significa que una cierta proporción de sus valores, negativos o positivos, representa el brillo del suelo. El efecto del suelo de fondo es un factor limitante principal para ciertos análisis estadísticos dedicados a la evaluación cuantitativa de la biomasa verde que se encuentra sobre el suelo.

Aunque producen índices cuyos extremos pueden ser mucho más bajos o altos que los del índice más familiar NDVI, los índices basados en la distancia tienen la ventaja de minimizar los efectos del suelo. Esta minimización es desempeñada por la combinación de las bandas de entrada con la pendiente y la ordenada al origen de la línea del suelo obtenida a través de una regresión lineal entre los valores de reflectancia de la muestra de suelo desnudo extraídos de las bandas rojas e infrarrojas cercanas. Esto representa un avance cuantitativo y cualitativo importante del significado de los índices para todo tipo de aplicaciones, particularmente para aquellas que tratan ambientes áridos y semiáridos. Sin embargo, para sacar ventaja de esto Ud. debe ser capaz de identificar los píxeles de suelo desnudo en la imagen.

### **Los Índices Basados en la Pendiente**

1. NDVI--Normalized Difference Vegetation Index
2. RVI--Ratio Vegetation Index
3. NRVI--Normalized Ratio Vegetation Index
4. TVI --Transformed Vegetation Index
5. CTVI --Corrected Transformed Vegetation Index
6. TTVI--Thiam's Transformed Vegetation Index

### **Los Índices de Vegetación Basados en la Distancia**

7. PVI--Perpendicular Vegetation Index
8. PVI1--Perpendicular Vegetation Index 1
9. PVI2--Perpendicular Vegetation Index 2
10. PVI3--Perpendicular Vegetation Index 3
11. DVI--Difference Vegetation Index
12. AVI--Ashburn Vegetation Index
13. SAVI--Soil-Adjusted Vegetation Index

### **Los Índices Basados en la Pendiente**

Los índices basados en la pendiente son combinaciones de las bandas roja visible e infrarroja cercana y se usan extensamente para generar índices de vegetación. Los valores indican tanto el estado como la abundancia de la cobertura y biomasa de la vegetación verde. Los índices incluyen el RATIO, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI y el TTVI. El módulo VEGINDEX en IDRISI se puede usar para generar una imagen para cada uno de estos índices.

**El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)** también fue introducido por Rouse y colaboradores (1974) para producir un índice espectral que separa la vegetación verde del suelo utilizando datos digitales del LANDSAT MSS. Éste se expresa como la diferencia entre las bandas infrarroja cercana y roja normalizada por la suma de esas bandas, es decir:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Este es el índice más comúnmente usado porque retiene la habilidad para minimizar los efectos topográficos y a su vez producir una escala de medida lineal. Además, los errores de división por cero son reducidos en gran medida. Más aún, la escala de medida posee la apreciada propiedad de oscilar de -1 a 1 con el 0 representando el valor aproximado de la falta de vegetación. Entonces, los valores negativos representan las superficies sin vegetación.

**El Índice de Vegetación Transformado (TVI)** (Deering y colaboradores, 1975) modifica el NDVI agregando una constante de 0,50 a todos sus valores y calculando la raíz cuadrada de los resultados. La constante 0,50 se introduce para evitar operar con valores negativos del NDVI. El cálculo de la raíz cuadrada se emplea para corregir los valores del NDVI que se aproximan a una distribución Poisson e introducir una distribución normal. Con estos dos elementos, el TVI toma la siguiente forma:

$$TVI = \sqrt{\left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED}\right) + 0.5}$$

Sin embargo, el uso del TVI requiere que los valores del NDVI de entrada mínima sean mayores que -0,5 para evitar abortar la operación. Los valores negativos aún permanecerán si se hallan valores menores que -0,5 en el NDVI. Es más, no existe una diferencia técnica entre el NDVI y el TVI en términos de la salida de imagen o de la detección activa de vegetación.

**El Índice de Vegetación Transformado Corregido (CTVI)** propuesto por Perry y Lautenschlager (1984) apunta a corregir el TVI. Resulta obvio que agregar una constante de 0,5 a todos los valores del NDVI no siempre elimina los valores negativos porque los valores del NDVI pueden tener el rango -1 a +1. Los valores menores que -0,5 dejan pequeños valores negativos luego de la operación de adición. Entonces, el CTVI se realiza para resolver esta situación al dividir (NDVI + 0,50) por su valor absoluto ABS (NDVI + 0,50) y multiplicar el resultado por la raíz cuadrada del valor absoluto (SQRT[ABS(NDVI + 0,50)]). Esto suprime el NDVI negativo. La ecuación se escribe:

$$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ABS(NDVI + 0.5)} \times \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$$

En el caso que la corrección se aplique de manera uniforme, la imagen de salida que usa el CTVI no debe tener diferencia con la imagen inicial NDVI o la TVI cuando el TVI lleva a cabo correctamente la operación de raíz cuadrada. La corrección se realiza para eliminar los valores negativos y generar una imagen del índice de vegetación similar a, o mejor que, el NDVI. Sin embargo, Thiam (1997) indica que la imagen resultante del CTVI puede ser muy “ruidosa” debido a una sobrestimación de la cualidad verde. Él sugiere ignorar el primer término de la ecuación CTVI para obtener mejores resultados. Esto se logra simplemente sacando la raíz cuadrada de los valores absolutos del NDVI en la expresión original del TVI para tener un nuevo índice de vegetación llamado **Índice de Vegetación Transformado de Thiam (TTVI)**.

$$TTVI = \sqrt{ABS(NVI + 0.5)}$$

El simple **Índice de Vegetación de Cociente (RVI)** fue sugerido por Richardson y Wiegand (1977) por tener gráficamente la misma fuerzas y debilidades que el TVI (ver arriba) mientras que resulta más simple a nivel computacional. El RVI es claramente el inverso del cociente simple estándar (RATIO) como se muestra en esta expresión:

$$RVI = \frac{RED}{NIR}$$

El **Índice de Vegetación de Cociente Normalizado (NRVI)** es una modificación del RVI por Baret y Guyot (1991) por el cual el resultado del RVI - 1 es normalizado sobre el RVI + 1.

$$NRVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$$

Esta normalización es similar en efecto a la del NVDI, es decir, reduce los efectos topográficos, lumínicos y atmosféricos, y crea una distribución normal estadísticamente apreciada.

### Los Índices de Vegetación Basados en la Distancia

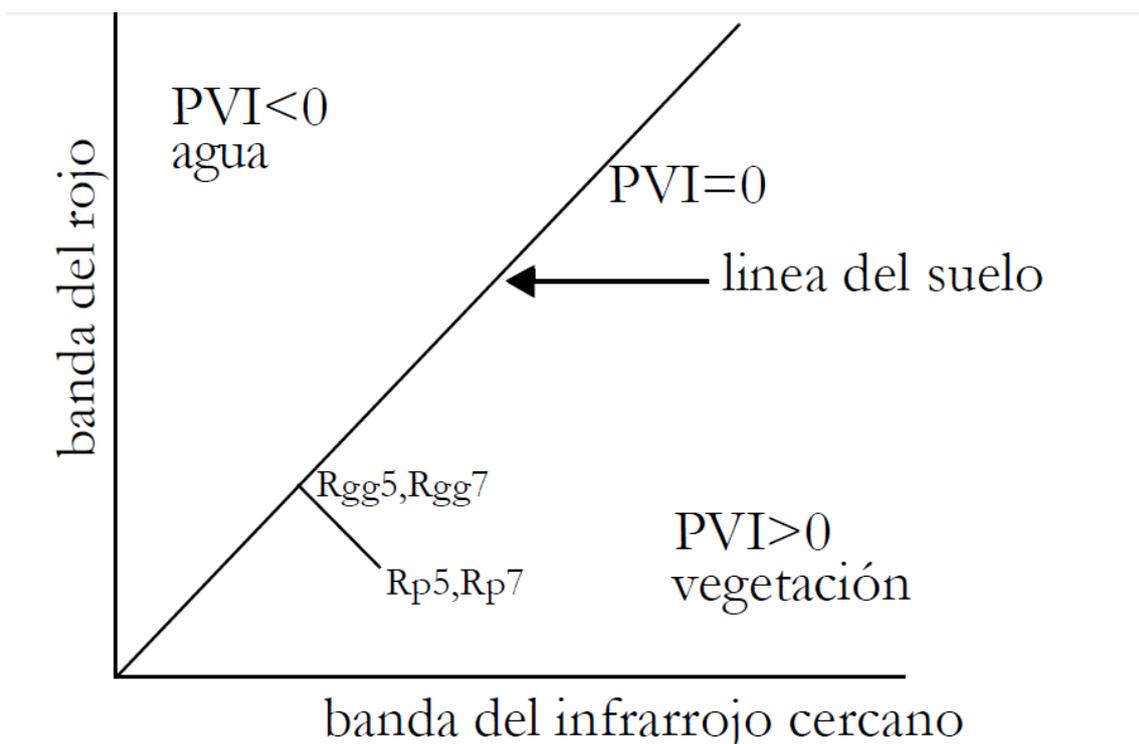
Este grupo de índices de vegetación está derivado del Índice de Vegetación Perpendicular (PVI) discutidos con detenimiento más adelante. El objetivo principal de estos índices de vegetación es cancelar el efecto del suelo en los casos donde la vegetación es escasa y los píxeles contienen una mezcla de vegetación verde y suelo de fondo. Esto es particularmente importante en medio ambientes áridos y semiáridos.

El procedimiento está basado en el concepto de la línea del suelo como se señaló antes. La línea del suelo representa una descripción de las firmas típicas de suelos en un esquema biespectral rojo/infrarrojo cercano. Este se obtiene a través de una regresión lineal de la banda infrarroja cercana en contra de la banda roja para una muestra de píxeles de suelo desnudo. Los píxeles que se hallan cerca de la línea del suelo son interpretados como suelos mientras que aquellos lejos de ésta se interpretan como vegetación. Los índices de vegetación basados en la distancia que usan la línea del suelo requieren la pendiente (*b*) y la ordenada al origen (*a*) de la línea como entradas para el cálculo. Desafortunadamente, ha habido una inconsistencia importante en la lógica con la cual se ha desarrollado esta línea del suelo para índices de vegetación específicos. Un grupo requiere la banda roja como la variable dependiente y el otro requiere la banda infrarroja cercana como la variable independiente para la regresión. Se debe consultar el Sistema de Ayuda on-line sobre VEGINDEX para cada índice de vegetación en el grupo de los Basados en la Distancia para indicar cuáles de estos dos enfoques debe usarse.

La Figura 4 muestra la línea del suelo y sus parámetros calculados para un grupo de píxeles de suelo usando el módulo REGRESS en IDRISI. El procedimiento requiere que Ud. identifique un grupo de píxeles de suelo desnudo como una máscara booleana (1=suelo / 0=otro). REGRESS se emplea entonces para calcular la regresión entre la banda roja y la infrarroja cercana (o viceversa, dependiendo del índice), y luego usar esta máscara para definir los píxeles a partir de los cuales se debe definir la pendiente y la ordenada al origen.

**El Índice de Vegetación Perpendicular (PVI)** sugerido por Richardson y Wiegand (1977) es el índice principal del cual se deriva todo este grupo. El PVI emplea la distancia perpendicular desde cada coordenada de píxel hasta la línea del suelo como se indica en la Figura 4.

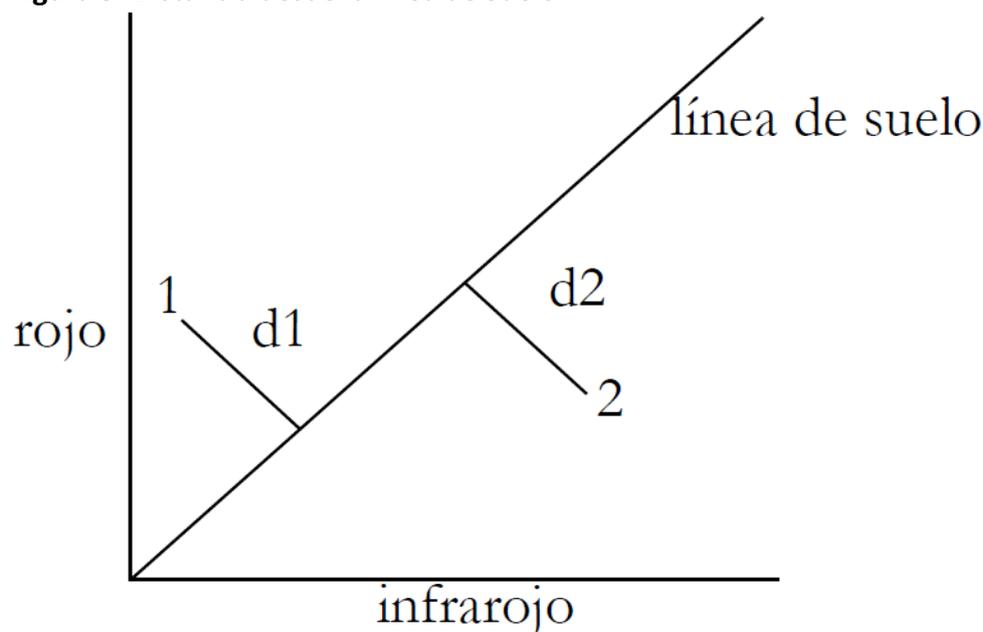
**Figura 4:** El Índice de Vegetación Perpendicular (de Richardson y Wiegand, 1977)



Los intentos para mejorar la ejecución del PVI han producido otros tres sugeridos por Perry y Lautenschlager (1984), Walther y Shabaani (1991), y Qi y colaboradores (1994). Para evitar la confusión, los PVIs derivados están indexados del 1 al 3 (PVI1, PVI2, PVI3).

**PVI1** fue desarrollado por Perry y Lautenschlager (1984) quienes discutían que la ecuación original del PVI era intensiva a nivel computacional y no discriminaba entre píxeles que se hallan a la izquierda o derecha de la línea del suelo (es decir, el agua de la vegetación). Con un patrón de respuesta espectral de vegetación en el cual la reflectancia infrarroja es mayor a la roja, todos los píxeles de vegetación se hallan a la derecha de la línea del suelo (Ej.: píxel 2 en la Figura 5). En algunos casos, un píxel que no representa vegetación (Ej.: agua) puede estar igualmente lejos de la línea del suelo, pero se halla hacia la izquierda de ésta (Ej.: píxel 1 en la Figura 5). En el caso del PVI, a ese píxel de agua se le asignará un valor de índice de vegetación alto. El PVI1 asigna valores negativos a aquellos píxeles que se encuentran a la izquierda de la línea del suelo.

**Figura 5:** Distancia desde la línea de Suelo



$$PVI1 = \frac{(bNIR - RED + a)}{\sqrt{b^2 + 1}}$$

NIR = reflectancia en la banda infrarroja cercana

RED = reflectancia en la banda roja visible

a = ordenada al origen de la línea del suelo

b = pendiente de la línea del suelo

**PVI2** (Walther y Shabaani, 1991; Bannari y colaboradores, 1996) pondera la banda roja con la ordenada al origen de la línea del suelo y se escribe:

$$PVI2 = \frac{(NIR - a)(RED + b)}{\sqrt{1 + a^2}}$$

*NIR* = reflectancia en la banda infrarroja cercana

*RED* = reflectancia en la banda roja visible

*a* = ordenada al origen de la línea del suelo

*b* = pendiente de la línea del suelo

**PVI3**, presentado por Qi y colaboradores (1994), se escribe:

$$PVI3 = apNIR - bpRED$$

*pNIR* = reflectancia en la banda infrarroja cercana

*pRED* = reflectancia en la banda roja visible

*a* = ordenada al origen de la línea del suelo

*b* = pendiente de la línea del suelo

**Índice de Vegetación de Diferencia (DVI)** también es sugerido por Richardson y Wiegand (1977) como un algoritmo para el cálculo del índice de vegetación más fácil. La particularidad del DVI es que pesa la banda infrarroja cercana por la pendiente de la línea del suelo. Éste se escribe:

$$DVI = gMSS7 + MSS5$$

$g$  = la pendiente de la línea del suelo

$MSS7$  = reflectancia en la banda 2 infrarroja cercana

$MSS5$  = reflectancia en la banda roja visible

De manera similar al PVI1, con el DVI, un valor de cero indica suelo desnudo, los valores menores que cero indican agua y aquellos mayores que cero indican vegetación.

**El Índice de Vegetación Ashburn (AVI)** (Ashburn, 1978) se presenta como una medida de la vegetación creciente verde. Los valores en  $MSS7$  se multiplican por 2 para escalar los valores de datos de 6 bits de este canal de manera que coincidan con los valores de 8 bits del  $MSS5$ . La ecuación se escribe:

$$AVI = 2.0MSS7 - MSS5$$

Este factor de escala no se aplica cuando ambas bandas son de 7 u 8 bits y la ecuación se escribe como una simple resta.

**El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)** es propuesta por Huete (1988). Está preparado para minimizar los efectos del fondo de suelo sobre la señal de vegetación al incorporar un factor  $L$  de ajuste del suelo constante en el denominador de la ecuación NDVI.  $L$  varía con las características de reflectancia del suelo (Ej.: color y brillo). Huete (1988) provee un gráfico de donde se pueden extraer los valores de  $L$ . El factor  $L$  elegido depende de la densidad de la vegetación que uno desea analizar. Para un nivel de densidad muy pobre, Huete y colaboradores (1988) sugieren usar un factor  $L$  de 1,0; para un nivel intermedio, 0,5 y para uno alto, 0,25. Walther y Shabaani (1991) proponen que el mejor valor  $L$  para seleccionar es donde la diferencia entre los valores de SAVI para suelos oscuros (dark soil) y claros (light soil) es mínima. Para  $L = 0$ , SAVI es igual a NDVI. Para  $L = 100$ , SAVI se aproxima a PVI.

$$SAVI = \frac{\rho_{nir} + \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L} * (1 + L)$$

$\rho_{nir}$  = banda infrarroja cercana

$\rho_{red}$  = banda roja visible

$L$  = factor de ajuste del suelo

## Metodología

La metodología empleada se divide en cuatro grandes partes: procesamiento de las imágenes, cálculo de los índices, obtención de verdad terreno y comparación de los mismos. Estas etapas se detallan a continuación.

### Procesamiento de las imágenes

Las imágenes se descargaron desde el sitio SITNA, en formato JPG. Estas imágenes fueron luego procesadas por medio del software IDRISI Taiga, obteniéndose imágenes en formato RDC y RST, las cuales pueden ser procesadas por el software IDRISI Taiga.

### Cálculo de índices

Los índices se calcularon utilizando la banda roja, la banda infrarroja y la línea de suelo. Hay parte de los índices que solo son calculados con las dos bandas, en cambio, una parte de los índices, es necesario el cálculo de la línea de suelo.

El proceso el cual se sigue para la determinación de los diferentes parámetros es el siguiente, luego, según el índice a determinar, se utiliza la línea de suelo o solo las bandas roja e infrarroja:

1. Se descomponen las imágenes descargadas, falso color y pseudocolor. De las cuales obtenemos las 4 bandas necesarias para el cálculo de los diferentes índices. La banda 3 corresponde a la banda del rojo, y la banda 4 a la infrarroja.
2. Una vez determinadas las bandas necesarias para el cálculo de la mayoría de los índices, se necesita determinar la línea de suelo, para los índices de la gama PVI y sus variantes además de SAVI
  - a. En primer lugar se determina una imagen en la cual se determina el suelo únicamente
  - b. En segundo lugar se realiza una regresión entre las dos bandas principales y la imagen del suelo. Esto nos proporciona una recta de regresión la cual el punto de corte identifica el valor de corte en el suelo.

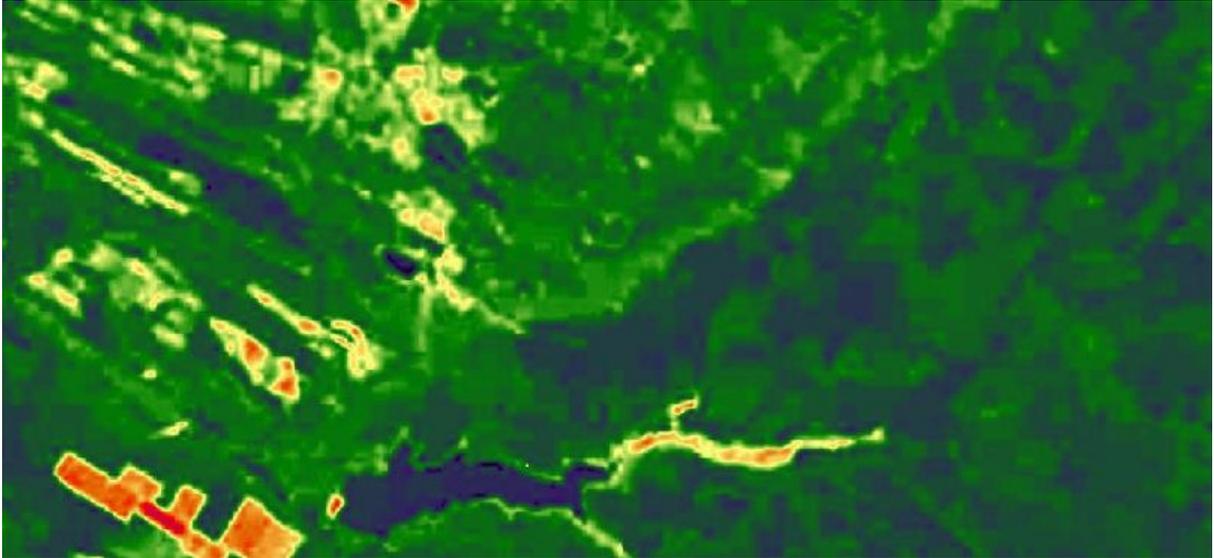
### Comparación de los índices

Para la comparación de los índices, que es la base de este trabajo, se realizaron diferentes comparaciones, explicadas a continuación.

- En primer lugar se ha realizado una comparación visual de los diferentes índices. Para aplicar este método se valorará la nitidez de las imágenes, diferenciación de diferentes cubiertas y detección de masas de agua.
- El siguiente método utilizado es la comparación de los componentes principales de las imágenes, el cual nos proporciona información sobre el porcentaje de varianza explicada por cada componente y los coeficientes (cargas) de cada imagen de entrada en cada componente

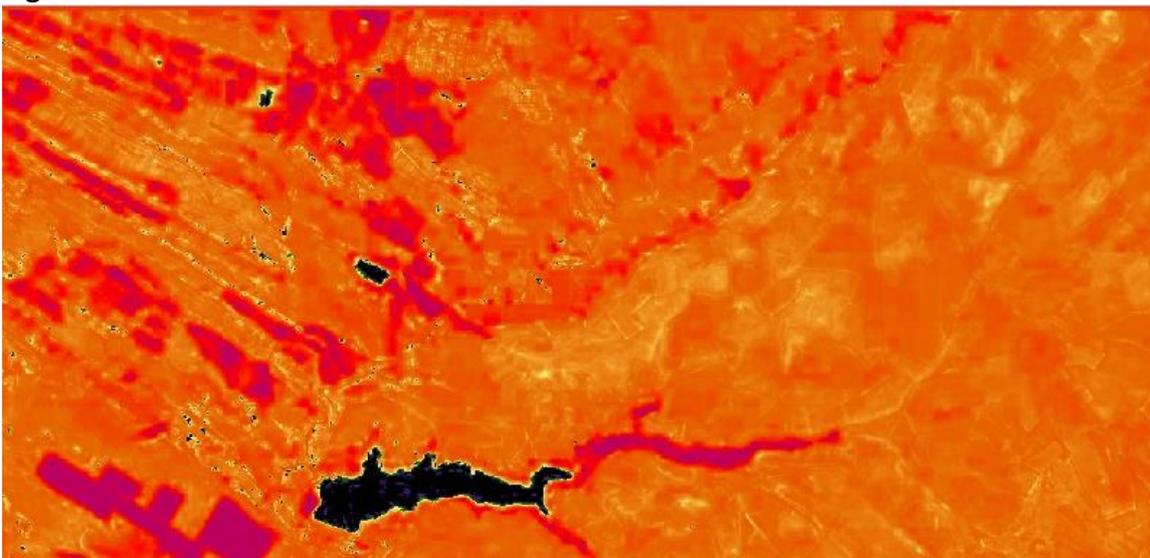
## **Resultados y discusión:**

**Figura 6:** Resultado del análisis AVI



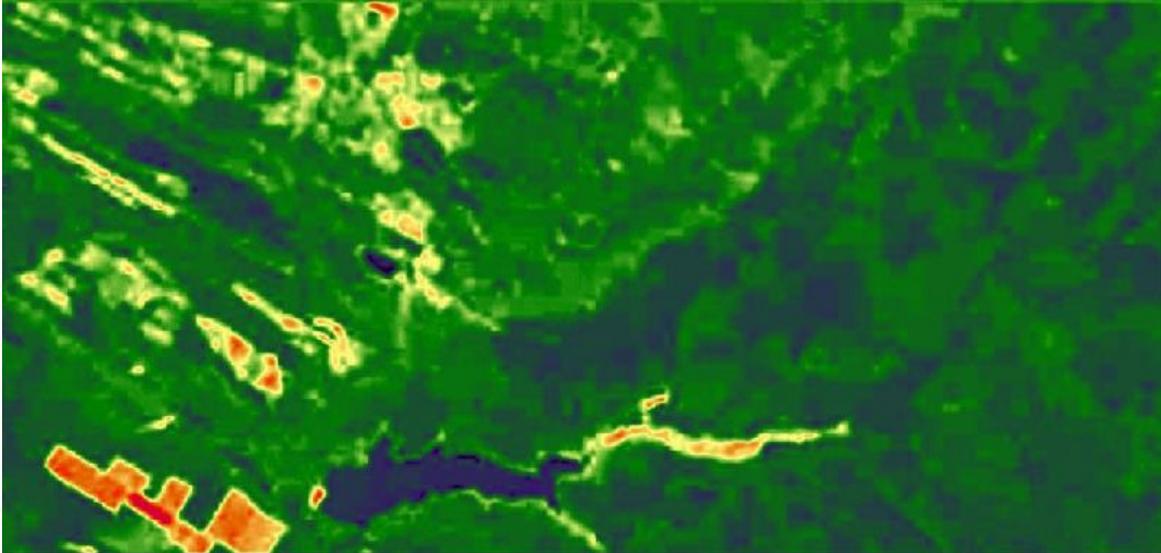
Este índice distingue perfectamente el cultivo de maíz y pequeños campos de arrozales, por el contrario, no detecta con demasiada nitidez el bosque y las masas de agua no son diferenciadas claramente.

**Figura 7:** Resultado del análisis CTVI



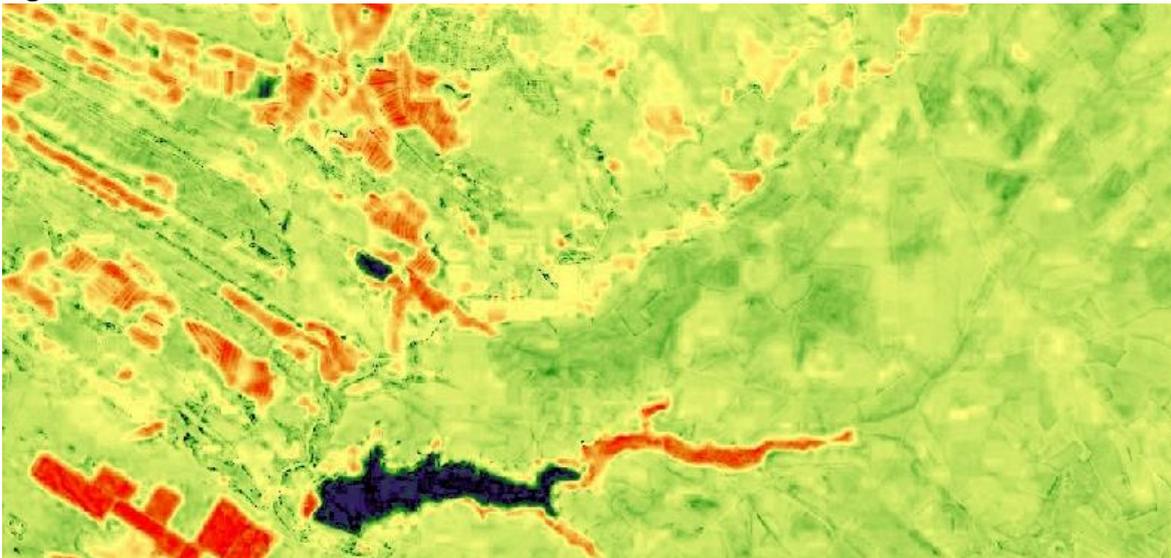
Este índice detecta con mucha claridad las masas de agua, campos de cultivo además de bosque autóctono, no define con mucha claridad el bosque autóctono.

**Figura 8:** Resultado del análisis DVI



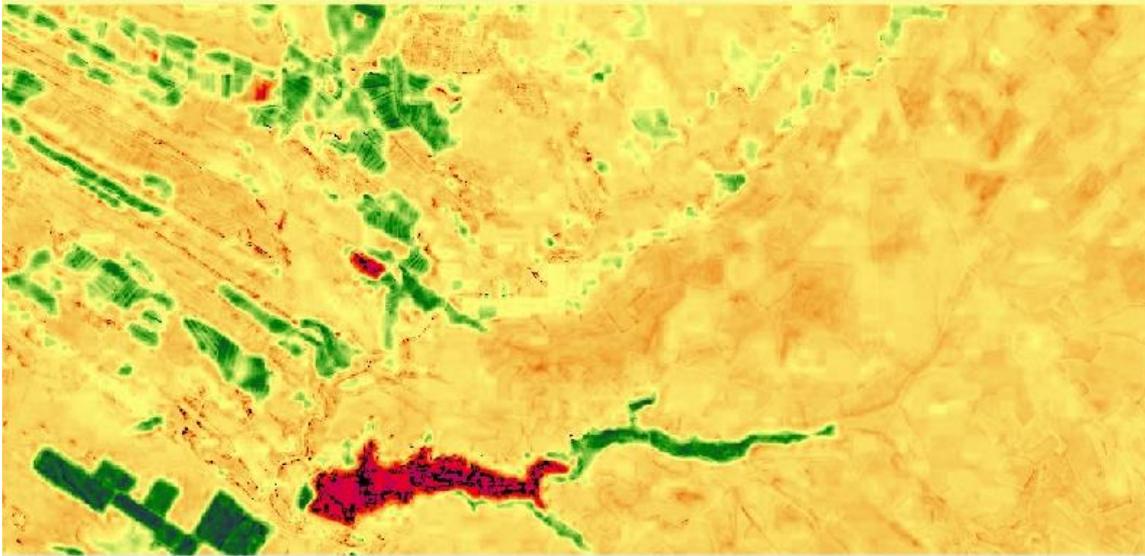
Este índice detecta con claridad los cultivos, no detecta con claridad la vegetación autóctona y las masas de agua, confundiéndola con suelos desnudo.

**Figura 9:** Resultado del análisis NDVI



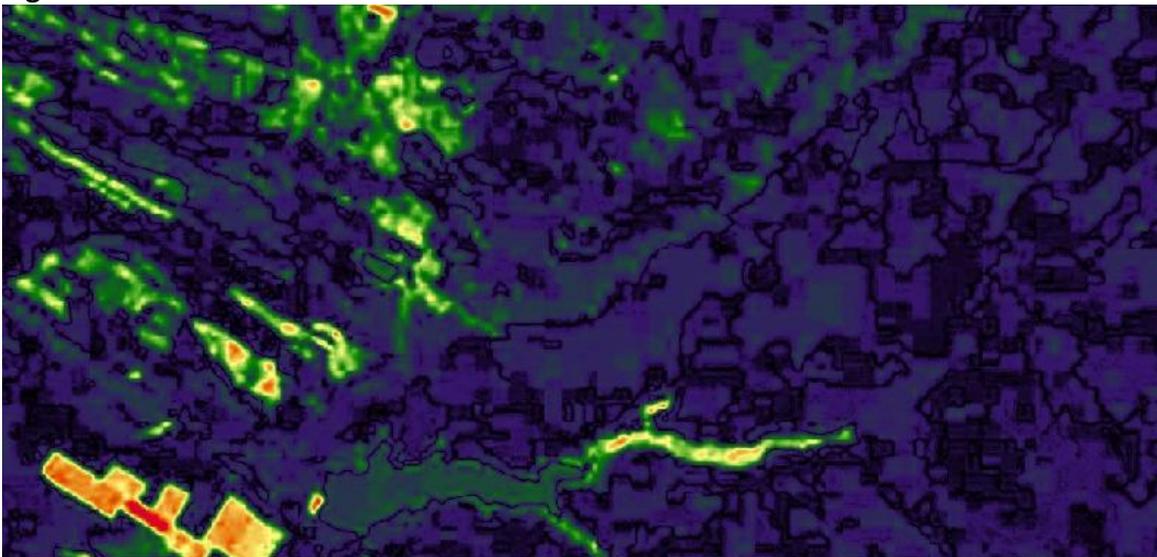
Se puede distinguir campos de cultivo, zonas de bosque y masas de agua.

**Figura 10:** Resultado del análisis NRVI

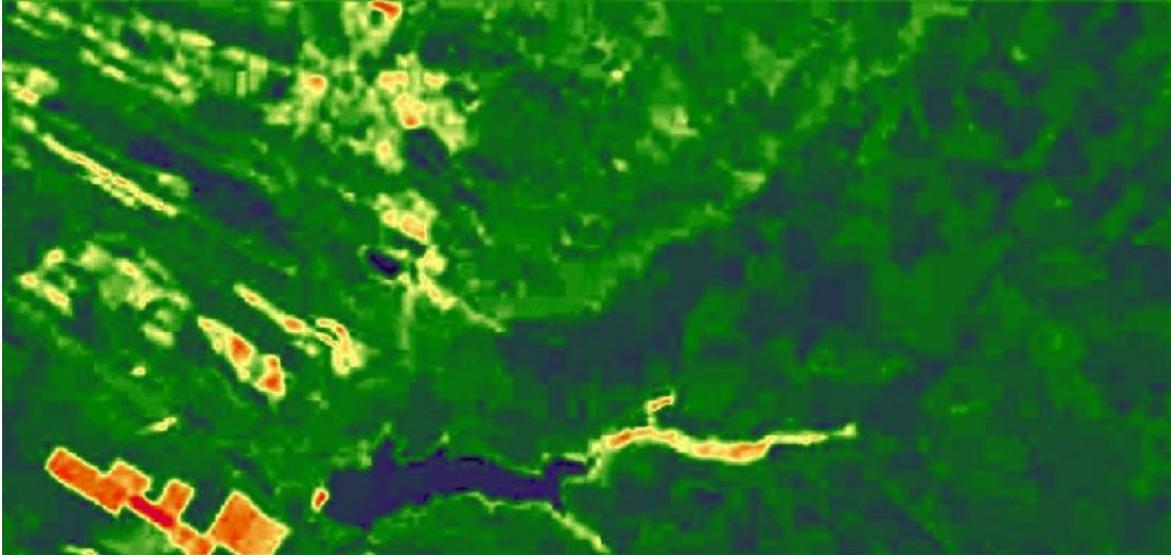


Distingue con claridad masas de agua, cultivos y parte de la vegetación autóctona

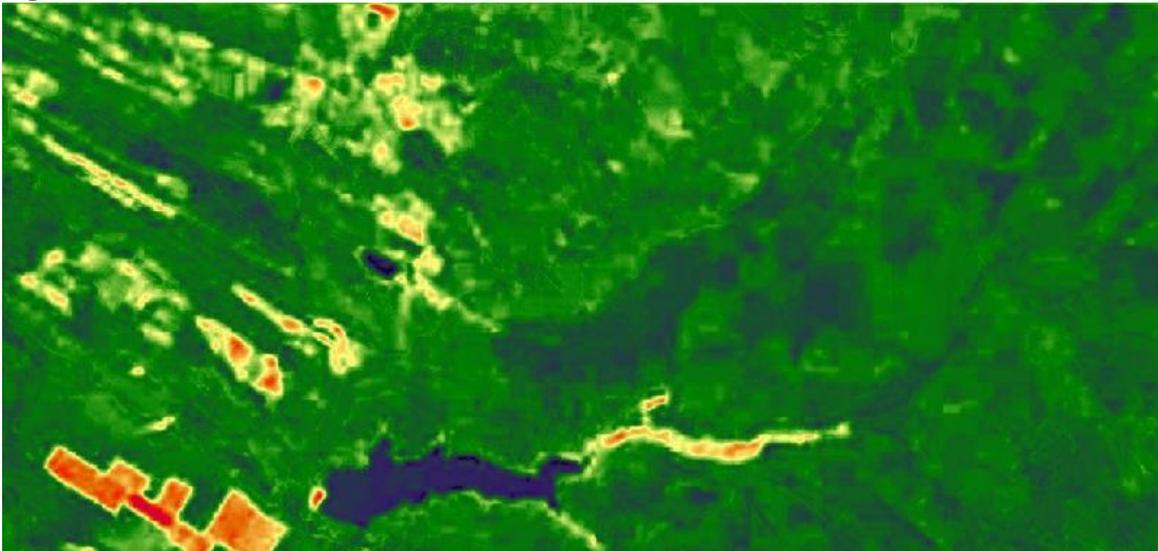
**Figura 11:** Resultado del análisis PVI



Se puede observar como detecta cultivos, no distinguiendo el resto de los factores

**Figura 12:** Resultado del análisis PVI1

Este índice detecta parte de los cultivos de forma nítida, perdiendo eficacia en campos de pequeñas dimensiones, no detecta con claridad la vegetación autóctona y las masas de aguas pueden ser confundidas con suelo desnudo.

**Figura 13:** Resultado del análisis PVI2

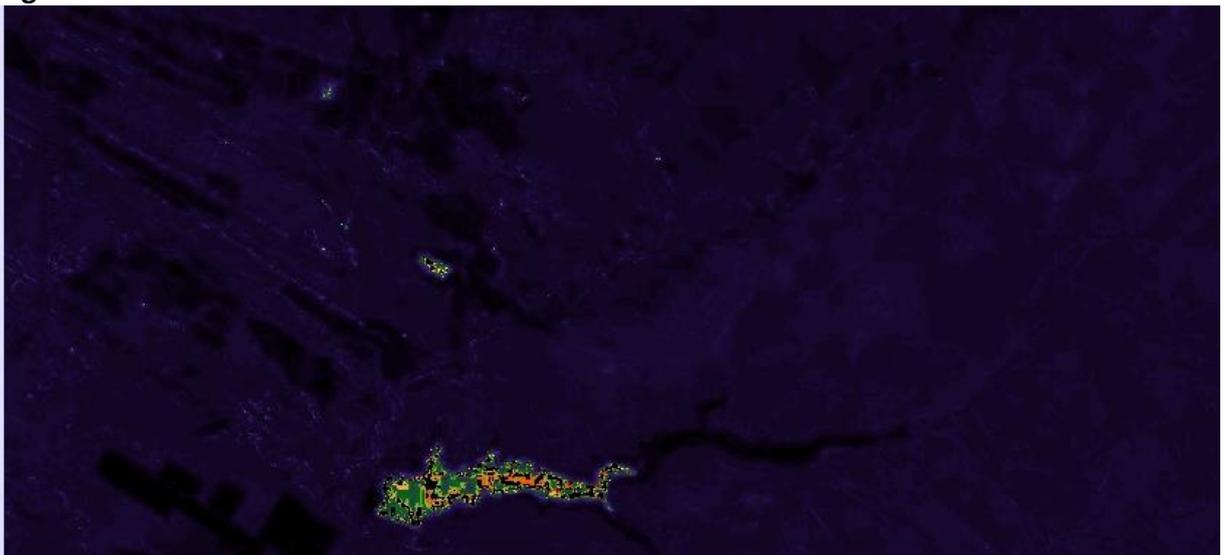
Se puede observar que este índice detecta bien campos de cultivo extensos, no distinguiendo con claridad los que son de pequeñas dimensiones, falla en la detección de vegetación autóctona y las masas de agua las distingue con cierta nitidez.

**Figura 14:** Resultado del análisis PVI3

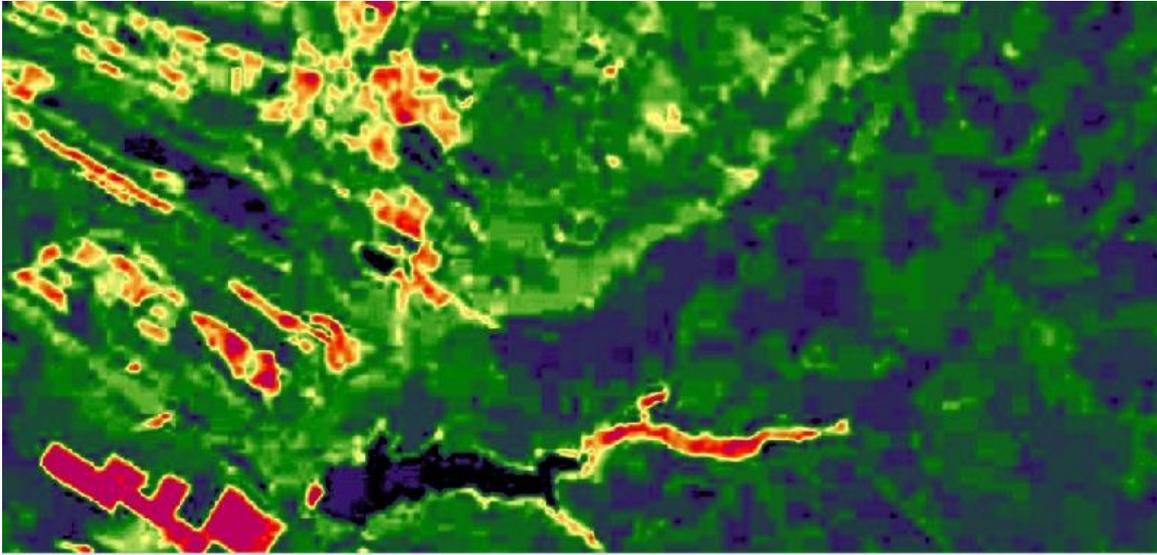


Este índice detecta con claridad las masas de agua, y la vegetación autóctona, no detecta con claridad los campos de cultivo.

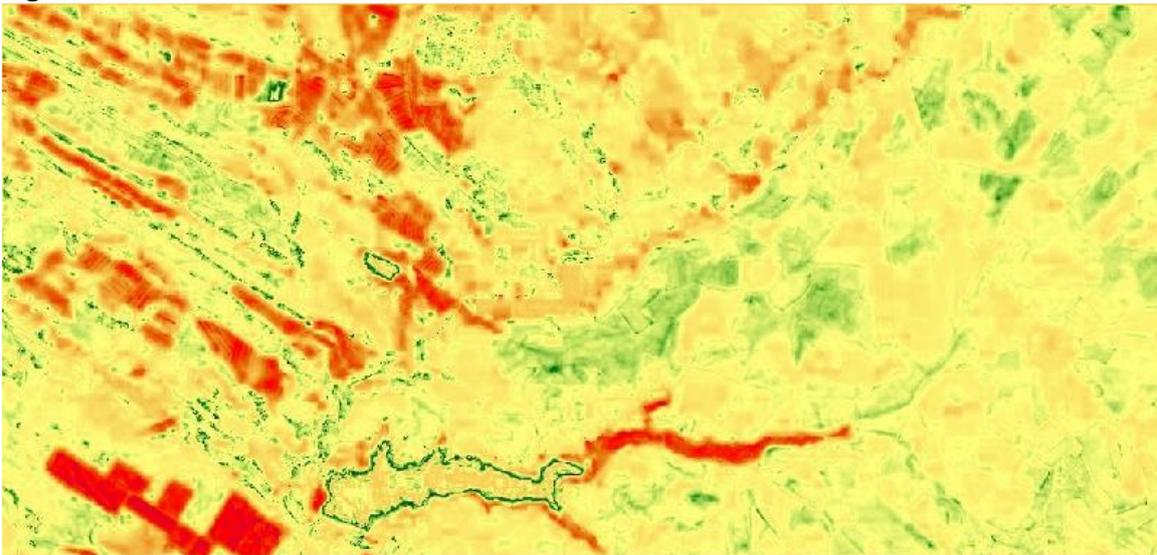
**Figura 15:** Resultado del análisis RVI



Este índice detecta masas de agua y parte de los cultivos.

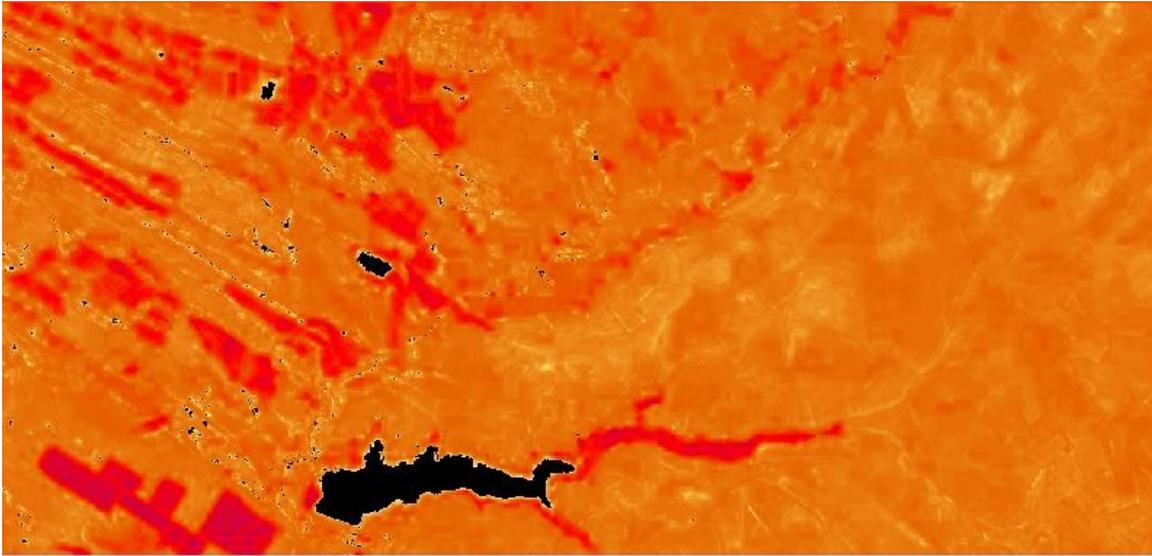
**Figura 16:** Resultado del análisis SAVI

Se observa que este índice detecta con poca nitidez los campos de cultivo, no distingue vegetación autóctona y confunde masas de agua.

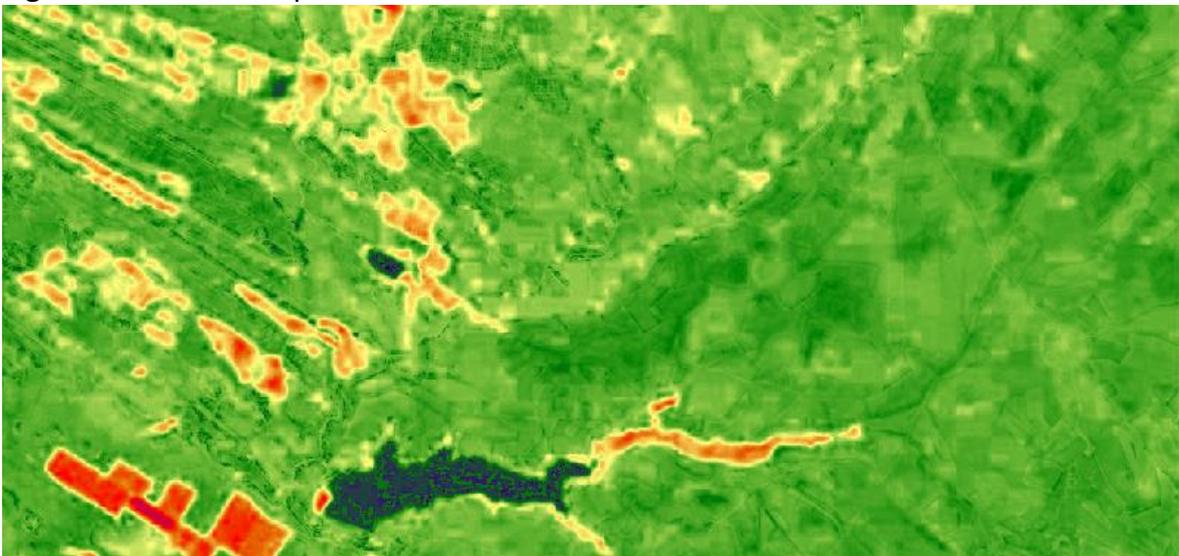
**Figura 17:** Resultado del análisis TTVI

Se observan los campos de cultivo y parte de la vegetación, no distinguiendo masas de agua.

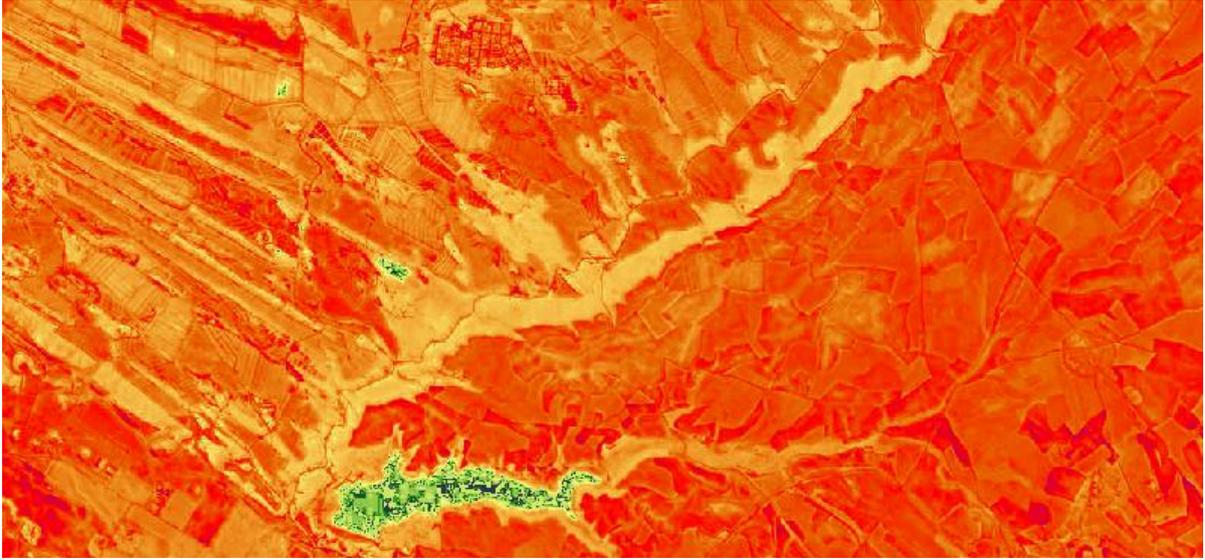
**Figura 18:** Resultado del análisis TVI



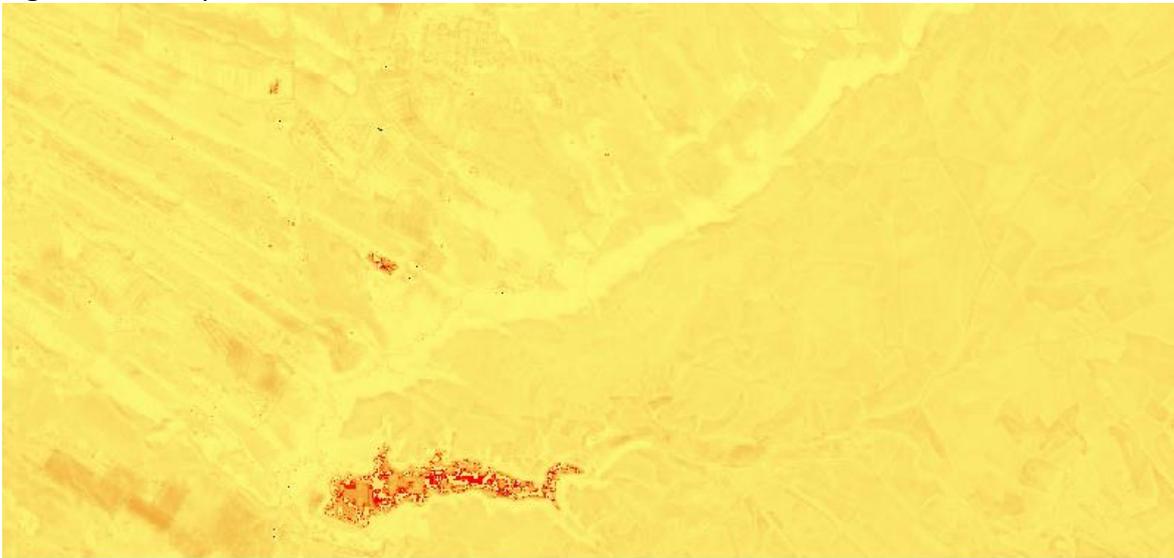
**Figura 19:** Primer componente

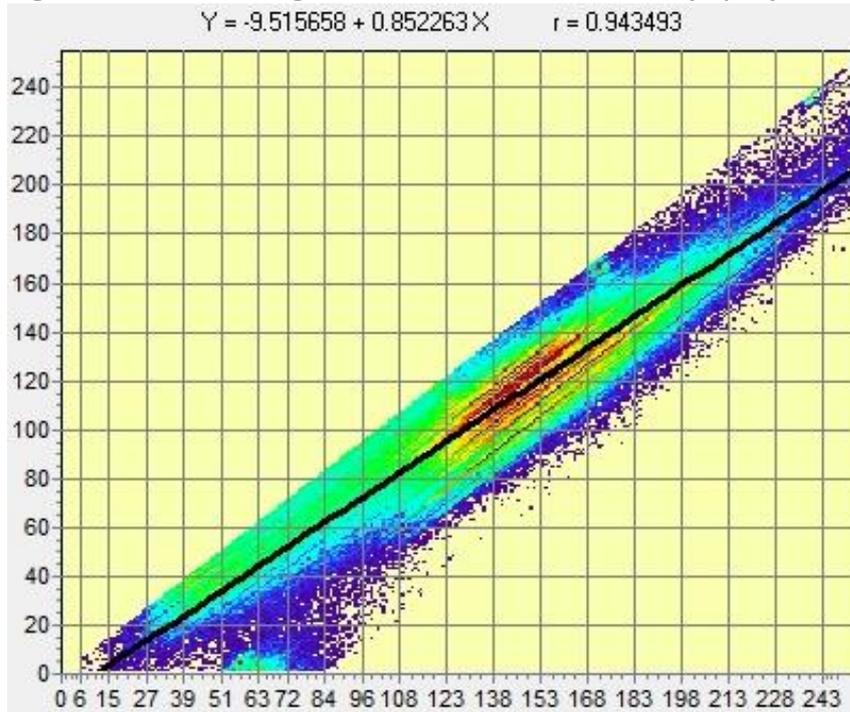


**Figura 20:** Segundo componente



**Figura 21:** Componente tres



**Figura 22:** Línea de regresión entre la banda infrarroja y roja

El coeficiente de correlación es muy alto, (cercano a 1) lo cual indica que la relación entre la reflectancia de color rojo y el infrarrojo para estos píxeles suelo desnudo está bien definido por una ecuación lineal.

**Figura 23:** Resultado del análisis de componentes principales, en los diferentes índices estudiados.

COMPONENT	C1	C2	C3	C4
% var.	60	17	9	8
LOADING	C1	C2	C3	C4
CTVY	0,766	0,342	-0,358	-0,042
DVI	0,967	-0,204	0,057	-0,011
NDVI	0,946	0,131	-0,153	-0,001
NRVI	-0,871	0,005	0,144	-0,005
PVI1	0,967	-0,204	0,057	-0,011
PVI2	0,983	-0,062	0,106	-0,003
PVI3	-0,253	-0,907	-0,328	-0,050
PVI	0,844	-0,277	0,238	0,016
RVI	-0,321	-0,415	0,788	0,124
SAVI	0,958	-0,247	0,039	-0,014
TTVI	0,922	-0,106	0,173	0,048
WDVI	0,316	0,886	0,329	0,049

Información sobre el porcentaje de varianza explicada por cada componente y los coeficientes (cargas) de cada imagen de entrada en cada componente.

## **Conclusiones**

Los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Fin de Carrera han permitido extraer las siguientes conclusiones:

- Los índices que mejor se ajustan visualmente al territorio, son el NDVI y el NRVI.
- El índice que detecta las masas de agua con mejor ajuste es el TVI
- El análisis de componentes principales indica que los índices que mejor se ajustan son el NDVI, DVI, PVI1, PVI2, SAVI Y TTVI

## **Bibliografía.**

- Ashburn, P., 1978. The vegetative index number and crop identification
- A. Vercher, M. A. Gilabert, F. Camacho de Coca y J. Meliá. Influencia del ángulo cenital de iluminación en los índices de vegetación
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. y Huete, A. R. 1995. A review of vegetation indices
- Bannari, A., Huete, A. R., Morin, D., y Zagolski, 1996. Effets de la Couleur et de la Brillance du Sol Sur les Indices de Végétation
- Baret, F., and Guyot, G., 1991. Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment
- Brian D. Wardlow y Stephen L. Egbert, 2009. A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: a case study for southwest Kansas
- Carbacho Bart,L. y Sanchez Martinez, M, 2010 . Comparación de índices de vegetación a partir de imágenes MODIS en la región del libertador Bernardo O’Higgins
- C. Mattar, J. A. Sobrino, J. P. Wigneron, J. C. Jiménez-Muñoz y Y. Kerr, 2011. Estimación de la humedad del suelo a partir de índices de vegetación y microondas pasivas
- Deering, D. W., Rouse, J. W., Haas, R. H., y Schell, J. A., 1975. Measuring “Forage Production” of Grazing Units From LANDSAT MSS Data
- Fuming Wang; Jingfeng Huang y La Chen, 2010. Development of a vegetation index for estimation of leaf area index based on simulation modeling
- F. Gonzalez; M.Dauden y J.M. Ureña, 1986. Clasificación de imágenes a partir de índices de vegetación.

- H. Schmidt; A. Karmieli 2001. Sensitivity of vegetation indices to substrate brightness in hyper-arid environment: the Makhtesh Ramon Crater (Israel ) case study
- Huete, A. R., 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)
- J.A. Delgados; P. Illera y P. Rodriguez, clasificación de imágenes a partir de índices de vegetacion.Aplicacion en una zona piloto de la Comunidad Autonoma de Cantabria
- J.T. Al-Bakrio y A.S. Suleiman, 2004. NDVI response to rainfall in different ecological zones in Jordan
- J.Qi; A. Chehbouni; A.R. Huete; Y.H. Kera; S. Soraashiar, 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index
- M. Bisquert, J. M. Sánchez, V. Caselles, M. I. Paz Andrade y J. L. Legido, 2009. Los índices de vegetación como indicadores del riesgo de incendio con imágenes del sensor TERRA-MODIS
- Perry, C. Jr., y Lautenschlager, L. F., 1984. Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices, Remote Sensing and the Environment
- P.M. Seevers; R.W. Ottmann, 1994. Evapotranspiration estimation using a normalized difference vegetation index transformation of satellite data
- Qi, J., Chehbouni A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., y Sorooshian, S., 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index
- Ray D.Jackson y Alfredo R. Huete. (1991). Interpreting vegetation indices
- R. D., Slater, P.N. y Pinter, P.J. 1983. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres.

- Rouse, J. W. Jr., Haas, R., H., Deering, D. W., Schell, J. A., y Harlan, J. C., 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation.
- Richardson, A. J., y Wiegand, C. L., 1977. Distinguishing Vegetation From Soil Background Information, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing
- Richardson, A. J., y Wiegand, C. L., 1977. Distinguishing Vegetation From Soil Background Information
- R. Isla y R. Lopez-Lozano. Comparación de distintos índices de vegetación para detectar deficiencias de nitrógeno en maíz
- Rondeaux, G., Steven, M. y Baret, F. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices.
- Sancha Navarro, E.F. (2010): El estudio de los índices de vegetación como base para conocer las relaciones entre la vegetación y el clima.
- Ts. Purevdorj; R. Tateishi; T. ishiyama; Y. Honda. 1998. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices
- T. Javzandulan; R. Tateishi y T. Sanjaa 2005. Analysis of vegetation indices for monitoring vegetation degradation in semi-arid and arid areas of Mongolia