

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR LA VARIACIÓN  
ESPACIO-TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL  
MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE LA GEOMÁTICA, VALLE DE  
CAÑETE”**

Presentado por:

NEVENCA CHOLAN RODRÍGUEZ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA

Lima-Perú

2018

## **DEDICATORIA**

A Dios y a mí querida familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Néstor Montalvo Arquíñigo asesor y gestor del presente trabajo por su apoyo, enseñanza, sugerencias y comentarios en todo este tiempo.

Al MSc. Edison Cholan Rodríguez coasesor del presente trabajo por su apoyo, enseñanza constante de entender la Teledetección y sugerencias en todo momento.

A la Junta de Usuarios del Valle de Cañete en especial al Ing. Luis Yampufe por haberme brindado la información de campo requerida.

A mí querida madre Ana Rodríguez Pinedo y a mis hermanos Edgar y Samuel por su paciencia, apoyo y comprensión en todo este tiempo.

A mí estimado amigo Paul De la Cuba E., por su apoyo en todo este tiempo.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	Planteamiento del problema .....	2
1.2	Hipótesis.....	2
1.3	Objetivo general .....	3
1.3.1	Objetivos específicos.....	3
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Generalidades .....	4
2.2	Componentes de la teledetección .....	5
2.3	Fundamentos físicos de la teledetección .....	6
2.3.1	Espectro de Ondas Electromagnético.....	7
2.3.2	Radiación electromagnética emitida por un cuerpo .....	7
2.3.3	Reflectancia de la cubierta de la superficie terrestre .....	8
2.4	Plataformas satelitales y sensores.....	10
2.4.1	Imágenes Satelitales .....	10
2.4.2	Características generales del satélite Landsat.....	12
2.4.3	Características generales del satélite TERRA .....	14
2.5	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) .....	17
2.5.1	Cobertura vegetal .....	19
2.6	Temperatura de la Superficie Terrestre (LST) .....	19
2.6.1	Temperatura y emisividad de la superficie terrestre MOD11 .....	20
2.7	Sistema de Información Geográfica (SIG).....	21
2.7.1	Componentes de SIG.....	21
2.7.2	Modelos de Datos.....	22
2.7.3	Geodatabase (GBD) .....	22
2.7.4	ArcGIS .....	23
2.7.5	Mapa temático .....	23

III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
3.1	Área de estudio.....	24
3.1.1	Ubicación .....	24
3.1.2	Clima.....	26
3.1.3	Fisiografía.....	26
3.1.4	Hidrografía .....	26
3.1.5	Actividad principal.....	27
3.1.6	Vientos .....	27
3.2	Materiales .....	28
3.2.1	Mapas temáticos.....	28
3.2.2	Imágenes de Sensores Remotos .....	29
3.2.3	Datos de campo .....	32
3.2.4	Materiales de escritorio y Equipos .....	32
3.2.5	Softwares.....	33
3.3	Metodología .....	33
3.3.1	Fase Preliminar.....	34
3.3.2	Fase Campo.....	35
3.3.3	Fase de Procesamiento de información digital.....	36
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	50
4.1	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	50
4.2	Análisis de las imágenes ASTER.....	56
4.3	Análisis de las imágenes MODIS.....	70
4.3.1	Relación de LST, Temperatura ambiental y NDVI.....	70
V.	CONCLUSIONES .....	73
VI.	RECOMENDACIONES .....	75
VII.	REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS.....	76
VIII.	ANEXOS.....	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Características generales de la serie Landsat (Williams, 2004). .....	13
Tabla 2.2: Distribución de las bandas en OLI Y TIRS – Landsat 8. ....	14
Tabla 2.3: Características orbitales del satélite TERRA. ....	15
Tabla 2.4: Características generales del sensor ASTER (Abrams, 1998). ....	15
Tabla 3.1: Características de las imágenes Landsat utilizadas. ....	29
Tabla 3.2: Características de los datos imágenes ASTER utilizadas. ....	30
Tabla 3.3: Especificaciones del producto MOD13A2. ....	31
Tabla 3.4: Especificaciones del producto MOD11A2. ....	31
Tabla 3.5: Descripción de las variables que intervienen en la radiancia espectral. ....	38
Tabla 3.6: Convención de nomenclatura de archivos. ....	39
Tabla 4.1: Área de la cobertura vegetal de las 17 imágenes del índice de vegetación normalizada (NDVI). ....	52
Tabla 4.2: Estadística descriptiva de los valores de NDVI para el área de estudio. ....	55
Tabla 4.3: Áreas de cobertura vegetal en el área 2. ....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1: Componentes de la teledetección.....	6
Figura 2. 2: Espectro de onda electromagnética (Slater, 1980).....	7
Figura 2. 3: Áreas con mayor vegetación absorben más luz visible y el infrarrojo cercano refleja más luz hacia el espacio. Los satélites pueden detectar estas diferencias relativas, que se utilizan para crear índices de vegetación.....	9
Figura 2.4: Ubicación de un pixel en una imagen satelital multiespectral.....	10
Figura 2. 5: Firmas espectrales reales (Adoptado de Bon y Rochon, 1992). ....	11
Figura 2. 6: Comparación espectral de bandas Terra-ASTER y Landsat 7/8. ....	16
Figura 2. 7: Rejilla global utilizada para la distribución de productos derivados del sensor MODIS. ( <a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a> ). ....	17
Figura 2. 8: Componentes del Sistema de Información Geográfica.....	21
Figura 2. 9: Representación de datos espaciales en un Sistema de Información Geográfica.....	22
Figura 3.1: Ubicación del área de estudio en el Valle de Cañete. ....	25
Figura 3.2: Red de drenaje del Valle de Cañete.....	27
Figura 3.3: Mapa de pendientes del Valle de Cañete.....	28
Figura 3. 4: Diagrama del procedimiento de análisis de las imágenes satelitales. ....	34
Figura 3. 5: Áreas de variación espacio-temporal del NDVI en el área de estudio.....	35
Figura 3.6: Relación entre el Número Digital y la Radiancia espectral ( $L_{\lambda}$ ).....	37
Figura 3.7: Módulo MCTK con un archivo producto MODIS de NDVI.....	41
Figura 3.8: Ventana del módulo FLAASH en ENVI 5.1. ....	44

Figura 3.9: NDVI de la imagen Landsat TM de fecha 09/03/2006, usando las bandas 3 y 4 de la reflectancia .....	46
Figura 3.10: NDVI de la imagen Landsat 8 de fecha 13/04/2013, usando las bandas 4 y 5 de la reflectancia. ....	47
Figura 3. 11: Rango de valores de NDVI.....	48
Figura 3. 12: Mapa de NDVI de la imagen Landsat 8. ....	49
Figura 4.1: Ubicación de un punto de referencia en coordenadas UTM (351311m E, 9276985m N) del Zoom [4x]. Imagen de NDVI del sensor TM de fecha 22/12/2006. ....	51
Figura 4. 2: Variación espacial de la cobertura vegetal durante el periodo de 2003 al 2013 estimada de las imágenes satelitales a través de NDVI.....	53
Figura 4. 3: Variación porcentual de los estados de salud de la vegetación durante el periodo de 2003 al 2013.....	54
Figura 4. 4: Variación del porcentaje según características del suelo durante el periodo de 2003 al 2013.....	55
Figura 4. 5: Áreas de variación espacio-temporal del NDVI en el área de estudio, Valle de Cañete. ....	56
Figura 4. 6: Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada en el área 1. ....	57
Figura 4. 7: Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada del área 2. ....	58
Figura 4. 8: Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada del área 3. ....	59
Figura 4. 9: Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada en el área 4. ....	60

Figura 4. 10 : Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada en las 4 áreas de interés.....	61
Figura 4. 11: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (352890m E, 8554915m N). .....	62
Figura 4. 12: Gráfica de Área de construcciones de viviendas vs Tiempo (años). .....	63
Figura 4. 13: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (350235m E, 8570575m N). .....	64
Figura 4. 14: Gráfica de Área de cobertura vegetal vs Tiempo (años).....	65
Figura 4. 15: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (361020m E, 8547340m N). .....	66
Figura 4. 16: Gráfica de Área de cobertura vegetal vs Tiempo (años).....	67
Figura 4. 17: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (344925m E, 8557075m N). .....	68
Figura 4. 18: Gráfica de Área de construcciones de viviendas vs Tiempo (años). .....	69
Figura 4. 19: Gráfica de la serie de tiempo de la temperatura ambiental y el LST. ....	70
Figura 4. 20: Gráfica de dispersión de la serie temporal de la temperatura ambiental y la temperatura superficial terrestre (LST) para el período 2004-2015. ....	71
Figura 4. 21: Gráfica de la serie de tiempo de la temperatura ambiental y el NDVI. ....	72
Figura 4. 22: Gráfica de dispersión de la serie temporal de la temperatura ambiental y el NDVI para el período 2004-2015.....	72

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Áreas de cultivo de la Comisión de Regantes del Valle de Cañete.....	81
ANEXO 2: Caudal medio en las comunidades que pertenecen al Valle de Cañete.....	81
ANEXO 3: Áreas de cultivo de las comunidades que pertenecen al Valle de Cañete. ....	82
ANEXO 4: Comparación de Intensidades de siembra. ....	83
ANEXO 5: Área bajo riego para la campaña de siembra 2010-2011. ....	84
ANEXO 6: Demanda hídrica agrícola para la campaña de siembra 2004-2005. ....	84
ANEXO 7: Precipitación total mensual de la Estación Cañete.....	85
ANEXO 8: Temperatura ambiental de la Estación Cañete. ....	86
ANEXO 9: Mapas de Índice de vegetación de Diferencia Normalizada. ....	87
ANEXO 10: Tabla de Porcentaje de áreas de los Mapas de NDVI. ....	96
ANEXO 11: Fotografía de la reunión con la Junta de Usuarios del Valle de Cañete.....	98
ANEXO 12: Fotografía de la vista panorámica del río Cañete – aguas abajo. ....	99
ANEXO 13: Fotografía de la visita de campo al distrito San Vicente de Cañete .....	99
ANEXO 14: Fotografía de visita de campo al distrito Quilmaná. ....	100
ANEXO 15: Fotografía de visita de campo al distrito San Luis .....	100
ANEXO 16: Población 200 al 2015 - INEI.....	101

## RESUMEN

El estudio tiene como finalidad identificar la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en el Valle de Cañete, mediante las técnicas de la Geomática en el período del 2003 al 2015. El área de estudio se ubica en el Valle de Cañete en la costa sur del departamento de Lima, entre las coordenadas geográficas  $12^{\circ}56'37''$  y  $13^{\circ}09'09''$ , Latitud Sur,  $76^{\circ}29'31''$  y  $76^{\circ}11'00''$ , Longitud Oeste, cuya variación altitudinal es de 0.00- 250.00 m.s.n.m y una extensión de 39,113.91 hectáreas. Las imágenes satelitales utilizadas fueron de los sensores TM, ETM+, OLI y TIRS, estas imágenes fueron obtenidas del servidor United States Survey (USGS) con los cuales se generaron los Mapas de Índice de Vegetación de diferencia Normalizada (NDVI), se discriminó cobertura vegetal, suelo y agua. En el caso de la cobertura vegetal se muestran tres rangos indicando el estado de salud o vigor vegetativo. Además se presenta la extensión de la cobertura vegetal en hectáreas y porcentaje en el área de estudio. Otras imágenes utilizadas fueron las 15 imágenes ASTER 1A con las que se realizó el análisis de espacio- temporal de la cobertura vegetal, teniendo como resultado un incremento de cobertura vegetal en el distrito de Quilmaná en el área 2 con un valor de NDVI inicial de 0.08 para el 2003 y 0.52 en el 2013, de igual manera en el distrito de San Vicente de Cañete en el área 3 con un valor de NDVI inicial de 0.05 para el 2003 y 0.29 en el 2013. Finalmente las imágenes del Producto MODIS MOD13A2 (NDVI) y MOD11A2 (LST) se utilizó con la finalidad de correlacionar las series promedio mensual de Temperatura superficial terrestre vs Temperatura ambiental de Cañete, obteniendo una buena correlación. Luego se correlacionó la Temperatura ambiental vs NDVI, teniendo como resultado una correlación alta. Los valores de NDVI son altos en condiciones favorables.

**Palabras claves:** Cobertura vegetal, NDVI, LST, LANDSAT, ATSER Y MODIS.

## **ABSTRACT**

It is the aim of this study is to identify the temporal-spatial variation of the land cover in the Cañete Valley, using Geomatics techniques during the 2003 - 2015 periods. The study area is located in the Cañete Valley on the south coast of the department of Lima, between latitude  $12^{\circ} 56' 37''$  -  $13^{\circ} 09' 09''$  south, and longitude  $76^{\circ} 29' 31''$  -  $76^{\circ} 11' 00''$  west, with an altitudinal variation from 0.00 - 250.00 m. and an extension of 39,113.91 hectares. The satellite images that were used for the present study came from the TM, ETM +, OLI and TIRS sensors, these images were obtained from the United States Survey (USGS) server in order to generate the Normalized Difference Vegetation Index Maps (NDVI), the land cover, soil and water were discriminated. In the case of the land cover, three ranges were given to indicate the state of health or vegetative vigor. In addition, the extension of the land cover is presented in hectares and percentage in the study area. Another 15 ASTER Level-1A images were used to carry out the temporal-spatial analysis of the land cover, resulting in an increase in the land cover in the district of Quilmaná in the area 2 with an initial NDVI value of 0.08 in 2003 and 0.52 in 2013, likewise in the district of San Vicente de Cañete in the area 3, an initial NDVI value was of 0.05 in 2003 and 0.29 in 2013. Finally, the images from the MODIS MOD13A2 (NDVI) and MOD11A2 (LST) Product were used in order to correlate the average monthly series of the Temperature of the Earth's surface vs. Cañete's environmental temperature, obtaining a good correlation. Then correlations between the environmental temperature vs NDVI were made, resulting in a high correlation. The NDVI values are high under favorable conditions.

**Key words:** Land cover, NDVI, LST, LANDSAT, ASTER and MODIS.

## I. INTRODUCCIÓN

En estos momentos donde se tiene los avances de la ciencia y tecnología, la Geomática que incluye la Teledetección, los Sistemas de Información Geográfica entre otros permiten caracterizar la superficie terrestre, e identificar zonas críticas, zonas vulnerables, sus potencialidades y limitaciones de su territorio con la finalidad de ayudar a la toma de decisiones para contribuir a la solución de problemas y desarrollo de proyectos.

La teledetección ha sido utilizada como valiosa herramienta y determinante para establecer indicadores de degradación y conservación de recursos naturales, de manera especial en evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales. Un aporte destacado de la teledetección espacial al estudio medioambiental es su capacidad de seguir procesos dinámicos ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la tierra desde una órbita estable y repetitiva (Chuvienco 1998).

Los sensores remotos integrados a sistemas de información geográfica presentan un uso cada vez más frecuente en la producción agrícola, principalmente monitoreo de la evolución de cultivos y mapeo de plagas actualizado (Holmstrom *et al.* 2001), aplicación de agricultura de precisión (MacRae 1989) y modelación espacial para la predicción de cosecha (Jhonson 1989). Estas herramientas representan un soporte importante para apoyar la toma de decisiones mediante sistemas de planeación a escala regional en los distritos de riego (Alexander *et al.* 2005).

Sun (2000) resalta la importancia del uso de sensores remotos para el monitoreo dinámico del crecimiento de los cultivos y estimación de las cosecha basados en los principios biofísicos de la percepción remota.

En la actualidad existen diversos satélites de diferentes resolución espacial, temporal y espectral apropiados para varias aplicaciones agrícolas. (Moran *et al.* 2002). A este respecto, los sensores remotos ofrecen técnicas metodológicas que pueden ser útiles debido a su análisis sinóptico, dada su alta información espacial y sus mediciones frecuentes de una parcela en el campo. En este marco, se ha coordinado con la Junta de Usuarios de Cañete a fin de realizar una investigación usando las técnicas de la Geomática para identificar la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en el Valle de Cañete que permitirá el desarrollo de proyectos y el aprovechamiento de sus recursos naturales e hídricos.

## **1.1 Planteamiento del problema**

El Valle de Cañete se ubica en los distritos políticos de Imperial, y San Luis, abarcándolos en su totalidad y en parte de los distritos de San Vicente de Cañete, Cerro Azul, Nuevo Imperial, Quilmaná y Lunahuana, provincia de Cañete, departamento de Lima. El área de estudio presenta una extensión de 39,113.91 hectáreas.

La fuente de agua de mayor importancia de la cuenca se encuentra representada por las descargas del río Cañete, las cuales permiten mantener bajo producción aproximadamente 26,764 ha de tierras agrícolas ubicadas en la llanura aluvial.

Cañete es una de las provincias pertenecientes a la cuenca del río Cañete, considerada como uno de los distritos más productivos de Lima debido a las condiciones favorables de relieve, calidad de suelos, disponibilidad hídrica y la habilidad de sus habitantes que la han convertido en una de las mejores provincias, explotada técnicamente en el campo de la agricultura nacional, por ello que la agricultura constituye la principal actividad socio-económica del valle y la cuenca del río Cañete.

El problema en el Valle de Cañete es que no hay un Plan de Cultivo y Riego (PCR) continuo debido a falta de presupuesto, personal no capacitado y mucho tiempo empleado para ordenar la información obtenida en campo de las Comisiones de Regantes. Este escenario hace imposible tener información actualizada de las áreas de siembra de diferentes cultivos y la variación espacio – temporal de la cobertura vegetal para proyectar su producción en el Valle de Cañete.

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de desarrollar una metodología usando las técnicas de la Geomática para identificar la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en el Valle de Cañete a partir de imágenes satelitales, que permitirá generar proyectos para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en la zona en beneficio de la población asentada en el Valle de Cañete. Estos trabajos de investigación contribuyen a las acciones que vienen realizando la Junta de Usuarios de Cañete y las Comisiones de Regante en sus Planes de Cultivo y Riego para futuras campañas agrícolas.

## **1.2 Hipótesis**

Es posible usando las técnicas de la Geomática identificar la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en el Valle de Cañete, utilizando imágenes satelitales: Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8, Aster y Modis en el período de 2003 al 2015.

### **1.3 Objetivo general**

Desarrollar una metodología usando las técnicas de la Geomática para identificar la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en el Valle de Cañete en el período del 2003 al 2015.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

- Construir a partir de imágenes satelitales y trabajo de campo una base de datos geoespacial para el período de 2003 al 2015 en el Valle de Cañete.
- Evaluar los valores de NDVI a partir de imágenes satelitales para el área de estudio en el Valle de Cañete en el período de 2003 al 2015.
- Realizar la correlación de temperatura ambiental Vs. Temperatura superficial terrestre, y Temperatura ambiental Vs. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en el Valle de Cañete.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades

La teledetección cada vez es más usada debido a los factores de mejora de la imagen, tratamiento e interpretación propiciando cada vez más su uso. A continuación tenemos una serie de aplicaciones de la teledetección:

El Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales, Intendencia de Recursos Hídricos, Administración técnica del distrito de riego de Mala-Omas-Cañete y la Junta de Usuarios de Cañete. (2004). Realizaron un Proyecto de Manejo y Gestión de los Recursos Hídricos del Valle de Cañete, mediante un Plan de cultivo y riego por campañas agrícolas del 2004 al 2005 y del 2010 al 2011.

Manjarrez et al, (2006). Utilizaron imágenes Landsat TM para el monitoreo y manejo de áreas agrícolas debido a su capacidad para diferenciar cultivos agrícolas mediante técnicas de separabilidad espectral del módulo 9 en el Municipio de Meoqui, Chihuahua. Estadísticas descriptivas apoyaron la discriminación espectral.

Alatorre *et al.* (2010). Analizaron la evolución temporal y espacial de la dinámica vegetal sobre varias coberturas en el Pirineo central, España. Las series fueron construidas a partir de imágenes Landsat TM y ETM+ para el período del 1984-2007. Los resultados muestran un incremento del NVDI en el mes de Marzo para las áreas vegetales, mientras que las áreas degradadas (cárcavas y zonas de riesgo de erosión) presentaron una tendencia negativa del NVDI.

Mendoza (2011). Utilizó imágenes satelitales registradas por el sensor ETM+ del satélite Landsat, ortorectificadas y con un porcentaje de nubes inferior al 10% de fecha 31-10-2001 de la región de Lambayeque. El análisis visual de estas imágenes le permitió identificar en forma cualitativa y cuantitativa, diferentes unidades hidrogeológicas y cubiertas terrestres, relacionadas con el agua subterránea.

Soca (2013). Utilizó imágenes de satélite Spot-5 y Landsat – 5 y 7, que mediante el NVDI se pudo observar la dinámica de las áreas de producción de la caña de azúcar de la Empresa Agroindustrial Pomalca durante el período de 2008 al 2009; además de encontrar una correlación de datos de CE (conductividad eléctrica) in situ con la reflectancia y el NVDI.

Badaracco (2014). Utilizó el parámetro físico de Índice de vegetación de diferencia normalizada (NVDI), ya que está relacionado con la conductividad eléctrica del suelo, para realizar la clasificación de salinidad en los suelos del Valle Chancay – Lambayeque para el período de 1999-2011, usando datos satelitales obtenidos por los sensores TM y ETM+. Registró la mayor cantidad de área o de distribución espacial de la vegetación entre las fecha 20/04/2008, 06/05/2008, 14/03/2009, y la de menor área se registró entre las fecha 13/12/2004, 22/12/2007 y 08/12/2008.

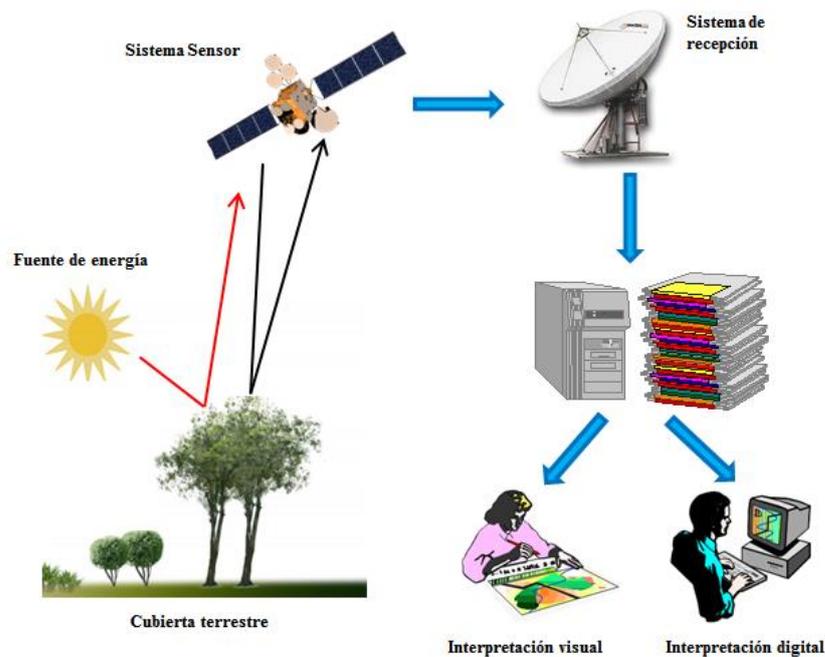
En los siguientes capítulos se desarrollará esta técnica para obtener información de la superficie terrestre y de sus cambios.

## 2.2 Componentes de la teledetección

Un sistema de teledetección espacial se compone de los siguientes elementos (Chuvieco 1996):

1. **Fuente de energía**, que supone el origen de la radiación electro-magnética que detecta el sensor. Puede tratarse de un foco externo a éste, en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o de un haz energético emitido por el sensor (teledetección activa). La fuente de energía importante, obviamente, es el Sol, pero también puede realizarse teledetección a partir de la energía emitida por los mismos objetos observados, o desde fuentes artificiales.
2. **Cubierta terrestre**, formada por distintas masas de vegetación, suelos, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de la fuente de energía, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.
3. **Sistema sensor**, compuesto por el sensor, propiamente dicho, y la plataforma que lo alberga. Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
4. **Sistema de recepción- comercialización**, en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado, y, tras las oportunas correcciones, se distribuye a los interesados.

5. **Intérprete**, que convierte esos datos en información temática de interés, ya sea visual o digitalmente, para facilitar la evaluación del problema en estudio.
6. **Usuario final**, encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como dictaminar sobre las consecuencias que de él se derivan.



**Figura 2. 1: Componentes de la teledetección (Adaptado de Chuvieco 2016).**

### 2.3 Fundamentos físicos de la teledetección

Desde el punto de vista físico, la teledetección parte de un principio de la existencia de una energía electromagnética que el sistema observado produce en el medio. Esta energía se transmite al sistema receptor que capta una señal que será registrada, almacenada y posteriormente interpretada. Desde el punto de vista práctico, la teledetección tiene por objeto el reconocimiento de las características de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella tiene lugar a partir de los datos registrados por el sensor. El principal reto con que se enfrentan quienes trabajan en el campo de la teledetección consiste en la transformación de los datos registrados por el sensor en magnitudes físicas y, en consecuencia, en información útil al usuario (Sobriño 2000).

### 2.3.1 Espectro de Ondas Electromagnético

El espectro electromagnético es la distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas emitidas o absorbidas por un cuerpo en función de su frecuencia. El espectro de las ondas electromagnéticas, comprende desde longitudes de onda muy largas (ondas de radio) hasta longitudes de onda muy cortas (rayos gamma).

El espectro visible es aquel con el que estamos familiarizados; puede ser observado cuando la luz blanca es dispersada por gotas de agua en un arco iris. Todos los tipos de cobertura terrestre (tipos de roca, cuerpos de agua, tipos de vegetación, cascos urbanos, etc.), absorben una parte de la radiación electromagnética, dándole una firma distinguible de otra a lo largo del espectro. Se puede analizar los datos de las imágenes provenientes de los sensores remotos y crear hipótesis bastantes precisas acerca de una cobertura gracias a su firma espectral (Slater 1980). Se muestra en la Figura 2.2.

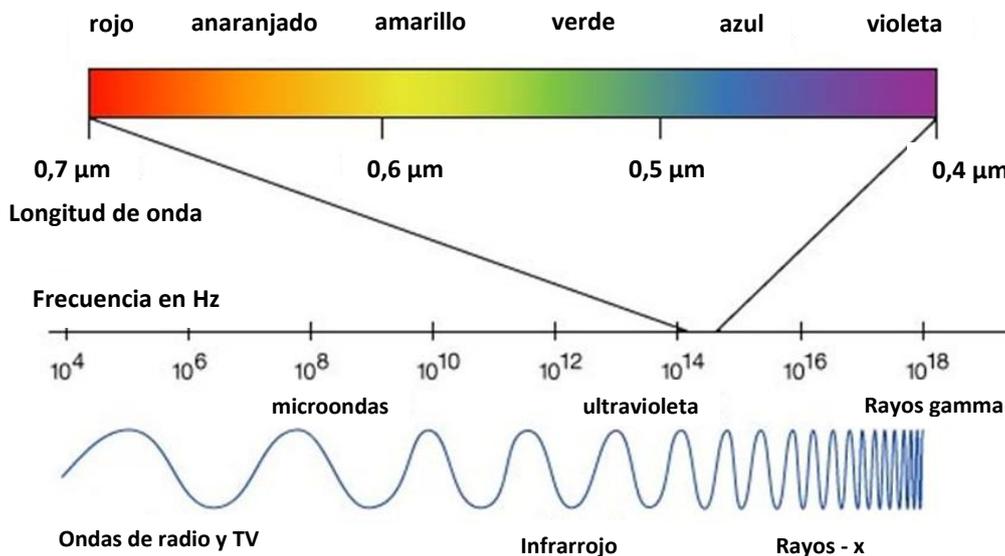


Figura 2. 2: Espectro de onda electromagnética (Slater 1980)

Los sensores utilizados en los sistemas de teledetección permiten explorar la Tierra desde las microondas hasta la luz visible. Debido a que la interacción de la radiación electromagnética con la materia es diferente en los distintos intervalos espectrales, la teledetección brinda información sobre propiedades de la superficie terrestre y de la atmósfera.

### 2.3.2 Radiación electromagnética emitida por un cuerpo

La radiación es la emisión continua de energía de la superficie de todos los cuerpos. La energía se propaga en las ondas electromagnéticas producidas por las vibraciones de las partículas cargadas que forman parte de los átomos y moléculas de la superficie de los

cuerpos. La radiación electromagnética que se produce a causa del movimiento de los átomos y moléculas de un cuerpo se denomina radiación térmica o de temperatura.

Todos los cuerpos emiten radiación térmica por el hecho de estar a una temperatura distinta de cero absoluto. A una temperatura aproximadamente menor de 600°C la radiación emitida es infrarroja. Sin embargo, a temperaturas superiores a 600°C la radiación emitida tiene longitudes de onda cada vez más corta e incluye al espectro visible. (Tipler y Llewellyn 2000).

### **2.3.3 Reflectancia de la cubierta de la superficie terrestre**

La atmósfera interfiere de modo decisivo en la detección de la radiación electromagnética, procedente de cubierta terrestre por un sensor montado sobre un satélite. La causa de ello estriba en la composición química de la atmósfera y en los aerosoles que esta contiene. Los principales fenómenos físicos que se producen por el paso de la radiación solar a través de la atmósfera, son la absorción y dispersión.

#### **2.3.3.1 Absorción**

La absorción se define como la transformación energética sufrida por la radiación cuando atraviesa un medio. Como resultado de la transformación energética hay una alteración neta de los niveles energéticos de las moléculas y partículas que componen el medio (Sobrino 2000).

Una fracción de la energía que atraviesa un elemento de volumen de la atmósfera es absorbida por los componentes atmosféricos y, posteriormente, se emite a diferentes longitudes de onda.

#### **2.3.3.2 Dispersión**

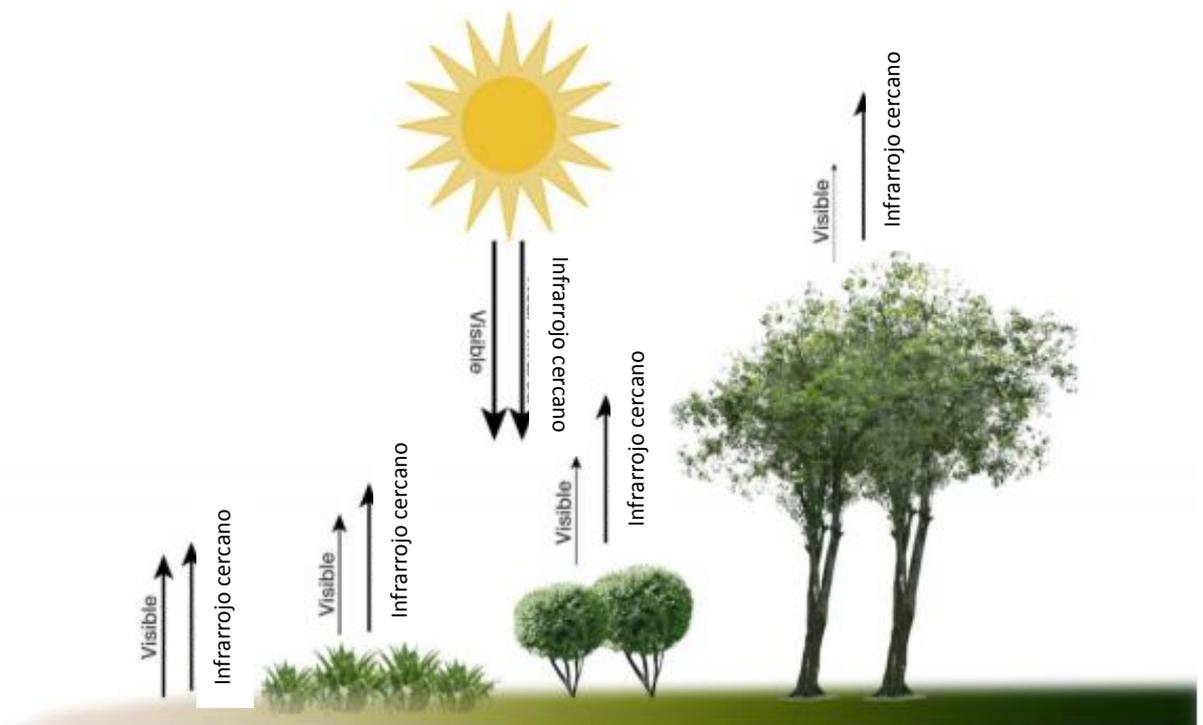
La dispersión se produce por la presencia de partículas en la atmósfera, especialmente de gas, agua y humo. Según el tamaño de la partícula se pueden producir los siguientes tipos de dispersión:

- a. *Dispersión de Rayleigh*, cuando el tamaño de las partículas es menor a la longitud de onda. Se produce una pérdida de energía que aporta el color azul del cielo, es importante para el espectro visible. Se realiza entre los 5000 a 10000 metros de altura.
- b. *Dispersión de Mie*, cuando el tamaño de las partículas es aproximadamente igual al tamaño de la longitud de onda. Se realiza bajo los 5000 metros.

- c. *Dispersión no selectiva*, se produce cuando el tamaño de las partículas es mayor a la longitud de onda. Esta dispersión explica el color blanco de las nubes. Esta es producida por el vapor de agua, para longitudes de onda inferiores a  $15\mu\text{m}$ .

### 2.3.3.3 Reflectancia de la superficie terrestre

La reflectancia, se le denomina también albedo desde el punto de vista geofísico. Se obtiene de la razón entre la radiación reflejada y el incidente, se consideran dos tipos de reflectancia de interés cuando se habla de correcciones atmosféricas, la reflectancia de la cima de la atmósfera, también llamada reflectancia planetaria y la reflectancia al nivel de la superficie (Rahman y Dedieu 1994).



**Figura 2. 3: Áreas con mayor vegetación absorben más luz visible y el infrarrojo cercano refleja más luz hacia el espacio. Los satélites pueden detectar estas diferencias relativas, que se utilizan para crear índices de vegetación.**

FUENTE: NASA/NOAA.

## 2.4 Plataformas satelitales y sensores

### 2.4.1 Imágenes Satelitales

La imagen es capturada a bordo del satélite mediante una serie de detectores fotoeléctricos que transforman los niveles de radiancia, procedentes de la superficie terrestre, en valores numéricos que se denominan números digitales (Chuvieco,1996).

El valor del numero digital correspondiente a un pixel será de este modo proporcional a la intensidad de la radiación procedente del terreno. Para ello se utilizan dispositivos de conversión analógico-digital.

Este procedimiento de formación de la imagen digital se repite para cada una de las bandas generándose como resultado final una matriz tridimensional en la que el valor del número digital de cada pixel está ubicado en una fila, una columna y una banda (Figura 2.4). De este modo se acuña el concepto de imagen multiespectral.

#### 2.4.1.1 Píxel

El píxel es definido como un elemento de imagen de dos dimensiones, el cual es el más pequeño e indivisible de una imagen digital (Fegas *et al.* 1992).

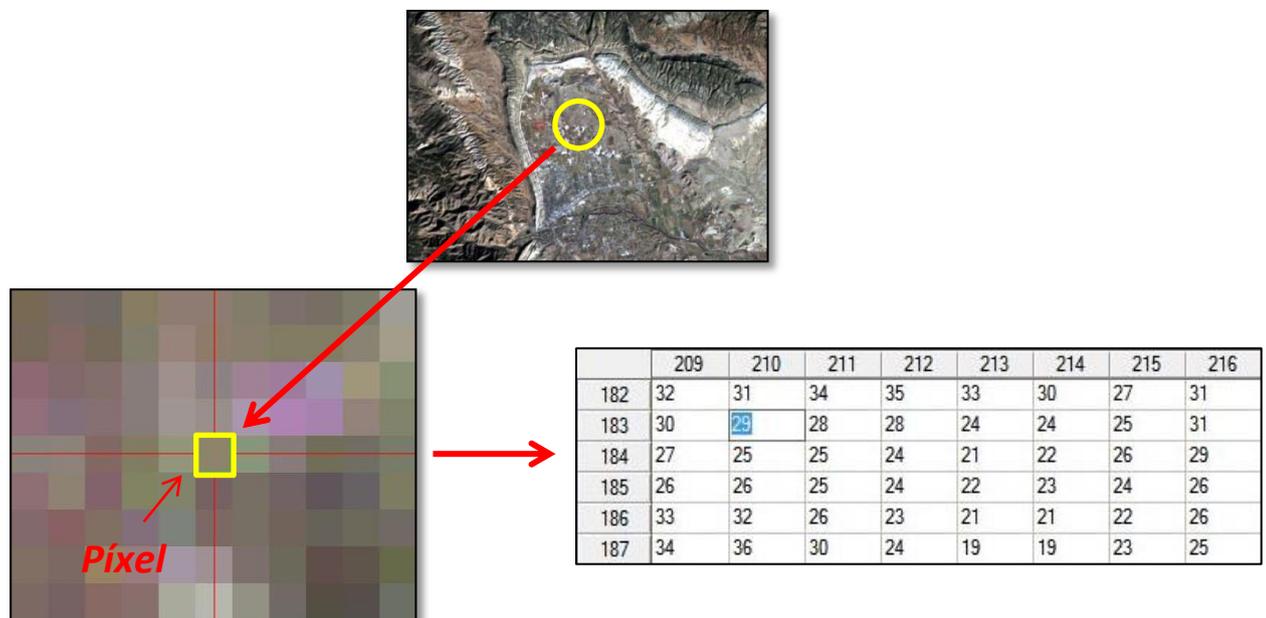


Figura 2.4: Ubicación de un píxel en una imagen satelital multiespectral (Elaborado con base en Chuvieco 2006)

El número de bandas varía considerablemente de unos sensores a otros y se ajusta al propósito para el cual fueron concebidos. Así a modo de ejemplo, el satélite SPOT cuenta con 4 bandas, el Landsat con 7, el NOAA con 5. Algunos sensores hacen del número de bandas su cualidad principal, contando con un número extraordinariamente grande, que puede superar las 200. En este caso hablamos de sensores hiperespectrales (Chuvieco 1996).

#### 2.4.1.2 Firmas espectrales

Los satélites miden la energía reflejada o emitida por los objetos de la superficie terrestre, según el poder de reflectividad y emisividad de cada uno, y también según la longitud de onda. Así, como los objetos reaccionan en forma diferente ante la energía solar recibida, cada objeto posee una reflectividad propia llamada “firma espectral”.

Las propiedades de la superficie de los cultivos hacen posible el seguimiento de la dinámica de la vegetación y su variabilidad espaciotemporal usando varias plataformas de sensores remotos. Los datos satelitales basados en la detección de la sanidad de la vegetación dependen de la relación fuerte entre simples transformaciones de reflectancia del rojo e infrarrojo y la absorción de la radiación fotosintéticamente activa de la superficie de la vegetación (Meer *et al.* 2002).

La vegetación es un medio complejo que varía con el tiempo y por lo cual las propiedades espectrales cambian según la época del año y las fases de crecimiento.

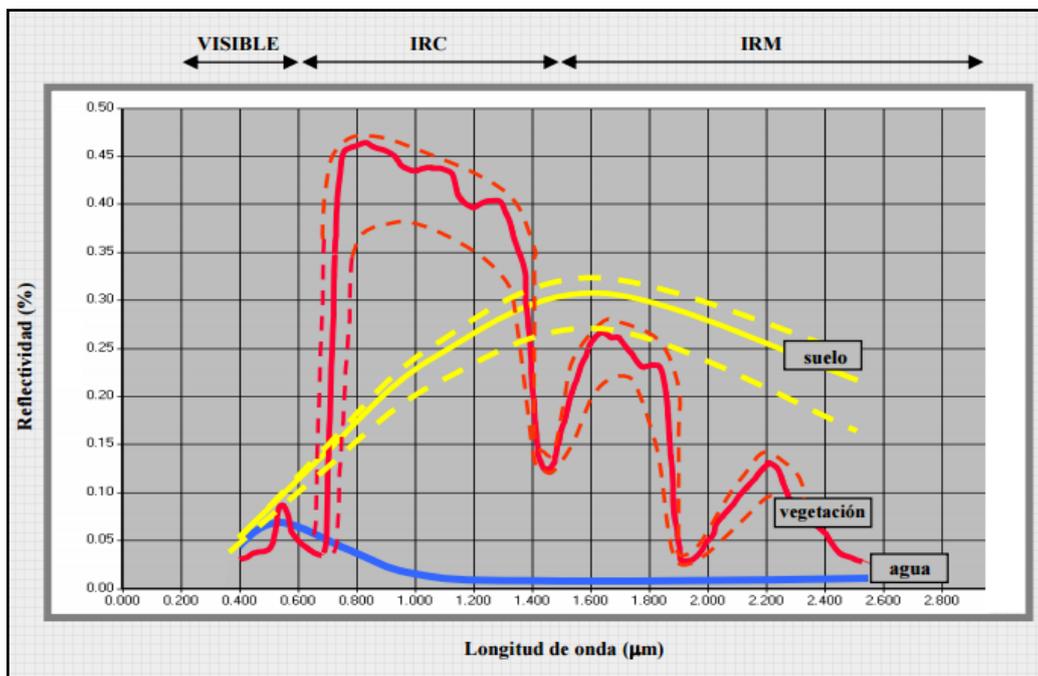


Figura 2. 5: Firmas espectrales reales (Adaptado de Bon y Rochon 1992).

## **2.4.2 Características generales del satélite Landsat**

La agencia espacial norteamericana (NASA) diseñó a fines de la década de los 60 el primer proyecto dedicado exclusivamente a la observación de los recursos terrestres. Como resultado de ello se puso en órbita el primer satélite de la serie ERTS (*Earth Resource Technology Satellite*) el 23 de julio de 1972. Esta familia de satélites, denominada Landsat a partir del segundo lanzamiento, en 1975, ha constituido sin duda, el proyecto más fructífero de teledetección espacial desarrollado hasta el momento. Esto debido a la buena resolución de sus sensores, el carácter global y periódico de la observación que realizan y su buena comercialización.

### **2.4.2.1 Características orbitales del Satélite Landsat**

Los primeros tres satélites Landsat 1,2 y 3 tenían una forma muy similar. El peso total del sistema se aproximaba a los 960 kg. Su órbita era heliosíncrona, pasa por el mismo lugar a la misma hora, polar, ligeramente inclinada (99.1 grados). Con una altura orbital media de 917 Km, circundaba la Tierra cada 103 minutos, con lo que realizaba 14 órbitas diarias para volver sobre la misma porción de la superficie terrestre a los 18 días, y a la misma hora local (entre 9:30 y las 10:30 según latitudes). Los satélites de la serie Landsat 4,5 y 7 modificaron su forma y sus características orbitales. La altura de vuelo se reduce de 917 a 705 Km, aunque se mejora el ciclo de recubrimiento, de 18 a 16 días, gracias a su menor período orbital. Sin embargo, el momento de adquisición se mantiene en torno a las 9:45 hora local en nuestras latitudes (Williams 2004).

### **2.4.2.2 Sensores del Satélite Landsat**

En una primera fase el satélite estaba constituido por Landsat 1,2 y 3 cuyo equipamiento estaba formado por un explorador de barrido multiespectral MSS (Multiespectral Scanner) y un conjunto de tres cámaras vidicon RBV (“Return Beam Vidicon”). Los satélites de la segunda generación Landsat 4 y 5 mantienen el sensor MSS para garantizar la continuidad de los datos anteriores, eliminan las cámaras RBV e incorporan un nuevo sensor denominado TM (Thematic Mapper) diseñado para la cartografía temática que proporciona datos de mayor resolución espacial, espectral y radiométrica. Con el lanzamiento del Landsat 7 se entra en una versión mejorada de la segunda generación con la incorporación de una versión actualizada del TM denominado ETM (Enhanced Thematic Mapper).

**Tabla 2.1: Características generales de la serie Landsat (Williams 2004).**

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: intervalo espectral (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat 5					Idéntico al Landsat 4	
Landsat 6	05/10/93 05/10/93	705	16		Fallos en el sistema	
Landsat 7	15/04/99	705	16	ETM+	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.53 0.61	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.78 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	120
					(7) 2.09 2.35	30
					PAN 0.5 0.90	15

### 2.4.2.3 Sensor TM y ETM+

El programa Landsat en su segunda generación introdujo un nuevo tipo de sensor denominado Thematic Mapper (TM), diseñado para la cartografía temática. Al igual que su predecesor, el MSS, el Thematic Mapper es un equipo de barrido multispectral. Frente al sensor MSS, el TM aumenta el número de detectores, de 24 a 100, a la vez que se reduce la extensión angular del área captada por un detector individual (IFOV), se aumenta los niveles de codificación y se realiza el barrido en dos direcciones. Todo ello le permite mejorar la resolución espacial, espectral y radiométrica: de 79 a 30m, de 4 a 7 bandas, y de 6 a 8 bits. En el TM, cada oscilación del espejo supone 16 líneas de barrido, frente a 6 en el MSS. De esta forma se precisan 16 detectores por banda, salvo la banda térmica que registra una menor resolución (120m) y solo requiere cuatro detectores. En la actualidad el Landsat 7 está equipado con una versión mejorada del TM denominado ETM+ (“Enhanced Thematic Mapper”) (William 2004).

### 2.4.2.4 Sensor OLI

En el comienzo los satélites Landsat estaban equipados con sensores “whiskbroom” los cuales empleaban espejos de exploración como instrumentos visión para barrer el campo espectral a través de un ancho de banda superficial y transmitir la luz a unos detectores. A diferencia del OLI, el cual utiliza un sensor del tipo “pushbroom” compuesto por una serie de baterías larga de detectores, con más de 7,000 detectores por banda espectral, alineados en su plano focal en su respectivo ancho de banda. El diseño del “pushbroom” lo hace un instrumento más sensible proporcionando una mejor información de la superficie terrestre con menos partes móviles. Sus imágenes tienen una resolución espacial de 15m pancromáticas y 30m a lo largo de 185 kilómetros de ancho de imagen, cubriendo así amplias zonas de la tierra. Además de las 7 bandas multispectrales del anterior Landsat OLI agregará dos nuevas bandas espectrales, una banda azul “costera” (banda 1) y una

banda en el infrarrojo de onda corta “cirros” (banda 9). Estas nuevas bandas, ayudarán a medir la calidad del agua y facilitarán la detección de nubes altas y delgadas que previamente han sido difíciles de observar en las imágenes Landsat (Ariza 2013).

#### 2.4.2.5 Sensor TIRS

El sensor térmico infrarrojo (TIRS) presenta unos detectores QWIPs. Estos detectan dos segmentos del espectro infrarrojo térmico, ambos incluidos dentro de una ventana de transmisión atmosférica, con el fin de producir mejores estimaciones de la temperatura superficial (Ariza 2013).

**Tabla 2.2: Distribución de las bandas en OLI Y TIRS – Landsat 8.**

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)  February 11, 2013	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

FUENTE: USGS, 2013

### 2.4.3 Características generales del satélite TERRA

#### 2.4.3.1 Sensor ASTER

El “Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer” (ASTER) es un sensor transportado por el satélite TERRA, lanzado en diciembre de 1999. Su propósito es el de monitorear fenómenos relacionados al medio ambiente y explotación de recursos naturales. Es parte del sistema EOS (Earth Observing System) de la NASA, la órbita de TERRA es casi polar, a continuación se muestra algunas características (Tordocillo 2011):

**Tabla 2.3: Características orbitales del satélite TERRA.**

Parámetro	Valor
Altura de vuelo	700-737 Km (705 Km en el ecuador )
Relación base/altura	0.6
Inclinación de la orbita	98.2°
Período	98.9 min.
Duración del ciclo	16 días

FUENTE: USGS, 2009.

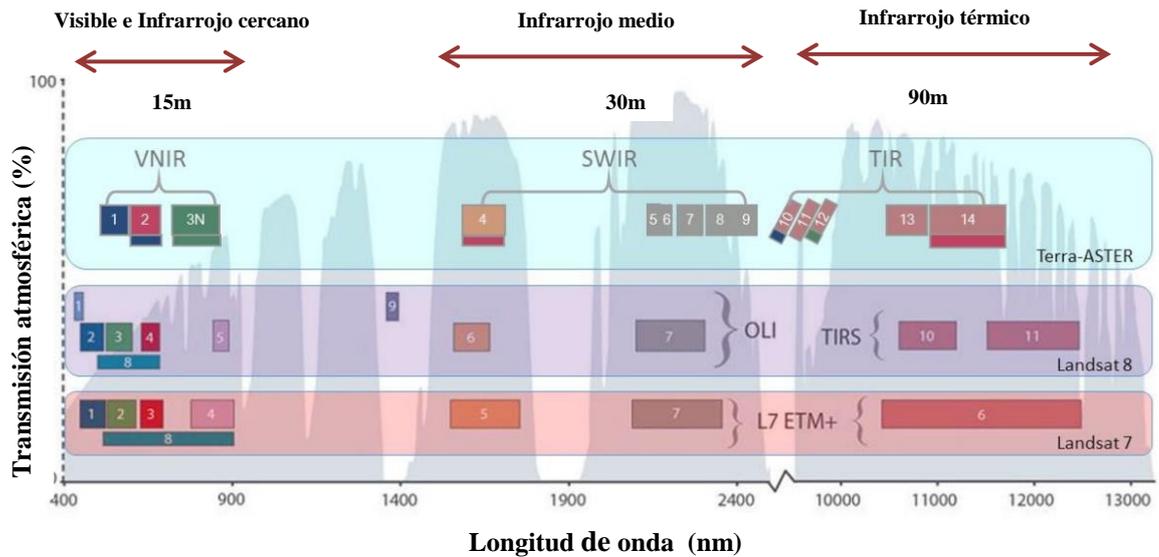
**2.4.3.1.1 Características del sensor ASTER**

ASTER es un sensor de imágenes compuesto por 3 subsistemas que corresponden a diferentes zonas del espectro electromagnético: VNIR (visible e infrarrojo próximo), SWIR (infrarrojo medio) y TIR (infrarrojo térmico). El VNIR tiene 3 bandas con 15m de resolución espacial; SWIR registra 6 bandas con 30 metro de resolución espacial; y TIR tiene 5 bandas con 90 metros de resolución espacial, Tabla 2.4. En la banda 3 ASTER presenta 2 posiciones: 3N visión nadir y 3B visión hacia atrás, lo que permite realizar modelos digitales de elevación (DEM) por pares estereoscópicos (USGS, 2009). Este sensor tiene la capacidad de adquirir hasta 650 escenas por día, teniendo una cobertura total del globo terráqueo, dicha escenas tienen un ancho de 61,5km por 63km, las cuales son captadas a una altura de 705km.

**Tabla 2.4: Características generales del sensor ASTER (Abrams 1998).**

Subsistema	N° Banda	Rango espectral (µm)	Resolución espacial
VNIR	1	0.52-0.60	15m
	2	0.63-0.69	
	3N	0.78-0.86	
	3B	0.78-0.86	30m
SWIR	4	1.60-1.70	30m
	5	2.145-2.185	
	6	2.185-2.225	
	7	2.235-2.285	
	8	2.295-2.365	
	9	2.360-2.430	
TIR	10	8.125-8.475	90m
	11	8.475-8.825	
	12	8.925-9.275	
	13	10.25-10.95	
	14	10.95-11.65	

Las características de los datos ASTER son aplicables al estudio de todos los recursos naturales. A continuación se muestran las bandas que pertenecen a la zona del espectro (VNIR, SWIR y TIR) de los sensores ASTER y Landsat 7/8 (Figura 2.6).



**Figura 2. 6: Comparación espectral de bandas Terra-ASTER y Landsat 7/8 ( USGSB 2015)**

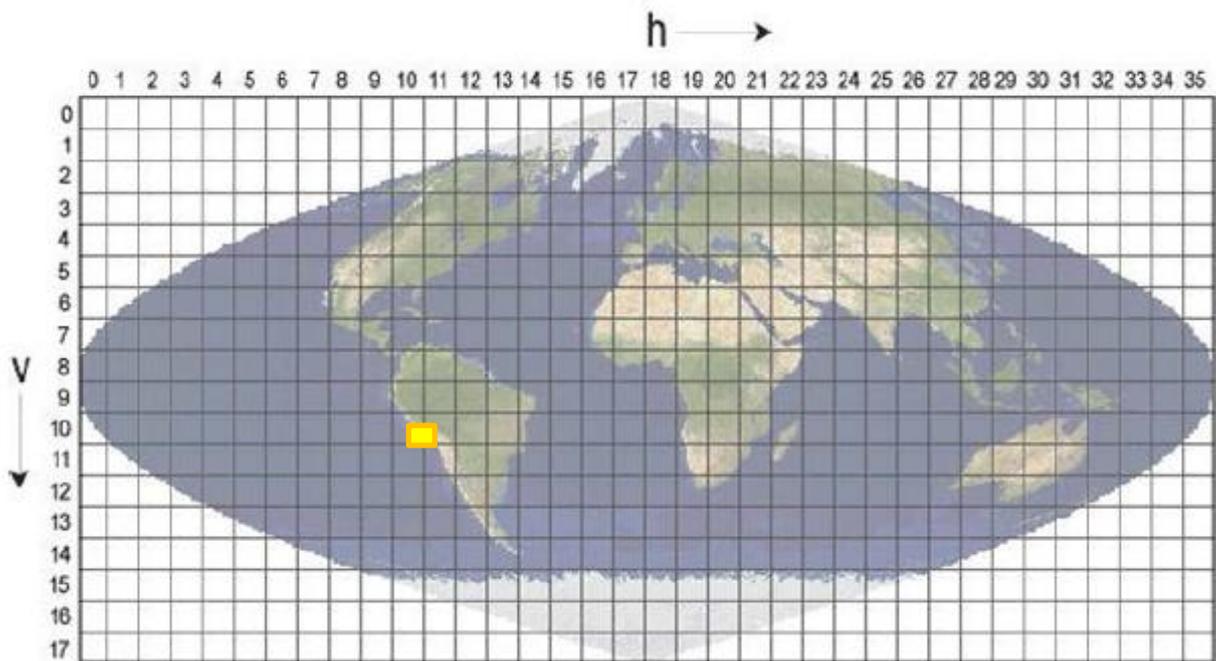
### 2.4.3.2 Sensor MODIS

El Sensor MODIS (Espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada) consta de 36 bandas; donde la banda 1-2 es de 250 m resolución, banda de 3-7 es de 500m de resolución y la banda 8 hasta la 36 es de 1000m de resolución. Las siete primeras bandas son las de más resolución, las cuales están orientadas al estudio del suelo, mientras que los nueve siguientes al estudio del océano y el resto a estudios atmosféricos.

#### 2.4.3.2.1 Productos MODIS

Los productos MODIS se suministran corregidos de los efectos atmosféricos (nubes, aerosoles, etc.). Hace observaciones de la tierra cada 1-2 días con un ancho de barrido de 2330km. Provee imágenes de alta resolución radiométrica de radiación reflejada durante el día y de la emisión térmica diurna y nocturna. En el día toma datos de todas las bandas y en la noche sólo las correspondientes al térmico.

El servidor utilizado para la descarga de los productos MODIS fue el *Earth Explorer* de USGS: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Al descargar los datos se seleccionó el *tile* o imagen de 10h y 10v de la rejilla de la proyección sinusoidal de MODIS como se muestra en la Figura 2.7 y las imágenes referidas al período 2003 al 2013. Todos los productos MODIS se encuentran codificados en el formato HDF (*Hierarchical Data Format*) y la nomenclatura utilizada para identificarlos está ya estandarizada por la NASA (Jiménez 2013).



**Figura 2. 7: Rejilla global utilizada para la distribución de productos derivados del sensor MODIS. (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).**

Los productos usados en este trabajo, corresponden a:

- Índice de vegetación (MOD13A1)
- Temperatura superficial (MOD11A2)

## **2.5 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

El índice de vegetación diferencial normalizado es utilizado ampliamente para mejorar la discriminación de cubiertas vegetales, medir el vigor de las plantas y la producción de la biomasa. Es calculado a partir de los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda. Este índice no mide directamente productividad ni disponibilidad forrajera, pero tiene una estrecha relación con estas variables, lo que permite utilizarlos para análisis regionales. Es decir, que los cambios de índice de vegetación permiten decir si un determinado mes o año es mejor o peor respecto al valor histórico (Gilabert *et al.* 1997).

El NDVI es el índice de vegetación más utilizado para todo tipo de aplicaciones, además de ser un indicador de vigor fotosintético o salubridad vegetal. La razón fundamental es su sencillez de cálculo, y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y +1), lo que permite establecer umbrales y compartir imágenes, etc. Este índice da lugar a isolíneas de vegetación dependiente creciente y convergente en el origen (Sánchez *et al.* 2000).

El índice de vegetación de diferencia normalizada es un cociente o ratio que implica una división, píxel a píxel, entre los niveles digitales (ND) almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Se utiliza para mejorar la discriminación entre dos cubiertas con un comportamiento reflectivo muy distinto entre dos bandas y para reducir el efecto de relieve en la caracterización espectral de distintas cubiertas (Chuvieco 2006).

El NDVI tiene las ventajas de tener una gran sencillez de cálculo y de facilitar la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación. Por otro lado, tiene el inconveniente de que posee poca capacidad de minimizar la influencia del suelo y de la atmósfera. El NDVI permite identificar la presencia de vegetación verde en superficie y caracterizar su distribución espacial, así como, la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Esto está determinado fundamentalmente por las condiciones climáticas. La interpretación del índice debe, asimismo, considerar los ciclos fenológicos y de desarrollo anual, para distinguir oscilaciones naturales de la vegetación con los cambios en la distribución temporal y espacial, causados por otros factores (Gonzaga 2014).

- El agua tiene reflectancia mayor en el infrarrojo que en el rojo, por lo tanto valores negativos de NDVI.
- El suelo descubierto y con vegetación rala presenta valores positivos aunque no muy elevados.
- La vegetación densa, sana y bien desarrollada presenta los mayores valores de NDVI.
- Las nubes presentan valores similares en el rojo e infrarrojo, por lo que su NDVI es cercano a 0.

El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$$

$\rho_{NIR}$ : Reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al infrarrojo cercano.

$\rho_R$  : Reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo.

$$NDVI (Landsat 5 y 7) = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$

$$NDVI (Landsat 8) = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4}$$

$$NDVI (ASTER) = \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3 + \rho_2}$$

### 2.5.1 Cobertura vegetal

Es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son resultados de la acción humana como serían las áreas de cultivo.

## 2.6 Temperatura de la Superficie Terrestre (LST)

Para Smith *et al.* (1997) LST es un parámetro importante para el entendimiento del ambiente global ya que controla muchos de los procesos subyacentes en el ciclo de la energía en la superficie, el transporte de calor, y del agua entre la superficie y la atmósfera.

Los datos para el estudio de la temperatura de la superficie terrestre son tomados por medio de dos tecnologías: aquellas que usan información directa (estaciones climatológicas y sondas meteorológicas) y, aquellas de tipo indirecto (satelitales).

La estimación de LST usando sensores remotos pasivos se consigue una vez que son separados dos tipos de datos recibidos por el sensor: La reflectancia de la superficie y la emisividad (Schmugge et al, 1998). La emisividad, modifica en gran parte la estimación de la LST.

Los datos MODIS utilizados para LST, dependen de una serie de productos que son producidos en una secuencia llamada escena MODIS. Ésta contiene datos acerca de la zona de estudio en resolución de 1 km. Los productos LST de los satélites MODIS están disponibles desde 2002 en adelante en varias resoluciones espaciales y temporales.

### 2.6.1 Temperatura y emisividad de la superficie terrestre MOD11

Los productos MOD11 brindan estimaciones de la temperatura y de la emisividad diurna y nocturna de las coberturas terrestres. La temperatura se mide en grados Kelvin al contacto entre la cobertura y la atmósfera. La emisividad, es un número adimensional igual al cociente entre la radiación emitida por un objeto y un cuerpo negro a la misma temperatura.

El algoritmo utilizado permite estimar la emisividad y la temperatura a partir de un par de imágenes diurnas y nocturnas tomadas en condiciones de cielo despejado utilizando 7 bandas del infrarrojo medio y térmico (bandas 20, 22, 23, 29 y 31-33) en cualquier tipo de cobertura de suelo (Wan y Li 1997).

Los productos MOD11 son producidos con una resolución espacial de 1,000 m con base diaria y cada 8 días (MOD11A1 y MOD11A2).

Todos los productos MOD11 indican las temperaturas diurna y nocturna de la superficie, la calidad de las estimaciones de ambas temperaturas, la hora y el ángulo de la toma, la emisividad en las bandas 31 y 32 y las condiciones atmosféricas diurna y nocturna. Los productos de más baja resolución espacial presentan la emisividad en las bandas 20, 21, 23 y 29. En la Tabla 2.5 se muestra las características de productos de temperatura y emisividad MOD11.

**Tabla 2.5: Productos de Temperatura y emisividad MOD11.**

Clave	MOD11_L2	MOD11A1	MOD11B1	MOD11A2
Plataforma	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua
Resolución temporal	escena	diario	diario	8 días
Resolución espacial	1000 m	1000 m	6000 m	1000 m
Extensión espacial	escena	Tile	Tile	Tile
Nivel	L2	L3	L3	L3
Versión	5	5	5	5
Fase de validación	2	2	2	2
Tamaño del archivo (MB)	6	4	0.4	5
Número de capas	9	12	18	12

FUENTE: Aplicaciones del Sensor MODIS para el monitoreo del territorio.

## 2.7 Sistema de Información Geográfica (SIG)

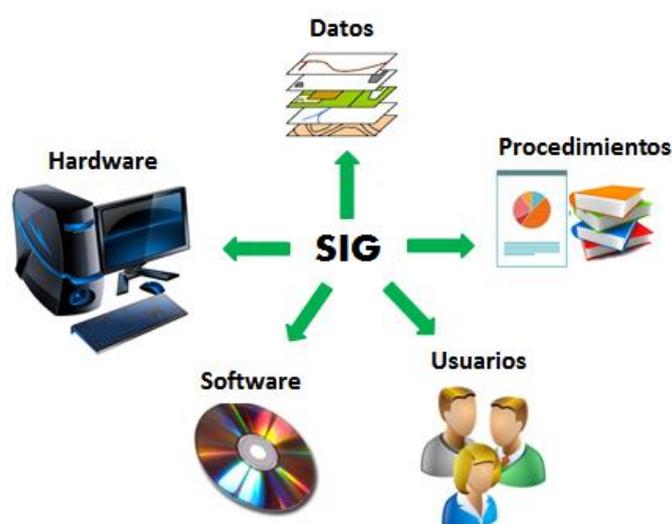
Los Sistemas de Información Geográfica tienen una enorme importancia en el incremento de la capacidad organización y análisis frente al cambio del entorno.

La tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituyen es este sentido una de las herramientas adecuadas de manejo de información, permitiendo plantear como objetivo que los SIG junto con las imágenes satelitales, permiten analizar grandes extensiones de la superficie terrestre de manera rápida y automatizada a través de metodologías concretas.

Disponer de esa capacidad de comprensión y manejo de la complejidad, incluye el entendimiento de que también se ha modificado la dimensión del tiempo. La posibilidad de afrontar en forma dinámica y acelerada los fenómenos se presenta como otro de los importantes desafíos conceptuales y prácticos. Los SIG y la Teledetección se transforman en herramientas indispensables a la hora de administrar y hacer gestión, permitiendo monitorear diversas variables del entorno (Orellana *et ál.* 2006).

### 2.7.1 Componentes de SIG

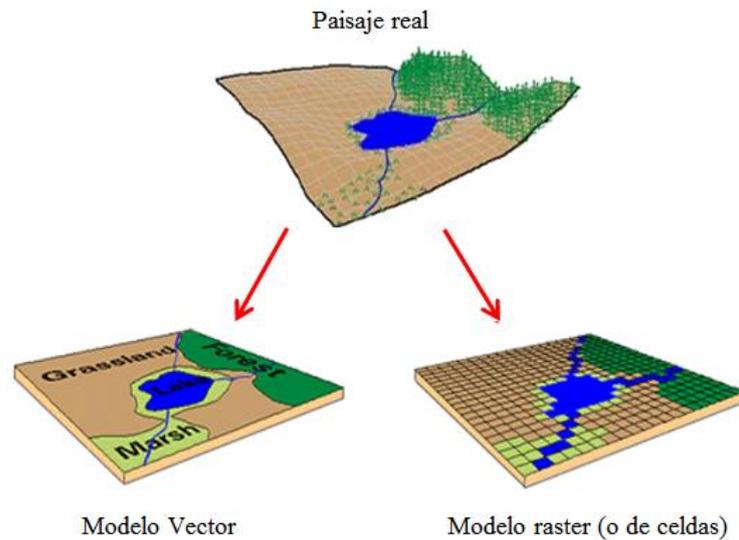
El SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos analíticos que integra modernas técnicas de mapeo computarizado con potentes operadores analíticos de base de datos geográficos o espaciales, capaces de ejecutar consultas y transformaciones sobre el espacio constituyéndose en una herramienta versátil, eficiente y oportuna para el planeamiento regional urbano –rural y toma de decisiones.



**Figura 2. 8: Componentes del Sistema de Información Geográfica**  
(<http://lapitaverde.es/?p=204>).

### 2.7.2 Modelos de Datos

Permiten representar digitalmente y almacenar en una base de datos los elementos geográficos del mundo real para que puedan ser presentados de manera abstracta en formato análogo (mapa) y sean susceptibles de manipulación.



**Figura 2. 9: Representación de datos espaciales en un Sistema de Información Geográfica (<https://es.slideshare.net/fermenja/unidad-i-1-intro-sig-09>)**

*Modelo Vector:* Representa los elementos del paisaje mediante puntos, líneas y polígonos. Cada elemento tiene atributos asociados en una tabla que los describe. Se enfoca en elementos discretos.

*Modelo Raster:* Divide el área de estudio en una graticula y representa los elementos del paisaje asignándole un valor a cada celda. Se enfoca en elementos espacialmente continuos.

### 2.7.3 Geodatabase (GBD)

La Geodatabase es un modelo de datos primarios de Arcgis que permite almacenar, además de elementos geográficos, el comportamiento de dichos elementos, lo que facilita la generación de una visión más completa de la realidad.

Permite almacenar numerosos tipos de datos entre ellos:

- Datos vectoriales
- Datos raster: imágenes, grids, superficies
- Direcciones y localizadores para determinar posiciones geográficas.

### **2.7.3.1 Datos Vectoriales**

Representan la geometría de los elementos geográficos en forma precisa y compacta, como un conjunto ordenado de coordenadas y atributos asociados.

### **2.7.3.2 Datos ráster**

Un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

### **2.7.4 ArcGIS**

Comprende una serie de aplicaciones, que utilizadas en conjunto, permiten realizar funciones que alimentan y administran un sistema de información geográfica (SIG), desde creación de mapas, manejo y análisis de información, edición de datos, etc.

### **2.7.5 Mapa temático**

Consiste en la composición del mapa deseado partiendo del mapa base, conformada con información básica, es decir es la retroalimentación del mapa base con información adicional, se puede decir que para obtener un mapa geomorfológico se agregará la capa de unidades geomorfológicas con sus diferentes atributos.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudio**

##### **3.1.1 Ubicación**

El área de estudio se ubica en el Valle de Cañete en la costa sur del departamento de Lima, entre las coordenadas geográficas  $12^{\circ}56'37''$  y  $13^{\circ}09'09''$ , Latitud Sur,  $76^{\circ}29'31''$  y  $76^{\circ}11'00''$ , Longitud Oeste, cuya variación altitudinal es de 0.00- 250.00 m.s.n.m. El valle pertenece a la cuenca del río Cañete y en la inter-cuenca situada entre los ríos Cañete y Omas. El 29% del área del valle se ubica en la cuenca del río Cañete y el 71% en la mencionada inter-cuenca.

Políticamente, el valle de Cañete se ubica en los distritos políticos de Imperial y San Luis, abarcándolos en su totalidad y en parte de los distritos de San Vicente de Cañete, Cerro Azul, Nuevo Imperial, Quilmaná y Lunahuana, provincia de Cañete, departamento de Lima (Figura 3.1).

El área de estudio es de 39,113.91 hectáreas, pertenece al Valle de Cañete.

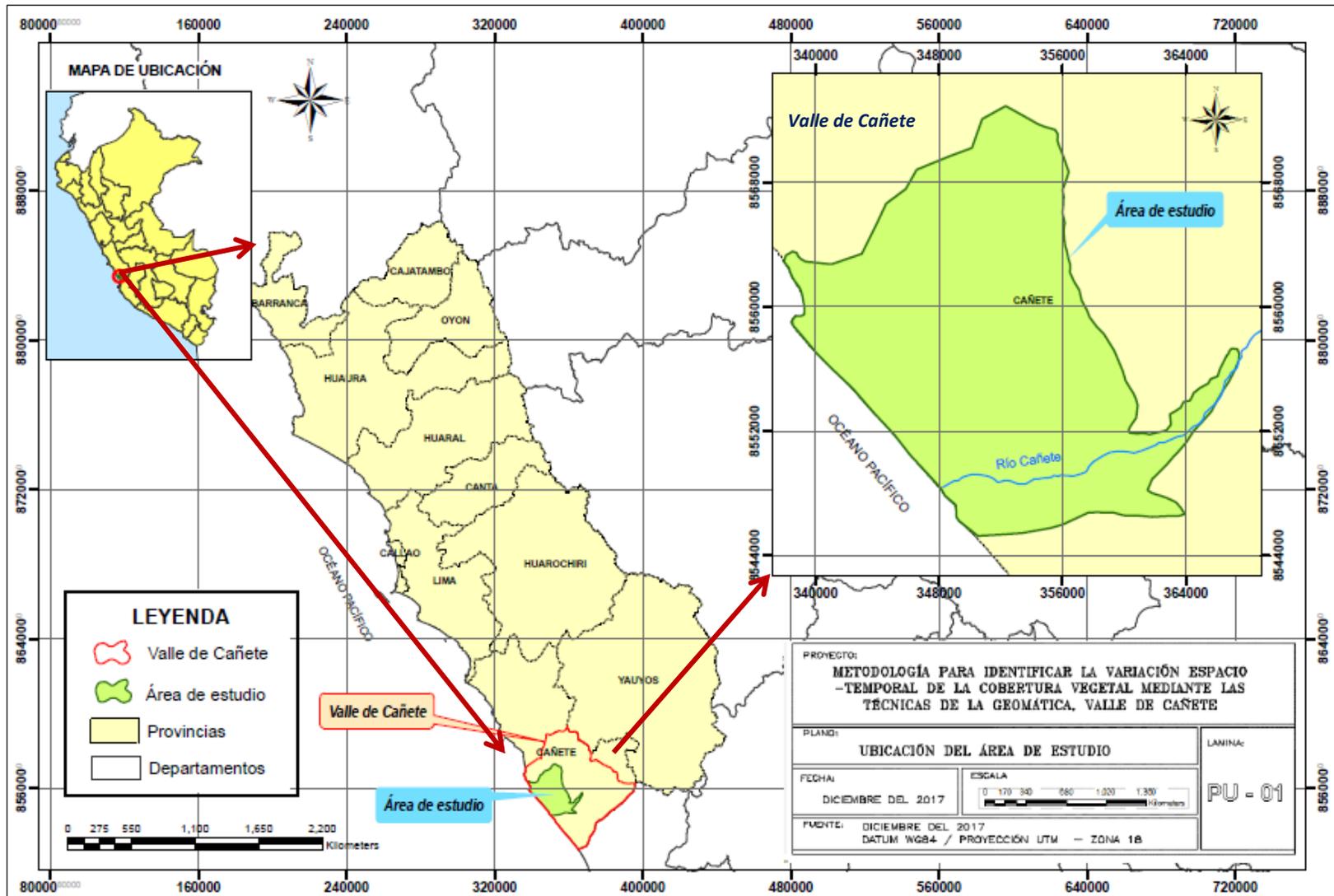


Figura 3.1: Ubicación del área de estudio en el Valle de Cañete.

### **3.1.2 Clima**

El clima es seco y semi-cálido con una temperatura promedio anual de 19.8°C y la oscilación promedio anual comprendida entre los 14.4°C y 27.7°C. Las precipitaciones registradas en la estación Cañete ubicada en el área de estudio muestran mayores valores de lluvia entre los meses de mayo a octubre. Las precipitaciones en esta parte de la cuenca son de poca importancia registrándose en las estaciones promedios anuales de 26.6 mm en Cañete y 29.2 mm en Catahuasi.

### **3.1.3 Fisiografía**

En la cuenca baja del río Cañete, como resultado de la disminución brusca de la pendiente y de la velocidad del agua, se ha producido la deposición del material aluviónico formando una pequeña llanura que representa el 5% del área total.

### **3.1.4 Hidrografía**

El sistema hidrográfico lo conforma el río Cañete que en su recorrido recibe las aguas de la quebrada Conta del Valle de Cañete, y de otros afluentes ubicados por ambas márgenes desde su origen. A lo largo del año presenta un régimen irregular y de carácter torrencioso. Cabe mencionar que el río Cañete es uno de los que no se secan presentando una descarga mínima relativamente elevada aún en los meses de estiaje. En la Figura 3.2 se presenta el mapa hidrográfico del Valle de Cañete.

El mapa de pendientes del Valle de Cañete, utiliza las alturas con respecto al nivel del mar, en una resolución espacial de 30m, la misma resolución espacial de las imágenes multiespectrales ETM+. A partir del modelo de elevación digital se determinó la pendiente de la superficie y altitud del área de estudio. Este valor es un parámetro requerido y usado para la corrección atmosférica FLAASH para las imágenes satelitales.

### 3.1.5 Actividad principal

Cañete es una de las provincias pertenecientes a la cuenca del río Cañete, considerada como uno de los distritos más productivos de Lima debido a la fertilidad de sus suelos y la habilidad de sus habitantes que la han convertido en una de las mejores provincias, explotada técnicamente en el campo de la agricultura nacional, por ello que la agricultura constituye la principal actividad socio-económica del valle y la cuenca del río Cañete.

### 3.1.6 Vientos

Los vientos registrados en la estación de Cañete nos indica que valores máximos, del orden de los 2.5 a 2.9 m/s se da en los meses de diciembre a marzo y valores mínimos, del orden de los 2.0 m/s en los meses de abril a setiembre; además los máximos registros de viento se dan a las 13:00 horas con dirección de preferente a SW.

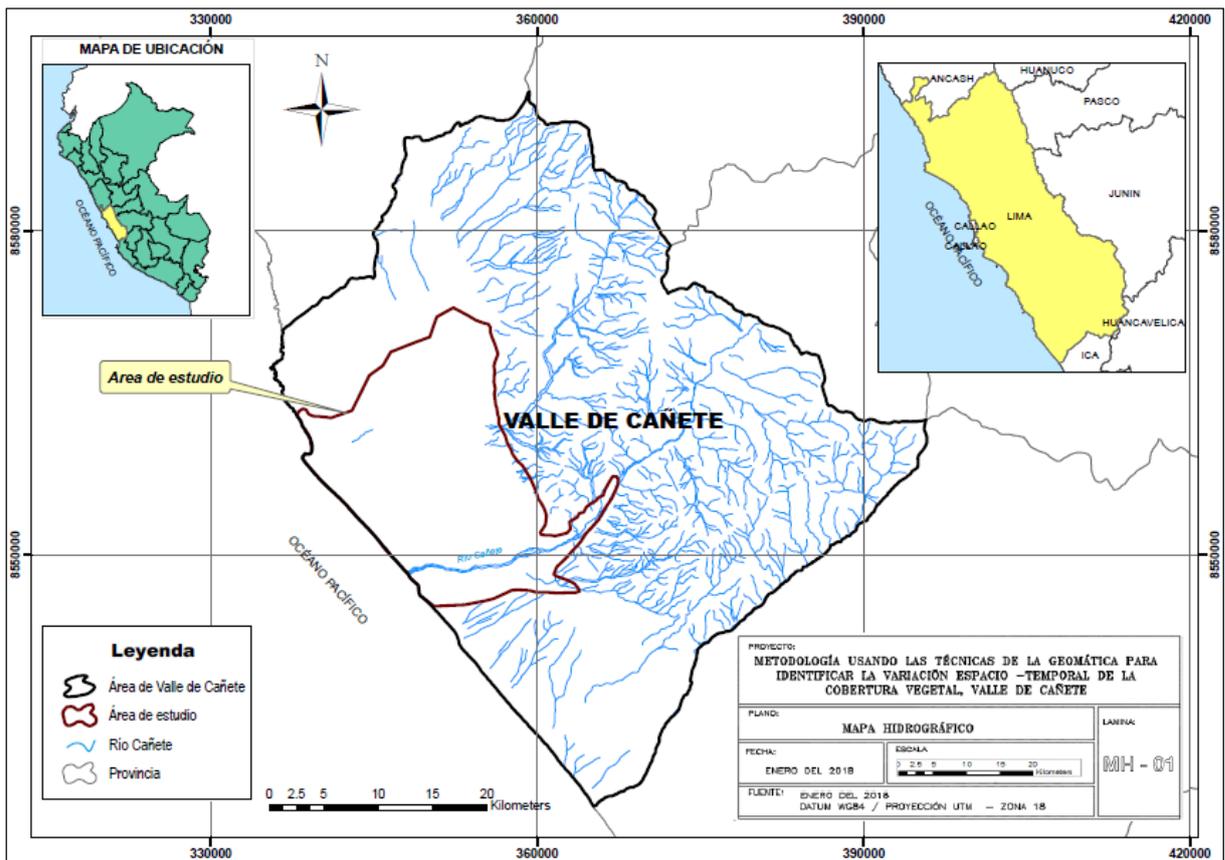


Figura 3.2: Red de drenaje del Valle de Cañete.

El mapa de pendientes representa las diferentes alturas de los accidentes del terreno respecto al nivel del mar, Figura 3.3.

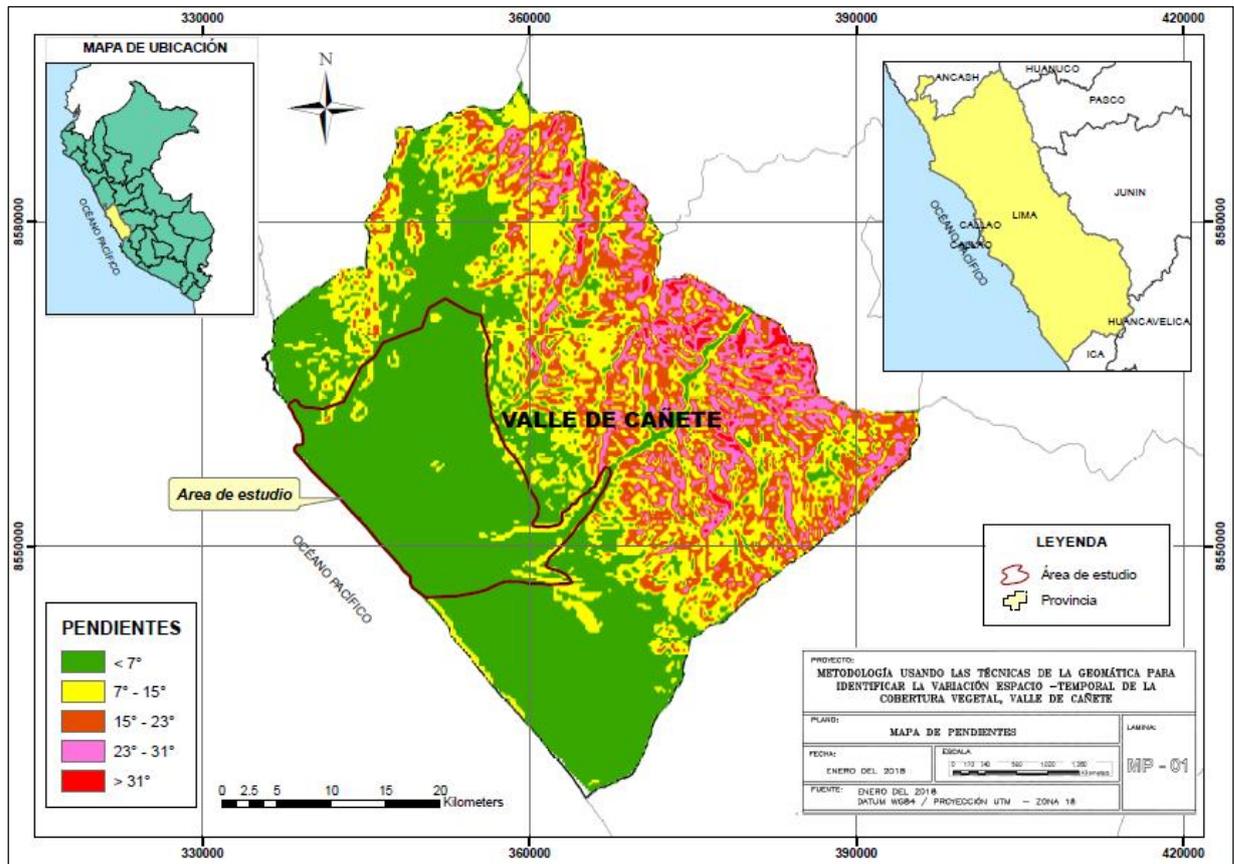


Figura 3.3: Mapa de pendientes del Valle de Cañete.

## 3.2 Materiales

### 3.2.1 Mapas temáticos

Se utilizó Mapas Temáticos de geomorfología, topografía, uso actual de los suelos elaborados por la Junta de Usuarios del Valle de Cañete.

### 3.2.2 Imágenes de Sensores Remotos

#### 3.2.2.1 Imágenes satelitales Landsat

Las imágenes satelitales utilizadas fueron de los sensores TM, ETM+, OLI y TIRS, a bordo de los satélites Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 para los dos últimos sensores respectivamente, estas imágenes fueron obtenidas del servidor United States Survey (USGS).

La base de datos comprende 17 imágenes de los cuales 15 imágenes del satélite Landsat 5, 1 imagen del satélite Landsat 7, y 1 imagen del satélite Landsat 8. En la Tabla 3.1 Se detallan los atributos, como son la fecha de adquisición, hora de adquisición, ángulo de elevación y el ángulo acimut de las imágenes.

**Tabla 3.1: Características de las imágenes Landsat utilizadas.**

Satélite	Path/Row	Fecha de adquisición	Hora de adquisición en Tiempo Universal	Ángulo de Elevación en Grados(°)	Ángulo Acimut en Grados(°)
Landsat 5	7/69	2006-03-09	15:02:21	55.63	78.53
Landsat 5	7/69	2006-03-09	15:03:13	49.86	49.55
Landsat 5	7/69	2006-12-22	15:06:05	59.84	114.53
Landsat 5	7/69	2007-01-23	15:06:17	57.58	105.87
Landsat 5	7/69	2007-02-24	15:06:19	56.96	87.37
Landsat 5	7/69	2007-05-15	15:05:15	46.95	42.81
Landsat 5	7/69	2008-02-11	15:02:00	56.31	95.93
Landsat 5	7/69	2008-02-27	15:01:42	55.92	85.76
Landsat 5	7/69	2008-03-30	15:01:02	53.51	64.19
Landsat 5	7/69	2008-04-15	15:00:40	51.17	55.04
Landsat 5	7/69	2008-05-01	15:00:14	48.35	48.08
Landsat 5	7/69	2008-11-09	14:54:28	61.74	101.91
Landsat 5	7/69	2009-03-01	14:57:34	54.80	84.31
Landsat 7	7/69	2003-04-10	15:00:06	51.92	58.31
Landsat 8	7/69	2013-04-13	15:13:09	54.05	53.29

FUENTE: Elaboración propia.

#### 3.2.2.2 Imágenes satelitales Aster

La base de datos comprende 15 imágenes ASTER 1A. Estas tienen Path/Row 7/69 y en formato HDF. En la Tabla 3.2 se detalla los atributos de las imágenes ASTER.

**Tabla 3.2: Características de los datos imágenes ASTER utilizadas.**

Metadato	Fecha	Hora	Ángulo de Elevación en Grados(°)	Ángulo Acimut en Grados(°)
AST_L1T_00307242003152138_20150430061813_18289	24/07/2003	15:21:38	39.96	48.01
AST_L1T_00307242003152147_20150430061823_11165	24/07/2003	15:21:47	39.63	47.42
AST_L1T_00310282003152231_20150501090627_18242	28/10/2003	15:22:31	69.25	93.33
AST_L1T_00302242004152921_20150503092012_25441	24/02/2004	15:29:21	63.19	85.55
AST_L1T_00302242004152930_20150503092012_25439	24/02/2004	15:29:30	63.06	84.22
AST_L1T_00309122004152154_20150506004051_62794	12/09/2004	15:21:52	57.89	60.41
AST_L1T_00309122004152203_20150506004051_62801	12/09/2004	15:22:03	57.12	60.11
AST_L1T_00301292012152822_20150609074949_19849	29/01/2012	15:28:22	63.24	104.14
AST_L1T_00302142012152833_20150609125320_24478	14/02/2012	15:28:33	63.26	93.18
AST_L1T_00303012012152842_20150609181942_8576	01/03/2012	15:28:42	62.41	80.49
AST_L1T_00303012012152851_20150609181942_8575	01/03/2012	15:28:51	62.28	79.56
AST_L1T_00303262015152919_20150626024046_103328	26/03/2015	15:29:19	60.63	60.71
AST_L1T_00304112015152907_20150626071205_29021	11/04/2015	15:29:07	50.36	57.48
AST_L1T_00304272015152904_20150626160437_77394	27/04/2015	15:29:04	41.80	54.38
AST_L1T_00309182015152917_20150922230417_27432	18/09/2015	15:29:17	57.87	63.37

FUENTE: Elaboración propia.

### 3.2.2.3 Imágenes satelitales MODIS

#### 3.2.2.3.1 Índice de Vegetación (producto MOD13A2)

El producto de índice de vegetación de MOD13A2, pertenece al bloque de productos MODLAND. Este es resultado de la composición de cada 16 días de los mejores píxeles a una resolución espacial de 1 km (Jiménez, 2013). En la Tabla 3.3 se muestra las especificaciones del producto MOD13A2.

**Tabla 3.3: Especificaciones del producto MOD13A2**

Clave del producto	MOD13A2
Plataforma	Terra
Resolución temporal	8 días
Resolución espacial	1 km
Nivel de procesamiento*	L3
Fase de validación*	2
Número de capas	12

FUENTE: MODIS Website, 2016.

\* *Nivel de procesamiento= L3.* Son productos de valor agregado derivados de variables geofísicas cartografiadas. En algunos casos, se realiza un remuestreo a una menor resolución espacial y se elaboran compuestos de intervalos de tiempos establecidos (16 días en el caso de este producto).

\* *Fase 2.* La Evaluación se hizo basándose en un amplio conjunto de localizaciones y fecha además de contar con numerosos datos de campo.

Estas imágenes descargadas se agruparon por período de vegetación: Mayo a Octubre, y de Noviembre a Abril. Se seleccionaron de Mayo a Octubre porque se consideran claves para visualizar el contraste entre la actividad fotosintética de la vegetación a finales de primavera, y comienzo del verano. Se descargaron en total 220 imágenes, para el periodo de 2003 al 2013.

### 3.2.2.3.2 Temperatura Superficial Terrestre (producto MOD11A2)

Los productos MODIS/Temperatura superficial terrestre y Emisividad (teldet/E) proporcionan valores de temperatura y emisividad por píxel. El producto MOD11A2, se basa en una composición de cada 8 días con el promedio de los mejores píxeles recopilados entre 2 y 8 días de otro producto, el MOD11A1. La resolución espacial es de 1 km. El algoritmo día / noche extrae las temperaturas medias (en Kelvin) y las aplica a un par de observaciones MODIS diurnas y nocturnas.

**Tabla 3.4: Especificaciones del producto MOD11A2.**

Clave del producto	MOD11A2
Plataforma	Terra
Resolución temporal	8 días
Resolución espacial	1 km
Nivel de procesamiento	L3
Fase de validación	2
Número de capas	12

FUENTE: MODIS Website, 2016.

### **3.2.3 Datos de campo**

Los datos de campo proporcionados por la Junta de Usuarios de Cañete, que se usó fueron los siguientes:

- Padrón de usuarios del Valle de Cañete, conformado por siete (7) Comisiones de Regantes: Viejo Imperial, San Miguel, Palo Herbal, Pachacamilla, Nuevo Imperial, María Angola y Huanca
- Áreas de cultivo e intensidades de uso de la tierra de las Comisiones de Regantes del Valle de Cañete de las campañas 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007, 2010-2011 y 2015-2016.
- Disponibilidad del recurso hídrico en el Valle del río Cañete, así como balance hídrico con caudales medios.
- Principales cultivos de las Comisiones de Regantes del Valle de Cañete, como son: maíz amarillo duro, algodón, maíz chala, uva, papa, mandarina, manzana, yuca y espárrago.
- Plan de cultivo y riego en el Valle de Cañete Campaña agrícola 2004-2005, 2014-2015 para cada Comisión de Regantes.

### **3.2.4 Materiales de escritorio y Equipos**

- Materiales de escritorio
  - Memoria USB.
  - Libreta de campo.
  - Lápiz y plumón.
  - Cartuchos de Tinta.
  - CDs
- Equipos
  - Impresora Multifuncional.
  - Computadora Intel Core i5.
  - GPS Navegador.
  - Cámara fotográfica.

### 3.2.5 Softwares

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se utilizó los siguientes Softwares:

- Envi TM v5.1 (Environment for Visualizing Images)
- ArcGIS 10.1
- Google Earth
- Microsoft Office
- Excel.

### 3.3 Metodología

Con el objetivo de identificar la variación espacio – temporal de la cobertura vegetal en el Valle de Cañete se realizó una fase preliminar, donde se organizó la visita a la oficina de la Junta de Usuarios de Cañete para la recopilación de información del Valle de Cañete, a su vez se realizó la descarga de las imágenes satelitales de los diferentes satélites. En la fase de campo se realizó el reconocimiento de 4 áreas de variación espacio- temporal del área de estudio.

En la fase de procesamiento de información digital de las imágenes satelitales se realizó la corrección de los efectos sistemáticos o características indeseables del sensor, con el fin de extraer información fiable. Entre el procesamiento de las imágenes tenemos a la calibración radiométrica y corrección atmosférica, y entre el análisis de las imágenes tenemos al análisis espectral y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Soca, 2015).

La metodología involucra el pre -procesamiento de imágenes satelitales descargadas del servidor United States Survey (USGS), estas luego son procesadas en el software ENVI TM v5.1. Se realizó la corrección geométrica, corrección radiométrica y corrección atmosférica. En la corrección radiométrica se hace la conversión de números digitales a radiancia espectral, y en la corrección atmosférica se emplea el Método Flaash para calcular la visibilidad en la escena (cantidad de neblina). Una vez corregidas las imágenes satelitales del sensor TM, ETM+, OLI y TIRS, a bordo de los satélites Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8 se procedió a la elaboración de los Mapas de NDVI para obtener los porcentajes de cobertura vegetal en el área de estudio. La información obtenida se utilizó para analizar la variación espacio –temporal de la cobertura vegetal para las diversas fecha. Además en el área de estudio se identificó 4 áreas donde se observó dicha variación. Estos resultados se validaron con información de la Junta de Usuarios del Valle de Cañete, visita al área de estudio e imagen del Google Earth. De los productos MODIS: MOD13A2 (NDVI) y MOD11A2 (LST), se realizó la relación de LST, Temperatura ambiental y NDVI. El resultado es una correlación alta para el LST y temperatura ambiental, así como la temperatura ambiental y el NDVI. El diagrama del procedimiento de análisis de las imágenes satelitales es mostrada en la Figura 3.4.

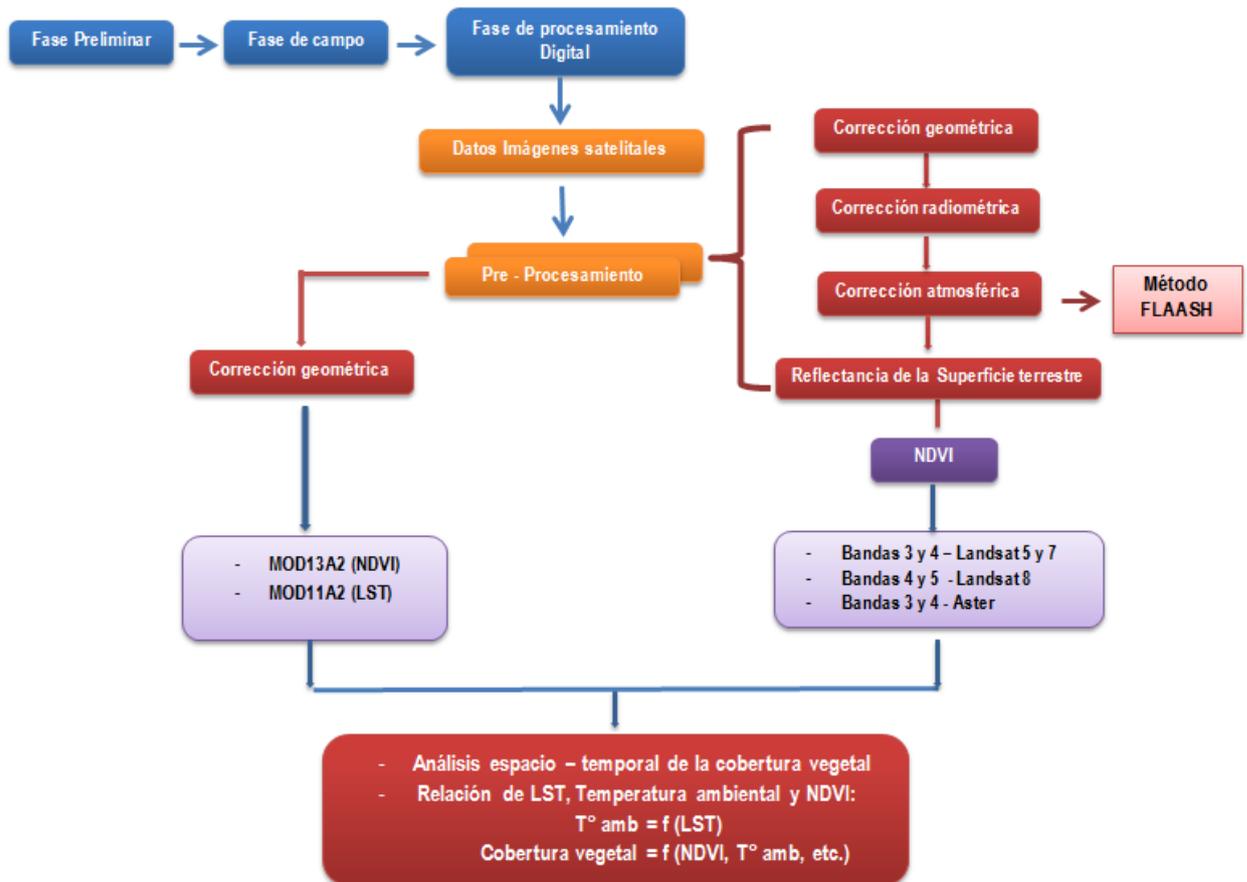


Figura 3. 4: Diagrama del procedimiento de análisis de las imágenes satelitales.

### 3.3.1 Fase Preliminar

- **Organización y Recolección de Información Básica**

En esta etapa se organizó las visitas a la oficina de la Junta de Usuarios de Cañete para la recopilación de información del Valle de Cañete. Se obtuvo información del Padrón de Usuarios, áreas de cultivo e intensidad de uso de la tierra, Plan de cultivo y riego, Mapas temáticos de geomorfología, topografía y uso actual de los suelos elaborados por la Junta de Usuarios del Valle de Cañete. Además en el área de estudio se identificó zonas de variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en el Valle de Cañete en el período del 2003 al 2015.

Se realizó en gabinete la recopilación de las imágenes satelitales del servidor United States Survey (USGS), y productos MODIS (MOD13A2) para el área de estudio. Debido a sus características técnicas, se utilizó imágenes adquiridas por el sensor MODIS y ASTER del satélite Terra, y las del sensor TM y ETM+ del satélite Landsat.

### 3.3.2 Fase Campo

- **Reconocimiento del área de estudio**

Se realizó el reconocimiento de las 4 áreas de interés de variación espacio-temporal del área de estudio; Área 1: Chilcal y Cerro Candela, y María Angola y Canal Viejo, Área 2: San Simón-Canal Nuevo Imperial, Área 3: Hacienda Palo y Agroconsa, Área 4: Cerro El Loro, San Luis y Canal San Miguel, donde se ha dado una variación espacio-temporal de la cobertura vegetal en el periodo del 2003 al 2015. Cerca de la zona 3 del área de estudio se ubican 4 bocatomas para la captación de las aguas del río Cañete para el sistema de riego del valle, tales como: La Fortaleza, La Pinta, Pachacamilla Vieja y Palo Herbay. Estas bocatomas dan origen a cinco canales derivadores: Nuevo Imperial, Viejo Imperial, María Angola y San Miguel, Palo Herbay.

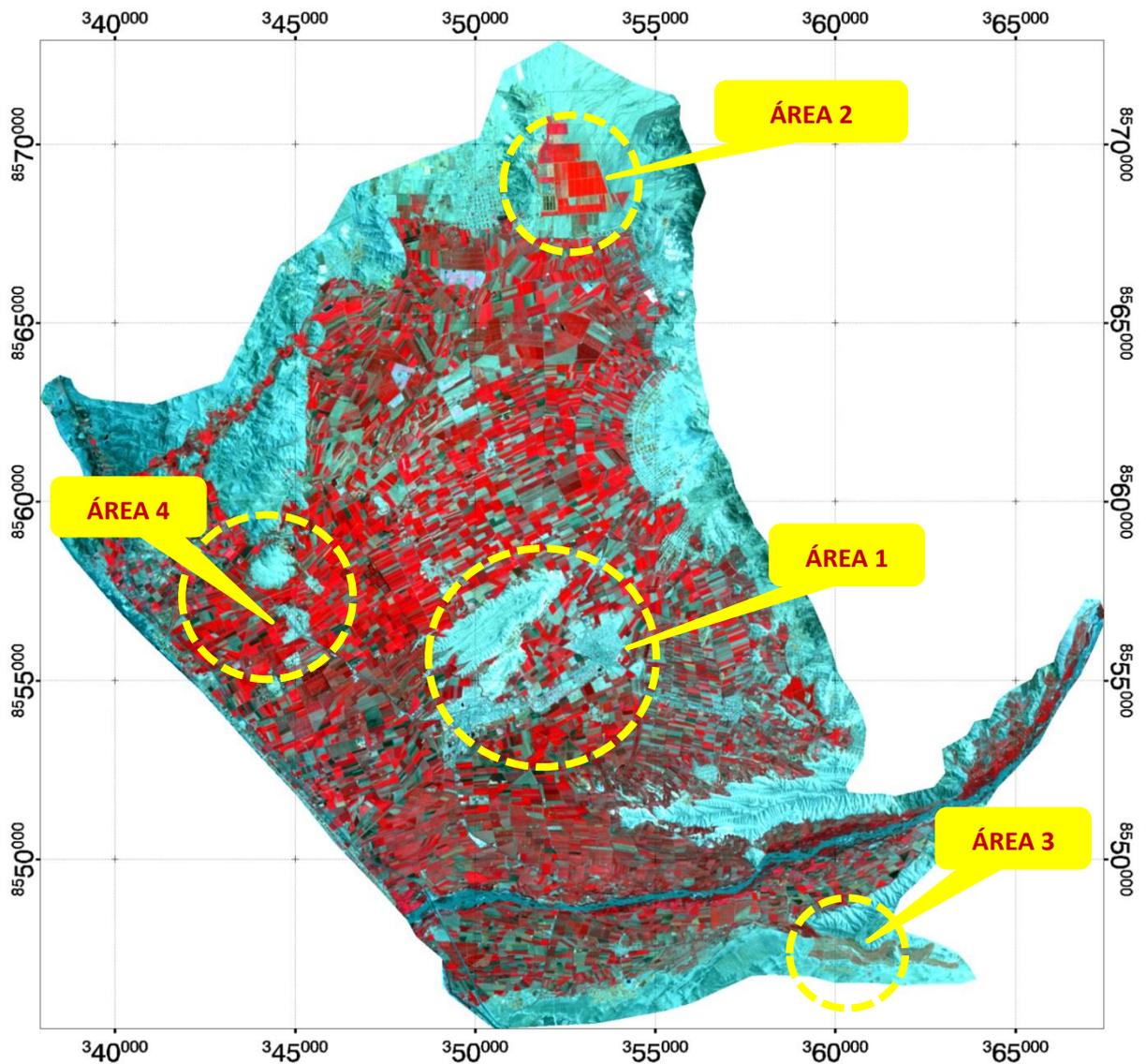


Figura 3. 5: Áreas de variación espacio-temporal del NDVI en el área de estudio.

### **3.3.3 Fase de Procesamiento de información digital**

En este capítulo se presenta los procesamientos de los datos de los sensores TM, ETM+, LDCM, ASTER y MODIS en lo que concierne a la generación de imágenes de distribución espacial y temporal del NDVI.

#### **3.3.3.1 Imágenes TM Landsat-5, ETM+ Landsat-7 y LDCM Landsat-8**

##### **a) Corrección geométrica: Georreferenciación**

Las imágenes satelitales descargadas fueron georreferenciadas con el fin de identificar y ubicar la zona de estudio para el desarrollo del trabajo de investigación.

##### **b) Corrección radiométrica en imágenes TM Landsat-5, ETM+ Landsat-7**

En el momento de la toma de la imagen, se producen distorsiones radiométricas relacionadas con la iluminación, la composición y estructura atmosférica. Para que sean válidas las comparaciones entre imágenes satelitales de diferente fecha de adquisición, éstas deben ser corregidas radiométricamente. Uno de los procedimientos más comunes para este fin, consiste en convertir los números digitales ND a valores de radiancia espectral (Badaracco 2014).

La corrección atmosférica es un paso imprescindible en los estudios multitemporales, en los que un mismo píxel terreno se recoge bajo diferentes condiciones de iluminación, atmósfera y observación.

##### **c) Conversión de números digitales (ND) a radiancia espectral**

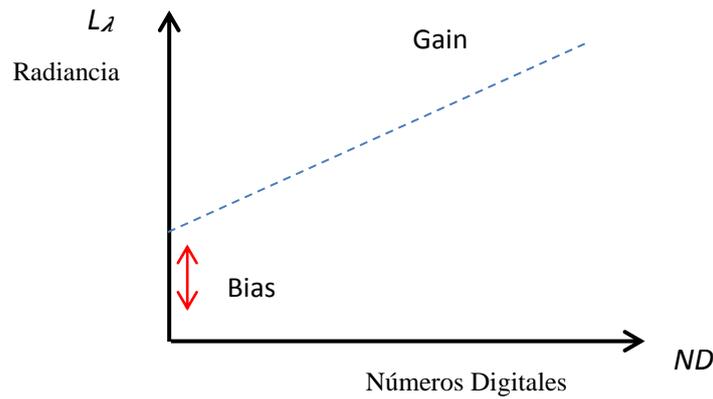
Las imágenes obtenidas de los sensores TM y ETM+ a bordo de los satélites Landsat 5 Landsat7 respectivamente contienen valores digitales (0 a 255) a una resolución espacial de 30m x 30m. Existe una relación lineal entre los ND y la radiancia espectral. Esta función lineal es típicamente descrita por los parámetros del: rango de valores de ND en la imagen, radiancia más baja ( $LMIN_{\lambda}$ ) y la radiancia más alta ( $LMAX_{\lambda}$ ). En general los datos son distribuidos en formato 8 bits correspondientes al valor ND mínimo (usualmente 0).  $LMAX$  es la radiación correspondiente al valor ND máximo (usualmente 255). La información acerca de los parámetros de calibración de los sensores es ofrecida en la

metadato o en el trabajo publicado por Chander *et al.* (2009). Se tiene la ecuación que relaciona los ND de sensores remotos con la radiancia espectral ( $L_\lambda$ ):

$$L_\lambda = \left( \frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{cal\ máx.} - Q_{cal\ min.}} \right) (ND - Q_{cal\ min.}) + LMIN_\lambda \quad (3.1)$$

Alternativamente, la calibración del sensor puede ser expresada en forma de compensación y ganancia (también denominadas “Bias” y “Gain”). El valor del “Gain” representa la pendiente de la recta de calibración que se muestra en la Figura 3.6, mientras que el “Bias” define la radiancia espectral del sensor para un valor de  $ND$  igual a cero. El valor de la radiancia espectral para cada píxel se calculó mediante la ecuación 3.2, propuesta por Markham & Barker (1986), la que se observa en  $W (m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ .

$$L_\lambda = Gain (ND) + Bias \quad (3.2)$$



**Figura 3.6: Relación entre el Número Digital y la Radiancia espectral ( $L_\lambda$ ).**

Con:

$$G = \left( \frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{cal\ máx.} - Q_{cal\ min.}} \right) \quad (3.3)$$

$$B = LMIN_\lambda - \left( \frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{cal\ máx.} - Q_{cal\ min.}} \right) Q_{cal\ min.} \quad (3.4)$$

donde  $L_\lambda$  es la radiancia espectral en el sensor [ $W/(m^2 sr \mu m)$ ],  $ND$  es el número digital para cada píxel de la imagen,  $Q_{cal\ min}$  es el rango más bajo de radiancia reescalada en  $ND$ ,  $Q_{cal\ máx}$  es el rango más alto de radiancia reescalada en  $ND$ ,  $LMIN_\lambda$  es la radiancia

espectral en la banda  $\lambda$  correspondiente a  $Q_{cal\ min}$  [ $W/(m^2sr\mu m)$ ],  $LMAX_\lambda$  es la radiancia espectral en la banda  $\lambda$  correspondiente a  $Q_{cal\ máx}$  [ $W/(m^2sr\mu m)$ ]. En la Tabla 3.5 se da una descripción de cada variable que interviene en la ecuación 3.4.

**Tabla 3.5: Descripción de las variables que intervienen en la radiancia espectral.**

Variable	Descripción
$L_\lambda$	Radiancia espectral [ $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ]
ND	Número digital
$LMAX_\lambda$	Es la radiancia espectral en la banda $\lambda$ correspondiente a $Q_{cal\ máx}$
$LMIN_\lambda$	Es la radiancia espectral en la banda $\lambda$ correspondiente a $Q_{cal\ min}$
$Q_{cal\ min}$	Es el nivel digital mínimo calibrado
$Q_{cal\ máx}$	Es el nivel digital máximo calibrado

FUENTE: Badaracco, 2014

#### d) Corrección radiométrica en imágenes LDCM Landsat-8

Los productos estándar 8 LDCM, suministrados por el USGS EROS CENTER consiste en una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales ND, los cuales representan los datos de una imagen multispectral adquirida por ambos sensores: OLI Operational Land Imagen y el TIRS Thermal Infrared Sensor (Ariza 2013).

Los datos de las bandas del sensor TIRS y OLI están derivados en 16 bits en formato no cifrado y pueden ser reescalados a los valores de reflectancia y o radiancia en el techo de la atmósfera TOA, usando para ello los coeficientes radiométricos provistos en el archivo de metadato MTL.txt, tal y como se escribe a continuación (Ariza 2013):

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L$$

Donde:

$L_\lambda$ : Es el valor de radiancia espectral en el techo de la atmósfera (TOA) medida en valores de ( $Watt/m^2 * srad * \mu m$ ).

$M_L$ : Banda - Es el factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (`RADIANCE_MULT_BAND_x`, donde x es el número de la banda).

$A_L$ : Banda - Es el factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (`RADIANCE_ADD_BAND_x`, donde x es el número de la banda).

$Q_{cal}$ : Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de píxel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen

A continuación se muestra un ejemplo de la estructura de archivos y datos del LDCM. El formato es similar a la salida de utilidad del tipo HDF (Ariza, 2013). Los archivos, grupos, conjuntos de datos, y los datos se han reorganizado para facilitar la lectura mientras se muestra el mismo contenido (Tabla 3.6).

Archivo de ejemplo: LC 80070692013103LGN01\_MTL.txt.

**Tabla 3.6: Convención de nomenclatura de archivos.**

Posición	Descripción
L	Landsat
S	Sensor de: O=OLI, T= TIRS, C= Se combinó TIRS y OLI para indicar que sensor se ha colectado para este producto.
8	Número misión Landsat
PPP	Ubicación de orbita satelital en referencia a WRS-2 de recorrido del producto
RRR	Ubicación de orbita satelital en referencia a WRS-2 vuelta del producto
YYYY	Año de adquisición de la imagen
DDD	Día de adquisición de la imagen
GGG	Estación terrestre ID
VV	Versión (vv=00-99)
_LOR	Designa un paquete de producto LOR
.FT	Tipo de archivo, donde .FT es igual a (tar"d file), _MD5 es para comprobación.
.EXT	Tipo de extensión, donde . Gz equals gzip compressed, .txt equals text

FUENTE: USGS, 2013.

Para la imagen “LC 80070692013103LGN01” el archivo metadato LC 80070692013103LGN01\_MTL.txt contendrá los coeficientes multiplicativos (resaltados aquí en color gris) para cada uno de las bandas:

```

END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2484E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2784E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1780E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.9335E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0788E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5117E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0954E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1242E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3757E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04

```

Por otra parte y seguidamente aparecerán los coeficientes aditivos (resaltados aquí en verde) para cada una de las bandas.

```

RADIANCE_ADD_BAND_1 = -62.41901
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.91783
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.89973
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.66757
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.39408
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.55873
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.54770
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -56.21002
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.87869
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000

```

### 3.3.3.2 Imágenes Aster

#### 3.3.3.2.1 Calibración radiométrica de la imagen Aster level -1A

El producto de datos “Level-1A” contiene números digitales (ND) cuantizados como enteros de 8 bits y está en un archivo HDF. Cada archivo contiene una escena completa de los datos de la imagen obtenida a partir de los datos “level-0” y corregidos por el alineamiento de los detectores SWIR y TIR. Además, incluye también los coeficientes radiométricos, geométricos y las tablas de corrección de la paralaje SWIR, datos suplementarios del satélite, datos del satélite, y los valores calculados para la cubierta nubosa. Todos estos datos se encuentran almacenados junto con los metadatos, SD, etc., en un solo archivo HDF. Para convertir los ND a Radiancia, se usan los valores de “Slope/Inclination (A), Gain (G) y Offset (D)” de los valores de la tabla de los Coeficientes de Calibración Radiométrica (RCC=“Radiometric Conversion Coefficients”) que son adicionados en el archivo HDF (Abrams 1998). Los números digitales ASTER fueron convertidos a radiancia usando las ecuaciones (3.5) y (3.6):

$$L_{VNIR,SWIR} = \left(\frac{A}{G}\right) ND + D \quad (3.5)$$

$$L_{TIR} = A(ND) + C(ND^2) + D \quad (3.6)$$

Donde:

$L_{VNIR,SWIR}$  y  $L_{TIR}$ : Radiancia espectral ( $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ )

A Coeficiente de correlación lineal

C Coeficiente de corrección no lineal

G “Gain”

D “Offset”

ND Número Digital para cada pixel de la imagen.

### 3.3.3.3 Imágenes producto MODIS

#### 3.3.3.3.1 Módulo “MODIS Conversion Toolkit”

El “*MODIS Conversion Toolkit*” (MCTK) se utiliza para georreferenciar todos los productos MODIS conocidos a través de una interfaz interactiva fácil de usar y una interfaz de programación totalmente accesible. El MCTK se basa en el “*MODIS Reprojection Tools*” (MRT) y “*MODIS Reprojection Tool Swath*” (MRT Swath), que al ingresar un archivo, su contenido ha sido convertido a valores científicamente significativos, luego proyectar esos contenidos en el sistemas de coordenadas a elegir, todo ello en una sola interfaz (Guerrero 2014).

#### 3.3.3.3.2 Tratamiento de los productos MODIS

En el diseño del módulo MCTK, un filtro de archivos está preestablecido por lo que sólo se mostrarán en el cuadro de diálogo de selección los archivos que comienzan con el carácter “M” y tienen una extensión “.HDF”. Solo el archivo puede ser seleccionado a la vez para el procesamiento. Cuando un producto MODIS válido se suministra al MCTK, los diversos campos de la interface se actualizarán. Debajo del botón “*Imput HDF*” se muestra los metadatos correspondientes al archivo introducido. Las opciones de georreferenciación para datos convertidos aparecerán directamente debajo del visor de metadatos. Las opciones de procesamiento aparecen en el lado derecho y proporcionan una lista interactiva de lo que se puede hacer con los archivos introducidos. Esta lista es diferente para cada producto MODIS (Guerrero 2014).

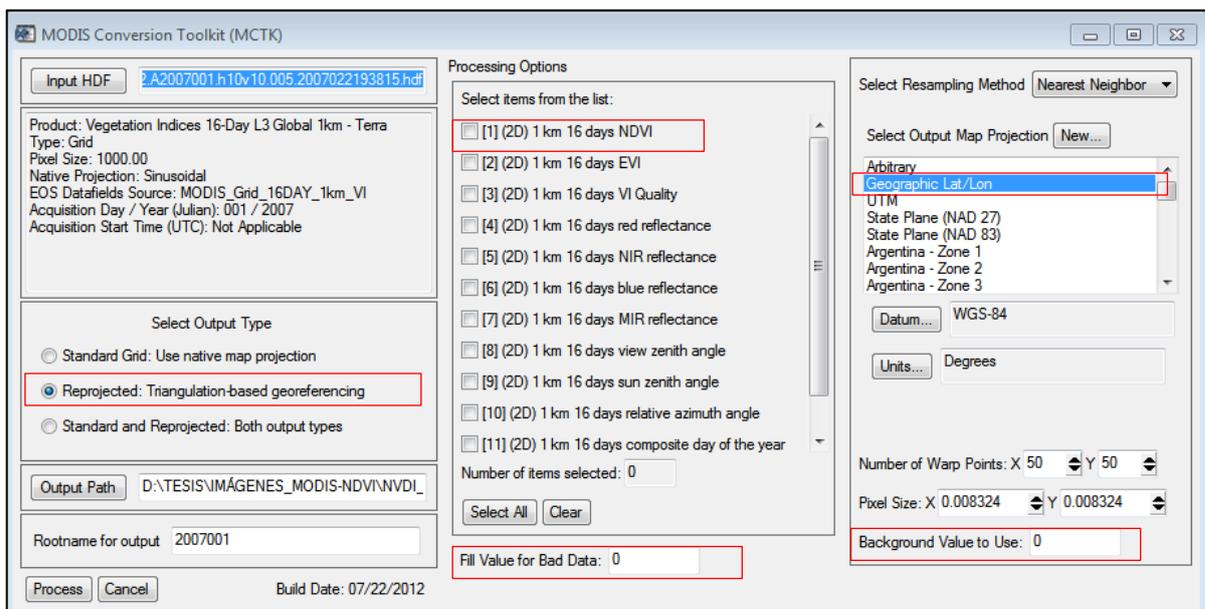


Figura 3.7: Módulo MCTK con un archivo producto MODIS de NDVI.

El ingreso de un producto MODIS en el módulo MCTK es considerando los siguientes pasos:

- Ingresar la imagen producto MODIS de índice de diferencia normalizada (NDVI): MOD13A2.A2007001.h10v10.005.2007022193815.hdf
- Seleccionar Reprojected para realizar la georreferenciación.
- Seleccionar de las opciones de procesamiento 1km 16 days NDVI.
- Seleccionar el tipo de proyección cartográfica para la imagen producto MODIS.
- Colocar como valor de relleno cero en donde por defecto es NAN (“*Background value to use*”).

### **3.3.3.4 Corrección atmosférica modelo FLASH**

#### **3.3.3.4.1 Corrección atmosférica en el espectro visible**

Los números digitales de los píxeles en una imagen contienen los efectos de la interacción de la radiación con la atmósfera, por lo tanto, para obtener información sobre la superficie terrestre, es necesario realizar una corrección atmosférica de los datos imagen. El método de corrección atmosférica utilizado es el FLAASH. Como no se tiene información sobre los parámetros atmosféricos en el preciso momento que el satélite pasa por el área de estudio, estos serán estimados a partir de los datos imagen o considerando determinados modelos atmosféricos estándares (Soledad y Joaquín 1991; Sobrino 2000; COESA 1976).

#### **3.3.3.4.2 Corrección atmosférica modelo FLAASH**

El módulo FLAASH es una herramienta de corrección atmosférica que viene incorporado en el ENVI 5.1. FLAASH corrige en las longitudes de onda visible, infrarrojo cercano y en el infrarrojo medio hasta los  $3\mu m$  (Soca 2015).

El módulo FLAASH incluye las siguientes características: Corrección del efecto de adyacencia (mezcla de píxeles debido al scattering de la radiancia reflejada de la superficie), una opción para calcular la visibilidad en la escena media (cantidad de aerosol/neblina). FLAASH utiliza las técnicas más avanzadas para el manejo de las condiciones atmosféricas, tales como la presencia de nubes (Soca 2015).

### 3.3.3.4.3 Parámetros que requiere el módulo FLAASH

El módulo FLAASH del software ENVI 5.1, viene representado por un interfaz gráfico en donde se establecen todos los parámetros de entrada (Figura 5.8). Requiere como ingreso imágenes que se encuentre en radiancia espectral de punto flotante en unidad  $[\mu W / (cm^2 sr \cdot nm)]$  y en formato de bandas intercaladas por las Líneas (BIL) o Formato de bandas Intercaladas por Píxel (BIP). En las imágenes de los sensores TM y ETM+ se dividen entre el factor de escala 10 para pasar de  $W / (m^2 sr \cdot \mu m)$  a  $[\mu W / (cm^2 sr \cdot nm)]$  (ITT Visual Information Solutions 2009).

Además del archivo de la imagen que debe corregirse, FLAASH también necesita información sobre la coordenada geográfica del centro de la imagen, la fecha y la hora del momento en que fue capturado y la altura en que se encuentra el sensor. Estas informaciones deben ser introducidas por el usuario. El sensor se puede especificar de una extensa lista de sensores multiespectrales e hiperespectrales para los que se conocen sus funciones de respuesta espectral relativa. Desconocidos sensores también se pueden seleccionarse, pero las funciones de respuesta espectral relativa se deben proporcionar por separado (Soca 2015).

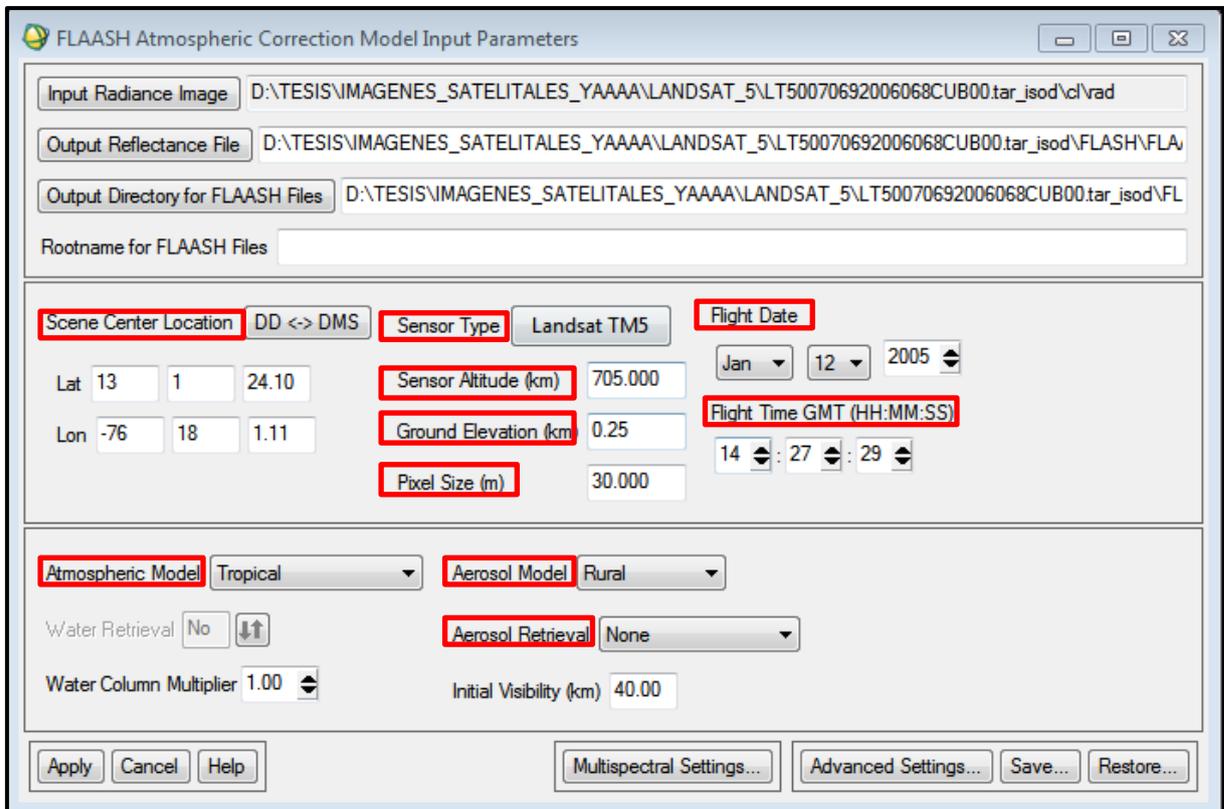
La elevación del terreno se debe proporcionar para cada imagen, y se puede encontrar por ejemplo a partir del “Google Earth” o de un modelo de elevación digital (DEM).

Se debe seleccionar un modelo atmosférico en función del clima (latitud y época de año). Si la imagen contiene una banda de absorción de agua, FLAASH puede estimar la columna de vapor de agua; de lo contrario el vapor de agua se toma del modelo atmosférico. El modelo de aerosoles debe ser seleccionado dependiendo del tipo esperado de aerosoles presentes. Para sensores con las bandas necesarias, FLAASH puede llevar a cabo la recuperación de aerosol a partir de la imagen. De lo contrario, se utilizan los valores por defecto del modelo de aerosoles. En cualquier caso, se debe establecer un valor inicial para la visibilidad. En la mayoría de los casos FLAASH proporciona valores predeterminados para las bandas que se utilizarán para el vapor de agua y la recuperación de aerosoles, pero en algunos casos debe ser especificado por el usuario (Rudjord and Due 2012).

Los parámetros requeridos y usados para la corrección atmosférica FLAASH para la imagen del sensor TM del satélite Landsat – 5 son:

- Coordenadas geográficas del centro de la escena.
  - o Latitud:  $13^{\circ}01'24.10''$
  - o Longitud:  $-76^{\circ}18'1.11''$
- Tipo de sensor: Multiespectral – Landsat TM5.
- Altura del sensor: 705 km.
- Altura sobre el nivel del mar del área de estudio: 0.25 km.
- Tamaño del píxel: 30m.
- Fecha de adquisición de la imagen: 12-01-2005

- Hora de adquisición de la imagen: 14h: 27min: 28s
- Modelo atmosférico: Tropical
- Modelo de aerosol: Rural
- Visibilidad: 40km.



**Figura 3.8: Ventana del módulo FLAASH en ENVI 5.1.**

### 3.3.3.5 Cálculo del índice de diferencia normalizada (NDVI)

#### 3.3.3.5.1 Cálculo de NDVI en imágenes Landsat 5, 7 y Aster

El NDVI se utiliza ampliamente para mejorar la discriminación de cubiertas vegetales, medir el vigor de las plantas y la producción de la biomasa. El peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permite determinar si la vegetación se encuentra sana o si tiene algún grado de estrés (Badaracco 2014). El NDVI se calcula a partir de estas medidas individuales de la siguiente manera:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (3.7)$$

$$NDVI (ASTER) = \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3 + \rho_2}$$

$$NDVI (Landsat 5 y7) = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3}$$

Donde

$\rho_4$ : Reflectancia de la banda 4 (0.631-0.692  $\mu\text{m}$ )

$\rho_3$ : Reflectancia de la banda 3 (0.772- 0.898  $\mu\text{m}$ )

La reflectancia en el infrarrojo ( $\rho_{NIR}$ ) cercano y el rojo ( $\rho_R$ ) da como resultado un parámetro físico muy importante que es el NDVI, los rangos de este parámetro físico oscila entre -1 a 1, si los valores de NDVI se aproximan a 1 indica que la vegetación es saludable, y si se aproxima a cero indicará una vegetación no saludable. Para obtener el NDVI a partir de los sensores TM se usaron las reflectancia de las bandas 3 y 4.

Las superficies cubiertas por agua tienen baja reflectividad en ambas bandas espectrales así que serán caracterizadas por valores de NDVI cercanas a cero. El suelo desnudo en general presenta una reflectividad en la banda del infrarrojo cercano ligeramente superior a la de la banda del rojo así tendrá valores de NDVI ligeramente positivos. Se muestra en la Figura 3.9.

### 3.3.3.5.2 Cálculo de NDVI en imágenes satelitales Landsat 8

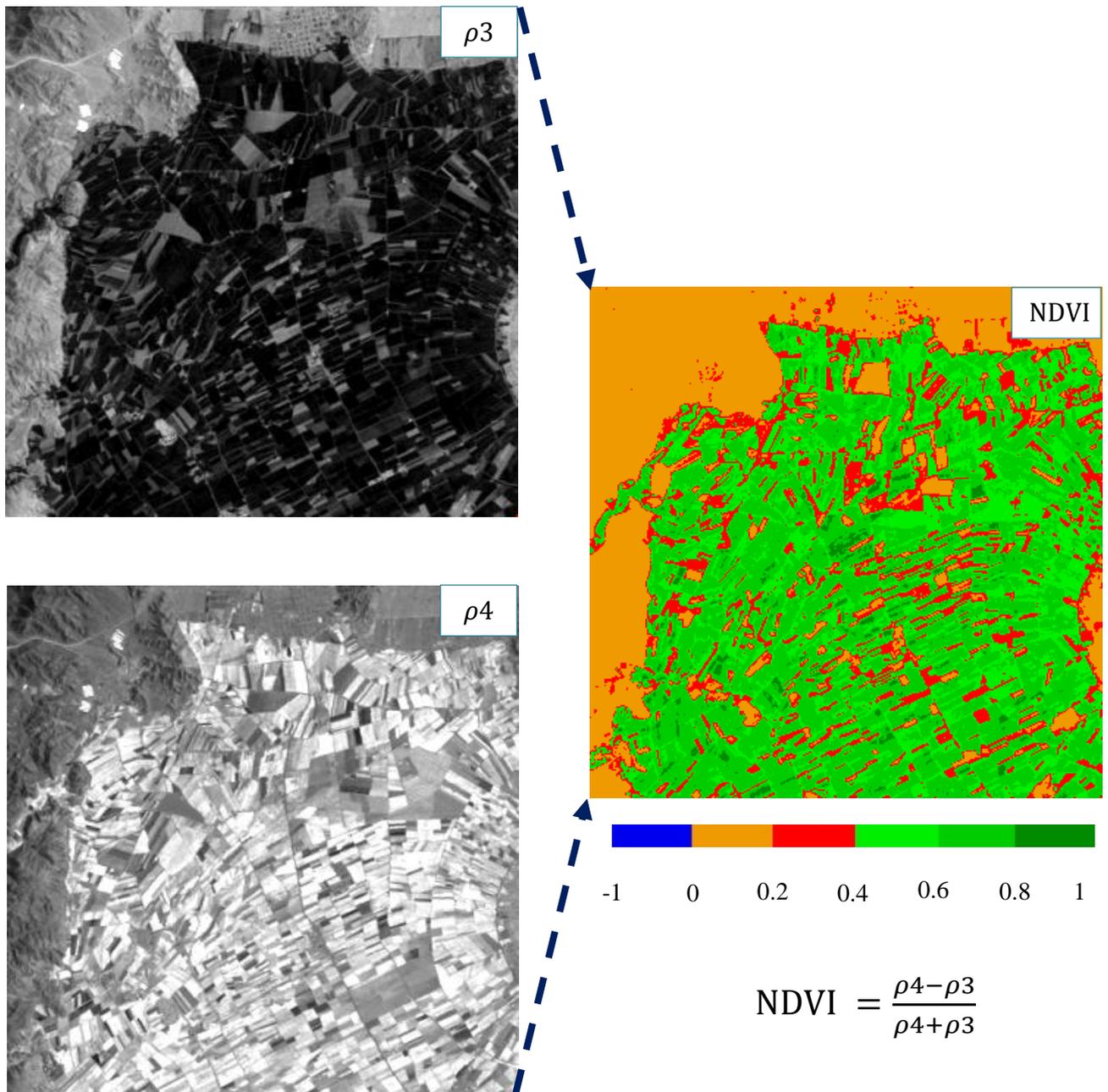
Para obtener el NDVI a partir del sensor LDCM se usaron las reflectancia de las bandas 4 y 5. Se muestra en el Figura 3.10.

$$NDVI (Landsat 8) = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4}$$

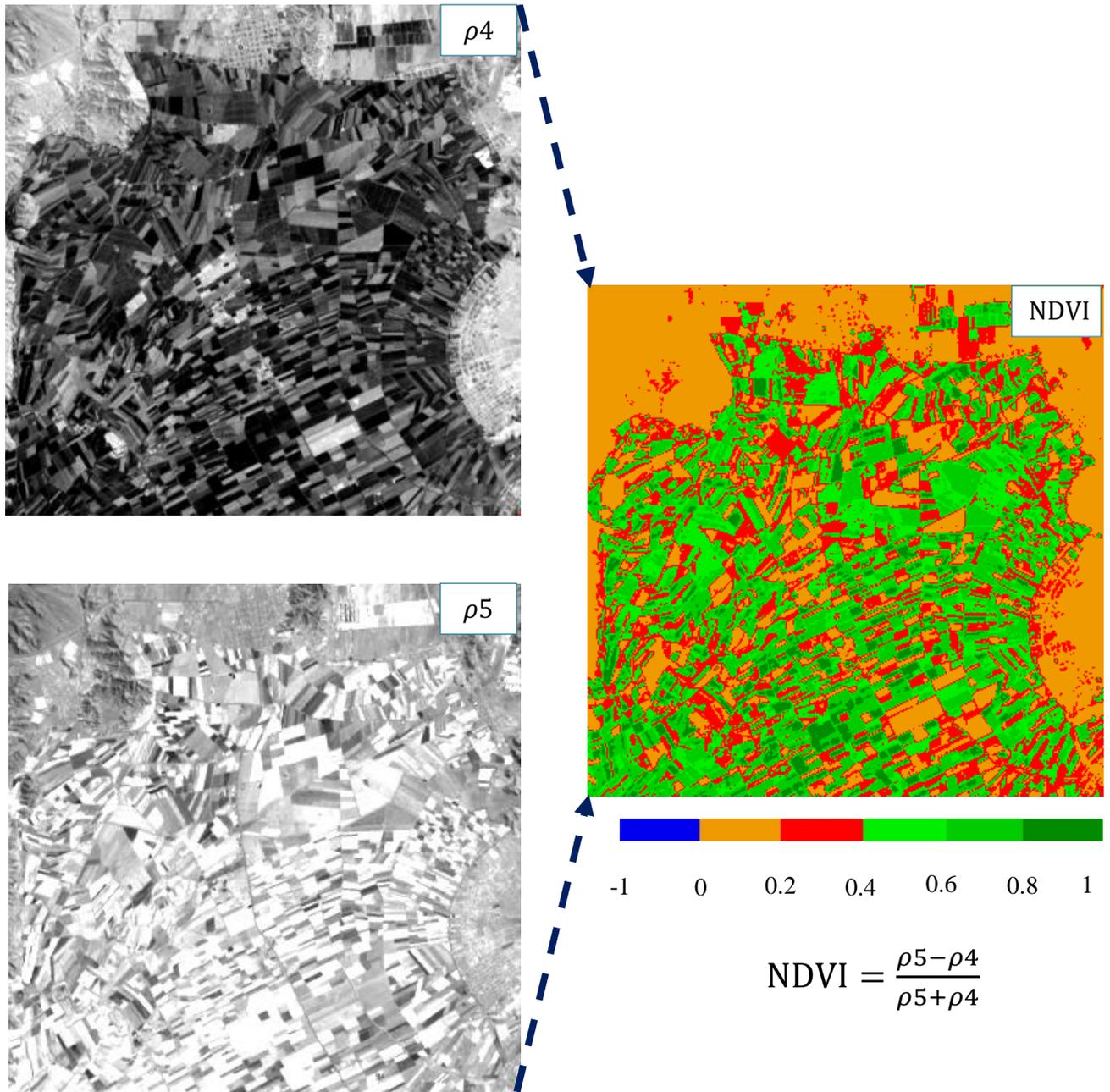
Donde:

$\rho_5$ : Reflectancia de la banda 5.

$\rho_4$ : Reflectancia de la banda 4.



**Figura 3.9: NDVI de la imagen Landsat TM de fecha 09/03/2006, usando las bandas 3 y 4 de la reflectancia.**



**Figura 3.10: NDVI de la imagen Landsat 8 de fecha 13/04/2013, usando las bandas 4 y 5 de la reflectancia.**

### 3.3.3 6 Mapas de Índice de diferencia normalizada (NDVI)

La obtención del porcentaje de cobertura vegetal en cada mapa de NDVI es mediante la conversión de los píxeles a cobertura de áreas (ha) multiplicando la dimensión del píxel y el número de píxeles, donde la dimensión del píxel es igual a 30m x 30m. El área de estudio es de 39,113.91 hectáreas.

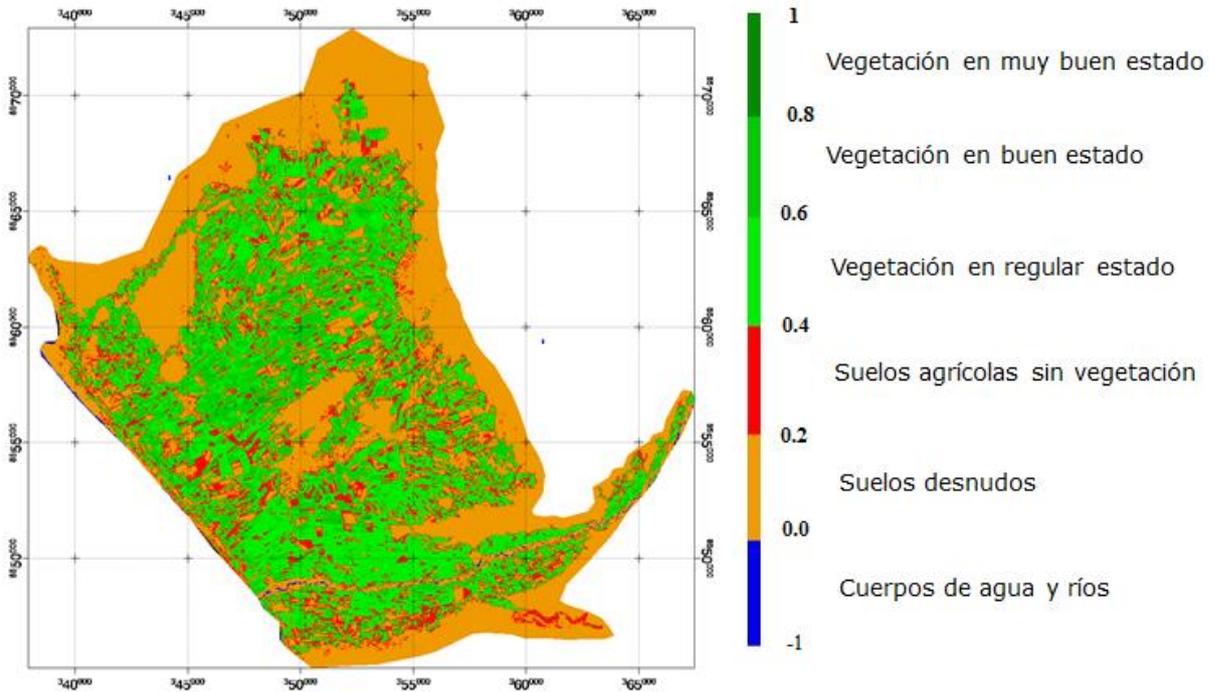
$$\text{Área de cobertura vegetal (Has)} = \frac{\# \text{ de píxeles NDVI} * \text{tamaño de píxel}}{10000} \quad (3.8)$$

Los mapas de NDVI están representados de la misma manera y con igual rango de valores de NDVI. La vegetación en muy buen estado está en un rango de 0.8 a 1, la vegetación en buen estado en un rango de 0.6 a 0.8, la vegetación en regular estado en un rango de 0.4 a 0.6. Los suelos agrícolas sin vegetación están en el rango de 0.2 a 0.4 y los suelos desnudos están en el rango 0.0 a 0.2. Los cuerpos de agua y ríos están dentro del rango de -1 a 0.



**Figura 3. 11: Rango de valores de NDVI.**

Los rangos considerados para el NDVI permitieron identificar la presencia de vegetación y caracterizar su distribución espacial en el área de estudio. El agua por tener mayor reflectancia en el infrarrojo que en el rojo, se obtiene valores negativos de NDVI representado en color azul. Los terrenos agrícolas sin cultivos y eriazos están representados de color rojo y mostaza, respectivamente. La vegetación verde y saludable se representa de color verde. Se muestra en la Figura 3.12.



**Figura 3. 12: Mapa de NDVI de la imagen Landsat 8.**

### 3.3.3.7 Relación de LST, Temperatura ambiental y NDVI

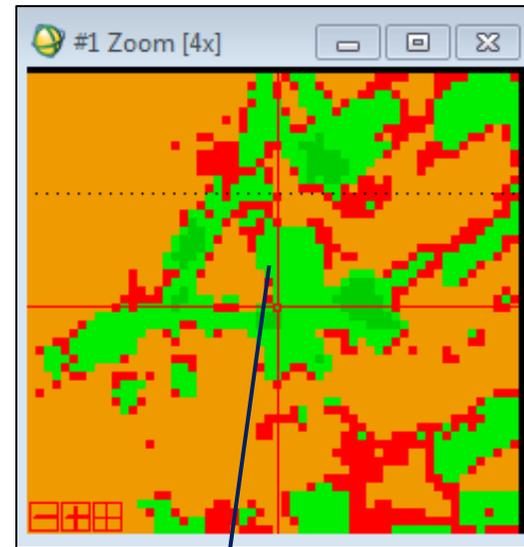
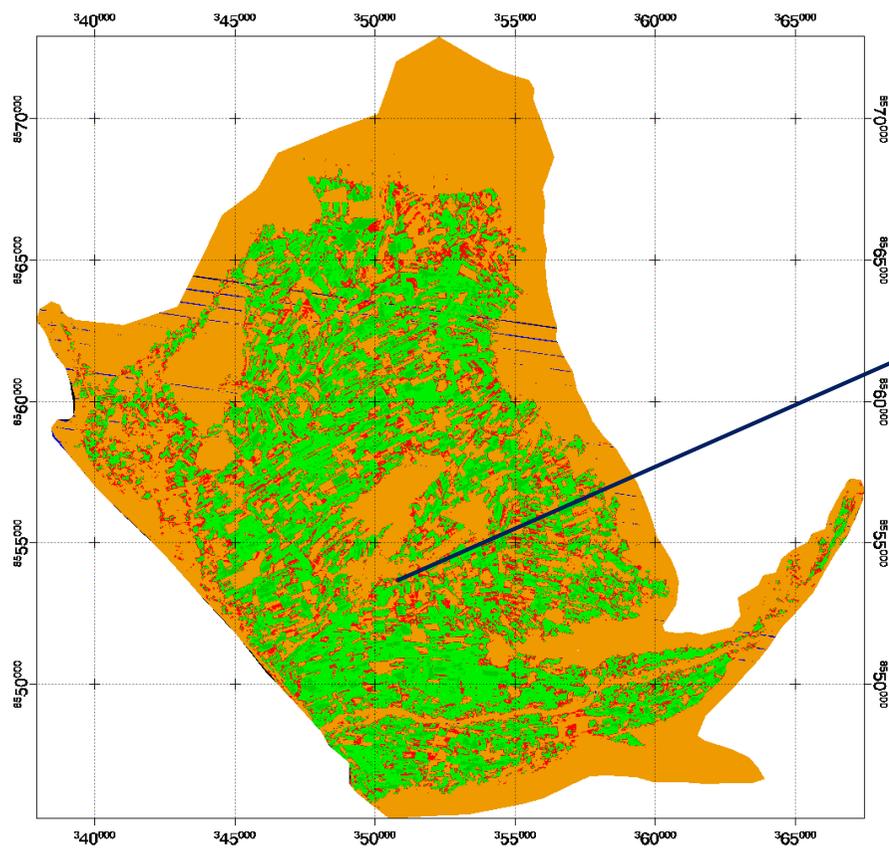
Se realizó el análisis de la relación de NDVI, cobertura vegetal y temperatura superficial terrestre con datos de temperatura ambiental de la estación meteorológica – Cañete, cuyas coordenadas geográficas son: latitud  $13^{\circ}04'29.1''$  y longitud  $76^{\circ}19'49.5''$ , ubicado cerca de la zona 1 del área de estudio, y se relacionó con los valores de la serie de tiempo del NDVI.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Los Mapas de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada están representados de la misma manera y con igual rango de valores de NDVI, con un área de estudio de 39, 113.91 ha para el período de 2003 al 2015, estos se pueden ver en el *Anexo 9*. En la Figura 4.1 se muestra el Mapa de NDVI del sensor TM de fecha 22/12/2006, se visualiza que el 0.001% (0.27 ha) representa vegetación en muy buen estado, 5.03% (1,966.50 ha) vegetación en buen estado, 29.46% (11,524.77 ha) vegetación en regular estado, 11.03% (4,315.50 ha) suelo agrícola sin vegetación, 54.12% (21,166.56 ha) suelo desnudo y el 0.00% (0.0 ha) de agua en el Río Cañete.

Los Mapas de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada generados a partir de las imágenes satelitales se validaron con la ubicación de un punto de referencia en el Google Earth, además se utilizó información de la Junta de Usuarios del Valle de Cañete y la visita al área de estudio para su verificación. En la Figura 4.1 la ubicación de este punto de referencia en UTM son: 351311m E, 9276985m N. Se realizó una interpretación monoscópica, una proyección de una escena tridimensional en un plano, en la imagen del Google Earth de alta resolución espacial, donde se observó la presencia de vegetación verde para la fecha 22 de diciembre del 2006, así se evidenció la presencia de vegetación en la imagen satelital del mapa de NDVI del sensor TM para la fecha 22 de diciembre del 2006.



**Figura 4.1:** Ubicación de un punto de referencia en coordenadas UTM (351311m E, 9276985m N) del Zoom [4x]. Imagen de NDVI del sensor TM de fecha 22/12/2006.

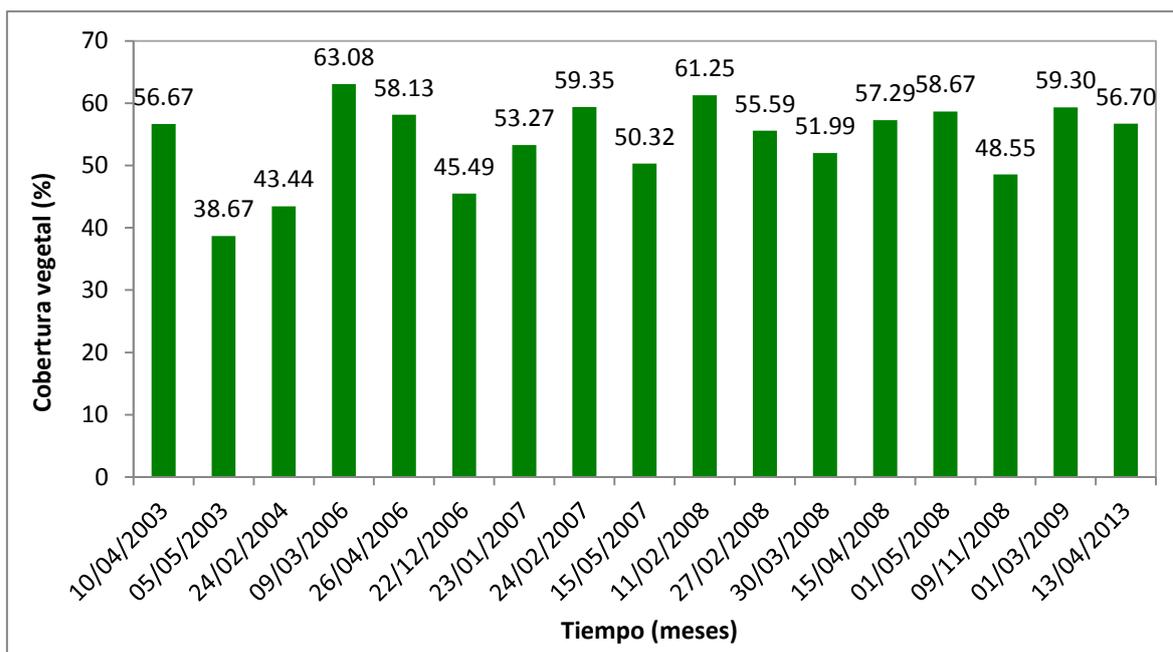
En la Tabla 4.1 se muestra que la mayor cantidad de área de cobertura vegetal se dió en las fecha 09/03/2006 y 11/02/2008, tal como se registró en el Plan de Cultivo y Riego del Valle de Cañete 2006-2007. Sin embargo para las fechas 05/05/2003 y 24/02/2004 se registró menor cantidad de área sembrada, así como se registra en el Plan de Cultivo y Riego del Valle de Cañete 2004-2005.

**Tabla 4.1: Área de la cobertura vegetal de las 17 imágenes del índice de vegetación normalizada (NDVI).**

N°	Fecha	# píxeles NDVI	Área de Cobertura vegetal (ha)	% Cobertura vegetal
1	10/04/2003	246292	22,166.28	56.67
2	05/05/2003	168052	15,124.68	38.67
3	24/02/2004	188778	16,990.02	43.44
4	09/03/2006	274141	24,672.69	63.08
5	26/04/2006	252648	22,738.32	58.13
6	22/12/2006	197706	17,793.54	45.49
7	23/01/2007	231514	20,836.26	53.27
8	24/02/2007	257922	23,212.98	59.35
9	15/05/2007	218678	19,681.02	50.32
10	11/02/2008	266196	23,957.64	61.25
11	27/02/2008	241576	21,741.84	55.59
12	30/03/2008	225961	20,336.49	51.99
13	15/04/2008	249002	22,410.18	57.29
14	01/05/2008	254968	22,947.12	58.67
15	09/11/2008	210984	18,988.56	48.55
16	01/03/2009	257723	23,195.07	59.30
17	13/04/2013	246424	22,178.16	56.70

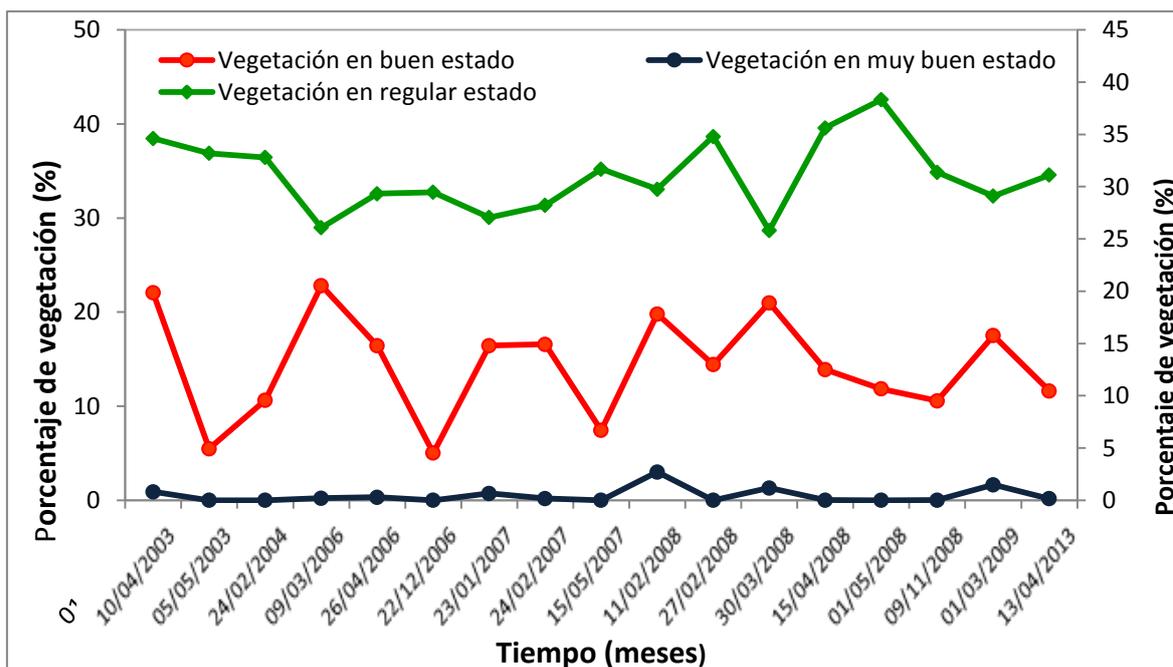
FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 4.2 se realizó la representación gráfica de la variación espacial de la cobertura vegetal en porcentaje para las fecha de los mapas de NDVI mencionadas en la Tabla 4.1.



**Figura 4. 2: Variación espacial de la cobertura vegetal durante el periodo de 2003 al 2013 estimada de las imágenes satelitales a través de NDVI.**

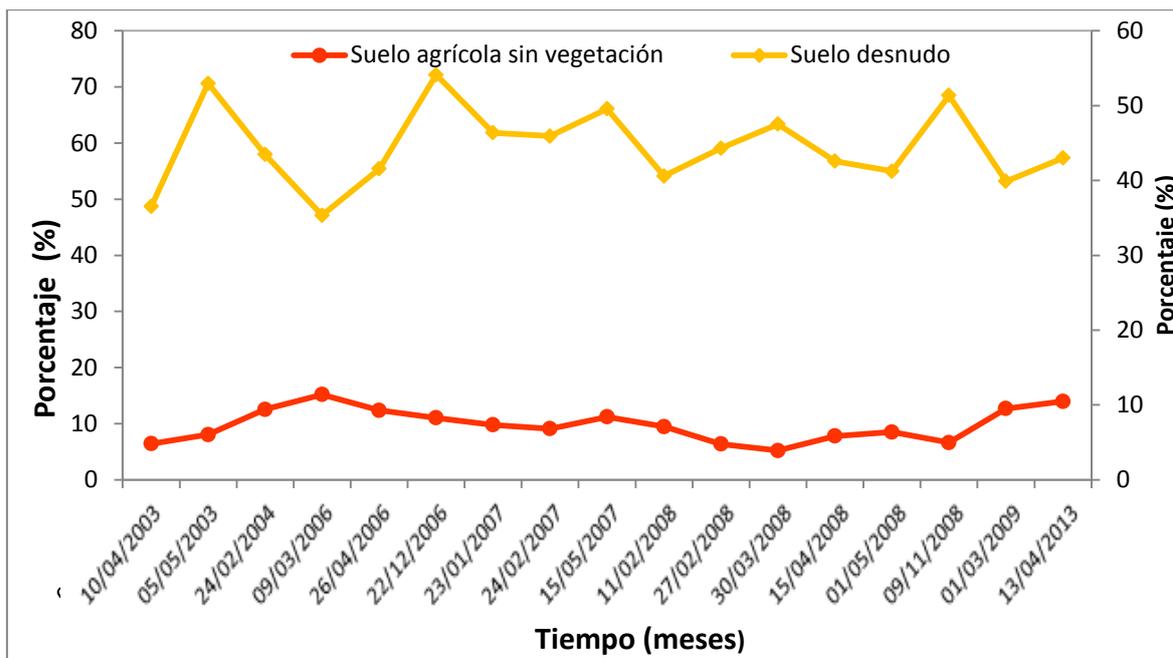
En la Figura 4.3 se muestra la variación de los porcentajes de los estados de salud de la vegetación: Muy buen estado, Buen estado y Regular estado. Se registra que el porcentaje de máxima vegetación en muy buen estado de salud se dió en la fecha 11/02/2008 con un valor de 3.01%, sin embargo para la fecha del 22/12/2006 no se registró porcentaje para vegetación en muy buen estado. Para la vegetación en buen estado de salud el porcentaje máximo registrado se dió en la fecha 09/03/2006 con un valor de 22.59%, y el mínimo en la fecha del 22/12/2006 con un valor de 5.03%. Finalmente para la vegetación en regular estado de salud el porcentaje máximo se dió en la fecha 01/05/2008 con un valor de 38.32% y el mínimo en la fecha 30/03/2008 con un valor de 25.80%. En el área de estudio prevalece sobre todo la vegetación en regular estado, presentando los mayores porcentajes entre el 20 y 40 % durante el período de 2003 al 2013.



**Figura 4. 3: Variación porcentual de los estados de salud de la vegetación durante el periodo de 2003 al 2013.**

En la Figura 4.4 se muestra la variación de los porcentajes de los estados del suelo: Suelo desnudo y Suelo agrícola sin vegetación. Se registró el mayor porcentaje de suelo agrícola sin vegetación en la fecha 09/03/2006 con un valor de 15.18%, y el menor en la fecha 30/03/2008 con un valor de 5.20%. Para el suelo desnudo el porcentaje máximo se dió en la fecha 22/12/2006 con un valor de 54.12%, más de la mitad del área de estudio no presenta vegetación, coincidiendo con lo mostrado en la Figura 4.11 para la vegetación en buen estado y regular estado, donde se registró los valores más bajos para la fecha 22/12/2006; y el menor en la fecha 09/03/2006 con un valor de 35.34%.

En la Tabla 4.2 se detalla la estadística de las 17 imágenes de NDVI de los sensores Landsat y Aster, como el valor mínimo, máximo, promedio y la desviación estándar. La información procesada de las imágenes satelitales para cada fecha está dentro de los rangos que oscilan los valores de NDVI, es decir son correctos ya que están dentro de -1 y 1.



**Figura 4. 4: Variación del porcentaje según características del suelo durante el periodo de 2003 al 2013.**

**Tabla 4.2: Estadística descriptiva de los valores de NDVI para el área de estudio.**

Nº	Fecha	NDVI Mínimo	NDVI Máximo	NDVI Promedio	Desviación estándar
1	10/04/2003	-0.286	0.903	0.171	0.244
2	05/05/2003	-1.000	0.816	0.112	0.175
3	24/02/2004	-0.200	0.786	0.139	0.207
4	09/03/2006	-0.309	0.866	0.170	0.244
5	26/04/2006	-0.352	0.873	0.161	0.228
6	22/12/2006	-1.000	0.808	0.133	0.187
7	23/01/2007	-0.338	0.883	0.157	0.228
8	24/02/2007	-0.217	0.855	0.159	0.226
9	15/05/2007	-0.231	0.832	0.137	0.192
10	11/02/2008	-0.418	0.913	0.164	0.240
11	27/02/2008	-0.233	0.818	0.157	0.220
12	30/03/2008	-0.308	0.893	0.168	0.242
13	15/04/2008	-0.199	0.840	0.156	0.218
14	01/05/2008	-0.223	0.831	0.156	0.214
15	09/11/2008	-0.127	0.835	0.145	0.204
16	01/03/2009	-0.366	0.915	0.159	0.233
17	13/04/2013	-0.212	0.842	0.146	0.210

FUENTE: Elaboración propia.

## 4.2 Análisis de las imágenes ASTER

En la Figura 4.5 se muestra las 4 áreas seleccionadas, donde se ha registrado la variación espacio-temporal del NDVI en el período del 2003 al 2013, en los Centros poblados: Chilcal (área 1), San Simón (área 2), Agroconsa (área 3) y Cerro el Loro (área 4).

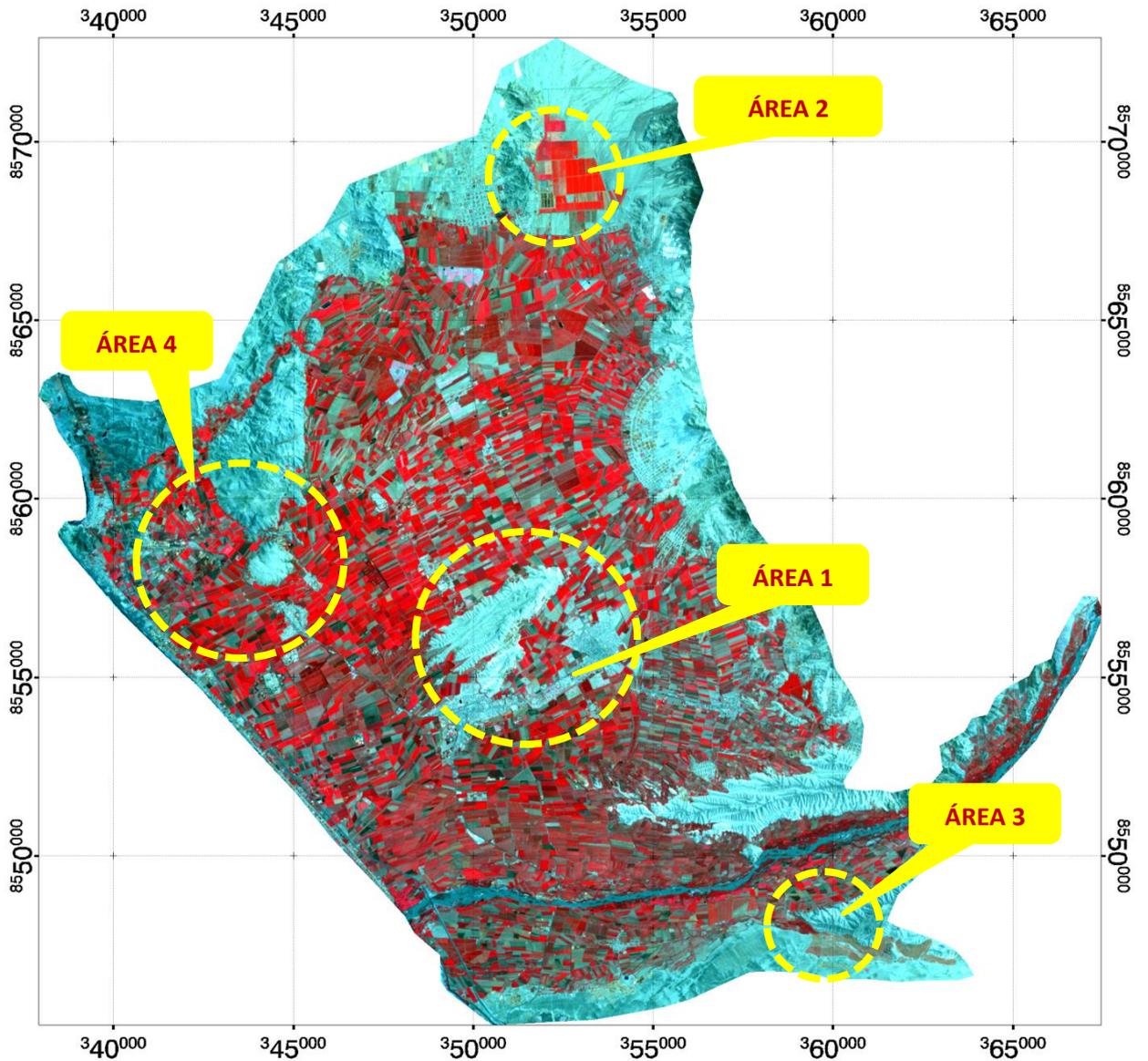
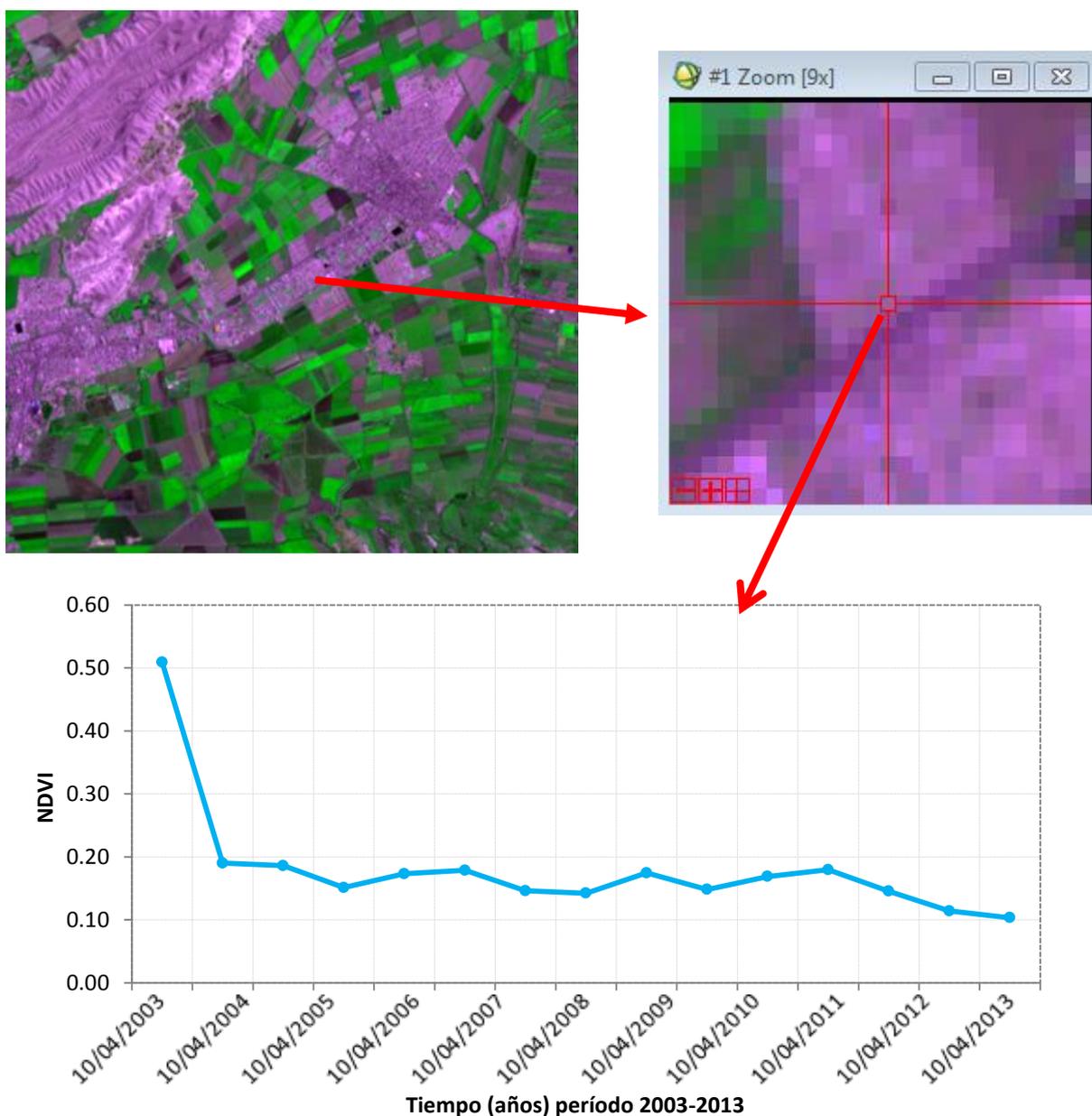


Figura 4. 5: Áreas de variación espacio-temporal del NDVI en el área de estudio, Valle de Cañete.

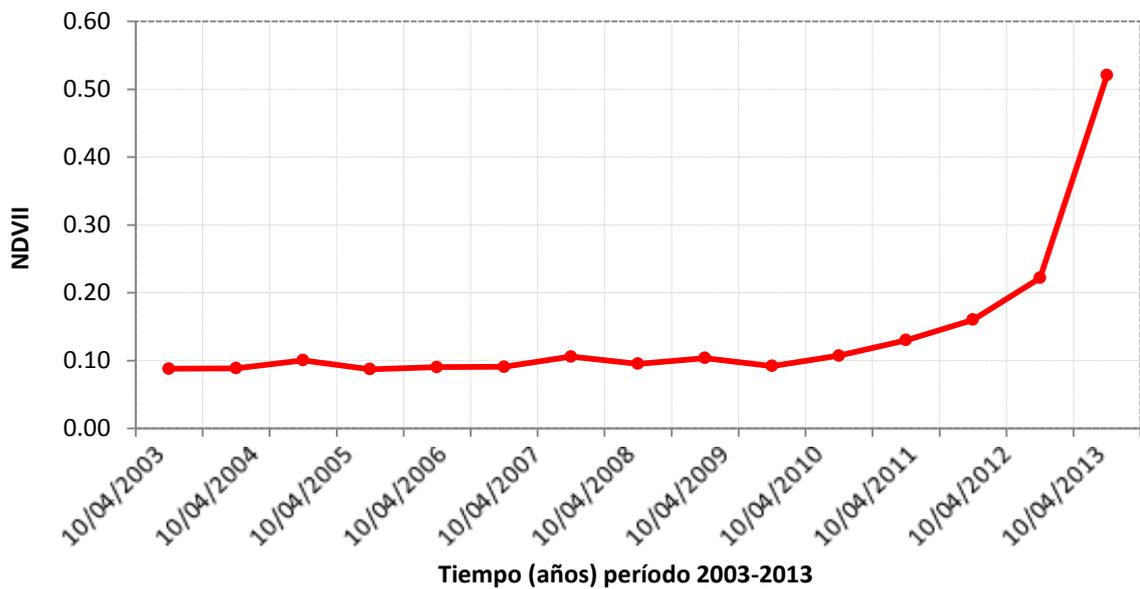
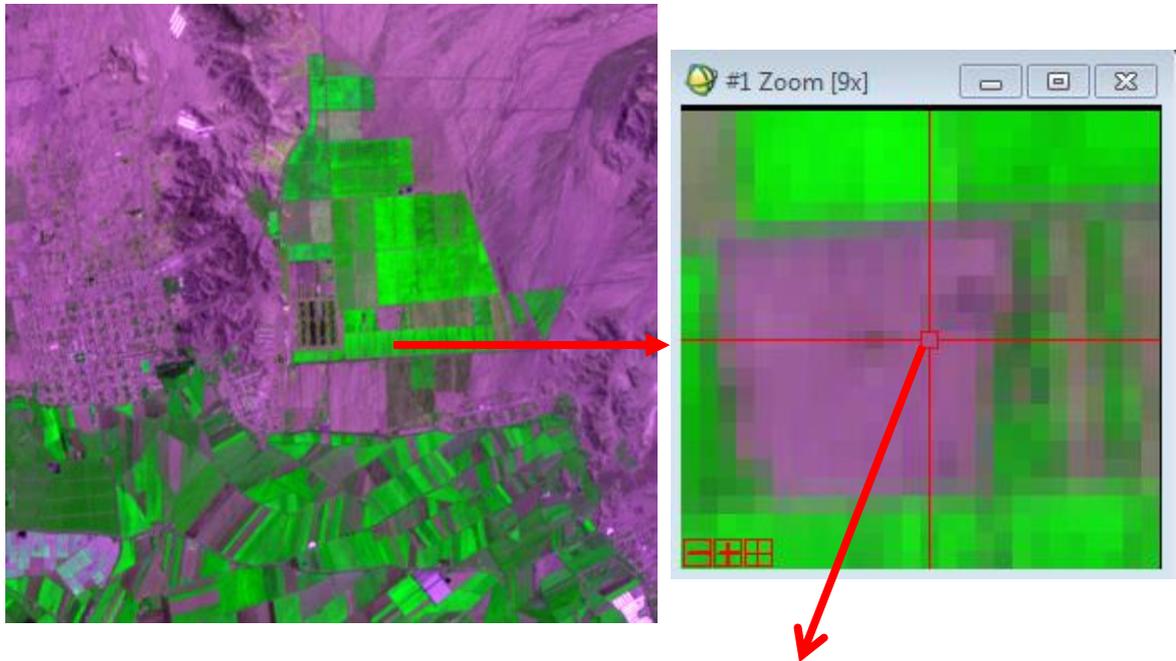
### 4.2.1 Variación temporal del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

En la Figura 4.6 se muestra el centro poblado Chilcal (área 1), ubicado en el distrito de San Vicente de Cañete, donde inicialmente en el área hubo cobertura vegetal y a medida que ha pasado los años éste ha disminuido considerablemente, según se muestra en la imagen esta disminución de cobertura vegetal es por el aumento de las construcciones de viviendas en suelo de uso agrícola. Se observa en la gráfica Tiempo vs. NDVI una tendencia decreciente en los valores de NDVI en el periodo del 2003 al 2013.



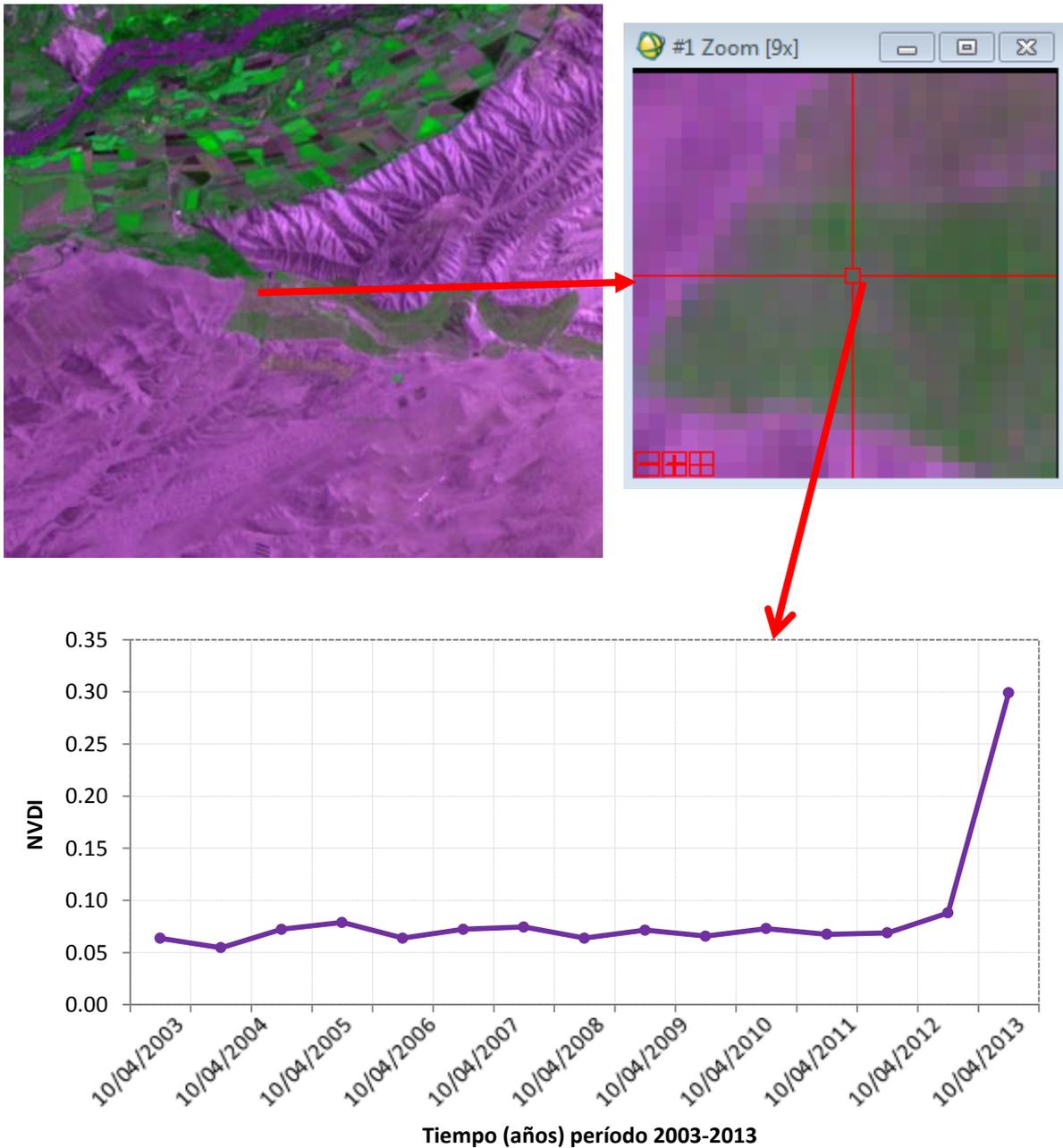
**Figura 4. 6:** Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada en el área 1.

En la Figura 4.7 se muestra el centro poblado San Simón (área 2), ubicado en el distrito de Quilmaná, donde inicialmente había una escasa presencia de cobertura vegetal y a medida que ha pasado los años éste ha ido incrementándose llegando a ocupar toda el área que al principio estuvo sin vegetación. Se observa en la gráfica Tiempo vs. NDVI una tendencia creciente en los valores de NDVI entre el período del 2003 al 2013.



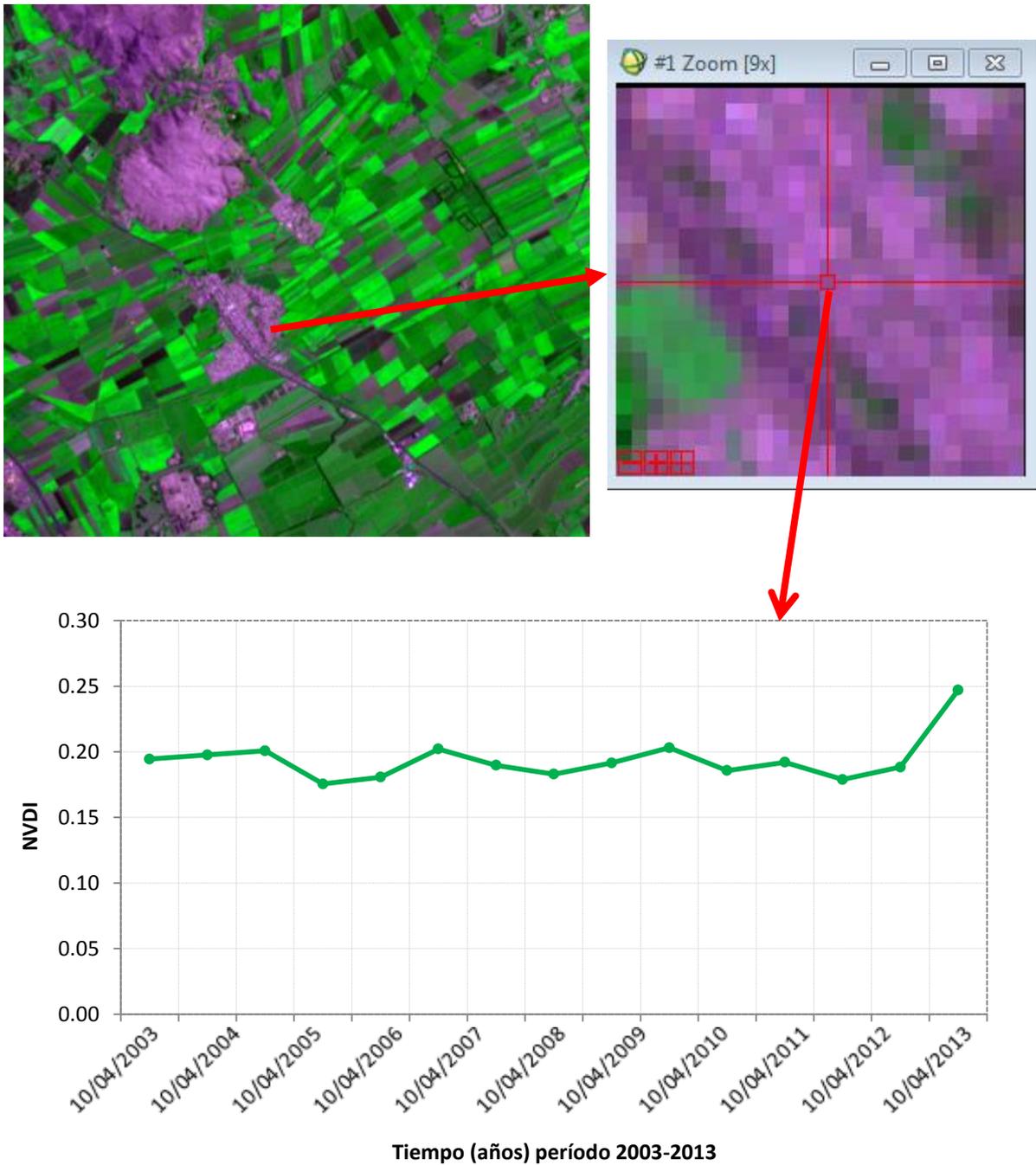
**Figura 4. 7: Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada del área 2.**

En la Figura 4.8 se muestra el centro poblado Agroconsa (área 3), ubicado en el distrito de San Vicente de Cañete, donde inicialmente había una escasa presencia de cobertura vegetal y a medida que ha pasado los años éste se ha incrementado considerablemente, esto se corroboró con la visita a campo y la afirmación de los pobladores que efectivamente ha ido incrementando la presencia de vegetación en dicha de la zona, cerca del río Cañete. Se observa en la gráfica Tiempo vs. NDVI una tendencia creciente en los valores de NDVI entre el periodo del 2003 al 2013.



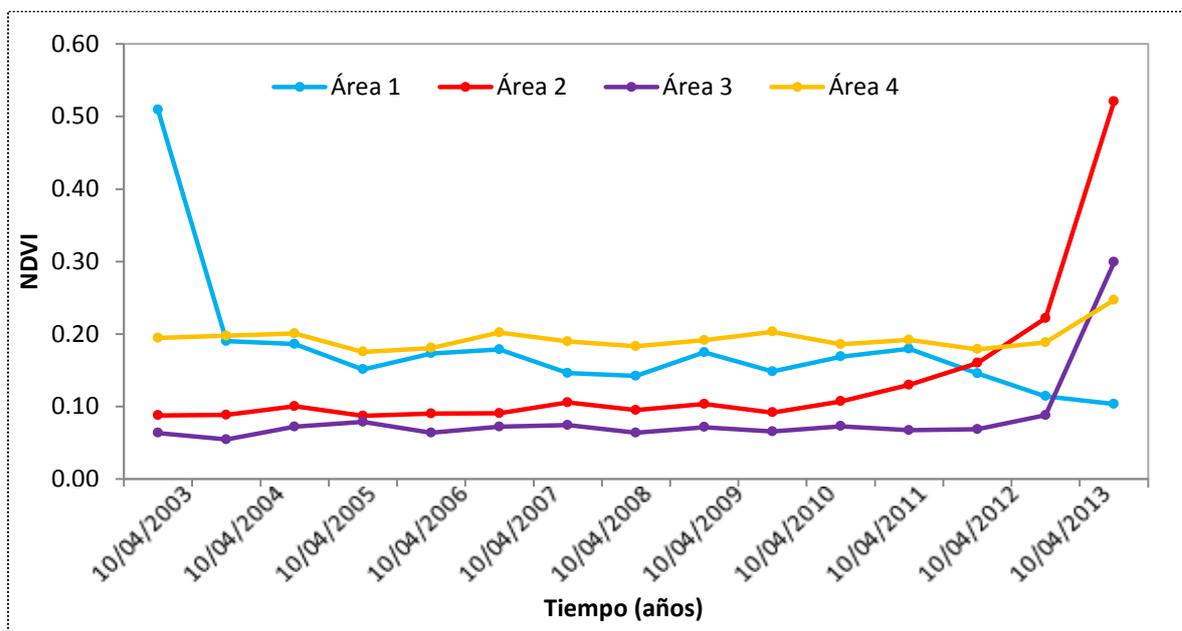
**Figura 4. 8: Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada del área 3.**

En la Figura 4.9 se muestra el centro poblado Cerro el Loro (área 4), ubicado en el distrito de San Luis, donde la vegetación ha permanecido casi constante en el tiempo. Aunque si se ha presenciado un incremento de las construcciones de viviendas, este no ha sido tan significativo como en las otras áreas estudiadas. Se observa en la gráfica Tiempo vs. NDVI valores casi constantes de NDVI entre el período del 2003 al 2013.



**Figura 4. 9:** Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada en el área 4.

En la Figura 4.10 se muestra la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada de las 4 áreas de interés. El área 1 ubicado en el distrito de San Vicente de Cañete presenta un valor de NDVI inicial de 0.50 en el 2003, cuyo valor ha ido descendiendo por el aumento de las construcciones de viviendas llegando a un valor de NDVI final de 0.10 para el año 2013. El área 2 en el distrito de Quilmaná presenta un valor de NDVI inicial de 0.08 para el 2003, cuyo valor ha ido incrementándose por el aumento de la cobertura vegetal llegando a un valor de NDVI final de 0.52 para el año 2013. El área 3 en el distrito de San Vicente de Cañete presenta un valor de NDVI inicial de 0.05 en el 2003, cuyo valor ha ido incrementándose por el aumento de la cobertura vegetal llegando a un valor de NDVI final de 0.29 para el año 2013. Finalmente en el área 4 en el distrito San Luis presenta un valor de NDVI inicial de 0.17 en el 2003, cuyo valor se ha ido manteniendo en el tiempo, sin embargo se registra un leve aumento de las construcciones de viviendas y a la vez un incremento de cobertura vegetal llegando a un valor de NDVI final de 0.24 para el año 2013.

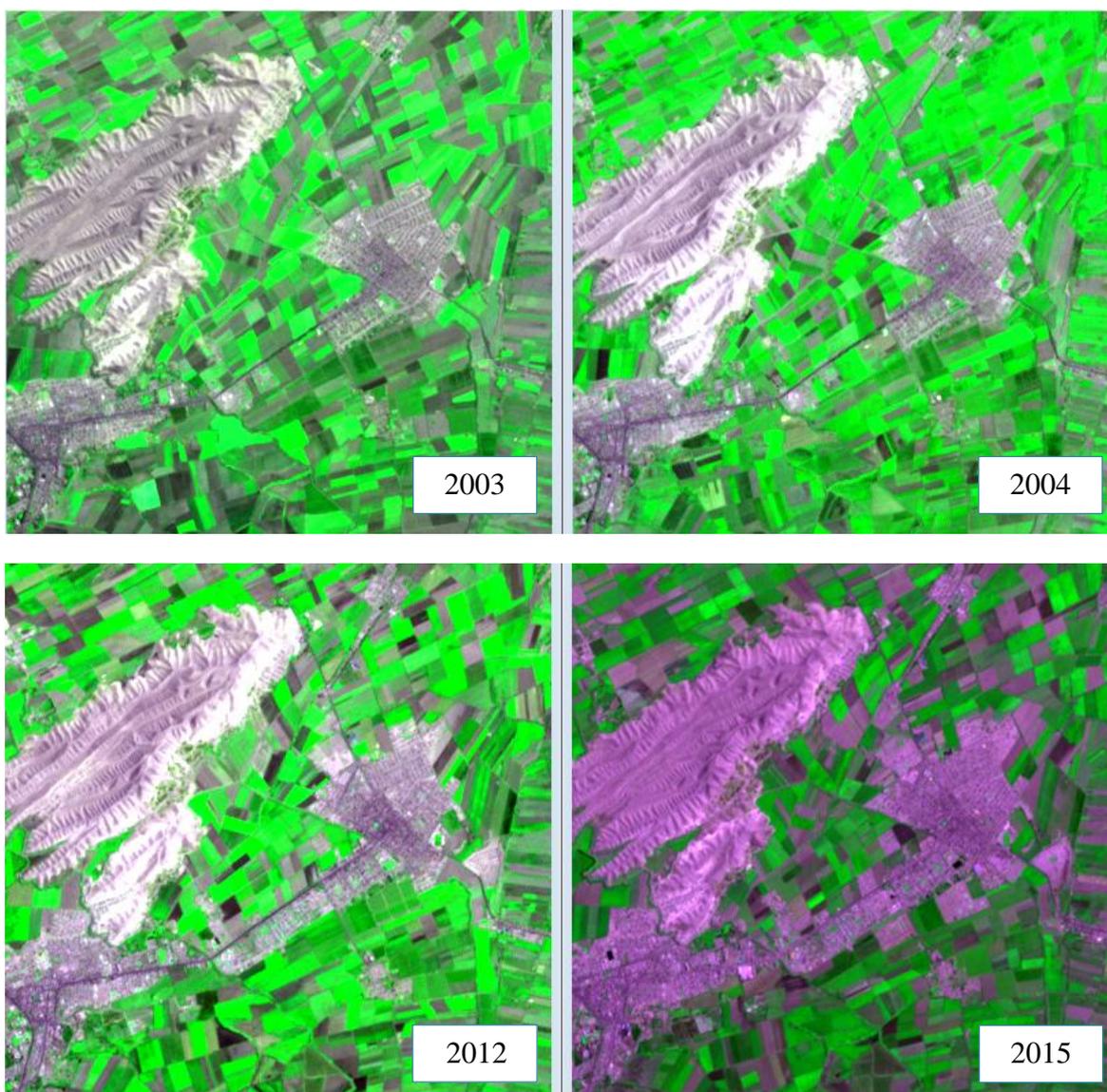


**Figura 4. 10 : Gráfica de la serie de tiempo del índice de vegetación de diferencia normalizada en las 4 áreas de interés.**

#### 4.2.2 Variación espacial del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

En la Figura 4.11 se muestra el área 1 ubicado en el distrito de San Vicente de Cañete con las fecha del 24/07/2003, 24/02/2004, 01/03/2012 y 18/09/2015, donde se observa que del 2003 al 2015 hay un incremento de construcciones de viviendas en zonas aptas para la agricultura, además de causar un empobrecimiento de los suelos, teniendo así menor área de cobertura vegetal.

##### Área 1



**Figura 4. 11: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (352890m E, 8554915m N).**

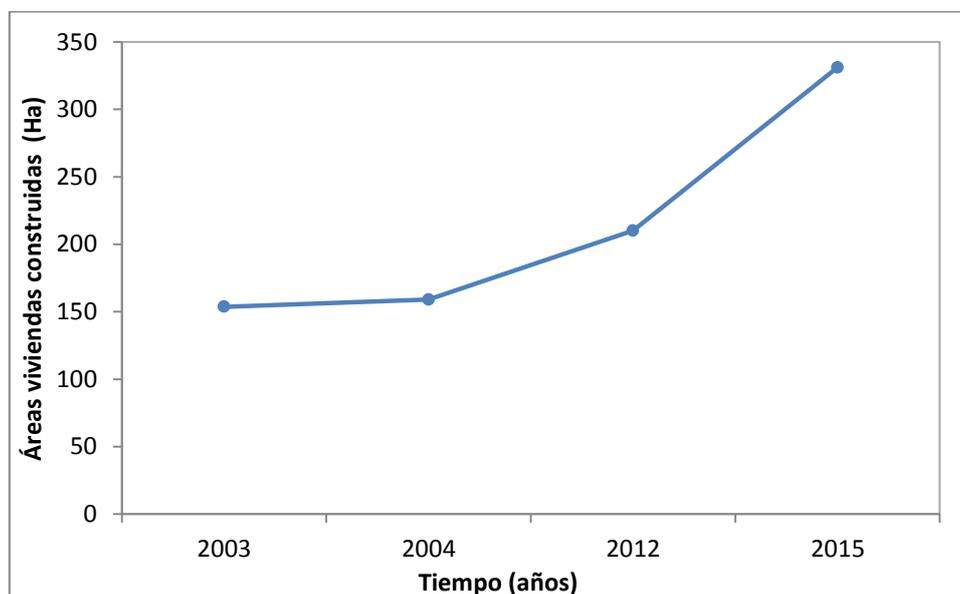
En sus últimas proyecciones y estimaciones anuales de población el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) indica que en el distrito de San Vicente de Cañete en el año 2003 hubo una población de 44,143 de habitantes y para el 2015 una población de 55,824 habitantes (Ver Anexo), evidenciando el incremento de la población en este distrito. En la Tabla 4.3 se muestra los valores de la cantidad de hectáreas de las construcciones de vivienda con la finalidad de corroborar la variación temporal en el periodo 2003-2015.

**Tabla 4.3: Áreas de construcciones de viviendas en el área 1.**

Años	Área de viviendas (Ha)
2003	153.67
2004	158.94
2012	210.09
2015	330.98

FUENTE: Elaboración propia.

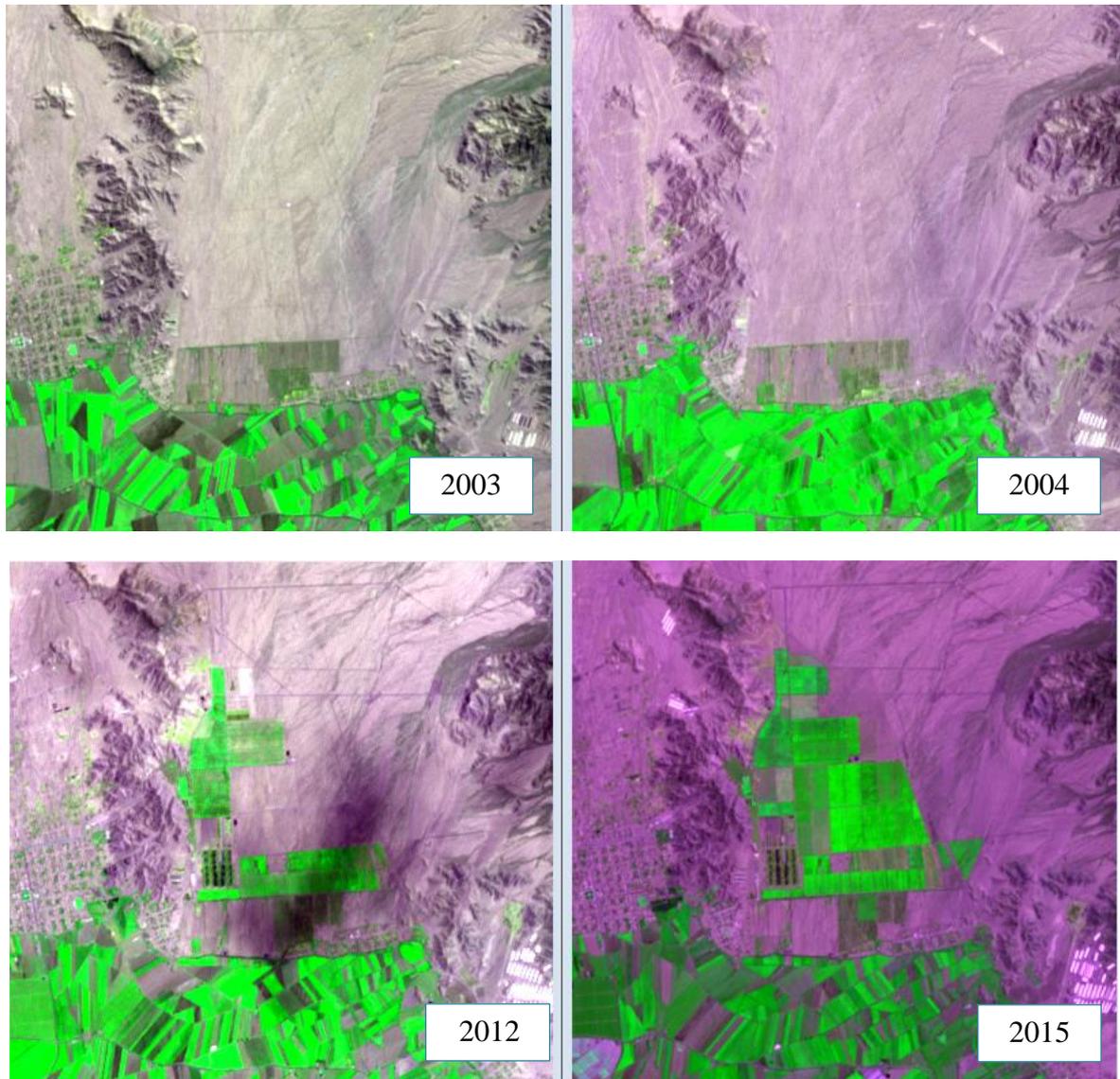
En la Figura 4.12 se muestra la serie de tiempo para analizar el incremento de construcciones de viviendas en zonas aptas para la agricultura en el período de 2003 al 2015.



**Figura 4. 12: Gráfica de Área de construcciones de viviendas vs Tiempo (años).**

En la Figura 4.13 se muestra el área 2 ubicada en el distrito de Quilmaná con las fecha del 24/07/2003, 24/02/2004, 01/03/2012 y 18/09/2015. Para los años 2003 y 2004 no se observa cobertura vegetal en el área, sin embargo para el año 2012 hacia adelante hay un incremento en la extensión de la cobertura vegetal tal como se muestra en la Tabla4.4.

### Área 2



**Figura 4. 13: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (350235m E, 8570575m N).**

En la Tabla 4.4 con la finalidad de corroborar la variación temporal se muestra los valores de la cantidad de hectáreas de cobertura vegetal del periodo 2003-2015. En los años 2003 y 2004 no hay presencia de cobertura vegetal, 0.0 hectáreas, como se observó en la Figura 4.22, sin embargo para el año 2012 ya se registra cobertura vegetal con una extensión de 204.5 hectáreas y para el año 2015 una extensión de 366.1 hectáreas.

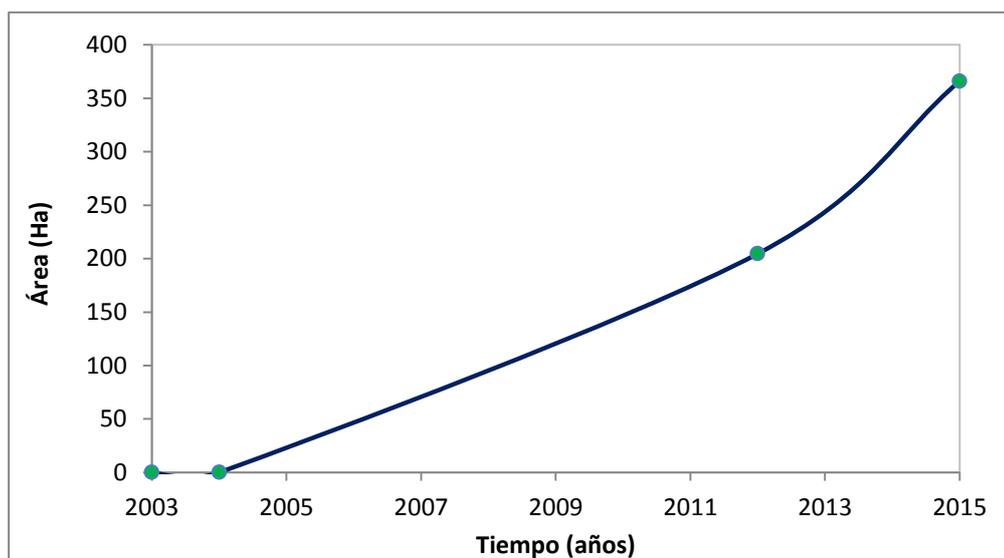
La Junta de Usuarios en su Plan de Cultivo y Riego 2014-2015 en la campaña agrícola 2014-2015 registra para la fecha 18/09/2015 Pasto forrajero en el área 2 cuyas coordenadas de este punto en UTM son: 353493.411m E, 8569405.88m N evidenciándose así la cobertura vegetal para dicha fecha.

**Tabla 4.4: Áreas de cobertura vegetal en el área 2.**

Años	Área cobertura vegetal (Ha)
2003	0.0
2004	0.0
2012	204.5
2015	366.1

FUENTE: Elaboración propia.

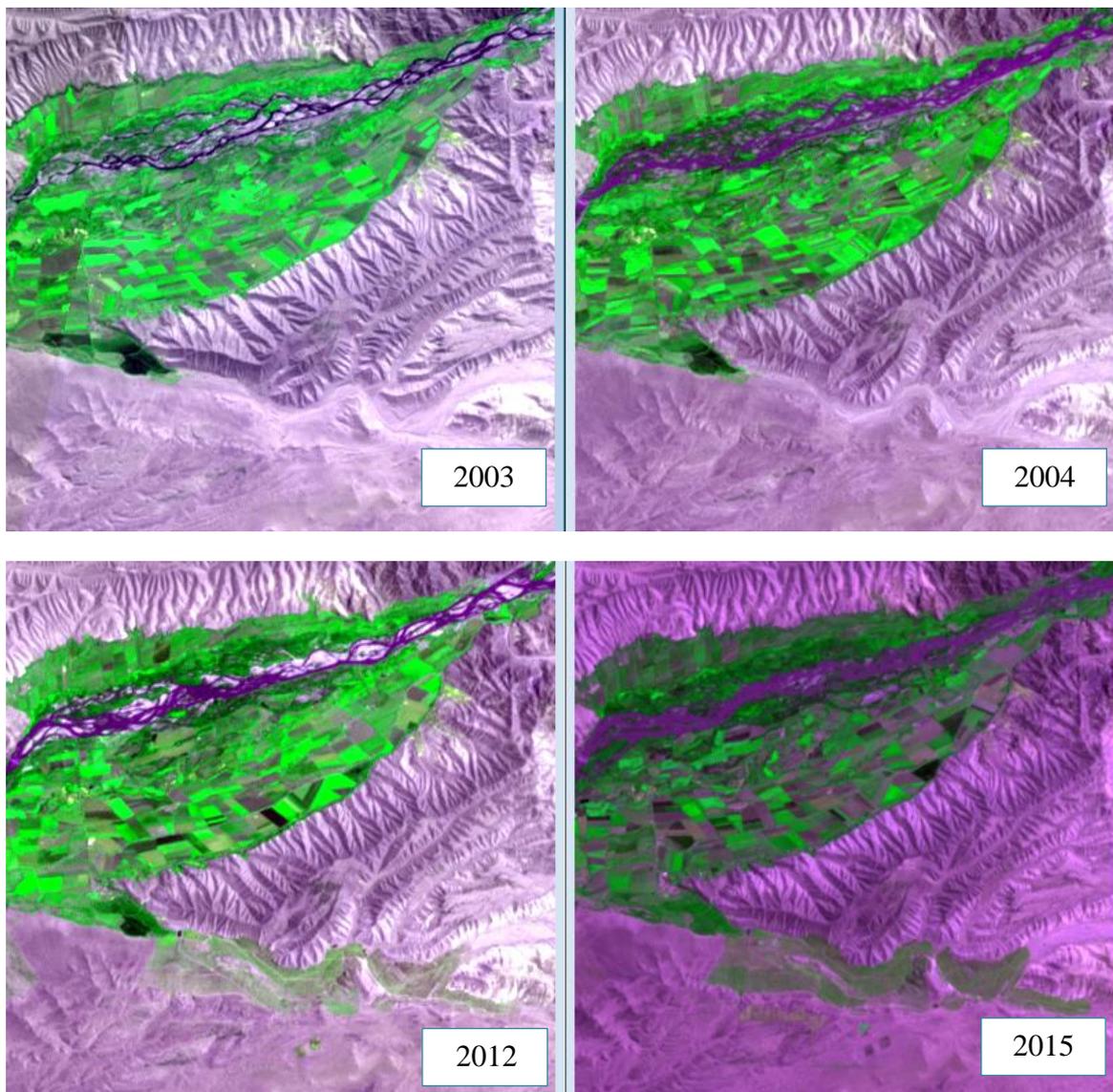
En la Figura 4.14 se muestra la serie de tiempo para analizar la variación temporal de la cobertura vegetal en el área 2 en el período de 2003 al 2015, donde se identificó que para los años 2003 y 2004 no hubo presencia de cobertura vegetal, sin embargo en el 2012 ya se registra vegetación incrementándose su extensión para el 2015.



**Figura 4. 14: Gráfica de Área de cobertura vegetal vs Tiempo (años).**

En la Figura 4.15 se muestra el área 3 ubicado en el distrito de San Vicente de Cañete con las fecha del 24/07/2003, 24/02/2004, 01/03/2012 y 18/09/2015, donde se observa que del 2003 al 2015 se ha producido un aumento de la cubierta vegetal en el margen izquierdo (aguas abajo) del río Cañete.

### Área 3



**Figura 4. 15: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (361020m E, 8547340m N).**

En la Tabla 4.5 con la finalidad de corroborar la variación temporal se muestra los valores de la cantidad de hectáreas de cobertura vegetal del periodo 2003-2015. En los años 2003 y 2004 no hay presencia de cobertura vegetal, 0.0 hectáreas, como se observó en la Figura 4.24, sin embargo para el año 2012 ya se registra cobertura vegetal con una extensión de 35.38 hectáreas y para el año 2015 una extensión de 174.89 hectárea.

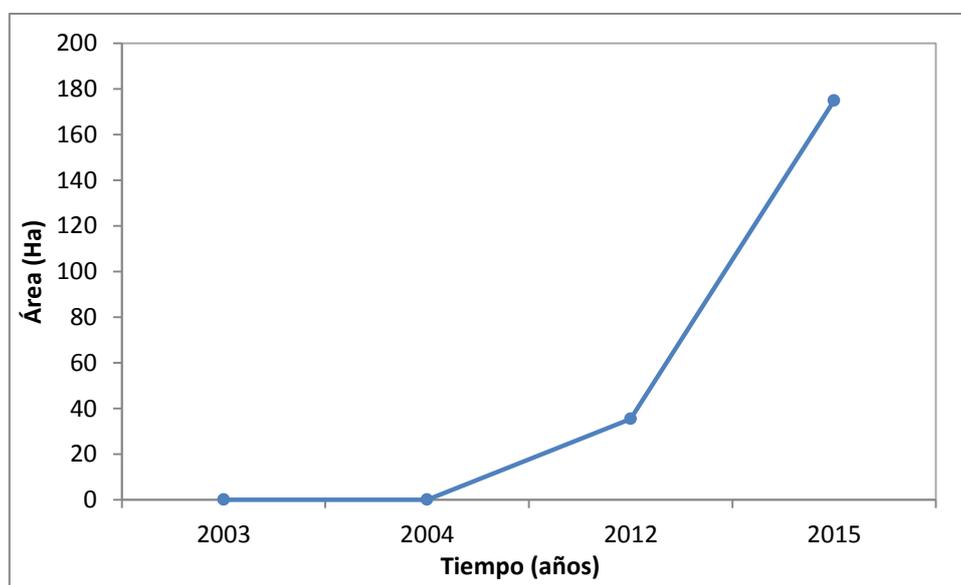
La Junta de Usuarios en su Plan de Cultivo y Riego 2014-2015 en la campaña agrícola 2014-2015 registra para la fecha 18/09/2015 Pasto natural en el área 3 cuyas coordenadas de este punto en UTM son: 361011.0m E, 8547413m N evidenciándose así la cobertura vegetal para dicha fecha.

**Tabla 4.5: Áreas de cobertura vegetal en el área 3.**

Años	Área cobertura vegetal (Ha)
2003	0.00
2004	0.00
2012	35.38
2015	174.89

FUENTE: Elaboración propia.

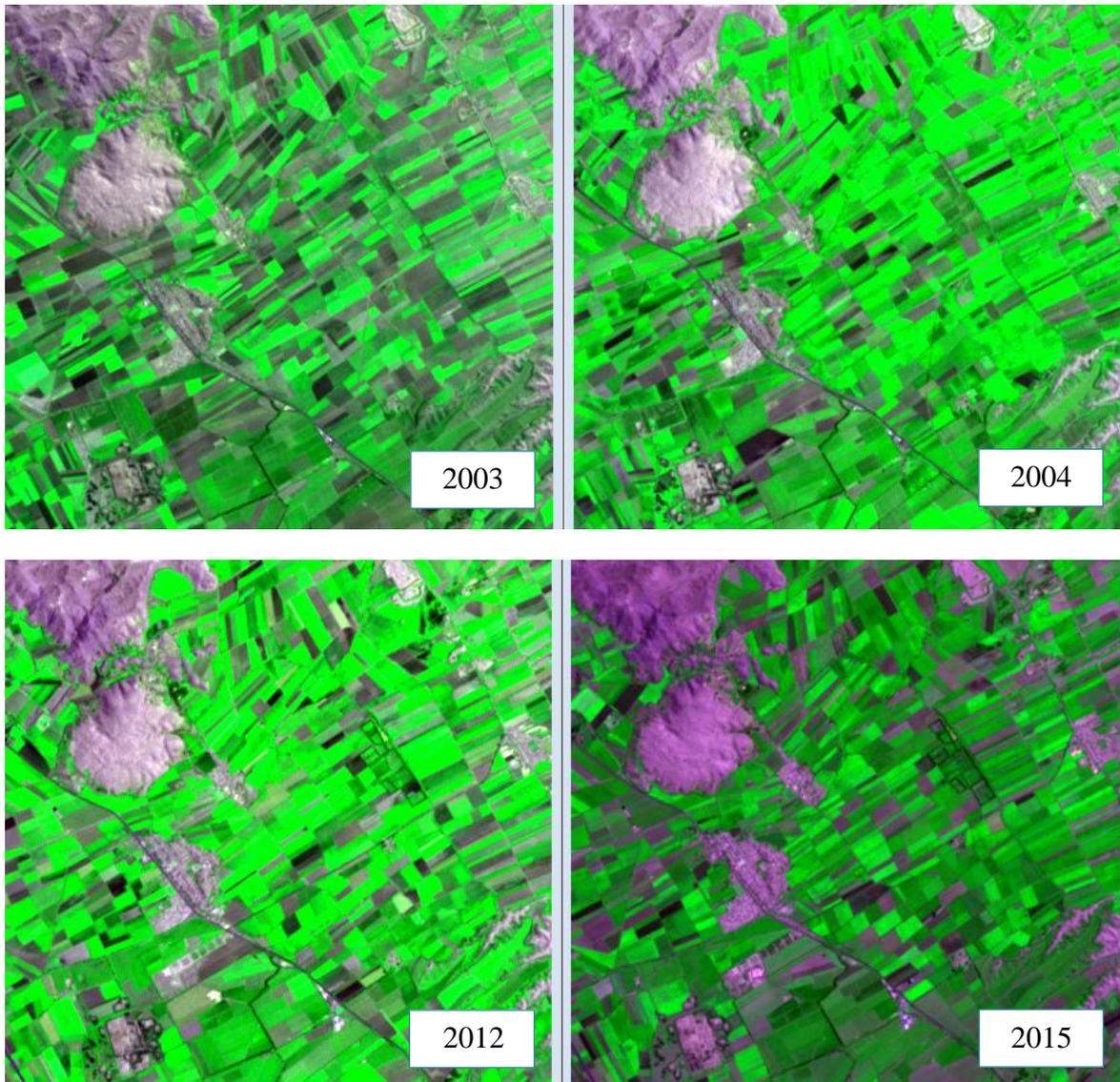
En la Figura 4.16 se muestra la serie de tiempo para analizar la variación temporal de la cobertura vegetal en el área 2 en el período de 2003 al 2015, donde se identificó que para los años 2003 y 2004 no hubo presencia de cobertura vegetal, sin embargo en el 2012 ya se registra vegetación incrementándose su extensión para el 2015.



**Figura 4. 16: Gráfica de Área de cobertura vegetal vs Tiempo (años).**

En la Figura 4.17 se muestra el área 4 ubicado en el distrito de San Luis con las fecha del 24/07/2003, 24/02/2004, 01/03/2012 y 18/09/2015, donde se observa que del 2003 al 2015 se ha producido un aumento demográfico en zonas aptas para la agricultura, además de causar un empobrecimiento de los suelos. Teniendo así áreas de menor cobertura vegetal.

#### Área 4



**Figura 4. 17: Imagen Aster con combinación de bandas 231 de coordenadas UTM (344925m E, 8557075m N).**

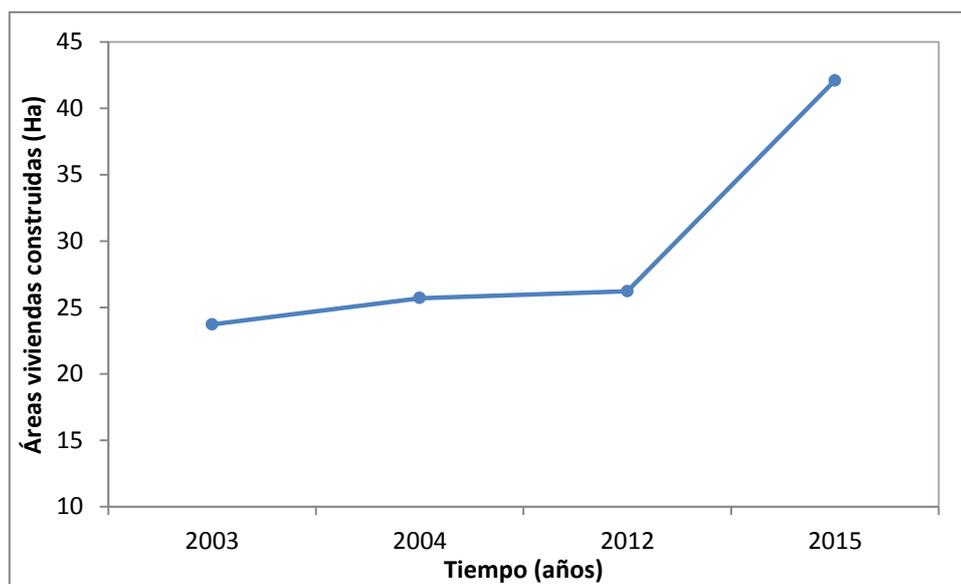
En sus últimas proyecciones y estimaciones anuales de población el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) indica que en el distrito de San Luis en el año 2003 hubo una población de 12,032 habitantes y para el 2015 una población de 12,971 habitantes, evidenciando el incremento de la población en este distrito. En la Tabla 4.6 se muestra los valores de la cantidad de hectáreas de las construcciones de vivienda con la finalidad de corroborar la variación temporal en el periodo 2003-2015.

**Tabla 4.6: Áreas de cobertura vegetal en el área 4.**

Años	Área de viviendas (Ha)
2003	23.71
2004	25.69
2012	26.21
2015	42.08

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 4.18 se muestra la serie de tiempo para analizar el incremento de construcciones de viviendas en zonas aptas para la agricultura en el período de 2003 al 2015.



**Figura 4. 18: Gráfica de Área de construcciones de viviendas vs Tiempo (años).**

### 4.3 Análisis de las imágenes MODIS

#### 4.3.1 Relación de LST, Temperatura ambiental y NDVI

En esta sección analizaremos la relación existente entre la temperatura ambiental, temperatura superficial terrestre y el NDVI en los estudios de dinámica de cobertura vegetal.

En la Figura 4.19 se muestra las series de tiempo de la temperatura superficial terrestre (LST) y temperatura ambiental en la Estación meteorológica Cañete, cuya ubicación en coordenadas geográficas son: Longitud: 76°19'49.5"; Latitud: 13°04'29.1". Se observa que la menor temperatura ambiental se registró en el mes de Julio del 2014, también al mismo tiempo la temperatura superficial, presentando respectivamente, valores de 15.99°C y 25.89°C. La mayor temperatura ambiental se registró en el mes de Febrero del 2006, también al mismo tiempo la temperatura superficial, presentando respectivamente, valores de 24.14°C y 35.16°C.

El crecimiento vegetativo está en relación a la disponibilidad de agua en el suelo, así como a la temperatura superficial terrestre.

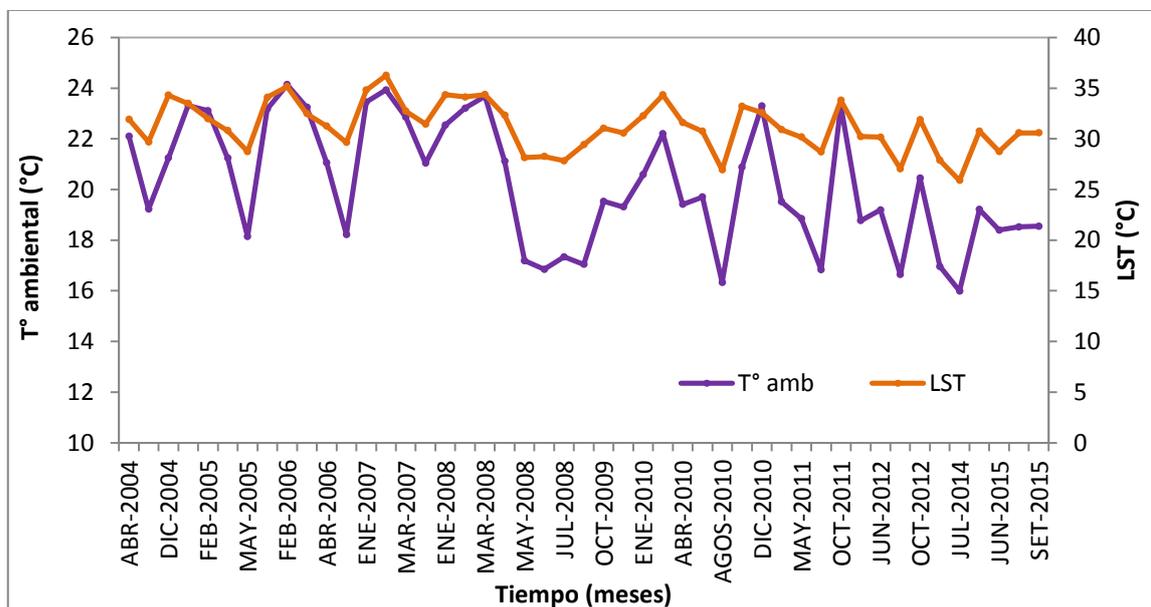
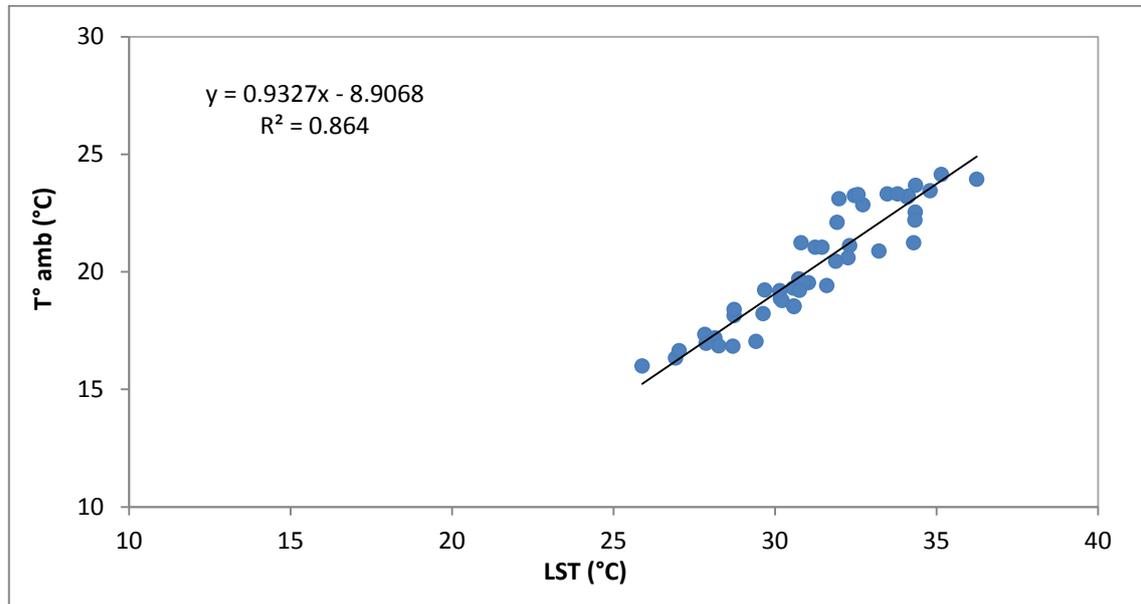


Figura 4. 19: Gráfica de la serie de tiempo de la temperatura ambiental y el LST.

En la Figura 4.20 se muestra la gráfica de dispersión entre la Temperatura ambiental ( $T^{\circ}$  amb) y la Temperatura superficial terrestre (LST), presentando una alta correlación de 0.87.



**Figura 4. 20: Gráfica de dispersión de la serie temporal de la temperatura ambiental y la temperatura superficial terrestre (LST) para el período 2004-2015.**

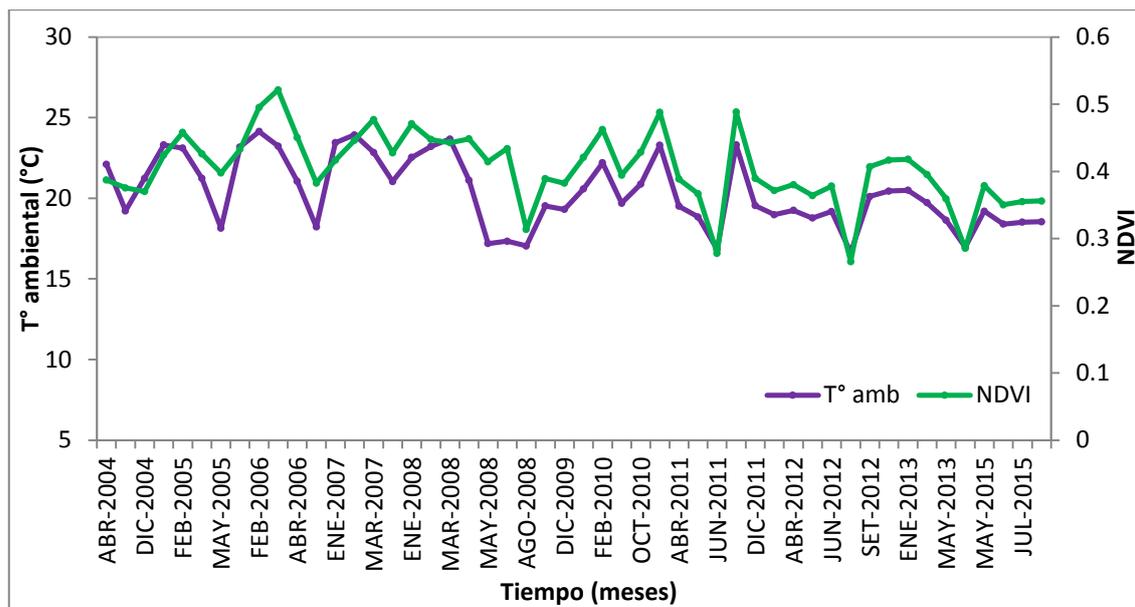
Ecuación de ajuste:

$$Y = 0.9327X - 8.9068$$

$$R^2 = 0.864$$

$$T^{\circ} \text{ amb} = f(\text{LST})$$

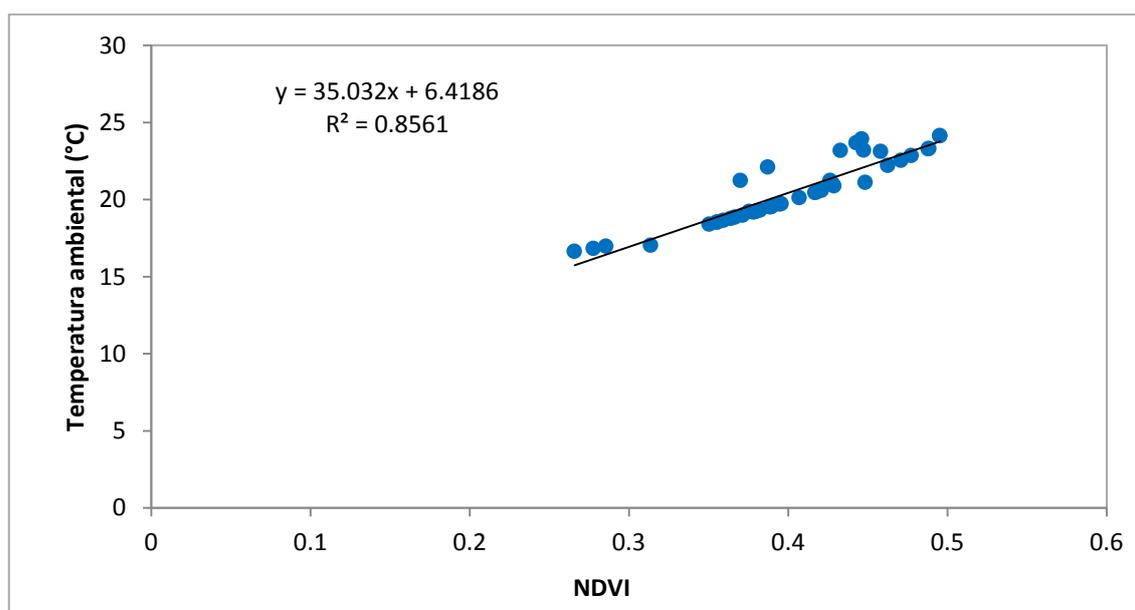
En la Figura 4.21 se muestra la serie de tiempo del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) y la Temperatura ambiental. En la gráfica se observa que en los períodos de Julio 2008 a Mayo 2011, Octubre 2012 a Junio 2012, Setiembre 2012 a Mayo 2013 y Mayo 2015 a Setiembre 2015 los valores del NDVI están sobre la Temperatura ambiental. A continuación se menciona los meses con mayores valores promedio de NDVI en el periodo del 2004 al 2015. En marzo del 2006 el valor promedio más alto de NDVI es de 0.52 registrándose en el mes de la estación de otoño, y en febrero del 2010 el valor promedio más alto de NDVI es de 0.46 registrándose en el mes de la estación de verano. En ambos casos se muestran valores altos de NDVI a pesar de no estar en el período de crecimiento de las plantas, como sucede para los meses de diciembre del 2010 y octubre del 2011 que pertenecen a la estación de primavera, cuyos valores de NDVI son de 0.4880 y 0.4884, respectivamente.



**Figura 4. 21: Gráfica de la serie de tiempo de la temperatura ambiental y el NDVI.**

La temperatura ambiental presenta similar comportamiento a la Temperatura superficial terrestre como se observó en la Figura 4.19, presentando una alta correlación. En la Figura 4.21 se observa que al disminuir la temperatura ambiental hay incremento en los valores del NDVI, esto debido al enfriamiento provocado en las plantas por la evapotranspiración, por lo tanto mayor cobertura vegetal.

En la Figura 4.22 se muestra la gráfica de dispersión entre la Temperatura ambiental ( $T^{\circ}$  amb) y el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI), presentando una alta correlación de 0.85.



**Figura 4. 22: Gráfica de dispersión de la serie temporal de la temperatura ambiental y el NDVI para el período 2004-2015.**

## V. CONCLUSIONES

Considerando los objetivos planteados al inicio del presente trabajo, podemos concluir lo siguiente:

Se ha construido una base de datos geospaciales a partir de las imágenes satelitales Landsat, Aster y MODIS en formato HDF en los cuales se detallan los atributos de estas imágenes. El trabajo de campo y los atributos de cada imagen permitió seleccionar las imágenes más adecuadas para el procesamiento de información digital, y generar los Mapas de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

La elaboración de los Mapas de Índice de Vegetación de diferencia Normalizada (NDVI) permitió obtener el porcentaje de cobertura vegetal e indicar el estado de salud de la vegetación según el rango de valores de NDVI. En la fecha del 11/02/2008 se registró el mayor valor de vegetación en muy buen estado con un 3.01% (1,176.66 ha), para la fecha 09/03/2006 se registró el mayor valor de vegetación en buen estado con un 22.59% (8,836.11 ha), y el 01/05/2008 se registró el mayor valor de vegetación en regular estado con un 38.32% (14,986.71 ha). Los porcentajes de cobertura vegetal se corroboraron con la información obtenida de la Junta de Usuarios de Cañete y la visita de campo.

La variación espacio-temporal del NDVI permitió evaluar e identificar la dinámica de la cobertura vegetal en el área de estudio. En el centro poblado Chilcal (área 1), hay un incremento de zonas urbanas reduciendo así la cobertura vegetal. En el centro poblado San Simón (área 2), entre los años 2003 y 2004 se identificó que la cobertura vegetal es casi nula, y para el año 2012 el área estimada es de 204.5 ha de cobertura vegetal incrementándose para el 2015 con un valor de 366.1 ha. En el centro poblado Agroconsa (área 3), entre los años 2003 y 2004 se identificó que la cobertura vegetal es casi nula, y para el año 2012 el área estimada es de 35.38 ha de cobertura vegetal incrementándose para el 2015 un valor de 174.89 ha. En el centro poblado Cerro El Loro (área 4), el incremento de las zonas urbanas no ha limitado el crecimiento de vegetación.

La correlación alta entre la temperatura ambiental y superficial nos indica una buena relación, por lo tanto si deseamos tener información de temperatura ambiental en un lugar donde no exista una estación meteorológica cerca del área de estudio se podrá deducir a partir de imágenes satelitales de temperatura superficial terrestre, considerando la ecuación de ajuste:  $Y = 0.9327X - 8.9068$ ;  $T^{\circ} \text{ amb} = f(\text{LST})$ .

La correlación entre la temperatura ambiental e Índice de Vegetación de diferencia Normalizada (NDVI) en el área de estudio es alta por lo tanto existe una relación entre NDVI, cobertura vegetal y Temperatura ambiental. Finalmente los valores de NDVI nos indican la cantidad de cobertura vegetal en la superficie terrestre.

La teledetección resulta ser una herramienta fundamental para evaluar la cobertura vegetal, los cultivos y la infraestructura en la zona de estudio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

La metodología de este trabajo puede ser utilizado para fines de planificación de programas de cultivo y riego, y uso adecuado de los recursos naturales, espacialmente hídricos. En base a esta información se puede implementar estudios específicos para lograr una clasificación de cultivos para un mejoramiento en los Planes de Cultivos de la Junta de Usuarios de Cañete.

Para el uso de los productos MODIS de LST se debe tener en cuenta que al momento de realizar el análisis de la temperatura superficial, ya que al ser un parámetro complejo y al obtenerse con una resolución espacial muy grosera (1km x 1km), posee el inconveniente de la mezcla de información dentro de un mismo píxel.

Se recomienda que las imágenes satelitales con las que se desea trabajar deban ser con escasa cobertura nubosa y en lo posible tener una continuidad para que no afecte la periodicidad y el análisis de la variación espacio-temporal en el área de estudio.

La Teledetección y el SIG son tecnologías avanzadas que nos permiten caracterizar el territorio para desarrollar planes y proyectos, así como inventario de cultivos, producción agrícola, agricultura de precisión entre otros.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrams, M.; Hook, S. 1998. ASTER User Handbook, Version 1, NASA/Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.13-26 p.
- Alatorre, L.C.; Beguería, S.; Vicente-Serrano, S.M. 2010. Análisis de la evolución espacio-temporal del NVDI sobre las áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Revista de Ecología de Montaña*, 165:7-27.
- Ariza, A. 2013. Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM, Versión 1.0, Colombia. 12-15 p.
- Badaracco, R.M. 2014. Distribución Espacial de la Conductividad Eléctrica del suelo en la Región de Lambayeque usando imágenes de los satélites Landsat 5 y 7 mediante Redes Neuronales artificiales: Percepción Multicapa. Tesis para optar el título de Magister en Física con mención en Geofísica. 88-89 p.
- Badaracco, R.M. 2012. Detección de la salinidad en los suelos de cultivos de algodón usando imágenes de satélite en la Costa Norte del Perú. Tesis para optar el título Licenciado en Física. 1-5 p.
- Bonn, F. y; Rochon, G. 1992. Précis de télédétection. Vol. 1: Principes et Méthodes. Presses de l'Université du Québec, Québec, Canadá. 485 p.
- Carlos Manjarrez D.; Carmelo Pinedo A.; Cristina E. Velez S.; Alfredo Pinedo A. 2007. Spectral separation of agricultural crops with Landsat TM Images. Medio ambiente y desarrollo sustentable. Consultada el 31 de Mayo de 2015, <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n2/data/separabilidad.pdf>.
- Chander, G.; B. L. Markham, and D. L. Helder 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote Sensing of Environment*, v. 113: 893-903.
- Castilla, N. 2007. Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Madrid: Ediciones Mundi –Prensa, 2 ed. 2007: 265.

- Cholan, E.R. 2015. Dinámica del ozono troposférico debido a las quemas de biomasa, sobre Perú a partir de las imágenes del sensor Airc a bordo del satélite Aqua (2003-2013). Tesis para optar el título Licenciado en Física. 49-65 p.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, 3ª Ed. Rev., Madrid, España. 568 p.
- Chuvieco, E. 1998. El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. Revista de Teledetección. N°10:1-9.
- Chuvieco, E. 2006. Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio. Barcelona. Editorial Ariel., 327 p.
- Gonzaga, Carlos A. 2014. Aplicaciones de Índices de Vegetación derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y Aster para caracterización de la cobertura vegetal en la zona Centro de la Provincia de Loja, Ecuador.43-44p.
- Guerrero, Jhon B.S. 2014. Investigación de la climatología de la humedad atmosférica y su relación con la sequía en la costa peruana utilizando imágenes satelitales del Sensor Modis/Terra. Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Física con mención en Geofísica.85-95p.
- Holmstron, K. E.; M. G. Hugues; S. D. Walker; W. L. Kline and J. Ingerson- Mahar 2001. Spatial Mapping of Adult Corn Earwon and European Corn Borer Populations in New Jersey. *Horl Technology*. 11: 103-109.
- ITT Visual Information Solutions 2009. ENVI-Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide, Versión 4.7:44.
- Jean, F. M. 2011. Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio, Versión 4.7, México.25-38p.
- Jiménez, A. R. 2013. Aplicabilidad de las imágenes MODIS para la caracterización de zonas afectadas por incendios forestales en Aragón. Tesis para optar el título Magister en Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección.20-35p.
- Jhonson, D. L. 1989. Spatial Autocorrelation, Spatial Modeling, and Improvements in Grasshopper Survey Methodology. *The Canadian Entomologist*. 121: 579-588.
- KAAB, A. 2005. Remote sensing of mountain glaciers and permafrost creep. Physical Geography Series, 48, University of Zurich.

- Mac-Rae, I. V. 1998. MIP Específico para el sitio. Norwest Experiment Station & Agricultural Management Division. Universidad de Minnesota, Crookston.
- Markhan, B. and Barker, J. 1986. Landsat MSS and TM post- calibration dynamics range, exoatmospheric reflectance and at satellite temperature. EOSAT. Landsat Technical Notes.3-8p.
- Mendoza, J. N. 2011. Exploración de aguas subterráneas en la región Lambayeque – Perú usando imágenes Landsat y Aster. Tesis para optar el título de Magister en Física con mención en Geofísica.127-128p.
- Meer, F.; Jong, S. 2002. Imaging Spectrometry. Remote Sensing and Digital Image Processing. Kluwe Academic Publishers. 4: 111-197.
- Mocktarian, F. and Mackworth, A.K. 1992. A theory of multi- scale, curvature based shape representation for planar curves, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14, 789-805p.
- Moran, M. S., D. C. Hymer; J. Qi and Y. Kerr. 2002. Comparison of ERS-2 SAR AND Landsat TM imagery for Monitoring Agricultural Crop and Soil Conditions. *Remote Sensing of Environmet*.9: 243-252.
- Olalla, F.; López, P.; Calera, A. 2005. Agua y Agronomía. Madrid: Ediciones Mundi – Prensa, 606 p.
- Orellana, J; Best, S.; Claret, M. 2006.“Sistemas de Información Geográfica”. En publicación: “Agricultura de precisión: integrando conocimiento para una agricultura moderna y sustentable”. PROCISU/IICA 2006, Montevide. Capítulo 7. Pág. 131-143.
- Perez, G. C. y; A. L. Muñoz N. 2006. Teledetección Nociones y Aplicaciones, Copyrighted Material – España.359p.
- Schmugge, T. J., Hook, S. J., y Coll, C. 1998. Recovering surface temperature and emissivity from thermal infrared multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 65, 121–131p.
- Sandholt I., Rasmussen K. and Andersen, J. 2002. A simple interception of the surface temperature, vegetation index space for assessment of surface moisture, 79 (2-3), 213-224p.
- Slater, P.N. 1980. Remote Sensing: Optics and Optical Systems. Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.575p.

- Smith, J.A.; Chauhan, N.S.; Schmugge, T.J.; Ballard, J.R., Jr. 1997. Remote sensing of and surface temperature: the directional viewing effect. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE*, 35(4), 972 – 974p.
- Sobrino, J. A. (Ed.). 2000. Teledetección. España: Servicios de publicaciones, Universidad de Valencia. 19p.
- Soca, R.F. 2015. Identificación de tierras degradadas por salinidad del suelo en los cultivos de caña de azúcar en Pomalca usando imágenes de satélite. Tesis para optar el título Licenciado en Física. 52p.
- SUN, J. 2000. Dynamic Monitoring and Yield Estimation of Crops by Mainly Using the Remote Sensing Technique in China. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 645-650p.
- Tipler, A. P. 2003. *Física para la Ciencia y la Tecnología*. Vol. 2. Ed. Reverte S.A. Cuarta Edición. España.
- Tordocillo, J. P. 2011. Estimación del retroceso y flujo glaciar por Teledetección del Nevado Champará. Tesis para optar el Grado Académico de Licenciado en Física. 62-63p.
- U.S.G.S. 2009. Geological Survey Earth Resources Observation & Science Center (EROS). Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), Product Description. Disponible en internet en: [http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/Aster](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/Aster) [Consulta: 28 de Noviembre 2016).
- Volante, José N.; Campos; Cristian J.; Noé, Yanina E. y Elena, Hernán J. 2006. Método de Clasificación “Por - parcela” para la Detección de cultivos: Aplicación al área agrícola de las Lajitas (Salta Argentina), Campaña Agrícola de invierno 2006. *Teledetección – Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional*. Ed. Martín, 2007:79-86.
- U.S.G.S. 2009. Geological Survey Earth Resources Observation & Science Center (EROS). Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), Product Description. Disponible en Internet en: [http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/Aster](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/Aster) [Consulta: 12 de setiembre 2017].

- Wan, Z. and Z.-L. Li. 1997. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35(4):980-996.
- Williams, D. 2004. Landsat 7 – Science Data User’s Handbook, Acquired [http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ias/handbook/handbook\\_toc.html](http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ias/handbook/handbook_toc.html) (fecha de acceso 2015), National Aeronautics and Space Administration.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: Áreas de cultivo de la Comisión de Regantes del Valle de Cañete.

Comisión de Regantes	AREAS DE CULTIVO (Ha)			
	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2010-2011
Viejo Imperial	4,874.38	4399.67	3961.21	3715.42
San Miguel	5,218.48	4894.88	3247.51	3626.56
Palo Herbal	3,128.82	3278.98	2882.21	2003.31
Pachacamilla	1,397.49	1387.85	1050.79	927.62
Nuevo Imperial	11,723.06	10828.86	7437.96	7883.24
María Angola	2,338.52	2154.56	2366.14	1785.31
Huanca	3,674.27	3564.41	1562.16	2300.77

FUENTE: Plan de Cultivo y Riego – Junta de Usuarios del Valle de Cañete.

### ANEXO 2: Caudal medio en las comunidades que pertenecen al Valle de Cañete.

Comisión de Regantes	Descarga (m <sup>3</sup> /s)						
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nuevo Imperial	5.9176	5.9450	5.9386	6.3231	7.2934	7.3544	8.2524
Viejo Imperial	2.4061	2.7117	2.9596	2.9731	2.8144	2.9877	3.6852
María Angola	1.1292	1.1592	1.1024	1.0316	1.0481	0.9246	1.0468
San Miguel	1.2529	1.1355	1.2347	1.0844	1.0263	0.8678	1.2502
Huanca	0.4377	0.5976	0.5766	0.3532	0.4076	0.3733	0.5357
Pachacamilla	0.4810	0.6030	0.5790	0.3856	0.5473	0.5598	0.5658
Palo Herbay	1.5641	1.8194	1.9123	1.8083	1.4934	1.6613	1.9200

FUENTE: Plan de Cultivo y Riego – Junta de Usuarios del Valle de Cañete.

**ANEXO 3: Áreas de cultivo de las comunidades que pertenecen al Valle de Cañete.**

CAMPAÑAS AGRÍCOLAS	CULTIVOS (HA)										
	MAIZ	ALGODÓN	CAMOTE	VID	MAIZ CHALA	MANDARINA	MANZANO	PAPA	YUCA	ESPARRAGO	TOTAL
<b>2002-2003</b>	10622.12	6603	2630.55	1610.12	1051.53	926.59	848.73	721.03	823.92	326.62	26164.21
<b>2003-2004</b>	9808.99	6031.77	3816.06	1669.05	1211.6	1011.17	766.62	528.07	519.24	378.79	25741.36
<b>2004-2005</b>	10700.24	6740.2	2794.33	1724.9	2616.48	931.77	768.74	1161.16	685.52	306.4	28429.74
<b>2005-2006</b>	9203.2	6241.1	1804.1	1897.5	2602.1	940.8	801.5	739.1	1030.1	411.3	25670.8
<b>2006-2007</b>	7802	4146.4	2822.8	1780	2453.3	814.3	751.9	771.7	671.3	402.5	22416.2
<b>2007-2008</b>	11285.4	4886.5	1475.2	2099.6	2795.6	1077.1	865.2	877.6	717	661.8	26741
<b>2008-2009</b>	12187.5	1696.9	3854.5	2247	2562.5	1086.5	833.3	1052.9	981	765.1	27267.2
<b>2009-2010</b>	11581.3	408.5	2784.6	1938.1	3083.1	1196.5	800.6	1059.2	1365.5	546.3	24763.7
<b>2010-2011</b>	9211.6	1516.4	3208.5	2099.6	3036.1	908.4	1050.1	1159.1	1004.7	590.5	23785

FUENTE: Plan de Cultivo y Riego – Junta de Usuarios del Valle de Cañete.

#### ANEXO 4: Comparación de Intensidades de siembra.

CULTIVOS	CAMPAÑA 2002-2003		CAMPAÑA 2003-2004		CAMPAÑA 2004-2005		CAMPAÑA 2005-2006		CAMPAÑA 2006-2007		CAMPAÑA 2007-2008		CAMPAÑA 2008-2009		CAMPAÑA 2009-2010		CAMPAÑA 2010-2011	
	AREA		AREA		AREA		AREA		AREA		AREA		AREA		AREA		AREA	
	Ha	%																
MAIZ	10622.12	36.31	9808.99	34.09	10700.24	33.05	9203.2	30.17	7802	29.29	11285.4	35.24	12187.5	37.43	11581.3	37.95	9211.6	32.74
ALGODÓN	6603	22.57	6031.77	20.96	6740.2	20.82	6241.1	20.46	4146.4	15.57	4886.5	15.26	1696.9	5.21	408.5	1.34	1516.4	5.39
CAMOTE	2630.55	8.99	3816.06	13.26	2794.33	8.63	1804.1	5.91	2822.8	10.60	1475.2	4.61	3854.5	11.84	2784.6	9.12	3208.5	11.40
VID	1610.12	5.50	1669.05	5.80	1724.9	5.33	1897.5	6.22	1780	6.68	2099.6	6.56	2247	6.90	1938.1	6.35	2099.6	7.46
MAIZ CHALA	1051.53	3.59	1211.6	4.21	2616.48	8.08	2602.1	8.53	2453.3	9.21	2795.6	8.73	2562.5	7.87	3083.1	10.10	3036.1	10.79
MANDARINA	926.59	3.17	1011.17	3.51	931.77	2.88	940.8	3.08	814.3	3.06	1077.1	3.36	1086.5	3.34	1196.5	3.92	908.4	3.23
MANZANO	848.73	2.90	766.62	2.66	768.74	2.37	801.5	2.63	751.9	2.82	865.2	2.70	833.3	2.56	800.6	2.62	1050.1	3.73
PAPA	721.03	2.46	528.07	1.84	1161.16	3.59	739.1	2.42	771.7	2.90	877.6	2.74	1052.9	3.23	1059.2	3.47	1159.1	4.12
YUCA	823.92	2.82	519.24	1.80	685.52	2.12	1030.1	3.38	671.3	2.52	717	2.24	981	3.01	1365.5	4.47	1004.7	3.57
ESPARRAGO	326.62	1.12	378.79	1.32	306.4	0.95	411.3	1.35	402.5	1.51	661.8	2.07	765.1	2.35	546.3	1.79	590.5	2.10
OTROS CULTIVOS	3093.03	10.57	3031.21	10.54	3947.39	12.19	4838.5	15.86	4222.5	15.85	5280.6	16.49	5296.4	16.26	5753.3	18.85	4352.7	15.47
TOTAL POR CAMPAÑA *(Ha)	29257.24		28772.57		32377.13		30509.3		26638.7		32021.6		32563.6		30517		28137.7	
AREA BAJO RIEGO** (Ha)	22619.6		22330.9		21209.27		20682.2		17441.2		21472.4		20570.39		18870.1		20108.44	
Intensidad de Uso de la Tierra	1.29		1.29		1.53		1.48		1.53		1.49		1.58		1.62		1.40	

FUENTE: Plan de Cultivo y Riego – Junta de Usuarios del Valle de Cañete.

**ANEXO 5: Área bajo riego para la campaña de siembra 2010-2011.**

2010-2011						
COMISION DE REGANTES	N° USUARIO	N° PREDIO	AREA (HA)			
			TOTAL	BAJO RIEGO	LICENCIA	PERMISO
VIEJO IMPERIAL	1080	1384	3778.51	3715.42	3580.79	134.62
SAN MIGUEL	860	1088	3757.58	3626.56	2768.82	857.73
MARIA ANGOLA	470	579	1798.45	1785.31	1527.15	258.16
PALO HERBAY	576	717	2088.45	2003.31	1699.19	304.12
HUANCA	421	528	2385.05	2300.77	2275.98	24.79
PACHACAMILLA	234	315	975.11	927.62	864.68	62.94

FUENTE: Plan de Cultivo y Riego 2010-2011 – Junta de Usuarios del Valle de Cañete.

**ANEXO 6: Demanda hídrica agrícola para la campaña de siembra 2004-2005.**

MESES	Volumen (MMC)
AGO	16.38
SET	21.12
OCT	28.41
NOV	32.76
DIC	37.83
ENE	40.37
FEB	37.95
MAR	35.56
ABR	22.62
MAY	16.60
JUN	9.39
JUL	7.24

FUENTE: Plan de Cultivo y Riego 2004-2005 – Junta de Usuarios del Valle de Cañete

## ANEXO 7: Precipitación total mensual de la Estación Cañete.

Estación : CAÑETE  
 Longitud : 76° 19' 49.5" W  
 Latitud : 13° 04' 29.1" S  
 Altitud : 158 m.s.n.m.

Distrito : IMPERIAL  
 Provincia : CAÑETE  
 Región : LIMA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1992	0.48	0.38	0.14	0.70	0.00	0.50	1.80	1.00	0.00	0.15	0.00	0.00	5.1
1993	0.00	0.00	0.20	0.10	1.20	1.30	2.80	1.20	1.60	0.50	1.10	1.10	11.1
1994	2.10	0.00	0.00	0.00	1.00	1.70	1.00	1.90	1.60	0.20	0.00	0.50	10.0
1995	0.40	0.10	1.40	0.20	0.00	0.70	2.90	3.90	3.50	0.70	2.40	0.10	16.3
1996	1.30	1.40	1.00	0.00	0.50	5.30	2.30	2.80	1.10	0.40	0.80	0.20	17.1
1997	2.20	0.10	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	3.20	3.20	0.70	0.90	0.20	10.7
1998	7.80	1.90	1.90	0.00	0.60	2.90	4.50	3.00	1.00	0.60	1.20	0.50	25.9
1999	0.60	5.00	0.10	0.10	0.20	1.50	1.20	2.60	0.40	0.30	0.50	1.10	13.6
2000	0.60	1.40	0.10	0.00	0.50	2.60	3.00	4.30	2.60	0.10	0.70	0.80	16.7
2001	0.80	1.30	0.60	0.20	1.50	1.70	5.70	2.10	0.50	0.50	1.70	0.40	17.0
2002	2.90	0.30	0.30	0.00	0.00	3.14	4.00	7.40	3.00	1.30	0.50	0.70	23.5
2003	0.90	1.20	0.00	0.00	0.70	0.80	1.10	2.50	2.40	0.50	0.80	0.60	11.5
2004	0.00	0.00	1.10	0.00	0.10	5.80	4.70	4.20	1.40	0.30	0.00	0.00	17.6
2005	0.90	0.60	0.00	0.10	11.40	0.00	4.00	1.20	4.20	0.00	0.00	0.00	22.4
2006	0.00	23.50	4.00	4.00	1.20	5.50	11.27	13.90	5.40	2.30	2.80	0.00	73.9
2007	4.10	0.00	6.00	4.00	2.98	5.07	1.70	1.50	7.40	0.20	4.10	1.00	38.1
2008	5.20	4.90	0.01	4.00	1.80	7.80	0.00	1.80	5.30	1.50	4.00	0.00	36.3
2009	1.20	4.40	0.90	0.00	1.40	2.10	2.10	3.20	1.60	1.20	0.80	0.90	19.8
<b>MEDIA</b>	<b>1.75</b>	<b>2.58</b>	<b>0.99</b>	<b>0.76</b>	<b>1.39</b>	<b>2.69</b>	<b>3.00</b>	<b>3.43</b>	<b>2.57</b>	<b>0.64</b>	<b>1.24</b>	<b>0.45</b>	<b>21.48</b>
<b>MÁXIMA</b>	<b>7.80</b>	<b>23.50</b>	<b>6.00</b>	<b>4.00</b>	<b>11.40</b>	<b>7.80</b>	<b>11.27</b>	<b>13.90</b>	<b>7.40</b>	<b>2.30</b>	<b>4.10</b>	<b>1.10</b>	<b>73.87</b>
<b>MÍNIMA</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>5.15</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>2.08</b>	<b>5.49</b>	<b>1.60</b>	<b>1.50</b>	<b>2.62</b>	<b>2.29</b>	<b>2.61</b>	<b>3.02</b>	<b>1.99</b>	<b>0.59</b>	<b>1.28</b>	<b>0.41</b>	<b>15.63</b>

Fuente: SENAMHI

## ANEXO 8: Temperatura ambiental de la Estación Cañete.

**Estación** : CAÑETE

**Longitud** : 76° 19' 49.5" W

**Latitud** : 13° 04' 29.1" S

**Altitud** : 158 m.s.n.m.

**Distrito** : IMPERIAL

**Provincia** : CAÑETE

**Región** : LIMA

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>TOTAL</b>
<b>2004</b>	18.20	18.20	18.20	22.10	19.22	16.16	15.91	15.83	16.95	17.63	18.92	21.24	218.6
<b>2005</b>	23.31	23.11	22.83	21.24	18.14	16.76	16.06	16.25	16.03	16.77	18.29	21.01	229.8
<b>2006</b>	23.18	24.14	23.24	21.05	18.22	16.98	20.00	16.97	17.18	18.32	19.61	20.83	239.7
<b>2007</b>	23.45	23.93	22.85	21.04	18.90	18.90	15.04	15.02	14.73	16.07	17.63	19.45	227.0
<b>2008</b>	22.54	23.21	23.68	21.11	17.19	16.85	17.34	17.04	17.38	17.43	19.21	20.95	233.9
<b>2009</b>	22.83	19.80	19.80	22.30	19.80	16.81	17.30	19.80	19.80	19.80	19.80	19.80	237.6
<b>2010</b>	16.30	16.40	16.30	16.30	16.30	16.66	15.95	16.30	16.30	16.30	16.30	16.30	195.7
<b>2011</b>	18.91	18.76	19.24	19.51	18.85	16.83	22.35	21.83	18.32	23.31	19.80	19.55	237.3
<b>2012</b>	19.24	18.87	18.98	19.25	18.77	19.19	15.97	16.64	20.11	20.45	18.90	20.17	226.5
<b>2013</b>	20.49	19.06	19.73	18.99	18.64	17.90	18.40	17.57	15.84	18.69	18.40	17.28	221.0
<b>2014</b>	19.30	19.58	18.54	19.30	15.95	16.96	15.99	18.20	17.28	18.20	19.99	19.52	218.8
<b>2015</b>	19.90	21.93	19.07	18.95	19.21	18.40	18.52	16.51	18.55	19.10	19.92	19.00	229.1
<b>MEDIA</b>	<b>20.64</b>	<b>20.58</b>	<b>20.21</b>	<b>20.09</b>	<b>18.27</b>	<b>17.37</b>	<b>17.40</b>	<b>17.33</b>	<b>17.37</b>	<b>18.51</b>	<b>18.90</b>	<b>19.59</b>	<b>226.25</b>
<b>MÁXIMA</b>	<b>23.45</b>	<b>24.14</b>	<b>23.68</b>	<b>22.30</b>	<b>19.80</b>	<b>19.19</b>	<b>22.35</b>	<b>21.83</b>	<b>20.11</b>	<b>23.31</b>	<b>19.99</b>	<b>21.24</b>	<b>239.72</b>
<b>MÍNIMA</b>	<b>16.30</b>	<b>16.40</b>	<b>16.30</b>	<b>16.30</b>	<b>15.95</b>	<b>16.16</b>	<b>15.04</b>	<b>15.02</b>	<b>14.73</b>	<b>16.07</b>	<b>16.30</b>	<b>16.30</b>	<b>195.71</b>
<b>DESV. EST.</b>	<b>2.37</b>	<b>2.56</b>	<b>2.36</b>	<b>1.70</b>	<b>1.19</b>	<b>0.98</b>	<b>2.12</b>	<b>1.87</b>	<b>1.60</b>	<b>2.02</b>	<b>1.11</b>	<b>1.51</b>	<b>12.01</b>

**Fuente:** SENAMHI

## ANEXO 9: Mapas de Índice de vegetación de Diferencia Normalizada.

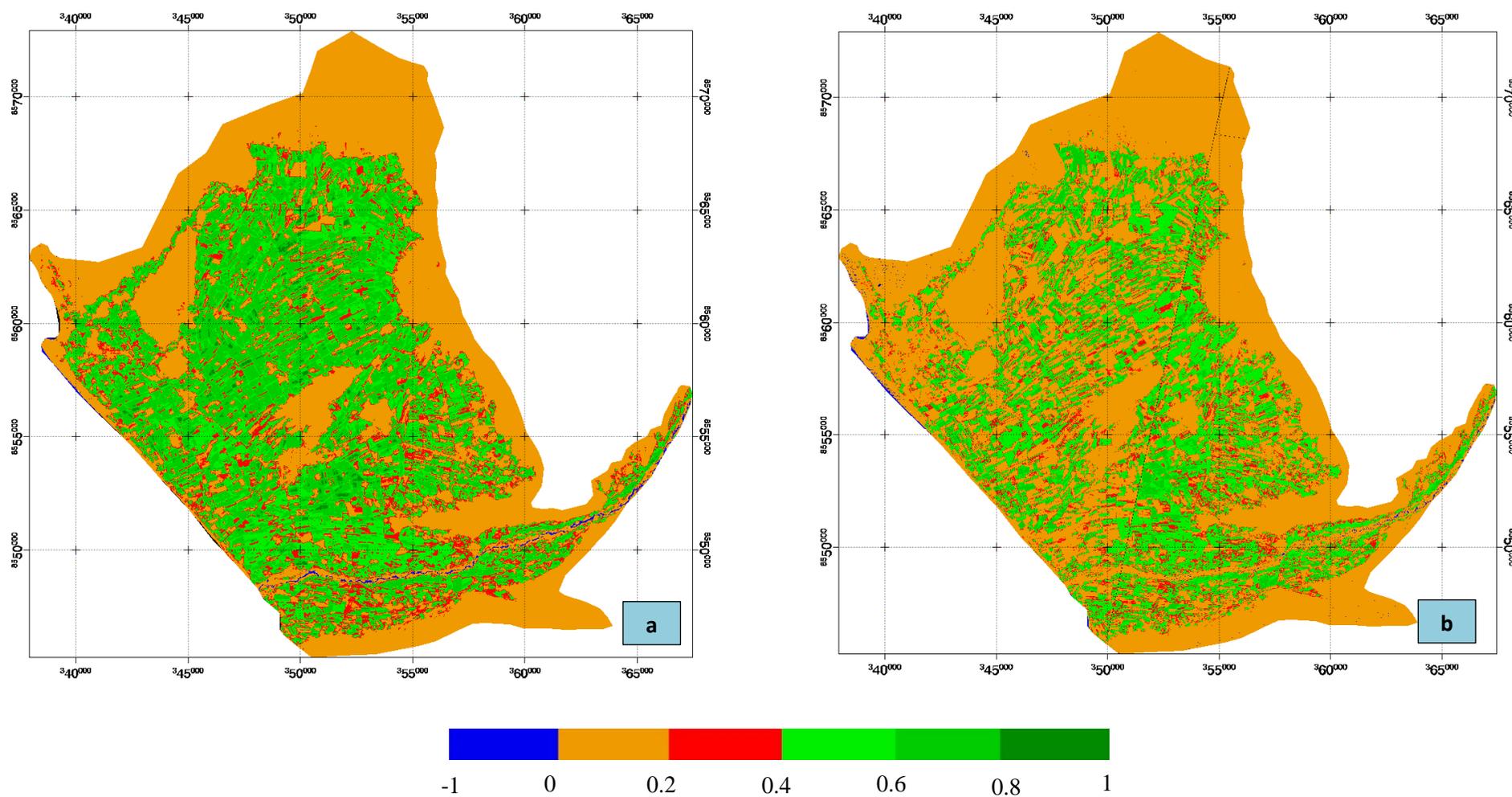
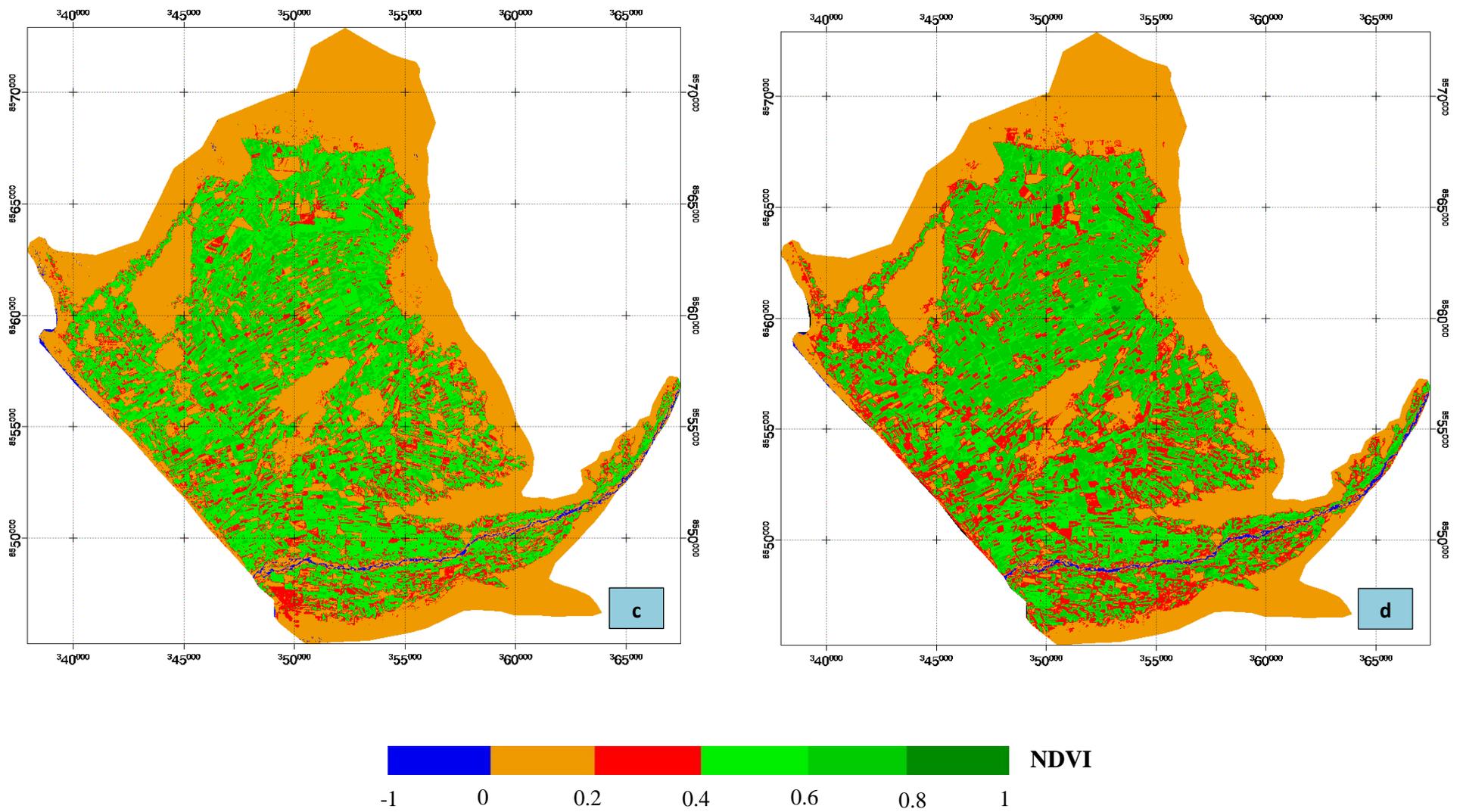
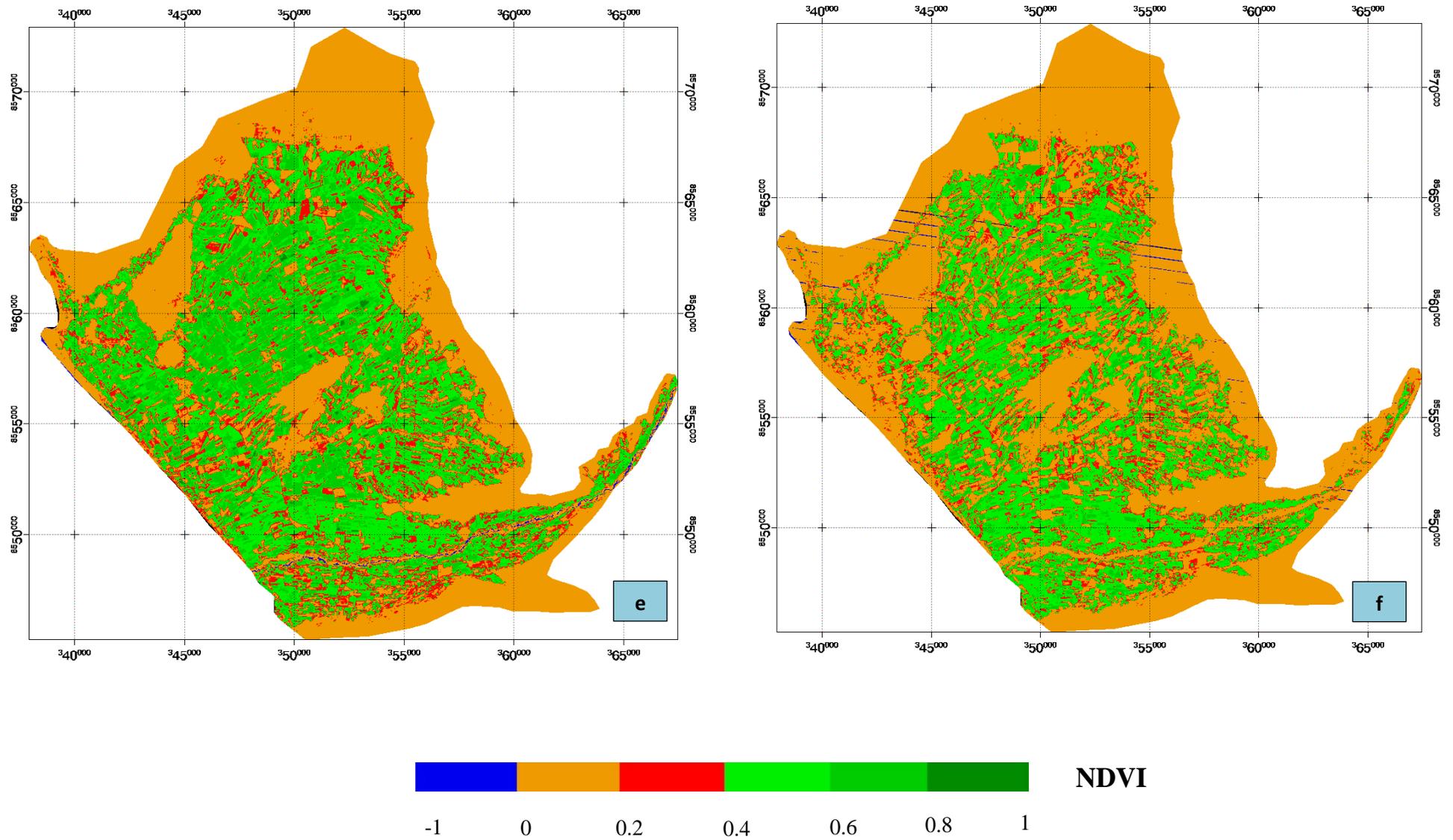


Figura: a) Imagen NDVI del sensor ETM+ de fecha 10/04/2003 y b) Imagen NDVI del sensor ASTER de fecha 05/05/2003.



**Figura: c) Imagen NDVI del sensor ASTER de fecha 24/02/2004 y d) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 09/03/2006.**



**Figura: e) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 26/04/2006 y f) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 22/12/2006.**

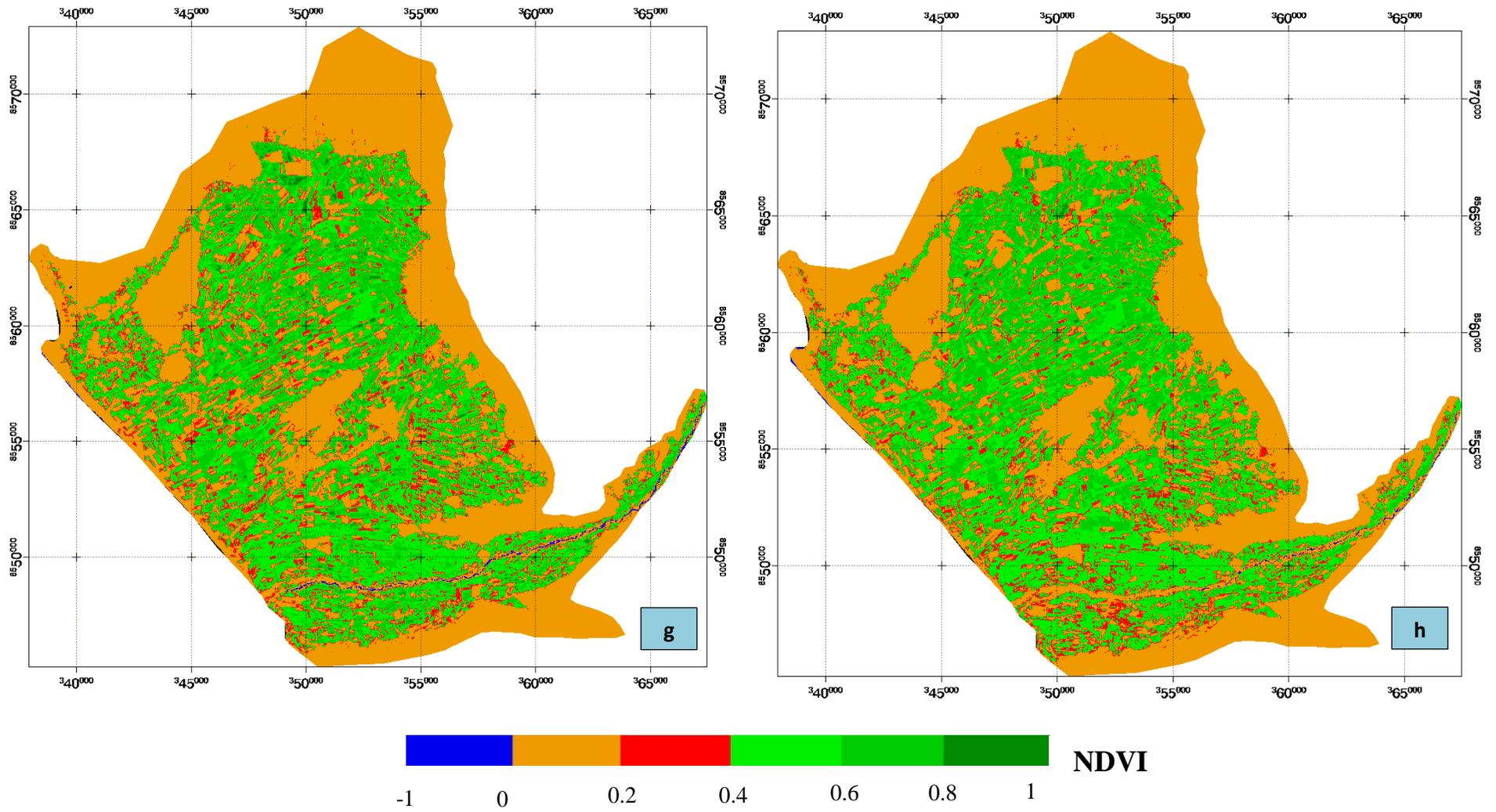


Figura: g) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 23/01/2007 y h) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 24/02/2007.

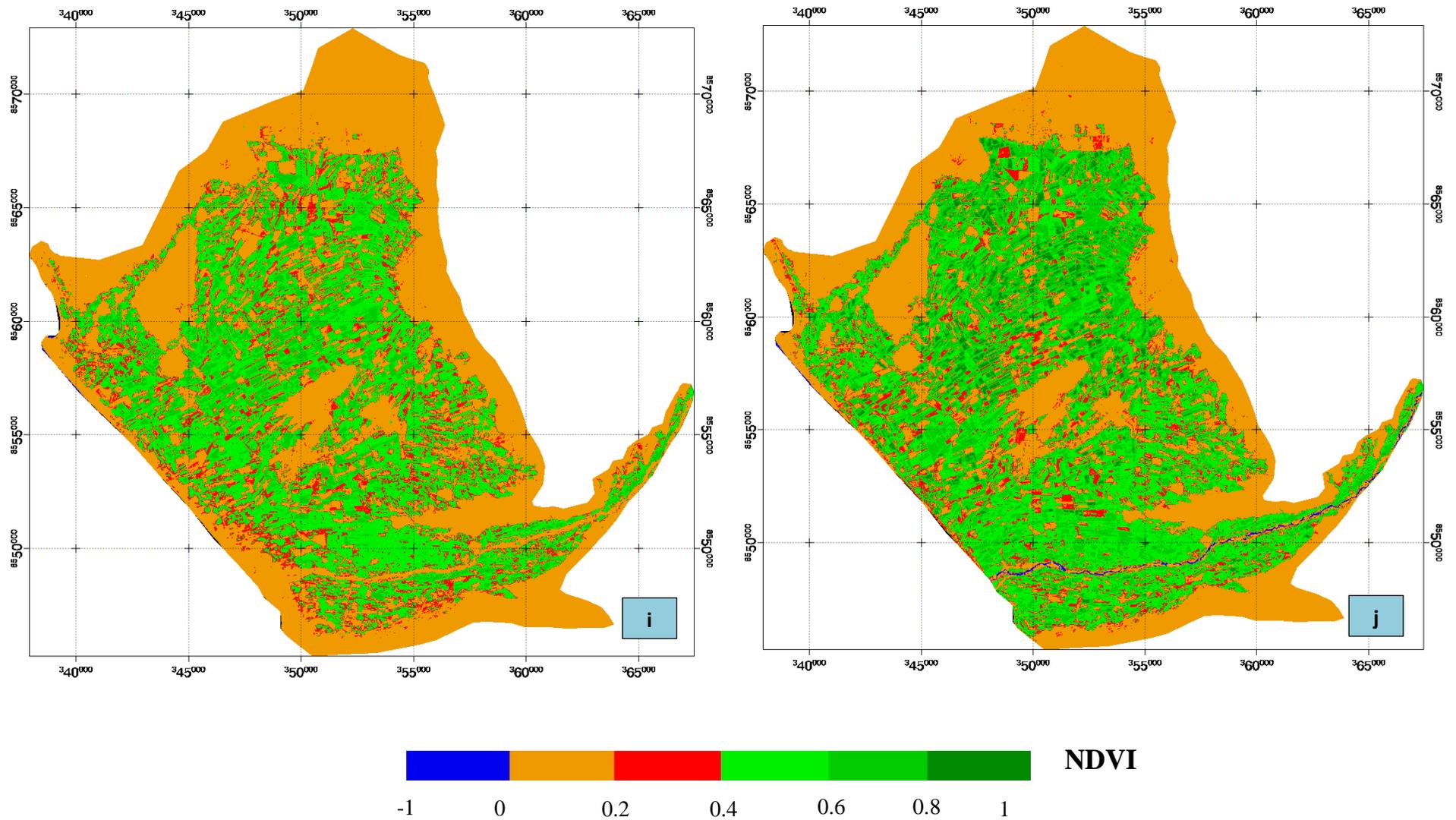
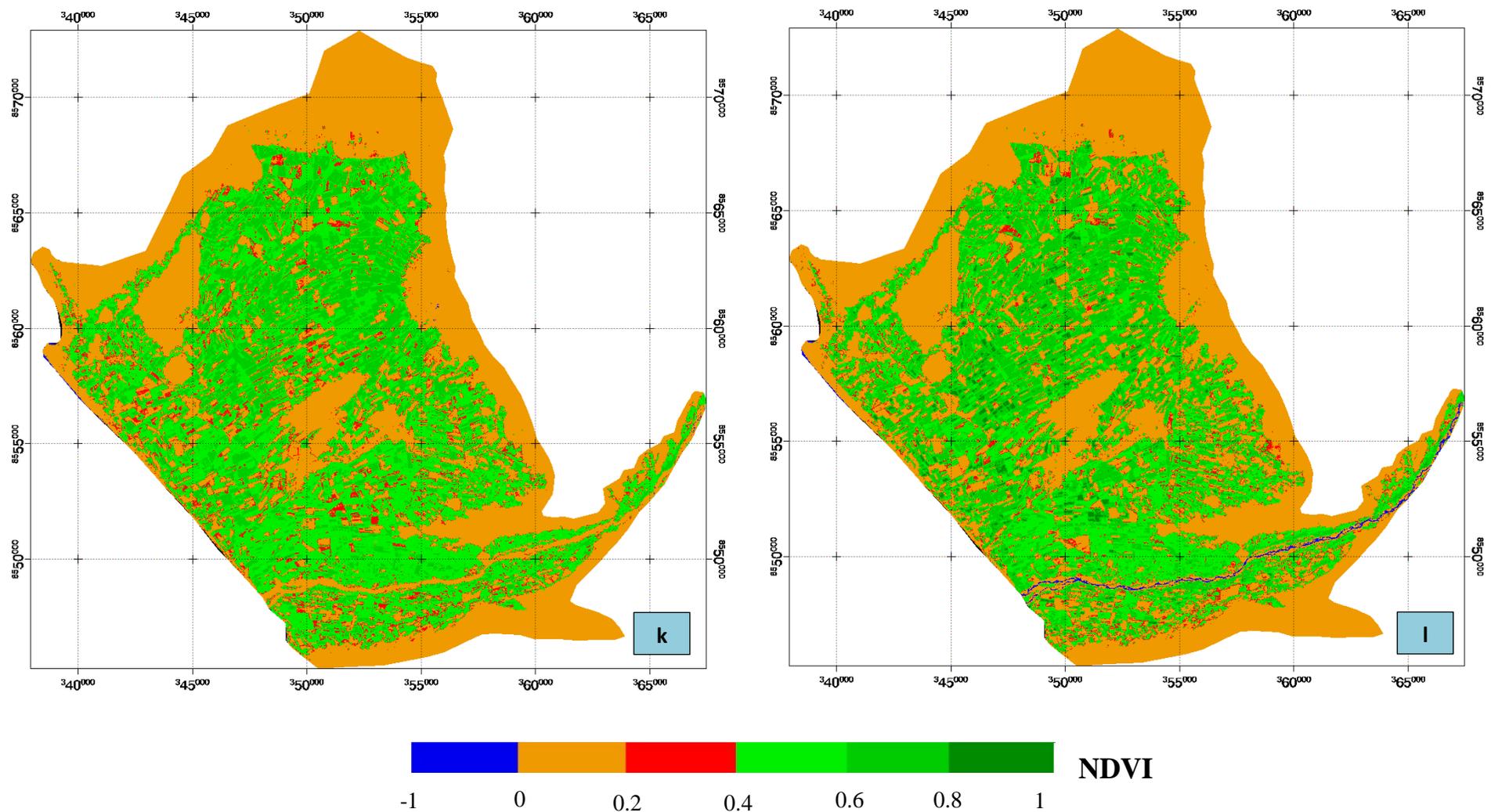
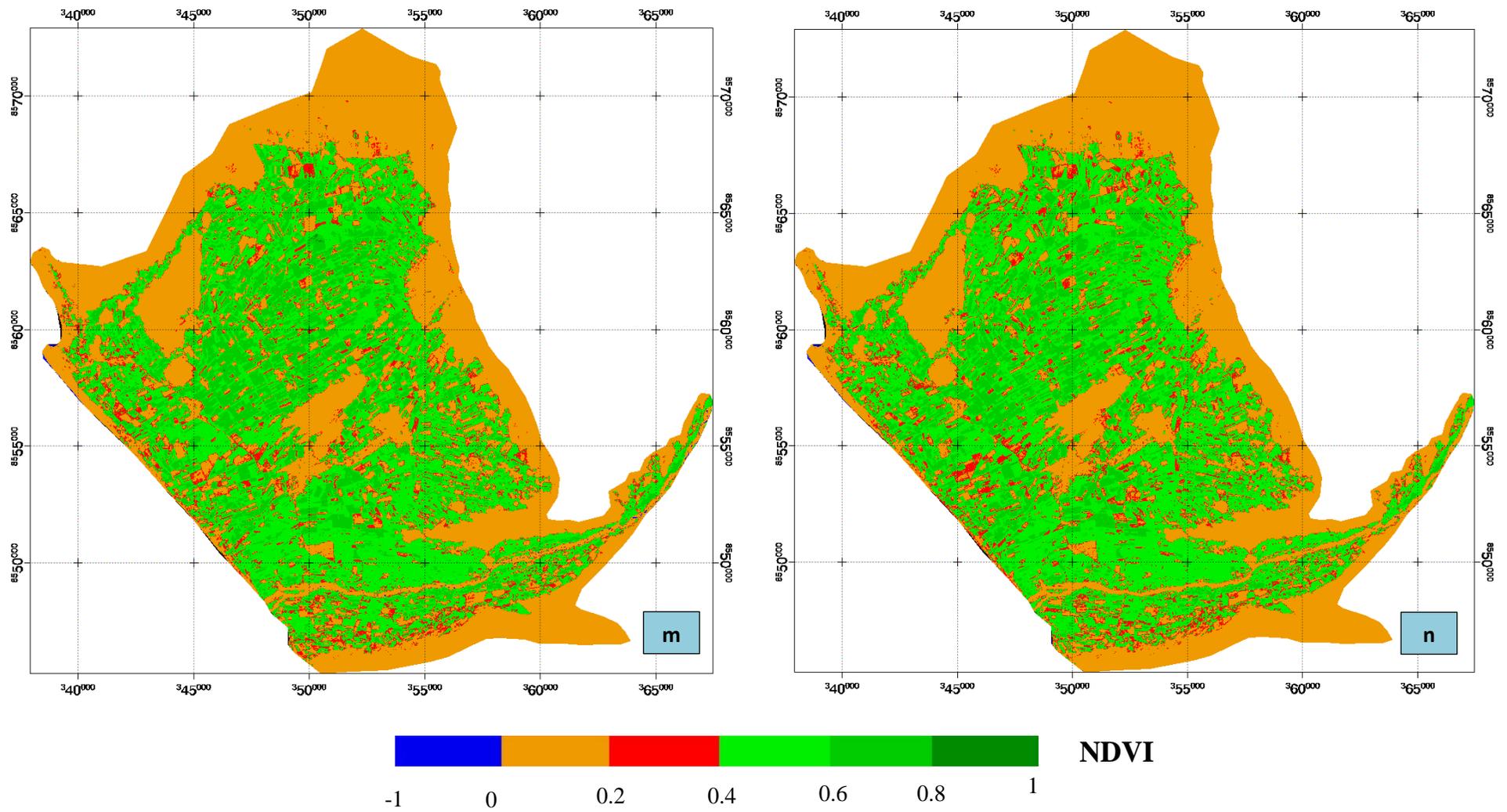


Figura: i) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 15/05/2007 y j) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 11/02/2008.



**Figura: k) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 27/02/2008 y l) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 30/03/2008.**



**Figura: m) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 15/04/2008 y n) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 01/05/2008.**

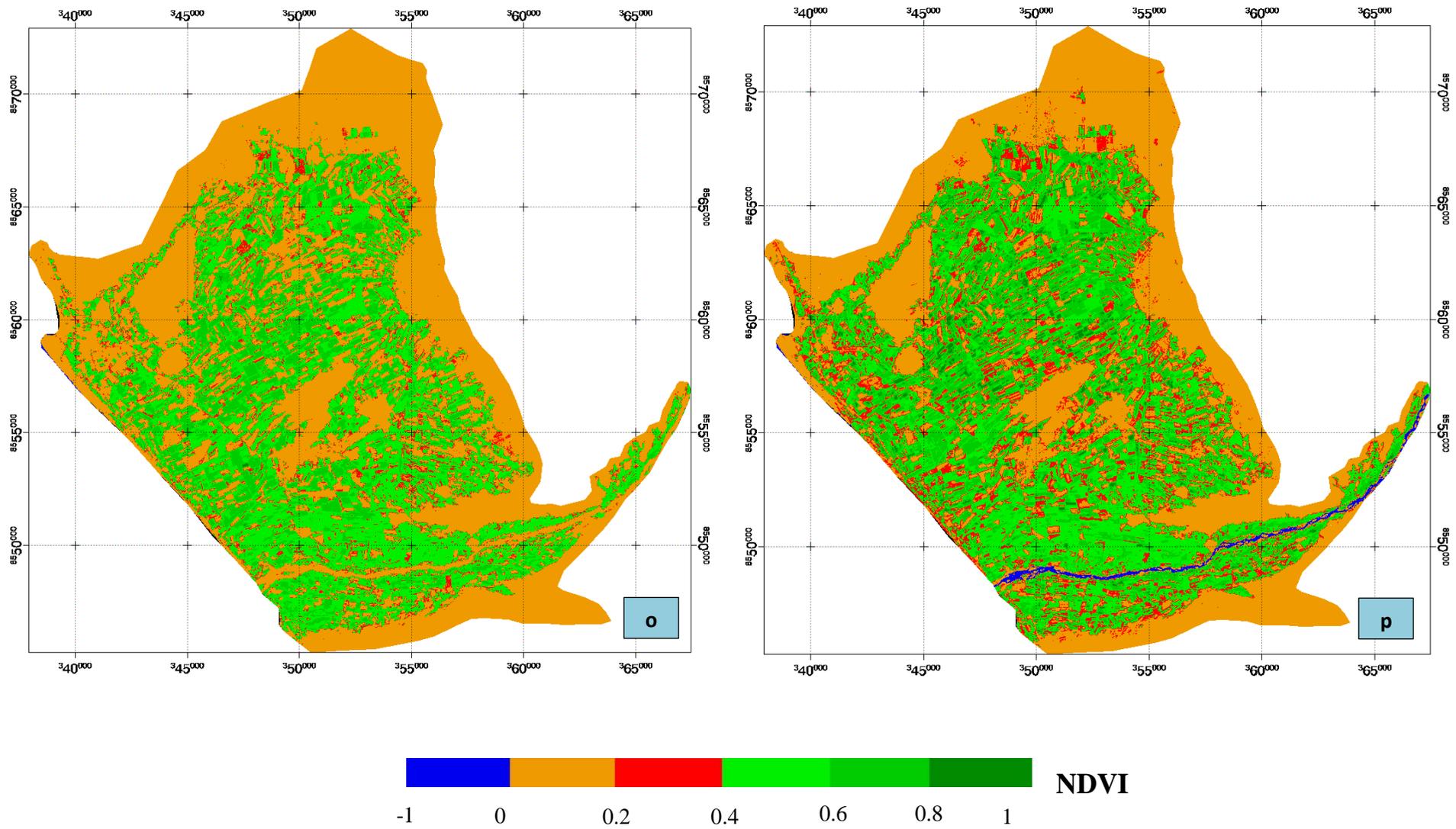
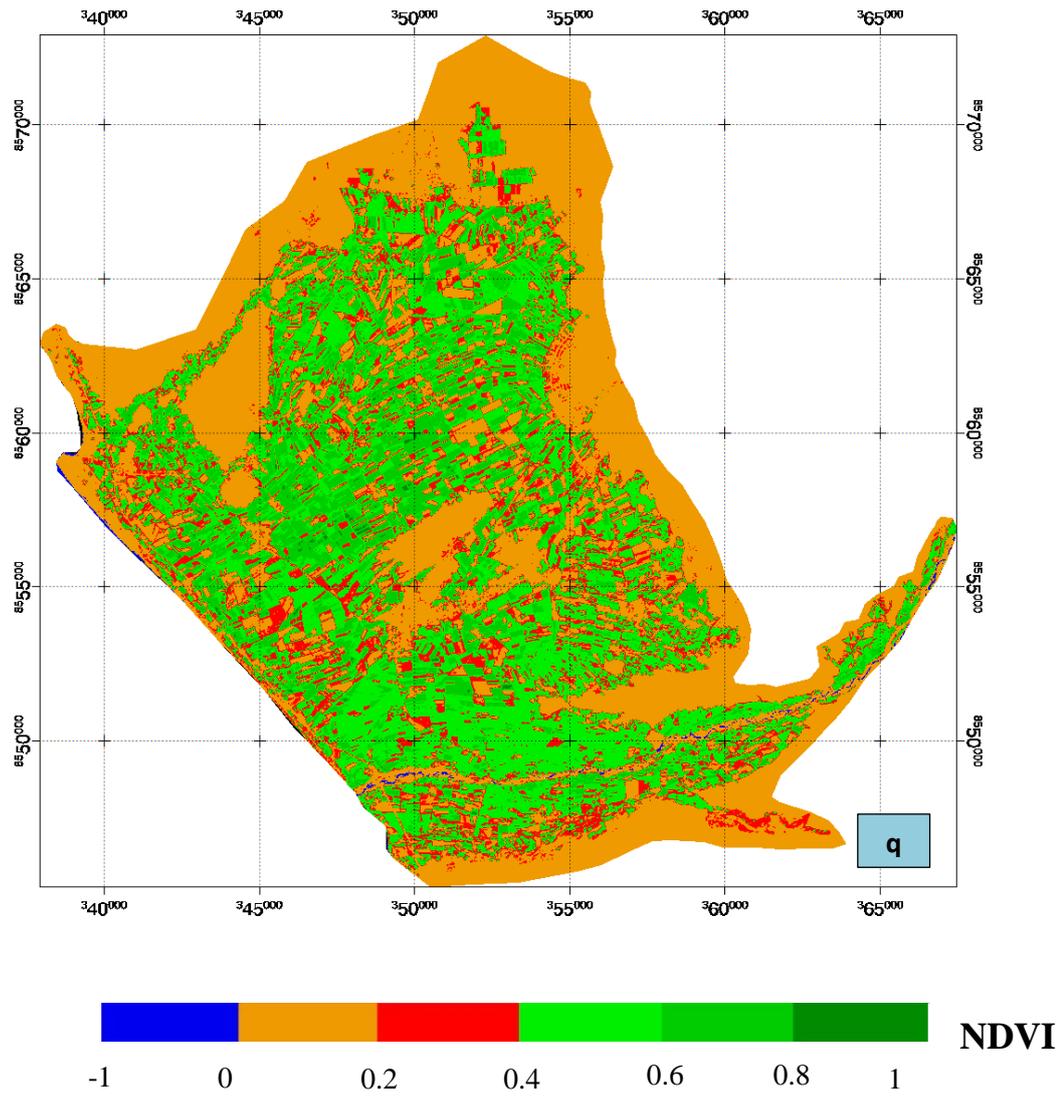


Figura: o) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 09/11/2008 y p) Imagen NDVI del sensor TM de fecha 01/03/2009.



**Figura: q) Imagen NDVI del sensor LDCM (OLI –TIRS) de fecha 13/04/2013.**

## ANEXO 10: Tabla de Porcentaje de áreas de los Mapas de NDVI.

Área de estudio	39, 113.91	ha
-----------------	------------	----

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
1	10/04/2003	3967	357.03	0.9	Vegetación en muy buen estado
		91866	8,267.94	21.1	Vegetación en buen estado
		150460	13,541.40	34.6	Vegetación en regular estado
		27925	2,513.25	6.4	Suelo agrícola sin vegetación
		158755	14,287.95	36.5	Suelo desnudo
		634	57.06	0.1	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
2	05/05/2003	18	1.62	0.004	Vegetación en muy buen estado
		23792	2,141.28	5.5	Vegetación en buen estado
		144242	12,981.78	33.2	Vegetación en regular estado
		34973	3,147.57	8.0	Suelo agrícola sin vegetación
		230200	20,718.00	53.0	Suelo desnudo
		0	0.00	0.0	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
3	24/02/2004	0	0.00	0.0	Vegetación en muy buen estado
		46278	4,165.02	10.6	Vegetación en buen estado
		142532	12,827.88	32.8	Vegetación en regular estado
		54483	4,903.47	12.5	Suelo agrícola sin vegetación
		188924	17,003.16	43.5	Suelo desnudo
		1563	140.67	0.4	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
4	09/03/2006	995	89.55	0.23	Vegetación en muy buen estado
		98179	8,836.11	22.59	Vegetación en buen estado
		113339	10,200.51	26.08	Vegetación en regular estado
		65966	5,936.94	15.18	Suelo agrícola sin vegetación
		153595	13,823.55	35.34	Suelo desnudo
		981	88.29	0.23	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
5	26/04/2006	1419	127.71	0.33	Vegetación en muy buen estado
		70002	6,300.18	16.11	Vegetación en buen estado
		127485	11,473.65	29.33	Vegetación en regular estado
		53770	4,839.30	12.37	Suelo agrícola sin vegetación
		180578	16,252.02	41.55	Suelo desnudo
		203	18.27	0.05	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
6	22/12/2006	3	0.27	0.001	Vegetación en muy buen estado
		21850	1,966.50	5.03	Vegetación en buen estado
		128053	11,524.77	29.46	Vegetación en regular estado
		47950	4,315.50	11.03	Suelo agrícola sin vegetación
		235184	21,166.56	54.12	Suelo desnudo
		0	0.00	0.01	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
7	23/01/2007	3217	289.53	0.74	Vegetación en muy buen estado
		68254	6,142.86	15.71	Vegetación en buen estado
		117580	10,582.20	27.05	Vegetación en regular estado
		42502	3,825.18	9.78	Suelo agrícola sin vegetación
		201559	18,140.31	46.38	Suelo desnudo
		387	34.83	0.09	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
8	24/02/2007	863	77.67	0.20	Vegetación en muy buen estado
		71197	6,407.73	16.38	Vegetación en buen estado
		122633	11,036.97	28.22	Vegetación en regular estado
		39471	3,552.39	9.08	Suelo agrícola sin vegetación
		199576	17,961.84	45.92	Suelo desnudo
		307	27.63	0.07	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
9	15/05/2007	30	2.70	0.01	Vegetación en muy buen estado
		32309	2,907.81	7.43	Vegetación en buen estado
		137706	12,393.54	31.69	Vegetación en regular estado
		48655	4,378.95	11.20	Suelo agrícola sin vegetación
		215448	19,390.32	49.57	Suelo desnudo
		0	0.00	0.00	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
10	11/02/2008	13074	1,176.66	3.01	Vegetación en muy buen estado
		72981	6,568.29	16.79	Vegetación en buen estado
		129300	11,637.00	29.75	Vegetación en regular estado
		41172	3,705.48	9.47	Suelo agrícola sin vegetación
		176379	15,874.11	40.58	Suelo desnudo
		454	40.86	0.10	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
11	27/02/2008	41	3.69	0.01	Vegetación en muy buen estado
		62674	5,640.66	14.42	Vegetación en buen estado
		151225	13,610.25	34.80	Vegetación en regular estado
		27637	2,487.33	6.36	Suelo agrícola sin vegetación
		192534	17,328.06	44.30	Suelo desnudo
		0.00	0.00	0.00	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
12	30/03/2008	5699	512.91	1.31	Vegetación en muy buen estado
		85524	7,697.16	19.68	Vegetación en buen estado
		112136	10,092.24	25.80	Vegetación en regular estado
		22616	2,035.44	5.20	Suelo agrícola sin vegetación
		206537	18,588.33	47.52	Suelo desnudo
		287	25.83	0.07	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
13	15/04/2008	126	11.34	0.03	Vegetación en muy buen estado
		60274	5,424.66	13.87	Vegetación en buen estado
		154807	13,932.63	35.62	Vegetación en regular estado
		33797	3,041.73	7.78	Suelo agrícola sin vegetación
		185028	16,652.52	42.57	Suelo desnudo
		207	18.63	0.05	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
14	01/05/2008	39	3.51	0.01	Vegetación en muy buen estado
		51459	4,631.31	11.84	Vegetación en buen estado
		166519	14,986.71	38.32	Vegetación en regular estado
		36965	3,326.85	8.51	Suelo agrícola sin vegetación
		179196	16,127.64	41.23	Suelo desnudo
			0.00	0.00	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
15	09/11/2008	104	9.36	0.02	Vegetación en muy buen estado
		45850	4,126.50	10.55	Vegetación en buen estado
		136336	12,270.24	31.37	Vegetación en regular estado
		28695	2,582.55	6.60	Suelo agrícola sin vegetación
		223224	20,090.16	51.36	Suelo desnudo
			0.00	0.00	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
16	01/03/2009	7200	648.00	1.66	Vegetación en muy buen estado
		68929	6,203.61	15.86	Vegetación en buen estado
		126484	11,383.56	29.10	Vegetación en regular estado
		55128	4,961.52	12.68	Suelo agrícola sin vegetación
		173353	15,601.77	39.89	Suelo desnudo
		1669	150.21	0.38	Agua

N°	Fecha	# píxeles	Área (has)	% Área	Descripción
17	13/04/2013	772	69.48	0.18	Vegetación en muy buen estado
		49767	4,479.03	11.45	Vegetación en buen estado
		135210	12,168.90	31.11	Vegetación en regular estado
		60702	5,463.18	13.97	Suelo agrícola sin vegetación
		186884	16,819.56	43.00	Suelo desnudo
		431	38.79	0.10	Agua

## ANEXO 11: Fotografía de la reunión con la Junta de Usuarios del Valle de Cañete.



**ANEXO 12: Fotografía de la vista panorámica del río Cañete – aguas abajo.**



**ANEXO 13: Fotografía de la visita de campo al distrito San Vicente de Cañete**



**ANEXO 14: Fotografía de visita de campo al distrito Quilmaná.**



**ANEXO 15: Fotografía de visita de campo al distrito San Luis**



**ANEXO 16: Población 200 al 2015 - INEI**


**INEI** INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

**Población 2000 al 2015**

Departamento: 
  
 Provincia: 
  
 Distrito: 
  
 Filtrar: Desde:  Hasta:

[Exportar](#)

	Año	Población
SAN VICENTE DE CAÑETE	2003	44,143
	2004	45,120
	2005	46,079
	2006	47,009
	2007	47,911
	2008	48,802
	2009	49,710
	2010	50,662
	2011	51,650
	2012	52,666
	2013	53,705
	2014	54,761
	2015	55,824



## Población 2000 al 2015

Departamento:

Provincia:

Distrito:

Filtrar: Desde:  Hasta:

[Exportar](#)

	Año	Población
QUILMANA	2003	13,586
	2004	13,741
	2005	13,889
	2006	14,025
	2007	14,149
	2008	14,269
	2009	14,389
	2010	14,515
	2011	14,649
	2012	14,786
	2013	14,924
	2014	15,063
	2015	15,200



## Población 2000 al 2015

Departamento:

Provincia:

Distrito:

Filtrar: Desde:  Hasta:

[Exportar](#)

	Año	Población
SAN LUIS	2003	12,032
	2004	12,132
	2005	12,224
	2006	12,306
	2007	12,377
	2008	12,443
	2009	12,509
	2010	12,580
	2011	12,657
	2012	12,736
	2013	12,815
	2014	12,894
	2015	12,971