

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA**



**ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA COBERTURA DE VEGETACIÓN Y
HUMEDAD DEL SUELO, MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT, EN LA ZONA DE
INFLUENCIA DE LA REPRESA CUCHOQUESERA, REGIÓN AYACUCHO**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

DAILY BRUSH, ACOSTA ASTO

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 21 de diciembre del 2021 a hora 8:00 p. m. a través de la Sala Virtual de Conferencias Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

“ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA COBERTURA DE VEGETACIÓN Y HUMEDAD DEL SUELO, MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT, EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA REPRESA CUCHOQUESERA, REGIÓN AYACUCHO”

Presentado por la Bachiller: **ACOSTA ASTO, Daily Brush** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 17 de marzo de 2021

Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
PRESIDENTE DEL JURADO



Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA
MIEMBRO DEL JURADO

MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO DEL JURADO

Ing. ERLE BUSTAMANTE SCAGLIONI
ASESOR DE LA TESIS

Mg. WILMER MONCADA SOSA
ASESOR DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA**



**ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA COBERTURA DE VEGETACIÓN Y
HUMEDAD DEL SUELO, MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT, EN LA ZONA DE
INFLUENCIA DE LA REPRESA CUCHOQUESERA, REGIÓN AYACUCHO**

Autor : Acosta Asto, Daily Brush
Asesores : Ing. BUSTAMANTE SCALIONI, Erle
Mg. MONCADA SOSA, Wilmer

Programa de investigación : Cambio Climático.
Línea de investigación : Escenarios climáticos futuros y sus potenciales
impactos en los recursos suelo y agua.



Eje temático de investigación : Estudio de los cambios de ocurrencia del suelo y agua.

Lugar de ejecución : Cuchoquesera, distrito de Chuschi, provincia de Cangallo,
Ayacucho

Duración : 06 meses

Financiamiento : Propio.

Tingo María – Perú

2022

DEDICATORIA

A Dios, por orientarme a ser cada día mejor, darme sabiduría, fortaleza para enfrentar los retos y adversidades de la vida.

A mis padres, Fausto Acosta Panduro y Brígida Asto de Acosta, por su apoyo incondicional, por guiarme para ser una persona de bien, contribuir en mi desarrollo personal y profesional.

A mis hermanas y hermanos Brunilda, Krimilda, Brusela, Berry, Erika, Clinton, Gabriel, Jhonatan y Dielo por darme su ejemplo de superación, su apoyo incondicional y darme ánimos a seguir con mis metas profesionales.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas que de alguna manera han colaborado en la ejecución del presente trabajo de tesis y mi formación profesional:

- Al Mg. Wilmer Moncada Sosa, por su apoyo incondicional, asesoría, por compartir sus conocimientos para el desarrollo de la tesis, y su entrega en labor de docente.

- Al Ing. Erle Bustamante Scalioni, por su apoyo y su comprensión para el desarrollo de la tesis.

- A todos los docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguas, quienes contribuyeron en mi formación profesional y brindaron sus conocimientos para ser un profesional de éxito.

- A mis familiares que de una u otra forma contribuyeron con la realización de este importante documento y a no desfallecer en el intento.

- A mi gran amiga, que en vida fue Sheyla Obregón Escalante, por sus palabras de aliento, apoyo, para la realización y culminación de mi tesis.

- A mis amigos Maricarmen, Pitter, Percy, Magno, Leo y Wilder compañeros en mi etapa universitaria y grandes profesionales por su apoyo emocional, para poder culminar el presente trabajo.

INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes de la teledetección:.....	3
2.2. Teledetección.....	4
2.3. Estructura básica de la teledetección.....	5
2.4. Fundamentos básicos de la radiación electromagnética.....	6
2.5. Sensores remotos	11
2.6. Imágenes de satélite.....	13
2.7. Landsat	13
2.7.1. Landsat 5	13
2.7.2. Landsat 7	14
2.7.3. Landsat-8	15
2.8. Procesamiento de imágenes de satélite.....	15
2.8.1. Corrección geométrica.....	16
2.8.2. Corrección radiométrica	16
2.8.3. Conversión de números digitales (ND) a radiancia espectral.....	17
2.8.4. Corrección atmosférica con FLAASH.	18
2.8.5. Parámetros que requiere el módulo FLAASH.....	19
2.8.6. Reflectancia del suelo.....	20
2.9. Índices de Vegetación (IV).....	20
2.9.1. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI)	22
2.10. El Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI).....	24
2.11. Análisis de correlación lineal	25
III. MATERIALES Y METODOS.....	27
3.1. Lugar de ejecución:	27
3.1.1. Ubicación política:.....	27
3.1.2. Ubicación geográfica:.....	27
3.2. Características de las zonas de estudio	28
3.2.1. Clima	28
3.2.2. Ecología (zonas de vida).....	28

3.2.3. Accesibilidad:	28
3.3. Materiales y equipos:.....	29
3.3.1. Materiales:	29
3.3.2. Equipos de trabajo	29
3.4. METODOLOGÍA:.....	29
3.4.1. Método de la investigación.....	29
3.4.2. Diseño de la investigación.....	29
3.4.3. Método:.....	29
3.4.4. Determinación de zona de estudio:.....	30
3.4.5. Pre-procesamiento de las imágenes de satélite:.....	30
3.4.6. Estimación de parámetros físicos:	30
3.4.7. Metodología para hallar evaluar espacial y temporalmente la cobertura de vegetación:.....	31
3.4.7.1. Clasificación de las imágenes Landsat	31
3.4.7.2. El cálculo del NDVI	31
3.4.7.3. Clasificación de rangos.....	32
3.4.7.4. Cálculo del área en hectáreas.....	32
3.4.8. Metodología para hallar evaluar espacial y temporalmente la cobertura de humedad:	32
3.4.8.1. Clasificación de las imágenes Landsat	32
3.4.8.2. Cálculo del NDWI	32
3.4.8.3. Clasificación de rangos.....	33
3.4.8.4. Cálculo del área en hectáreas.....	33
3.4.9. Interpretación de datos obtenidos	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. Variación de la cobertura de vegetación, espacial y temporal.	35
4.2. Variación de la cobertura de humedad	40
4.2.1. Correlación de la cobertura de humedad y precipitación	45
4.3. ANOVA de la cobertura vegetal y la humedad del suelo.....	47
V. CONCLUSIONES	50
VI. PROPUESTAS A FUTURO	51
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	52

7.1.	Variación de la cobertura de humedad del suelo, espacial y temporal.....	79
------	--	----

INDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Regiones del espectro electromagnético.....	8
2. Características multiespectrales de las bandas de las imágenes del Satélite Landsat 5.....	14
3. Características multiespectrales de las bandas de las imágenes del Satélite Landsat 7.....	14
4. Características multiespectrales de las bandas de las imágenes del Satélite Landsat 8.....	15
5. Índice de Vegetación que destacan en la literatura científica.....	22
6. Representa el acceso a la represa.....	28
7. Rango de valores del NDVI para la clasificación de la cobertura de vegetación....	32
8. Clasificación de los rangos, según valores de NDWI para la clasificación de la cobertura de humedad del suelo en la microcuenca Apacheta.....	33
9. Resultados de la variabilidad espacial y temporal de la cobertura de vegetación ...	35
10. Resultados de variabilidad espacial y temporal del área con cobertura de humedad en el suelo.....	40
Tabla general de las áreas en hectáreas de las zonas de NDVI.....	58
11. Datos de NDVI.....	58
12. Mapas de NDVI de 1990 al 2018.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
13. Datos de NDWI.....	79
14. Mapas de NDWI, periodo 1990-2018.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Elementos básicos del sensoramiento remoto (Pérez Gutierrez & Muñoz Nieto, 2006)....	6
2. Esquema de una onda electromagnética.....	7
3. Espectro electromagnético.....	8
4. Radiación electromagnética que incide sobre la superficie terrestre.....	9
5. Esquema de dispersión de la radiación incidente en la superficie de la tierra.....	10
6. Firma espectral de cuerpos sobre la superficie terrestre.....	11
7. Resolución espacial del sensor remoto.....	12
8. Resolución radiométrica de una imagen de satélite medida por un sensor remoto.....	13
9. Longitudes de onda del Espectro de luz (Palermo, 2014).....	21
10.Comportamiento Espectral de la Vegetación y el Suelo Desnudo (López, 2014).....	22
11.Respuesta Espectral de la Vegetación (López, 2014).....	23
12.Correlación entre dos variables (Levin & Rubin, 1996).....	25
13.Análisis del coeficiente de correlación (Levin & Rubin, 1996).....	26
14.Ubicación Geográfica de la zona de influencia a la presa Cuchoquesera, Región Ayacucho.....	27
15.Diagrama de flujo.....	34
16.Variabilidad temporal de la cobertura de vegetación en las zonas de influencia de la presa Cuchoquesera.....	38
17. Variabilidad en área por hectáreas la cobertura de vegetación en las zonas de influencia de la presa Cuchoquesera.....	39
18.Variabilidad de la cobertura de humedad.....	43
19.Variabilidad espacial en área por hectáreas de la cobertura de humedad.....	44
20.Correlación de Cobertura de humedad y precipitación.....	46
21.Corrección de cobertura vegetal y humedad.....	47

RESUMEN

La intervención del hombre en la naturaleza, genera diferentes impactos que requieren ser monitoreados y analizados. El objetivo del presente estudio es analizar la variabilidad espacial y temporal del NDVI y NDWI para evaluar las propiedades de la cobertura vegetal y humedad del suelo en la zona de influencia de la represa Cuchoquesera, Región Ayacucho.

La metodología permitió describir los índices espectrales de NDVI y NDWI para el análisis espacio temporal de la cobertura de vegetación y humedad de suelo de manera anual, a través de imágenes clasificadas y promediadas en un periodo de 29 años desde 1990 hasta el 2018 con 115 imágenes satelitales trabajadas.

Para el caso de NDVI, los valores se clasificaron en 5 rangos, de -1.0 a 0.0 corresponden a zonas con presencia de agua, sombra, y nieve; de 0.0 a 0.2 suelo desnudo, 0.2 a 0.4 suelo con vegetación escasa y suelo desnudo; 0.4 a 0.6 vegetación dispersa y de 0.6 a 1.0 vegetación densa, generando mapas de clasificación y el área en hectáreas de la cobertura vegetal para $NDVI \geq 0.4$. Al igual que para el NDWI se clasificó en 5 rangos, de -1.0 a 0.33 correspondiente a una zona con presencia de agua, sombra y nieve; de 0.33 a 0.53 suelos desnudo; de 0.53 a 0.68 humedad baja; 0.68 a 0.82 humedad media y de 0.82 a 1.0 zona con humedad alta, obteniendo mapas de clasificación y el área en hectáreas de zona con humedad del suelo media y alta. Los resultados obtenidos podrán servir de base para otros estudios sobre la distribución de vegetación y humedad en la zona de influencia a la presa Cuchoquesera.

Palabras clave: índices espectrales de vegetación; cobertura vegetal; humedad; NDVI; NDWI.

ABSTRACT

Man's intervention in nature generates different impacts which need to be monitored and analyzed. The objective of the present study was to analyze the spatial and temporal variability of the NDVI and NDWI in order to evaluate the properties of the vegetative cover and the soil moisture in the Cuchoquesera dam's influence zone in the Ayacucho region of Peru.

The methodology allowed for a description of the NDVI and NDWI spectral indices for the temporal space analysis of the vegetative cover and the soil moisture in an annual fashion through the use of classified and averaged images during a twenty nine year period, from 1990 until 2018, where 115 satellite images were used.

In the case of the NDVI, the values were classified into five ranges: -1.0 to 0.0, which corresponds the zones with water, shade and snow present; 0.0 to 0.2, naked soil; 0.2 to 0.4, soil with scarce vegetation and naked soil; 0.4 to 0.6, disperse vegetation; and 0.6 to 1.0, dense vegetation. From this, classification maps were generated, as well as the area, in acres, of the vegetative cover for a $NDVI \geq 0.4$. At the same time, the NDWI was classified into five ranges: -0.1 to 0.33, corresponding to a zone with the presence of water, shade and snow; 0.33 to 0.53, naked soil; 0.53 to 0.65, low moisture; 0.68 to 0.82, average moisture; and 0.82 to 1.0, a zone with high moisture. From this, classification maps were obtained, as well as the area, in acres, of the zone with average to high soil moisture. The results that were obtained could serve as a base for other studies regarding the distribution of vegetation and moisture in the Cuchoquesera dam's influence zone.

Keywords: vegetation spectral indices, vegetative cover, moisture, NDVI, NDWI

I. INTRODUCCION

La generación de impactos sobre la biodiversidad y los cambios que pueden generarse es un problema producto de las actividades humanas, generadas por diferentes proyectos. Una de ellos viene a ser la construcción de las represas, que si bien es cierto es una solución vial para satisfacer la demanda de agua dulce para consumo humano, industrial y la agricultura, así también trae muchos beneficios, este también genera impactos sobre el uso del suelo, la cobertura vegetal y alteración de los ecosistemas ribereños, los cuales vienen a ser factores del deterioro ambiental.

El estudio del monitoreo de los impactos producidos es costoso y en muchos casos muy específicos a un determinado lugar y área, esto viene a ser un problema porque este estudio es relevante para poder realizar gestiones e intervenciones, así minimizar posibles problemas a futuro como los distintos factores del deterioro ambiental en los ecosistemas. Pues estos impactos nos pueden llevar a la desertificación que es uno de los primordiales inconvenientes del medio ambiente, siendo además uno de los efectos más notorios del calentamiento global a los que se confronta la raza humana. Según la UNESCO 24 billones de suelo fértil desaparece cada año y afecta un cuarto de la superficie de la tierra.

En la actualidad se ha visto que la teledetección resulta de gran utilidad para hacer un seguimiento de la superficie terrestre, así también de aquellos sucesos que ocurran mediante la firma espectral, en este sentido, la teledetección y sobre todo los datos de satélites multiespectrales, vienen siendo utilizados como valiosas herramientas, determinantes al momento de estimar dinámicas en la variabilidad de usos de suelo, la coberturas vegetales y humedad.

En la presente investigación se analizó la variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal y la humedad del suelo, en la zona de influencia de la represa Cuchoquesera mediante las imágenes satelitales Landsat , y los índices como el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI, por sus siglas en inglés), que es un índice espectral comúnmente empleado y el Índice de Agua de Diferencias Normalizadas (NDWI, por sus siglas en inglés), que se usa para la medición de la proporción de agua existente en la vegetación o en el suelo, siendo un método indicado para la determinación del grado de saturación de humedad en el suelo.

Ante esto nos preguntamos ¿Los índices conseguidos por medio de las imágenes TM, ETM+ y OLI permitirán ejecutar el análisis tanto espacial y temporal de la cobertura de vegetación y humedad del suelo, en el área de estudio?

En este entorno, se vuelve importante disponer de estudios de monitoreo, como la presente investigación, que nos permite proveer información, específicamente con respecto a la variación de la superficie de la cobertura de vegetación y humedad del suelo, tanto espacial y temporalmente. Esto es importante, no solo para mejorar la gestión, sino porque dicha información puede actuar como punto de partida para la evaluación de su influencia sobre otros recursos. En la investigación se aplicó la teledetección, en el periodo de 29 años desde 1990 al 2018, mediante imágenes TM, ETM+ y OLI, en la superficie de influencia de la represa Cuchoquesera de la Región de Ayacucho, que es de vital importancia al ser la única fuente de alimentación de agua potable para la población y para la agricultura.

Hipótesis de investigación: Es posibles la elaboración del análisis temporal y espacial de la cobertura de humedad del suelo y de la cobertura de vegetación con las imágenes TM, ETM+ y OLI en alrededor de la superficie de la represa Cuchoquesera, Región Ayacucho.

Objetivo General:

- Analizar espacial y temporalmente la cobertura de vegetación y humedad del suelo, mediante imágenes TM, ETM+ y OLI, en torno a la superficie de la represa Cuchoquesera, Región Ayacucho, desde el año 1990 al 2018.

Objetivos Específicos:

- Evaluar espacial y temporalmente la cobertura de vegetación, mediante imágenes TM, ETM+ y OLI, en torno a la superficie de la represa Cuchoquesera, de la Región Ayacucho, desde el año 1990 al 2018.
- Evaluar espacial y temporalmente la cobertura de humedad del suelo, mediante imágenes TM, ETM+ y OLI, en torno a la superficie de la represa Cuchoquesera, de la Región Ayacucho, desde el año 1990 al 2018.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la teledetección:

A inicios de los sesenta se designó teledetección a cualquier medio de observación remota, el vocablo teledetección proviene del término inglés remote sensing, la teledetección constituye del marco de estudio de la observación remota de la superficie, se aplicó fundamentalmente a la fotografía aérea, principal sensor de aquel momento. (Chuvienco & Huete, 2010)

Los avances científicos en la teledetección están fuertemente ligado al procesamiento de imágenes de satélite, siendo las primeras imágenes producidas por acción de la luz directa, denominas heliografías, en 1822 por el francés Nièpce, no obstante, en 1839 el francés Daguerre mejoró el procedimiento basando su fijación en compuestos de plata. Durante la siguiente década, Talbot desarrolló imágenes en escala de grises, permitiendo su reproducción cuantas veces sea necesario, desde ese siglo hubo innumerables avances, donde las primeras fotografías a color se ejecutaron por el físico inglés James C. Maxwell, posteriormente G. Eastman desarrolló el rollo de película flexible, transparente, susceptible a ser generada en serie (Elachi & Van, 2006).

En el presente siglo, los avances científicos y tecnológicos han revolucionado los medios para registrar imágenes y la descripción de cada píxel, con información implícita, dando lugar a la teledetección aplicada a las ciencias de la Tierra, alrededor de 1840, donde las primeras imágenes aéreas se tomaron a partir de globos aerostáticos, posteriormente se diseñaron las cámaras fotográficas, siendo las palomas mensajeras las primeras en registrar imágenes desde cierta altura.

En 1909, los avances tecnológicos en la aviación fueron aprovechada por la fotografía, siendo W. Wright el primero en realizar una fotografía desde un avión, no obstante, todavía en 1915, durante la Primera Guerra Mundial se utilizó la primera cámara aérea. Pero fue en la Segunda Guerra Mundial donde se consolidó la fotointerpretación.

En 1950, empezó la era espacial a consecuencia de la guerra fría entre los EE. UU y la antigua URSS. En 1957, el lanzamiento del Sputnik de la Unión Soviética marcó el hito, dando lugar a la utilización de la información proporcionada por los sensores de los satélites que orbitan alrededor de la tierra, siendo TIROS (Television and InfraRed Observation Satellite), la primera generación de satélites de observación meteorológica, lanzada por EE. UU

el 01 de abril de 1960. En 1965, el programa asumido por la ESSA (Environmental Science Services Administration), lanza los primeros satélites meteorológicos auténticamente operativos, a esta serie le siguieron los satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), siendo ITOS-1 (Improved TIROS Operational System) el primero de ellos, posteriormente la NASA desarrolló otros satélites de carácter científico, como el proyecto NIMBUS, que llegó a poner en órbita siete satélites entre 1964 y 1978, o el geostacionario ATS, con seis satélites entre 1966 y 1974, seguido de los satélites Landsat y AVHRR, entre otros (NASA, 2021)

La teledetección satelital requiere del tratamiento, interpretación, preprocesamiento y procesamiento de las imágenes de satélite para la obtención de la información implícita en cada banda que la conforma, que ofrecen niveles de detalle de manera espacial y/o temporal de un área de interés relacionado con el comportamiento de la vegetación o la humedad en el suelo, que se puede evaluar de manera indirecta mediante indicadores de vegetación como el NDVI o el indicador de humedad como el NDWI.

El NDVI sigue siendo uno de los índices de vegetación más utilizados en la teledetección desde los años 70. Pues el informe formal más temprano del NDVI fue en 1973 por Rouse et al. (El Dr. John Rouse fue el director del centro de percepción remota de la Universidad Texas A y M, donde se llevó a cabo el estudio de great Plains). Con la mayor disponibilidad de imágenes de detección remota de satélite, cada vez se ha optado por ser usada para las investigaciones.

El índice de agua de diferencia Normalizada (NDWI) según creada por Gao en 1996, es un índice derivado de satélites de los canales de infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR), se sabe que este está relacionado estrechamente al contenido de agua en la planta.

2.2. Teledetección

Se define como la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por medio de algún dispositivo que no se encuentre en contacto físico con dicho objeto o fenómeno investigado (Chuvienco & Huete, 2010).

Detecta y mide perturbaciones que inducen su entorno y su propagación en el espacio adquiriendo conocimiento de las propiedades de un cuerpo sin ser tocado, por ello, en

un sentido restringido, se refiere a las técnicas de adquisición de información a partir de la medida del campo electromagnético inducido por el objeto observado (Chuvienco E. , 2002).

La teledetección, también se le define como el uso práctico de imágenes de satélite para evaluar un fenómeno ocurrido en la superficie de la tierra (Pérez Gutierrez & Muñoz Nieto, 2006). Actualmente, se cuenta con sensores de alta calidad que permiten obtener imágenes de alta resolución con la posibilidad de realizar investigación científica con una mayor eficiencia y precisión.

Una aplicación importante en la teledetección es la identificación de anomalías a partir de la secuencia multitemporal de imágenes satelitales, este proceso requiere de una adecuada corrección radiométrica y atmosférica de las imágenes de satélite, para que de esta manera las variaciones sean detectadas y atribuibles a verdaderas modificaciones de las escenas a evaluar, logrando incluso la comparación de imágenes multitemporales en la detección de variaciones en la cubierta vegetal, incendios forestales, zonas de desastre o en riesgo, monitoreo de recursos naturales, crecimiento urbano, entre otros.

Los satélites Landsat emplean sensores TM, ETM+, OLI y TIRS, los satélites NOAA-AVHRR, SPOT y otros, abarcan mayores áreas, con resoluciones suficientes para captar detalles propios de un escenario de interés, actualmente, las imágenes de satélite han incrementado su resolución espacial, destacan entre ellos los satélites IRS, IC/ID, Ikonos, QuickBird, entre otros, abriendo un abanico de aplicaciones en el ámbito científico y de gestión (Itten & Meyer, 1993).

2.3. Estructura básica de la teledetección

La interacción sol – tierra - satélite consta de una fuente de energía, un sensor y el objeto observado, donde interactúan los objetos y el sensor a través de la reflexión de la luz solar como radiación electromagnética que se refleja en los objetos y se dirige hacia el sensor, como radiación solar en las bandas del visible, infrarrojo cercano, además de la radiación emitida por los objetos como infrarrojo térmico o radiación emitida por el sensor y que se reflejan en los objetos como es el caso de los satélites de radar (Pérez Gutierrez & Muñoz Nieto, 2006).

En la figura 1, se muestra el esquema de una estructura básica correspondiente a un sistema de sensoramiento remoto, en donde se observa que la radiación emitida por el sol como fuente de energía, ilumina la superficie de la tierra que absorbe y/o refleja parte de esa radiación dependiendo de las propiedades químicas y físicas del cuerpo afectado, cuya reflexión sufre

fenómenos de dispersión y scattering en la atmósfera en su trayectoria hacia el sensor del satélite que capta un determinado porcentaje restante de la energía de la radiación disponible.

Esta radiación electromagnética captada por el sensor del satélite correspondiente a la reflexión de la luz solar en los cuerpos situados en la superficie de la tierra está constituido de tres elementos como la velocidad, frecuencia y longitud de onda, que son de gran importancia en la teledetección, dado que permiten apreciar aspectos físicos de los cuerpos como el suelo, el agua, la vegetación, entre otros, que tienen una respuesta espectral electromagnética diferente en cada sector, según rango de longitudes de onda.

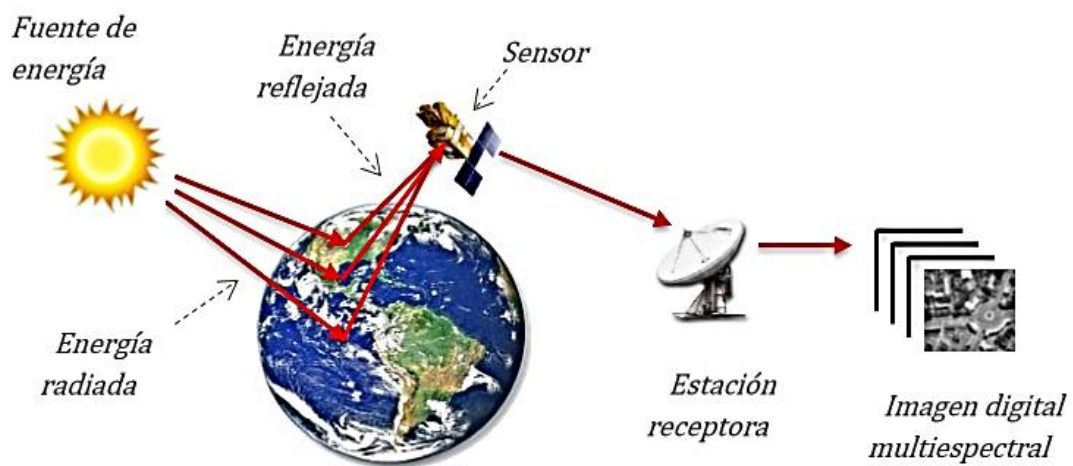


Figura 1. Elementos básicos del sensoramiento remoto (Pérez Gutierrez & Muñoz Nieto, 2006)

2.4. Fundamentos básicos de la radiación electromagnética

Es un fenómeno ondulatorio de transporte de energía, conformado por un campo eléctrico y un campo magnético, que pueden estar asociados de manera perpendicular o formando un ángulo entre sí, su velocidad en el vacío es de $c = 300,000$ km/s, y su comportamiento dual le permite transportarse en forma de onda e interactuar con la materia en forma de cantidades discretas de energía llamados cuántos (Pérez Gutierrez & Muñoz Nieto, 2006).

La radiación electromagnética se caracteriza por tener una frecuencia (f , en Hertz) y una longitud de onda (λ , en metros), de acuerdo con la ecuación.

$$c = f * \lambda \quad (1)$$

La velocidad de la luz (c) se define según la ecuación.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2)$$

Donde, ϵ_0 es la permeabilidad eléctrica y μ_0 es la permeabilidad magnética.

A la permeabilidad magnética se le atribuye propiedades de la densidad de flujo magnético B y la intensidad del campo externo H (Reitz , Milford, & Christy, 1996)

$$\mu_0 = \frac{B}{H} \quad (3)$$

Por otra forma la permeabilidad eléctrica se define como la razón del desplazamiento eléctrico D a la intensidad del campo eléctrico E que lo incorpora.

$$\epsilon_0 = \frac{D}{E} \quad (4)$$

Ecuación 4. Una onda electromagnética tiene asociada una energía.

$$E_v = hv = h \left(\frac{c}{\lambda} \right) \quad (5)$$

Donde $h = 6.6256 \times 10^{-34}$ joules, es la constante de Planck.

La radiación electromagnética, también es conocida como una señal electromagnética, o en su efecto onda electromagnética.

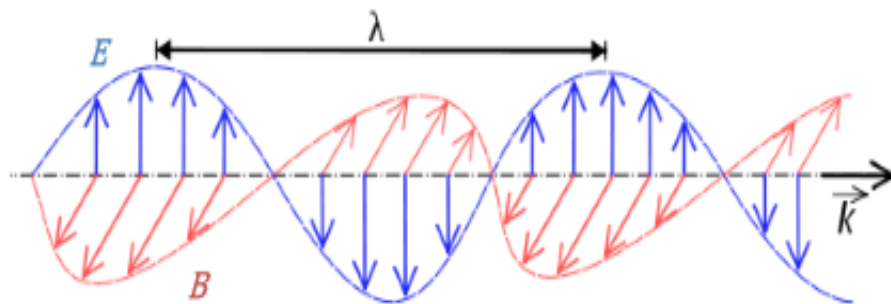


Figura 2. Esquema de una onda electromagnética.

El espectro electromagnético es el conjunto de ondas electromagnéticas en el rango de longitudes de onda (Figura 3), donde a la radiación de una sola longitud de onda se le denomina radiación monocromática. La región óptica del espectro electromagnético comprende longitudes de onda en el intervalo de $0.4 \mu m$ a $10.0 \mu m$, siendo la región visible comprendida entre $0.4 \mu m$ a $0.7 \mu m$, la radiación perceptible al ojo humano pero que no es sensible a longitudes de onda $< 0.36 \mu m$ y $> 0.83 \mu m$ (Reitz , Milford, & Christy, 1996)

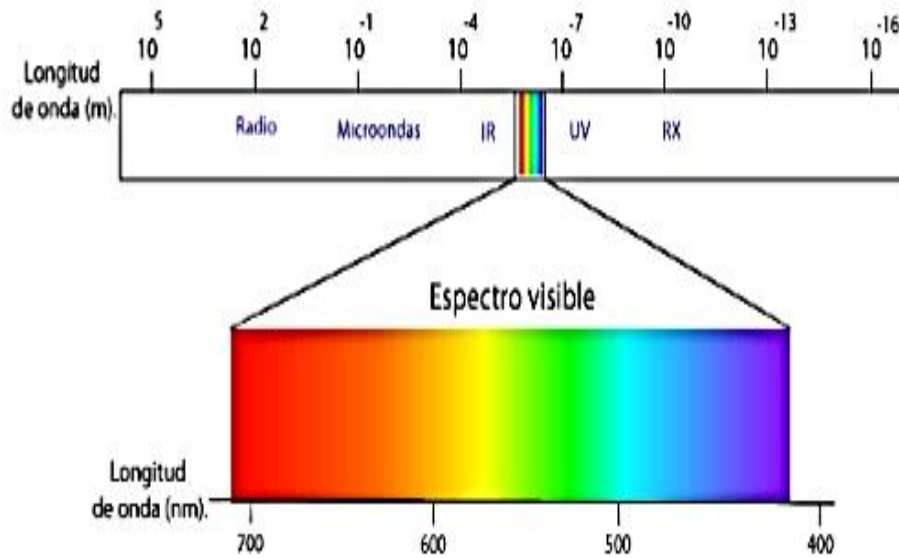


Figura 3. Espectro electromagnético.

En la tabla 1, se encuentran definidas otras regiones del espectro energético emitido por el Sol

Tabla 1. Regiones del espectro electromagnético.

Región	$\Delta\lambda$	Región	$\Delta\lambda$
Rayos X	[0.001 – 1.00] nm	Microondas	[0.1 – 100.0] cm
Ultravioleta	[0.001 – 0.40] μm	Banda Q	[0.10 – 0.27] cm
Violeta	[0.40 – 0.45] μm	Banda W	[0.27 – 0.40] cm
Azul	[0.45 – 0.51] μm	Banda V	[0.40 – 0.75] cm
Verde	[0.51 – 0.56] μm	Banda Ka	[0.75 – 1.11] cm
Amarillo	[0.56 – 0.59] μm	Banda K	[1.11 – 1.67] cm
Anaranjado	[0.59 – 0.63] μm	Banda Ku	[1.67 – 2.50] cm
Rojo	[0.63 – 0.70] μm	Banda X	[2.50 – 3.75] cm
Visible	[0.40 – 0.70] μm	Banda C	[3.75 – 7.50] cm
Infrarrojo cercano	[0.70 – 3.00] μm	Banda S	[7.50 – 15.0] cm
Infrarrojo medio	[3.00 – 30.0] μm	Banda L	[15.0 – 30.0] cm
Infrarrojo lejano	[30.0– 100.0] μm	Banda P	[30.0 – 100.0] cm

Cuando la radiación electromagnética incide sobre un cuerpo con una energía $E_I(\lambda)$, da lugar a tres formas de interacción, una parte es energía reflejada $E_R(\lambda)$, la otra es absorbida $E_A(\lambda)$ y la otra parte es transmitida $E_T(\lambda)$, además cada interacción depende de la longitud de onda, figura 4 (Repositorio Dspace, 2002)

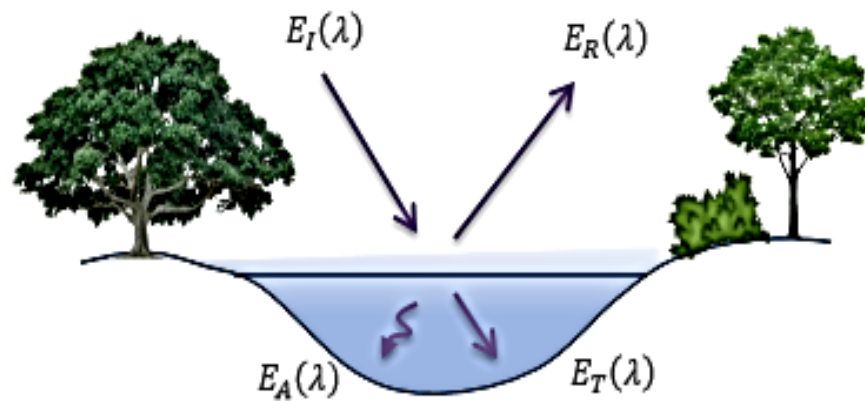


Figura 4. . Radiación electromagnética que incide sobre la superficie terrestre.

De acuerdo con la ley de conservación de la energía, la radiación incidente en un medio deber ser igual a:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (6)$$

Que, depende de las propiedades del material que compone a cada cuerpo de acuerdo con la proporción de energía reflejada, absorbida o transmitida, además de la dependencia de la longitud de onda que es una característica física de la energía que detecta un sensor de satélite que observa dicho objeto. (Chuvienco & Huete, 2010)

Ciertamente, el tipo de reflexión dependerá del grado de rugosidad de la superficie del cuerpo, su textura, el ángulo de incidencia y la energía radiante del cuerpo. Cuando la radiación del sol incide sobre una superficie lisa se produce la reflexión especular, esto debido a que el tamaño de las partículas de la superficie es menor a la longitud de onda de la radiación incidente.

En cambio, la reflexión difusa o Lambertiana ocurre cuando la superficie del cuerpo es más rugosa y la longitud de onda de la radiación incidente es menor que el tamaño de las partículas de la superficie, generando una radiación reflejada en todas las direcciones (Repositorio Dspace, 2002)

La figura 5, muestra un esquema de dispersión de la radiación incidente en la superficie de la tierra, donde una dispersión especular mantiene un ángulo de reflexión con respecto a la línea normal a la superficie, a diferencia de la superficie Lambertiana que mantiene una dispersión de los haces reflejados en diferentes direcciones.

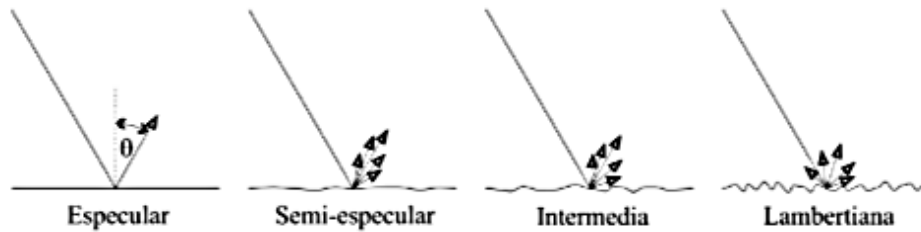


Figura 5. . Esquema de dispersión de la radiación incidente en la superficie de la tierra.

Para el caso de la reflexión difusa, esta penetra hasta cierta profundidad en el cuerpo e interactúa con sus componentes químicos del material. La radiación reflejada de manera difusa dispone de información certera relacionada con el objeto irradiado que la radiación especular. En sensoramiento remoto, es importante medir la reflectancia difusa de los cuerpos, así como las características de la reflexión, las que pueden ser cuantificadas a partir de la energía reflejada por el objeto. La reflectancia espectral se define como la relación entre el flujo total dispersado con respecto al flujo total incidente (Repositorio Dspace, 2002)

$$\rho = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} \quad (7)$$

Se denomina firma o huella espectral, a la curva de reflectancia espectral única de cada objeto, que se obtiene de la reflectancia espectral de un objeto en función a la longitud de onda. En la figura 6, se muestra la firma espectral de la vegetación, que es relativamente baja en la región visible, con un máximo de reflectancia en la longitud de onda de $0.53 \mu m$, es decir en el verde, pero los valores de reflectancia se incrementan considerablemente en el infrarrojo (IR) para después caer en la longitud de onda de $2.5 \mu m$. Los bajos valores de reflectancia en el visible se le atribuye a la alta absorción de los pigmentos de la vegetación, principalmente por la clorofila, pero que son transparentes al IR, la alta reflectancia estaría determinada por la estructura interna de la hoja.

Los valores de reflectancia difieren de las propiedades físicas del suelo, según su contenido de humedad, textura, rugosidad, materia orgánica y contenido de óxido de hierro. El contenido de humedad del suelo está relacionado con su textura, los suelos arenosos de partículas grandes, casi siempre tienen baja humedad y por lo tanto su reflectancia es alta, en cambio, los suelos mal drenados o abnegados ocurre todo lo contrario. La materia orgánica, el óxido de hierro y la rugosidad disminuyen los valores de reflectancia en la región visible. Además, el agua absorbe más el IR cercano (NIR) apareciendo como cuerpos oscuros, facilitando su observación e interpretación. Existen factores que complican la interpretación de la reflectancia de un cuerpo de agua (reflexión especular), como el material en suspensión o con el fondo del mismo cuerpo de agua. El agua clara absorbe en menor cuantía la energía

correspondiente a longitudes de onda menores de $0,6 \mu m$, pero cuando se incrementa la turbidez entonces se incrementa la reflectancia en el visible. Igualmente, la presencia de clorofila, en algunos microorganismos vegetales como el fitoplancton o las algas, modifica los valores de la reflectancia del agua, por lo que es necesario aplicar constantes monitoreos para validar mediante percepción remota las concentraciones de este tipo de vegetación (Repositorio Dspace, 2002)

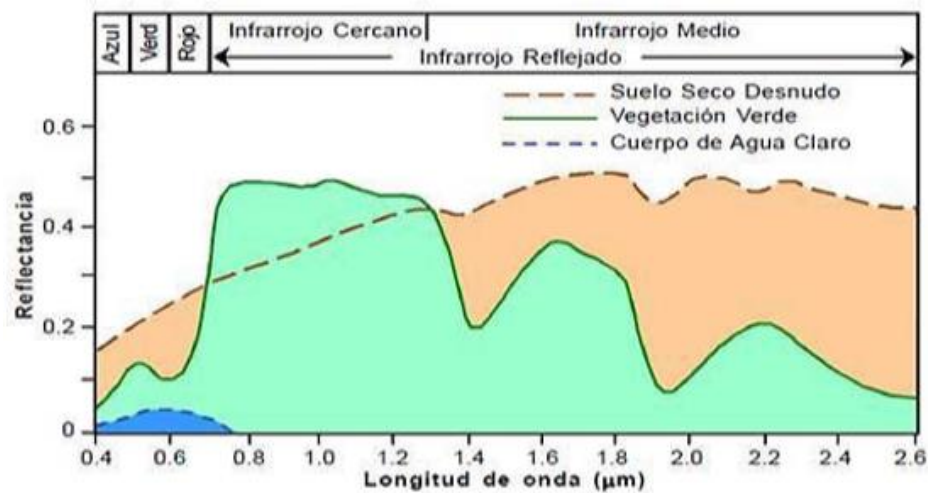


Figura 6. Firma espectral de cuerpos sobre la superficie terrestre.

2.5.Sensores remotos

Son aquellos dispositivos instalados en un satélite artificial, capaz de detectar, caracterizar y cuantificar la energía electromagnética reflejada por la superficie de la tierra, a causa de la luz incidente del sol (Chuvienco & Huete, 2010).

De esta manera, se registra información de los cuerpos aprovechando la energía reflejada o emitida que viaja de un punto a otro en forma de onda electromagnética, por esta razón, los sensores remotos se han diseñado para registrar y detectar distintas ondas electromagnéticas con diferentes energías según el tipo de fuente de energía electromagnética que se utilice, clasificándose como sensores pasivos o activos, donde los sensores pasivos miden la radiación electromagnética proveniente de la superficie de la tierra reflejada a causa de los rayos solares, en esta clasificación están los sensores electro-ópticos que miden el dominio óptico del espectro electromagnético, y por consiguiente dependen de la energía solar, por otro lado, están los sensores activos, capaces de emitir un haz energético que después es recogido tras su reflexión en la superficie de la tierra, como el sistema radar, que opera en la zona de microondas ($1mm - 1m$) mediante una antena direccional, que imprime imágenes a

través de un tubo de rayos catódicos (TRC) en un film que avanza a una velocidad proporcional a la velocidad de vuelo del satélite visualizando la información recibida por el sensor receptor del satélite (Repositorio Dspace, 2002)

La resolución espacial de una imagen de satélite se define como la densidad de píxeles que existen en una determinada medida de longitud, haciendo referencia al tamaño de escalas que tendrá cada uno de los píxeles, figura 7, medido en metros sobre la superficie del terreno, sujeto a la altura del sensor del satélite con respecto a la tierra, la velocidad de escaneado, el ángulo de visión y las características ópticas de cada sensor (Repositorio Dspace, 2002)

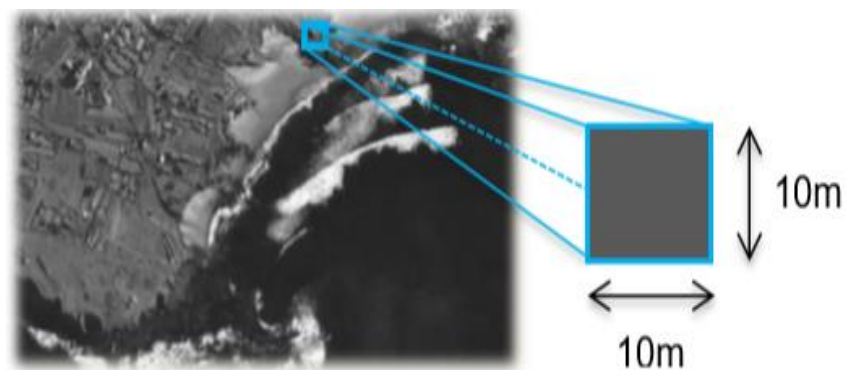


Figura 7. Resolución espacial del sensor remoto.

Existen diferentes tipos de sensores, como los sensores pancromáticos que cuentan con una sola banda, los sensores multiespectrales dividen el rango del espectro electromagnético en varias bandas, usualmente en 7 bandas como el sensor OLI y los sensores hiperespectrales que son capaces de proporcionar desde 50 bandas hasta cientos de ellas.

La resolución radiométrica, Figura 8, se define por las características radiométricas, expresada en una banda espectral, discriminando algunas señales electromagnéticas de otras con energías anómalas, condicionada por intervalos digitales de la señal referida al número de bits que representan a los cuerpos en escala de grises (Repositorio Dspace, 2002)



Figura 8. Resolución radiométrica de una imagen de satélite medida por un sensor remoto.

Por último, la resolución temporal se refiere a la frecuencia de adquisición de información por el sensor, en función de las características orbitales del satélite y de las cualidades del sensor como la abertura y el ángulo de observación, que pueden ser instalados en distintas plataformas o medios de observación, como globos, aviones, cohetes y satélites artificiales, siendo estas plataformas las más adecuadas para la obtención de una visión global de regiones de gran extensión (Campbell & Wyne, 2011).

2.6. Imágenes de satélite

Son el producto obtenido por un sensor de satélite que capta la radiación electromagnética reflejada en un cuerpo ubicado en la superficie de la tierra, que después es transmitida a estaciones en tierra que reciben la información para su procesamiento, análisis y visualización en número digital (ND), que se compone de una grilla de píxeles, con valores numéricos en función de la radiancia recibida por el sensor conformando bandas de acuerdo a la energía recibida en longitudes de onda específicas del espectro electromagnético (Gonzaga, 2014).

Dependiendo del sensor, existen diferentes tipos de imágenes satelitales, con sensores diseñados a diferentes escalas dependiendo de su resolución espacial, su funcionalidad en la adquisición de información espectral va desde espionaje militar, el seguimiento del cambio climático, el monitoreo de incendios e inundaciones, seguimiento de huracanes y tifones, evaluaciones multiespectrales de vegetación, entre otras más (Bense, 2007).

2.7. Landsat

Landsat es un programa que ha revolucionado la forma de ver y estudiar el planeta tierra, inició en el año de 1972, diseñado para operar y observar repetidas veces la cobertura de la tierra con una resolución moderada de 30 m de tamaño de píxel el cual podría cubrir un campo de beisbol (USGS-United States Geological Survey, 2015).

2.7.1. Landsat 5

El 1 de marzo de 1984, fue lanzado el satélite Landsat 4, llevando consigo instrumentos multiespectrales Scanner (MSS) y el sensor Thematic Mapper (TM), alcanzando una operatividad de aproximadamente 29 años, estableciendo un récord Guinness como el satélite de observación de la tierra con un mayor funcionamiento, antes de ser dado de baja el 5 de junio del año 2013 (Elpha Fox Privacy, 7 Bell Yard, Londres, WC2A 2JR, 2018)

El satélite Landsat 5 lanzado en 1984, ha orbitado el planeta más de 150.000 veces mientras transmite más de 2,5 millones de imágenes de la superficie de la tierra, tiene una órbita casi polar sincronizada con el sol, con una altitud de 705 km, con un ángulo de 98,2 grados y cada 99 minutos da una vuelta a la tierra, los productos de datos creados a partir de escenas multiespectrales están disponibles para descargar de manera gratuita a partir de las plataformas del Earth Explorer, GloVis y LandLook Viewer (USGS-United States Geological Survey, 2015).

Tabla 2. Características multiespectrales de las bandas de las imágenes del Satélite Landsat 5

Sensor	Banda	Descripción	Longitud de onda (μm)	Resolución Temporal (Días)	Resolución Radiométrica (Bits)	Resolución Espacial
TM Thematic Mapper	B1	Azul	0.45-0.52	16	8	30
	B2	Verde	0.52-0.60	16	8	30
	B3	Rojo	0.63-0.69	16	8	30
	B4	IR cercano (NIR)	0.77-0.90	16	8	30
	B5	IR medio	1.55-1.75	16	8	30
	B6	IR térmico	10.40-12.5	16	8	120
	B7	IR medio	2.09-2.35	16	8	30

2.7.2. Landsat 7

Fue lanzado el 15 de abril de 1999, lleva el sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM+), sigue una trayectoria en la tierra en una órbita casi polar sincrónica con el sol, con una altitud de 705 km, un ángulo de 98,2 grados, y cada 99 minutos gira alrededor de la tierra, los productos de datos creados a partir de escenas Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) están disponibles para descargar desde la plataforma Earth Explorer, GloVis y LandLook Viewer, pero a partir de junio del año 2003, el sensor ETM+ fue entregando datos con lagunas o líneas de sombras causadas por la falla del Scan Line Corrector (SLC) (USGS-United States Geological Survey, 2015).

Tabla 3. Características multiespectrales de las bandas de las imágenes del Satélite Landsat 7

Sensor	Banda	Descripción	Longitud de onda (μm)	Resolución Temporal (Días)	Resolución Radiométrica (Bits)	Resolución Espacial
ETM+	B1	Azul	0.44-0.51	16	8	30
Landsat	B2	Verde	0.52-0.60	16	8	30
Enhanced	B3	Rojo	0.63-0.69	16	8	30

Thematic Mapper Plus	B4	NIR	0.77-0.90	16	8	30
	B5	SWIR1	1.55-1.75	16	8	30
	B6	TIR	10.31-12.36	16	8	60
	B7	SWIR2	2.06-2.35	16	8	30
	B8	Pancromática	0.52-0.90	16	8	15

2.7.3. Landsat-8

Landsat 8, de la Misión de Continuidad de Datos Landsat, (LDCM), fue lanzado el 11 de febrero del 2013, llevando consigo instrumentos Operational Land Imager (OLI) y dos sensores Thermal Infrared Sensor (TIRS), tiene una trayectoria a través de la tierra en una órbita casi polar sincronizado con el sol a una altura de 705 Km y un ángulo de 98,2 grados que completa una órbita terrestre cada 99 minutos, adquiere 740 escenas por día aproximadamente, donde cada escena Landsat 8 tiene un tamaño de 185 Km x 180 Km, los productos de datos creados a partir de escenas Landsat 8 OLI / TIRS están disponibles para descargar en las plataformas Earth Explorer , GloVis y LandLook Viewer (USGS-United States Geological Survey, 2015).

Tabla 4. Características multispectrales de las bandas de las imágenes del Satélite Landsat 8

Sensor	Banda	Descripción	Longitud de onda (µm)	Resolución Temporal (Días)	Resolución Radiométrica (Bits)	Resolución Espacial
Operational Land Imager (OLI)	B1	Aerosol costero	0.43-0.45	16	16	30
	B2	Azul	0.45-0.51	16	16	30
	B3	Verde	0.53-0.59	16	16	30
	B4	Rojo	0.64-0.67	16	16	30
	B5	IR cercano (NIR)	0.85-0.88	16	16	30
	B6	SWIR 1	1.57-1.65	16	16	30
	B7	SWIR 2	2.11-2.29	16	16	30
	B8	Pancromático	0.50-0.68	16	16	15
	B9	Cirrus	1.36-1.38	16	16	30
Thermal Infrared (TIRS)	B10	IR Térmico (TIRS1)	10.60-11.19	16	16	100
	B11	IR Térmico (TIRS2)	11.50-12.51	16	16	100

2.8. Procesamiento de imágenes de satélite

Para el procesamiento de imágenes de satélite se necesita de la ayuda de una computadora para la interpretación y manipulación de estas al momento de extraer la información, utilizando técnicas adecuadas con algoritmos matemáticos. En 1972, Landsat-1

dio como resultado imágenes de satélite digitales, que requerían del procesamiento digital, pero debido al costo computacional de la época, se dificultaba enormemente dicho procesamiento, infiriendo en los tiempos y repercutiendo en las bajas prestaciones. En la actualidad, el costo computacional es mínimo para el procesamiento, con menor cuantía en el uso de la cantidad de memoria de disco, generando una mejor representación visual de la información contenida en las bandas de las imágenes de satélite, esto también supone la utilización de diversas técnicas para la mejora, comprensión y análisis de las características físicas implícitas en las imágenes de satélite. (Delrieux, Ramoscelli, & Chiaradía, s.f.)

Las imágenes de los satélites Landsat 5, 7 y 8 de nivel 1, utilizadas para la presente tesis, son sometidas a un preprocesamiento, el cual consiste en elaborar correcciones en efectos sistemáticos o de características indeseables al sensor, para lo cual se deben tomar en cuenta los detalles y características multispectrales de las bandas, sus diferencias y semejanzas que las constituyen, necesarias para el preprocesamiento de la imagen en la extracción de la información fiable. Las típicas correcciones incluyen la reducción del ruido u otra anomalía, empleando si fuera necesario la rectificando de la geometría, la calibración radiométrica y corrección atmosférica con diferentes métodos.

2.8.1. Corrección geométrica

Las imágenes de satélite de los sensores TM, ETM+ y OLI – TIRS de los satélites LANDSAT 5, 7 y 8, no necesitan realizar corrección geométrica, dado que son imágenes catalogadas como básico L1T, que ya están orto rectificadas.

2.8.2. Corrección radiométrica

Es la calibración de datos del sensor (restauración de líneas o píxeles perdidos por sensibilidad del sensor), corrección radiométrica por el ángulo del Sol, corrección radiométrica por topografía y corrección atmosférica (corrección bandeada de imagen), implica convertir los niveles digitales de la imagen a valores de radiancia y reflectividad del suelo a partir de la corrección de los efectos atmosféricos en la imagen de satélite.

La corrección atmosférica es de índole fundamental en la detección de cambios en un mismo pixel del terreno recogido bajo diferentes condiciones de iluminación, donde se busca evitar las distorsiones, errores o anomalías radiométricas detectadas por la sensibilidad de los sensores, que mide la energía electromagnética reflejada o emitida por los cuerpos en la superficie de la tierra observados a una distancia corta, los resultados dependerán de la elevación del sol y de la respuesta del sensor que influye de alguna manera en la energía

observada, para la obtención de valores de radiancia y reflectancia de la superficie del suelo, por lo que se recomienda corregir las distorsiones radiométricas adquiridas durante la detección (Gyanesh , Markham, & Helde, 2009)

2.8.3. Conversión de números digitales (ND) a radiancia espectral

Los sensores TM, ETM+ y OLI-TIRS de los satélites Landsat – 5, 7 y 8, se encuentran calibrados a través de una relación lineal entre los números digitales (ND) y la radiancia espectral, la cual es típica y descrita por dos parámetros físicos en el rango de valores ND, siendo la radiancia espectral evaluada a partir del valor mínimo de ND ($L_{MIN\lambda}$; $W/(m^2sr \mu m)$) y la radiancia espectral correspondiente al valor máximo de ND ($L_{MAX\lambda}$; $W/(m^2sr \mu m)$). El cálculo de la radiancia espectral forma parte fundamental de la conversión de datos de una imagen multiespectral en una escala radiométrica físicamente significativa.

Los sensores TM, ETM+ y OLI-TIRS cuentan con una calibración radiométrica que implica el reajuste de los ND sin procesar (Q) que con transmitidos desde el satélite a ND calibrados (Qcal), cuenta con la misma escala radiométrica para la calibración radiométrica, siendo los valores de cada pixel (Q) los datos implícitos en las imágenes sin haber sido procedas y que deberán ser convertidas en unidades de radiancia espectral absoluta utilizando valores de 32 bits de punto flotante, que posteriormente son escalados a números de 8 bits (TM y ETM + $Q_{calmax} = 255$) y 16 bits (OLI – TIRS; $Q_{calmax} = 65535$) que representan Qcal antes de enviar a medios de distribución. La conversión de Qcal en productos nivel 1 a radiancia espectral de la apertura del sensor (L_{λ} ; $W/(m^2sr \mu m)$) requiere del conocimiento previo de límite inferior y superior para los factores de reajuste original. La ecuación (8) convierte los ND (Qcal) a radiancia espectral L_{λ} en productos de nivel 1 (Gyanesh , Markham, & Helde, 2009)

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (ND - Q_{calmin}) + L_{MIN\lambda} \quad (8)$$

La ecuación (8) se puede escribir de manera alterna para la calibración del sensor de tal forma que compense y genere ganancia, también conocidas como “Bias” (B es un factor de sesgo reajuste específico de banda) y “Gain” (G es un factor de ganancia de reajuste específico de banda), de esta manera la radiancia espectral se calcula como:

$$L_{\lambda} = G \times ND + B \quad (9)$$

Donde, G y B están dados por las siguientes expresiones:

$$G = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \quad (10)$$

$$B = LMIN_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) Q_{calmin} \quad (11)$$

Siendo L_{λ} la radiancia espectral estimada por el sensor del satélite [$W/(m^2 sr \mu m)$], ND representa el número digital de cada pixel, Q_{calmin} representa el menor rango de radiancia reajustada en ND, Q_{calmax} es el mayor rango de radiancia reajustada en ND, $LMIN_{\lambda}$ radiancia espectral de la banda λ que corresponde a Q_{calmin} [$W/(m^2 sr \mu m)$], $LMAX_{\lambda}$ es la radiancia espectral de la banda λ que corresponde a Q_{calmax} [$W/(m^2 sr \mu m)$], G es el Gain (factor ganancia reajuste específico de banda) [$(W/(m^2 sr \mu m))/ND$] y B es el Bias (factor sesgo reajuste específico de banda) [$W/(m^2 sr \mu m)$]. Los valores de los parámetros de Q_{calmin} , Q_{calmin} , Q_{calmax} , $LMIN_{\lambda}$ y $LMAX_{\lambda}$ se encuentran en el archivo metadato.

2.8.4. Corrección atmosférica con FLAASH.

Es una herramienta de corrección atmosférica, incorporada en el software ENVI 5.3, se utiliza para rectificar efectos producidos por la atmosfera y la cobertura de la tierra obtenida de la radiación electromagnética reflejada en longitudes de las ondas visibles, infrarrojo cercano y medio, hasta los $3 \mu m$, posee las siguientes virtudes:

- Corrige el efecto de adyacencia, que aparece cuando se combinan pixeles como resultado del scattering de radiación reflejada de la superficie de la tierra.
- Calcular la visibilidad de la escena media (cantidad de aerosol/neblina), realizando técnicas de manejo de condiciones atmosférica con presencia de nubes.
- Realiza correcciones atmosféricas para sensores hiperespectrales (HyMAP, AVIRIS, HYDICE, HYPERION, entre otros), sensores multiespectrales (ASTER, IRIS, Landsat, RapidEye, SPOT y entre otros).
- Recupera la radiación implícita en la imagen como resultado de la señal obtenida del sensor, por lo que primero los ND de cada banda se convierten en valores de radiancia, después la radiancia se determina en valores de reflectividad en el techo de la cubierta atmosférica (TOA, Top of Atmosphere) y como fase final con FLAASH se convierte a valores de reflectancia del suelo.
- Necesita la recodificación de la imagen como también la transformación de bandas secuenciales (BSQ) intercalado por bandas de línea (BIL), para transformar a valores de radiancia e identificar las bandas y parámetros del sensor.

Existen tres codificaciones típicas de imágenes, la primera codificación corresponde a las bandas secuenciales (BSQ), en donde la imagen estudiada contiene los valores de la banda 1, seguido de los valores de la banda 2 y así de manera consecutiva hasta la última banda. La segunda codificación, cataloga como intercalado de bandas de Pixel o BIP, presenta los valores en las bandas para el punto 1 de la imagen luego los valores de las bandas para el punto 2 y así sucesivamente hasta el último punto de la imagen.

La tercera codificación se llama comúnmente como intercalado de banda por línea o BIL, coge la información de las filas y columnas y almacena los valores de la fila 1 de la imagen en la banda 1, luego estos valores se almacenan en la fila 2 para la banda y así hasta la última banda. Estas imágenes en su mayoría se representan en BSQ, sin embargo, el método FLAASH requiere que las imágenes de satélite se representen en formato BIL (Aguilar, Mora, & Vargas, 2014).

2.8.5. Parámetros que requiere el módulo FLAASH

El módulo FLAASH, requiere de parámetros de entrada que deben ser ingresados de manera manual a través de una interfaz gráfica, el cual requiere información como la coordenada geográfica del centro de la imagen; la fecha y hora del momento que fue capturado y altura en la cual se encuentra el sensor, siempre y cuando no lo tome de manera automática del archivo metadato. El sensor puede especificarse de una extensa lista de sensores multiespectrales o hiperespectrales para los que conozcan sus funciones de respuesta espectral relativa. La elevación media del terreno para cada imagen debe ser proporcionada a partir del modelo de elevación digital (DEM). Se debe seleccionar un modelo atmosférico en función del clima (latitud y época del año). Si esta imagen contiene una banda absorción de agua, FLAASH puede estimar la columna de vapor de agua; de lo contrario este vapor de agua se toma del modelo atmosférico o del modelo de aerosoles dependiendo del tipo esperado de aerosoles presentes.

En muchos casos el módulo FLAASH facilita los valores predeterminados para cada banda, correspondiente al vapor de agua y aerosoles, también se puede especificar de manera externa. Para sensores con bandas requeridas, el vapor de agua se encuentra directamente de la imagen, proporcionando datos auxiliares precisos y de alta resolución. Sin embargo, para sensores con menos bandas (Landsat, QuickBird y Worldview-2), esta ventaja se pierde, ya que estos valores deben establecerse manualmente (o por el modelo), como un valor único para toda la imagen.

El módulo FLAASH no menciona la concentración de ozono ni la presión superficial, por lo que se supone que los valores del modelo se utilizan por defecto en lugar de estos. Una vez que se proporciona toda esta información, es posible guardar la configuración en un archivo, para futuras referencias, o para adoptar rápidamente configuraciones similares a las anteriores. (Rudjord, 2012)

Estos valores difieren muy poco para los datos ingresados de las imágenes Landsat 5, 7 y 8, puesto que recoge los datos de manera automática del archivo metadato:

- 1) Centro de la escena: Latitud (-13° 21' 39.15''). Longitud (-74° 41' 29.09'')
- 2) Tipo de sensor: Multiespectral – Landsat 8 OLI-TIRS.
- 3) Fecha de adquisición de la imagen: 23 de agosto 2017
- 4) Altura de sensor: 705 km.
- 5) Altura, msnm. del área en estudio: 4.67 km.
- 6) Tamaño del pixel: 30m.
- 7) Hora de adquisición de la imagen: 15h 05min 14s.
- 8) Modelo atmosférico: Tropical.
- 9) Modelo de aerosol: Rural.
- 10) Visibilidad: 40 km.
- 11) Configuración multiespectral: extracción de aerosoles con el método Kaufman-Tanre aerosol Retrieval.

2.8.6. Reflectancia del suelo

Es necesario convertir los valores de reflectancia del suelo entre 0 y 1, esto se logra a través de la expresión:

$$(b1 \text{ le } 0.0) * 0.0 + (b1 \text{ ge } 10000) * 1.0 + (b1 \text{ gt } 0.0 \text{ and } b1 \text{ lt } 10000) * \text{float}(b1)/10000 \quad (11)$$

2.9. Índices de Vegetación (IV)

Son combinaciones de bandas espectrales registradas por los sensores de los satélites, su función es realzar la cubierta vegetal, humedad, nieve, evapotranspiración, biomasa, entre otros, en una respuesta espectral convincente que atenúe detalles de otros componentes como el suelo, iluminación, entre otros, definiéndose como indicadores de cálculo a partir de valores de reflectividad con sus respectivas longitudes de onda, que buscan extraer

informaciones relacionadas con la vegetación, humedad, nieve, según sea el caso, de tal manera que minimicen la influencia del suelo además de las condiciones atmosféricas (Gilbert, González, & García, 1997).

El entendimiento de la interacción de la materia con la luz solar a diferentes longitudes de onda (Figura 2.9), permite determinar los IV, que son sensibles a la cubierta vegetal, insensible el brillo y color del suelo y poco afectado en la perturbación atmosférica, lo que los convierte en un buen indicador de los factores medio ambientales como es el caso de la detección del estado vegetativo de las plantas (Jackson, Slater, & Pinter, 1983).

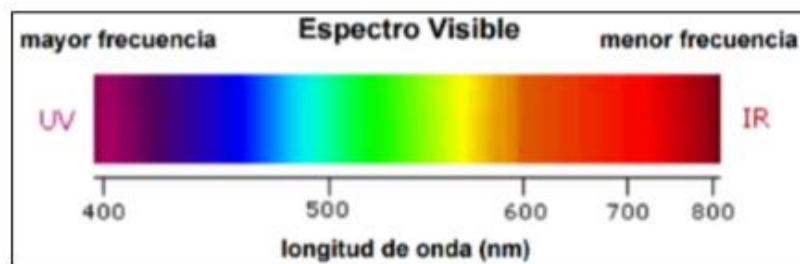


Figura 9. Longitudes de onda del Espectro de luz (Palermo, 2014).

Sin embargo, el uso de los valores de reflectancia en zonas espectrales del rojo visible (R) y del NIR, se debe al comportamiento particular de las hojas (follaje) sobre esta región espectral (figura 10), en donde se observa que el verde de la vegetación se diferencia del suelo, esta debido a la reflectancia que pasa de un mínimo relativo en el rojo visible ($0,7\mu\text{m}$) y que contiene un alto valor de reflectancia en el NIR ($0,8\mu\text{m}$), esto difiere del comportamiento del suelo que no presenta un mayor cambio.

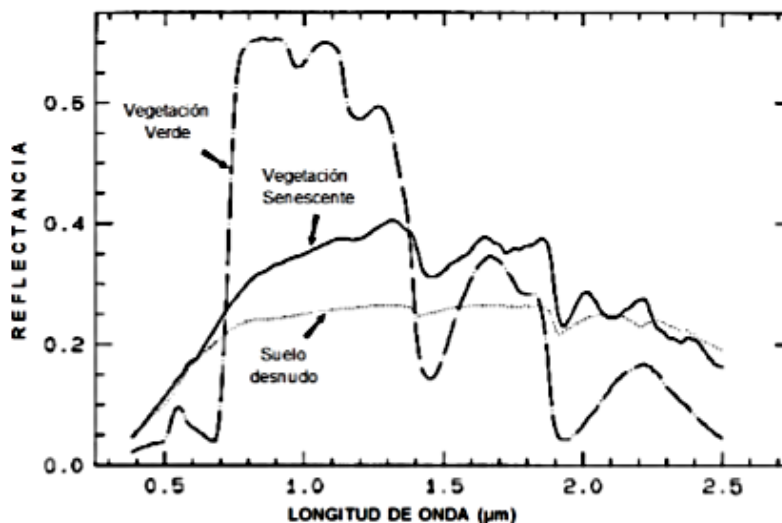


Figura 10. Comportamiento Espectral de la Vegetación y el Suelo Desnudo (López, 2014).

Según Gómez, (2004), “la manera en la que la hoja responde a la longitud de onda que da el rojo e infrarrojo cercano se atribuye al hecho de que las moléculas de clorofila absorben preferentemente a la luz roja y azul para usarla en la fotosíntesis (70% a 90% de la luz incidente en estas regiones), por tanto la reflectancia en esta zona es poca y mínima, sin embargo en el borde del espectro que es visible la absorción de la luz roja por las presencia de los pigmentos de clorofila empieza a declinar y la reflectancia empieza a crecer abruptamente. Igualmente se observa en el espectro del infrarrojo cercano, la reflectancia de la roja es controlada pero esta vez no por pigmentos de plantas, sino también por la estructura de tejido esponjoso presente que refleja la radiación infrarroja” (p. 46).

En tal sentido, Gilabert, González, & García, (1997) mencionan que “antes del año 2000 había cerca de 40 IV propuestos, habiendo también fuertes discrepancias entre autores al aceptar las teorías entre ellos” (p. 29).

Tabla 5. Índice de Vegetación que destacan en la literatura científica

Índice de Vegetación	Descripción	Propuesto por:
RVI	Índice de la razón de la vegetación	Pearson & Miller (1972)
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada	Rouse et al. (1974)
SAVI	Índice de vegetación ajustado al suelo	Huete (1988)

2.9.1. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI)

Propuesto por Rouse et al. (1974), se calcula a partir de los valores de reflectancia en las bandas del rojo y NIR del espectro electromagnético, que es básicamente la diferencia normalizada de dos bandas y el resultado del NDVI se encuentra entre -1 y +1 (Gilabert, González, & García, 1997). Los valores positivos de NDVI comprende áreas de cobertura de vegetación, mientras que los NDVI negativos de debe a zonas de nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo y rocas. Se calcula según:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (12)$$

Donde, NIR, son los valores de reflectancia del infrarrojo cercano y R, corresponde a los valores de reflectancia del Rojo visible.

Los valores del NVDI varían en función al uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica y clima de la zona (Gómez, 2004). La vegetación vigorosa tiene mayor

reflectancia en el NIR con respecto al rojo (figura 2.11), esto es un indicativo de una mayor actividad fotosintética. En el caso de que la vegetación sufra algún tipo de estrés, enfermedad o cualquier otra anomalía, se reflejará en los valores de reflectancia de las bandas rojo y NIR dando como resultado un contraste muy diferente al mostrado por la vegetación saludable (López, 2014).

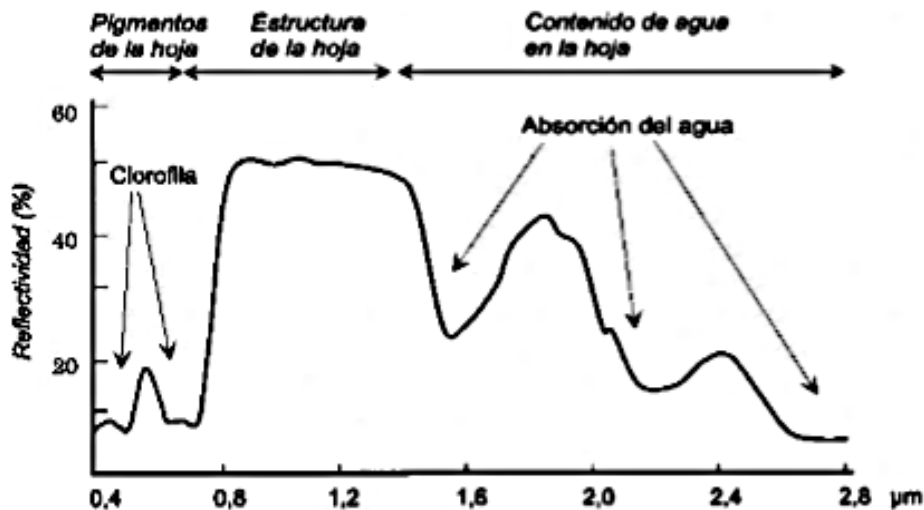


Figura 11. . Respuesta Espectral de la Vegetación (López, 2014).

El NVDI se interpreta de acuerdo con los ciclos fenológicos de la vegetación, distinguiendo las oscilaciones naturales de los cambios en la distribución espacial debido a distintos factores, por lo que se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones (Gómez, 2004):

- La reflectancia del agua en la banda $R > \text{NIR}$, por ello el NDVI tiene valores negativos.
- La reflectancia de las nubes en la banda $R = \text{NIR}$, por ello el NVDI es cercano a cero.
- El suelo desnudo con vegetación escasa presenta NDVI con valores positivos, aunque no muy elevados.
- La vegetación densa presenta NDVI con valores positivos mayores.
- Las nubes influyen en los valores de reflectancia en las bandas R y NIR, presenta valores del NVDI con tendencia a disminuir.

Una ventaja del NDVI es que su cálculo e interpretación es muy sencillo y directa con respecto a los parámetros biofísicos de vegetación, al ser uno de los IV más usados, permite su comparación con otros datos obtenidos por distintos investigadores (López, 2014); (Gonzaga, 2014).

Algunas investigaciones muestran que el NDVI se puede relacionar con la producción de cultivos de zonas semi áridas (Doraiswamy, y otros, 2004), pudiendo anticiparse al rendimiento de algunos productos como el trigo a 30 días antes de la cosecha mediante modelos debidamente calibrados (Lopresti, Di Bella, & Degioanni, 2015), además de ser usado para estimar la cobertura de algas en lagunas y humedales (Pérez, 2001), también se puede agrupar distintos tipos de coberturas de vegetación a partir de clases según valores de NDVI (Merg, y otros, 2011).

A pesar de los buenos resultados que da el NDVI, no existe el IV ideal, ya que es un parámetro con problemas evidentes en la estimación de la cobertura de vegetación ya que puede niveles superiores al 50% posiblemente por la saturación del IV (Gill, Phinn, Armston, & Pailthorpe, 2009), por esta razón se puede subestimar la presencia de vegetación en algunas zonas, dado que puede ser una información errónea (Gilabert, González, & García, 1997), esto demuestra que el NDVI es muy sensible a las propiedades ópticas del suelo, aunque en menor medida que otros IV, produciéndose anomalías en el momento de estimar la cobertura de vegetación induciendo al error.

Por otra parte, los IV son proclives al error instrumental debido a la mala calibración de los sensores del satélite (Zhang & Roy, 2016), siendo Landsat 5 el primero de los satélites donde se encontró diferentes inconsistencias durante el cálculo del NDVI, atribuidos a los cambios de órbita que se realizaron en el satélite durante el mantenimiento, a pesar de ello, el NDVI sigue siendo el IV más usado en aplicaciones puntuales, brindando resultados consistentes en relación con otros IV (Towers & Von Martini, 2002).

2.10. El Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

Durante una sequía se muestra en la superficie de la tierra una vegetación sometida por un estrés severo, que si no se identifica oportunamente las áreas de cultivos afectadas pueden resultar afectados de manera negativa, por lo que es de suma importancia detectar estrés hídrico de manera temprana para prevenir impactos negativos, esto riesgos se pueden controlar y mejorar significativamente la agricultura especialmente en áreas de difícil acceso.

El índice de agua de diferencias normalizado (NDWI), propuesto inicialmente por Gao, (1996), refleja el contenido de humedad o de agua en el suelo y se determina como:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (12)$$

Donde, NIR, son los valores de reflectancia del infrarrojo cercano y SWIR, corresponde a los valores de reflectancia del infrarrojo de onda corta.

La funcionalidad de la ecuación (12) obedece a la utilización del NIR y del SWIR, para el aprovechamiento de una alta absorción de la luz por la presencia de agua. El uso del NIR en el caso del NDVI se debe a que el agua no absorbe la parte de espectro electromagnético, por lo que los resultados del NDWI proporciona información valiosa de la distribución espacial del estrés hídrico en la vegetación como de su evolución temporal.

El NDWI es adimensional y varía de -1 a +1 dependiendo de la cantidad de humedad contenida en el suelo, además del contenido de agua en la planta. El NDWI es muy útil en la evaluación de incendios e inundaciones, donde se determina la presencia de humedad, donde los valores altos del NDWI indican zonas de saturación de humedad, y los valores bajos indica zonas de suelo seco o con estrés hídrico (Earth Observing System, s.f.).

2.11. Análisis de correlación lineal

Consiste en relacionar en el plano R^2 un punto por cada variable, entonces la primera coordenada de cada punto sería un valor de la primera variable, mientras que la segunda sería otro valor correspondiente a la otra variable, el resultado es una nube de puntos que indican visualmente la existencia o no de algún tipo de relación (lineal, parabólica, exponencial, entre otros). Es de interés cuantificar la intensidad de la relación lineal entre las dos variables, mediante el parámetro de cuantificación que es el coeficiente de correlación lineal de Pearson R cuyo valor oscila entre -1 y +1.

$$-1 \leq r = \frac{Cov(X, Y)}{S_X S_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \leq +1$$

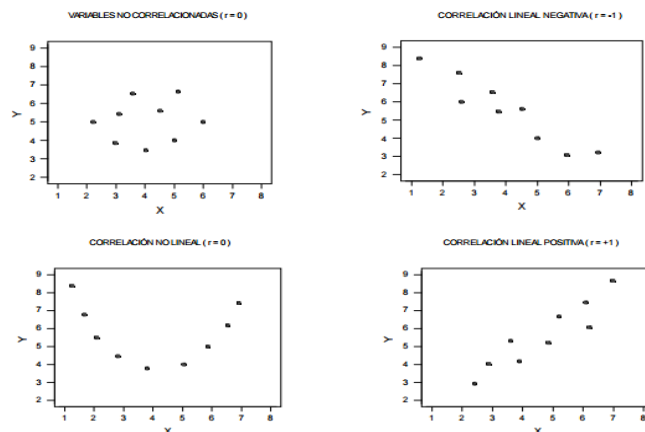


Figura 12. Correlación entre dos variables (Levin & Rubin, 1996)

En la figura 2.12 se observa que cuando el valor de r se aproxima a $+1$ se trata de una correlación lineal directa, lo cual significa que los valores de la variable X se encuentra en relación directamente proporcional a los valores de la variable Y , cuando el valor de r se aproxima a -1 la correlación tiende a ser lineal inversa. Si $r = 0$, entonces no existe correlación de ningún tipo entre ambas variables, pero puede que si exista de otro tipo (Levin & Rubin, 1996).

La figura 2.13 muestra un resumen del análisis del coeficiente de correlación entre dos variables.

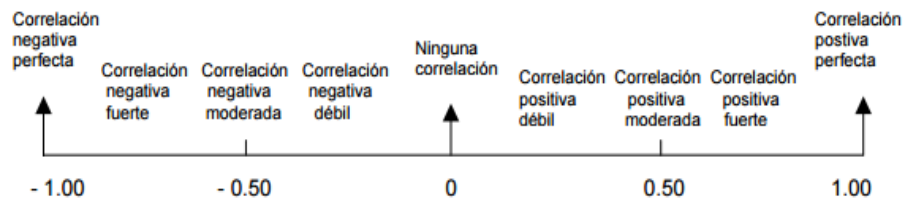


Figura 13. Análisis del coeficiente de correlación (Levin & Rubin, 1996).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1.Lugar de ejecución:

La presente tesis se realizó en la zona de influencia a la presa Cuchoquesera, finalizada el año 2001 y en operación a partir del año 2002; está localizada a 3 mil 750 metros sobre el nivel del mar, en el departamento de Ayacucho. Es la parte principal y fundamental del proyecto hidráulico integral de irrigación Cachi. Se ubica en el cauce del rio Chahuamayo, localizada a 3,750 metros sobre el nivel del mar (msnm) ubicada en la provincia de Cangallo y departamento de Ayacucho (INFOREGION, 2009).

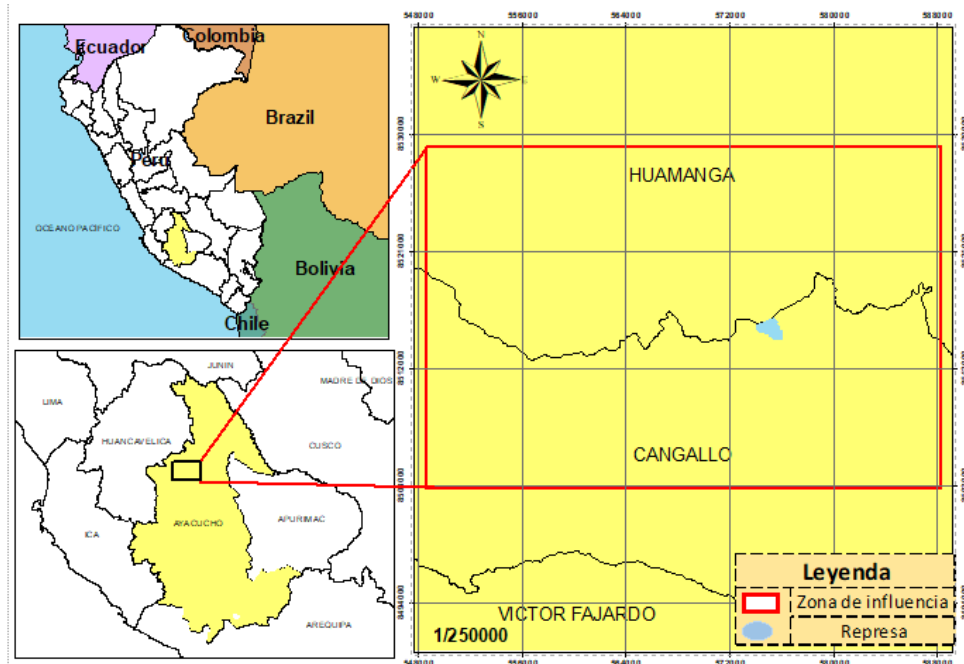


Figura 14. . Ubicación Geográfica de la zona de influencia a la presa Cuchoquesera, Región Ayacucho.

3.1.1.Ubicación política:

Distrito : Chuschi
Provincia : Cangallo
Departamento : Ayacucho

3.1.2.Ubicación geográfica:

Este : $-74^{\circ}20'32'',42$
Norte : $-13^{\circ}25'50'',22$
Altitud : 3750 ms.n.m.

3.2. Características de las zonas de estudio

3.2.1. Clima

La provincia de Chuschi de acuerdo al sistema de clasificación Köppen-Geigeres considerado cálido y templado. En la estación de invierno en Chuschi existen menos lluvias que en el verano. La temperatura media anual en Chuschi está a 12.6 °C. hay aproximadamente precipitaciones de 796 mm. (INEI, s.f.)

3.2.2. Ecología (zonas de vida)

Presenta diferentes pisos ecológicos que van desde las zonas más bajas desde río pampas a nivel de 2,520 m.s.n.m. aprox., hasta los 4,800 m.s.n.m. que demarca las eco regiones de quechua, Suni, Puna, Cordillera, donde las temperaturas que oscilan entre -10 °C y 28 °C aproximadamente (INEI, s.f.)

3.2.3. Accesibilidad:

Saliendo de la ciudad de Ayacucho por la vía de los Libertadores hasta Casacancha, se desvía a la margen izquierda, cruzando por las estaciones de trapiche (48 km) y Rosapata (50 km), cruzando por la estación Putacca (60 km); continuando el margen izquierdo se llega a la presa Cuchoquesera (68 km), Sifón Llachoquaycco, Central Catalinayocc (75 km), Unión Potrero (80 km), Bocatoma Chichlarazo, (87 km) y Bocatoma Choccoro (100 km). Siguiendo la vía los Libertadores se llega a la Bocatoma Apacheta (80 km), continuando por la margen derecha a 2.5 Km. se llega a la captación Churiac.

Si se sigue la ruta de Ayacucho a Andahuaylas, pasando Chiara, Lambras y Hospitalniyocc a 35 km, luego la salida del túnel Ichocruz, margen derecha, se encuentra un camino hacia la cuenca baja del tramo Chiara-Chontaca.

En la ruta a Pampa Cangallo, asfaltado Ayacucho-Toqto (45 km); Toqto Minascucho (13 km); desvió a la altura de Minascucho que conecta al canal principal en el tramo de Satica-Llachoqmayo hasta le presa Cuchoquesera (30 km); total 78 km.

Tabla 6. Representa el acceso a la represa

Ruta	Distancia – vía	Duración
Huamanga - Chiara	Carretera asfaltada 30 km.	1 hora
Huamanga – Tambillo – Acocro	Carretera afirmada 50 km	1,15 horas
Huamanga – Casacancha Casacancha – Putacca	Pista 45 km Carretera afirmada 15 km. Total 60 km	2 horas
Huamanga- Chili Cruz Chili Cruz - Alpachaca	Pista 23 km Carretera afirmada 31 km. Total 54 km	1 ,45 horas

3.3.Materiales y equipos:

3.3.1.Materiales:

- Imágenes satelitales Landsat de años (1990 - 2018)
- Software ENVI (Exelis Visual Information Solitions), Estados Unidos), especializado en sistema de información geográfica, este programa esta primordialmente para procesar, analizar y corregir imágenes satelitales.
- Software estadístico y de cálculo: Microsoft Excel, aplicación usada para realizar tareas de financieras, contables e incluso el análisis de datos, con el uso de fórmulas, además de realizar graficaos.

3.3.2.Equipos de trabajo

- Laptop
- Memoria extraíble

3.4.Metodología:

3.4.1.Método de la investigación

Por el manejo de la recolección de datos es Cualitativo y cuantitativo: Los datos correspondientes a la variabilidad de la vegetación y de la humedad del suelo, a través de los a los 1990 al 2018 se obtendrán comenzando del procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8 que serán descargadas de la paginas web.

3.4.2.Diseño de la investigación

Por su diseño es no experimental, dado que la evolución temporal de la vegetación y la humedad del suelo del área de influencia de la represa de Cuchoquesera, son observables y medibles en el contexto seleccionado a partir del uso de imágenes satelitales y la aplicación de técnicas de estimación mediante parámetros biofísicos como el NDVI y el NDWI, lo cual permite obtener la información necesaria y los resultados suficientes para alcanzar los objetivos que aquí se plantea.

3.4.3.Método:

Adquisición de los datos de satélite a partir de las páginas web, principales proveedoras de las imágenes satelitales a utilizar, como:

- Landsat 5, 7 y 8: de acceso libre, obtenidas del siguiente enlace <http://glovis.usgs.gov/>. Las mismas que serán procesadas con ayuda del software ENVI 5.1 para la obtención de la cobertura de vegetación y humedad.
- La NASA-Reverb, es un servicio de datos y servicios para todas las imágenes de los satélites de la NASA, posee una variedad de satélites cuyas imágenes son suministradas por distintos centros de datos con su propio registro y sus interfaces de acceso de datos (Gestion sostenible del agua Gidahatari , 2021).

3.4.4. Determinación de zona de estudio:

- Se determino la zona de estudio a través de la selección de las imágenes con poca nubosidad y para trabajar de manera más adecuada y obtener mayor número de imágenes, con un área de 69904.8 hectáreas.

3.4.5. Pre-procesamiento de las imágenes de satélite:

- LANDSAT 5, 7 y 8: La información contenida en las imágenes adquiridas del satélite Landsat 5, 7 y 8 se encuentran en número digitales, las que fueron transformadas, mediante una calibración radiométrica, al parámetro físico de radiancia. Luego, los valores de radiancia convertidos a reflectancia del suelo, las que finalmente serán corregidas atmosféricamente para después obtener la reflectancia de superficie del suelo.
- El preprocesamiento de estas imágenes satelitales se realizó con ayuda del software ENVI 5.3.

3.4.6. Estimación de parámetros físicos:

- Los parámetros físicos se estiman a partir del procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8, tales como el NDVI y el NDWI.
- Correlación de datos de las imágenes obtenidas (reflectancia, NDVI, NDWI).
- Estas correlaciones se obtienen mediante modelos de regresión lineal a partir del procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8, y datos de la estación de medición meteorológica Cuchoquesera.
- Generar la variabilidad espacial y temporal de la cobertura de vegetación y humedad del suelo circundante en el área de influencia de la presa Cuchoquesera a través del NDVI, del NDWI y la firma espectral de la vegetación y suelo húmedo.

3.4.7. Metodología para hallar evaluar espacial y temporalmente la cobertura de vegetación:

3.4.7.1. Clasificación de las imágenes Landsat

Su procesamiento se Clasificación realiza con el uso del Software ENVI 5.3, en el cual se realizará la corrección radiométrica y atmosférica de las imágenes seleccionadas, las que nos permiten dar con las firmas espectrales del agua y la vegetación en el área de influencia de la represa, luego se realiza el procesamiento de las imágenes para el cálculo de los índices NDVI, además de la realización de los mapas de cobertura de vegetación.

3.4.7.2. El cálculo del NDVI

Implica el uso de dos bandas, una que es ρ_{NIR} la cual es la reflectividad en la banda del infrarrojo cercano (NIR) y la otra ρ_R la cual es la reflectividad en la banda del rojo (RED) (Huete, y otros, 2002)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (14)$$

El NDVI para el caso de los sensores ETM+ y TM, se obtiene a partir de la reflectancia de la banda 4 y banda 3

$$NDVI = \frac{Banda\ 4 - Banda\ 3}{Banda\ 4 + Banda\ 3} \quad (15)$$

El NDVI para la imagen de satélite del sensor OLI-TIRS se consigue a través de la reflectancia de las bandas 5 y 4.

$$NDVI = \frac{Banda\ 5 - Banda\ 4}{Banda\ 5 + Banda\ 4} \quad (16)$$

La reflectancia espectral del índice de NDVI, se encuentra entre el rango de valores de 0 y 1, a causa de que la reflectancia de la banda del infrarrojo cercano y de la banda del rojo son consecuentes de la radiación reflejada encima de la radiación entrante en cada una de las bandas espectrales, se fundamenta que el índice de NDVI se encuentre entre -1 y 1. El NDVI del agua tiene valores negativos debido a que la reflectancia $\rho_R > \rho_{NIR}$. El NDVI en la atmósfera, especialmente las nubes, es cercano a cero debido a que las nubes presentan valores similares de reflectancia ρ_R y ρ_{NIR} , así disminuyendo el valor real del NDVI. Por otro lado, los valores menores de 0, los cuales no son muy elevados del índice NDVI, representan las zonas con vegetación carente y suelos desnudo. Los valores mayores del índice de NDVI, se presentan en las zonas con cobertura de vegetación abundante, bien desarrollada y húmedas. La interpretación del NDVI considera fases fenológicas del progreso durante un año así diferir la

variabilidad de vegetación o las fluctuaciones naturales en la distribución temporal y espacial causados por ciertos agentes (Gonzaga, 2014).

3.4.7.3. Clasificación de rangos

Los rangos de valores de NDVI para la clasificación de la cobertura de vegetación se muestran en la tabla 4, generándose criterios de clasificación para cinco diferentes clases de cobertura de vegetación densa, dispersa, escasa, suelos desnudos y suelos con presencia de agua, sombra o nieve, (Moncada y Willems, 2020)

Tabla 7. Rango de valores del NDVI para la clasificación de la cobertura de vegetación

Clase	Rango	Descripción
1	[-1.0; 0.0]	Zonas con presencia de agua y/o sombra y/o nieve
2	<0.0; 0.2]	Zonas de suelo desnudo seco
3	<0.2; 0.4]	Zonas con vegetación escasa y suelo desnudo
4	<0.4; 0.6]	Zonas con vegetación dispersa
5	<0.6; 1.0]	Zonas con vegetación densa

3.4.7.4. Cálculo del área en hectáreas

Después se procedió hallar el tamaño de los diferentes niveles otorgados tanto para NDVI, obteniendo así el número de píxeles que contienen vegetación en las zonas circundantes a la represa, los mismos que se multiplican por el área de cada píxel ($30 \times 30 = 900 \text{m}^2$), para realizar nuestra base de datos.

3.4.8. Metodología para hallar evaluar espacial y temporalmente la cobertura de humedad:

3.4.8.1. Clasificación de las imágenes Landsat

Su procesamiento se Clasificación realiza con el uso del Software ENVI 5.3, en el cual se realizará la corrección radiométrica y atmosférica de las imágenes seleccionadas, las que nos permiten dar con las firmas espectrales del agua y la vegetación en el área de influencia de la represa, luego se realiza el procesamiento de las imágenes para el cálculo de los índices NDWI, además de la realización de los mapas de cobertura de humedad.

3.4.8.2. Cálculo del NDWI

Propuesto por Huggel (1998), sobre la base de las bandas azul (TM1; 0.45 a 0.52 μm) y del infrarrojo cercano NIR (TM4; 0.77 a 0.90 μm) correspondientes a las imágenes Landsat-5 del sensor Thematic Mapper (TM):

$$NDWI = \frac{\text{Banda NIR} - \text{Banda Azul}}{\text{Banda NIR} + \text{Banda Azul}}$$

El NDWI para el caso de los sensores ETM+ y TM, son obtenidos a través de la reflectancia de las siguientes bandas 4 y 1:

$$NDWI = \frac{\text{Banda 4} - \text{Banda 1}}{\text{Banda 4} + \text{Banda 1}} \quad (17)$$

El NDWI para el caso de la imagen de satélite del sensor OLI-TIRS se obtiene a través de la reflectancia de la banda 5 y 2:

$$NDWI = \frac{\text{Banda 5} - \text{Banda 2}}{\text{Banda 5} + \text{Banda 2}} \quad (18)$$

Se encuentra que las metodologías que implican diferentes anchos de banda del espectro electromagnético proporcionan resultados disímiles con precisiones variadas, buenos para extraer un tipo particular de cuerpo de agua con limitaciones para otros tipos.

3.4.8.3. Clasificación de rangos

Los rangos de valores de NDWI para la clasificación de la cobertura de humedad se muestran en la tabla 8, generándose criterios de clasificación para cinco diferentes clases de cobertura de humedad de alta, media, baja, suelos desnudos y suelos con presencia de agua, sombra o nieve, (Moncada y Willems, 2020)

Tabla 8. Clasificación de los rangos, según valores de NDWI para la clasificación de la cobertura de humedad del suelo en la microcuenca Apacheta

Clase	Rango	Descripción
1	$[-1.0; 0.33]$	Zonas con presencia de agua y/o sombras y/o nieve
2	$\langle 0.33; 0.53]$	Zonas de suelo desnudo seco
3	$\langle 0.53; 0.68]$	Zonas con humedad baja
4	$\langle 0.68; 0.82]$	Zonas con humedad media
5	$\langle 0.82; 1.0]$	Zonas con humedad alta

3.4.8.4. Cálculo del área en hectáreas

Después se procedió hallar el tamaño de los diferentes niveles otorgados tanto para NDWI, obteniendo así el número de píxeles que contienen humedad en las zonas circundantes a la represa, los mismos que se multiplican por el área de cada píxel ($30 \times 30 = 900 \text{m}^2$), para realizar nuestra base de datos.

3.4.9. Interpretación de datos obtenidos

Seguidamente se analizó los datos de cada una de las series, interpretando los resultados mediante la aplicación de estadígrafos específicos a fin de verificar cambios o anomalías de la variable en estudio que nos permitió observar la variabilidad a través de los años de la vegetación y la humedad del suelo.

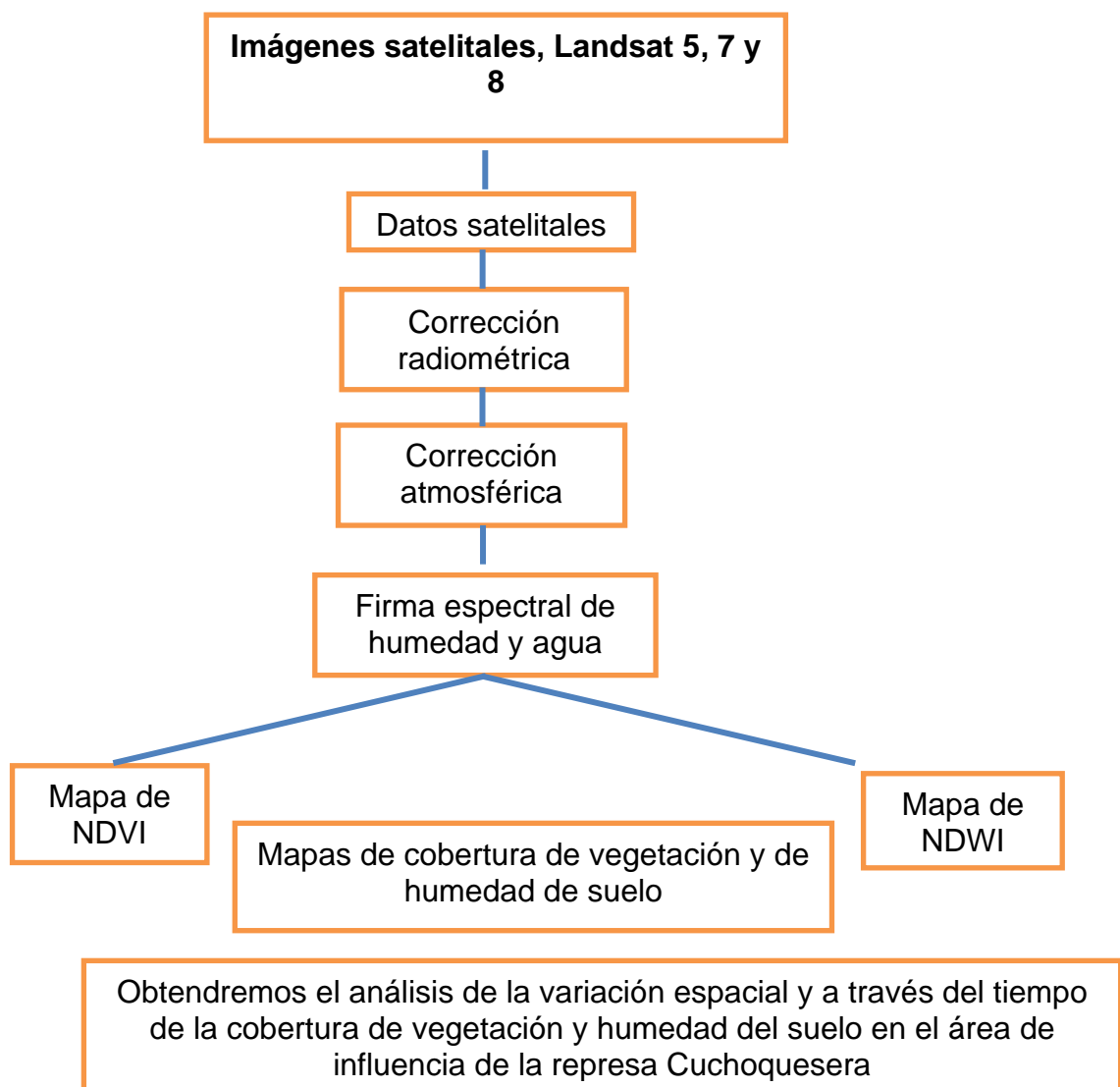


Figura 15. Diagrama de flujo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variación de la cobertura de vegetación, espacial y temporal.

En la tabla 9, se observa los principales parámetros estadísticos correspondiente a los tres periodos anuales seleccionados y evaluados, del área de cobertura con vegetación dispersa, con vegetación densa y la sumatoria de ambas coberturas, dado que ambas corresponden al $NDVI \geq 0.4$, así mismo se puede apreciar la correlación.

Periodo	Estadísticos	zona con vegetación dispersa	Zona con vegetación densa	Zona con vegetación dispersa y densa
1990-1997	Promedio	19590.28	6377.71	12983.99
	Desv. Estand	11125.62	5614.17	10909.86
	C.V.	0.57	0.88	0.84
	b	-1168.13	321.74	-846.39
	r	-0.257	0.140	-0.131
1998-2007	Promedio	15450.85	2609.68	2609.68
	Desv. Estand	5541.76	1987.42	1987.42
	C.V.	0.36	0.76	0.76
	b	-616.70	79.25	-537.44
	r	-0.337	0.121	-0.081
2008-2018	Promedio	14814.75	4779.14	4779.14
	Desv. Estand	7368.30	5411.01	5411.01
	C.V.	0.50	1.13	1.13
	b	1627.91	1272.00	2899.91
	r	0.733	0.780	0.684

Tabla 9. Resultados de la variabilidad espacial y temporal de la cobertura de vegetación

En la figura 16, se observa la variabilidad temporal de la cobertura de vegetación en las zonas de influencia de la presa Cuchoquesera, desde el año 1990 hasta el 2018, en donde se ha determinado la existencia de tres grupos o intervalos de años que se caracterizan de manera pronunciada de acuerdo con la dinámica de la cobertura de vegetación antes y después de la construcción de la presa Cuchoquesera, asimismo, la Figura 17 muestra la variabilidad en área por hectáreas de la cobertura de vegetación en las zonas de influencia de la presa Cuchoquesera, definiéndose de esta manera tres periodos significativos en la influencia del comportamiento y aprovechamiento de los suelos agrícolas y ganaderas de la zona:

1. En el periodo de años comprendidos entre 1990 a 1997, se destaca una tendencia negativa del área de cobertura vegetal medida a partir del indicador de vegetación denominado NDVI, esto posiblemente, porque en ese periodo de años, la zona en estudio solo dependía de la precipitación durante el estadio lluvioso.
2. En el periodo de años comprendidos entre 1998 a 2007, se destaca una tendencia constante en el área de cobertura vegetal medida a partir del indicador de vegetación denominado NDVI, aunque en el año 2003 se presenta el año crítico, esto posiblemente se deba que a partir del año 2002 la represa empezó a funcionar.
3. En el periodo de años comprendidos entre 2008 a 2018, se destaca una tendencia positiva en el área de cobertura vegetal medida a partir del indicado de NDVI, dando los años 2017 y 2018 la mayor área de cobertura vegetal.

Los rangos de los índices de NDVI fueron tomados de la investigación de Moncada y Willems por tener las mismas características climatológicas y en el cual nos mencionan que son las más significativas. (Moncada y Willems, 2020)

En nuestros resultados el área de la represa de NDVI indica que son áreas con cobertura de vegetación, al igual que los testimonio dados por los pobladores de Cuchoquesera nos indica que esta área eran pastizales.

De acuerdo a nuestros resultados de NDVI se observa que la cobertura de vegetación va en tendencia positiva, al igual que los testimonios de los pobladores del centro poblado de Sumilla, Chiara, entre otros, en el cual comentan que desde el inicio de las operaciones de la presa sus cultivos y pastizales van en aumento, esto también debido a la presencia del agua de la presa. (Cuchoquesera, 2021)

Estos también se pueden afirmar con el hecho de que aumentaron las áreas bajo riego empadronadas debido a la disponibilidad hídrica mayor, a la proyección de la distribución del estudio del volumen de agua entregado en cada sector el 2016 y a la concientización constante a los agricultores. En general cada año aumenta, pero el 2017 fue el de mayor crecimiento de acuerdo a la investigación de (Ccenta Alminagorda, 2021)

En una investigación (Ju Hu, Hong Xie, Tang, Li, & Ai Zou, 2021) Luego de la operación de las represas TGD, nos dice que el área de vegetación total se extendió más rápidamente, en nuestra investigación esto ocurrió progresivamente, aunque a partir de los 14 años se ve un gran incremento del área con cobertura de vegetación.

Por otro lado, se puede observar las áreas de cobertura vegetal densa tienden a incrementar durante el estadio lluvioso para volver a decrecer en épocas de estío, como se puede apreciar en nuestros mapas de NDVI. (Dedios, N., 2009) cita que las variaciones fenológicas que ocurren en el ecosistema tanto naturales como artificiales dependen y se relacionan con la variación estacional del clima en las superficies estudiadas.

A través de los mapas de NDVI podemos interpretar la conducta dinámica de la cobertura de vegetación, las cuales dependen del año en las que fueron analizadas.

La discriminación de algunas zonas con respecto a la presencia de vegetación resulta fiable debido a que la reflectancia de las bandas infrarroja cercana y roja son únicas de los espectros de la vegetación, diferenciándolo verídicamente de los espectros del suelo. (Gilabert, González, & García, 1997). Por lo que la metodología aplicada facilitó la elaboración de mapas de NDVI que, en conjunto con el tratamiento informático de las imágenes satelitales, dio origen a la discriminación de los rangos determinados, obteniendo la superficie del área con vegetación diferenciándolo del área de suelo desnudo, generando una serie de tiempo de la cobertura de vegetación en la superficie del área analizada.

(López, 2014) mencionan que el NDVI es muy sencillo y directo con respecto a los parámetros biofísicos de la vegetación y permite su comparación con otros datos obtenidos por distintos investigadores

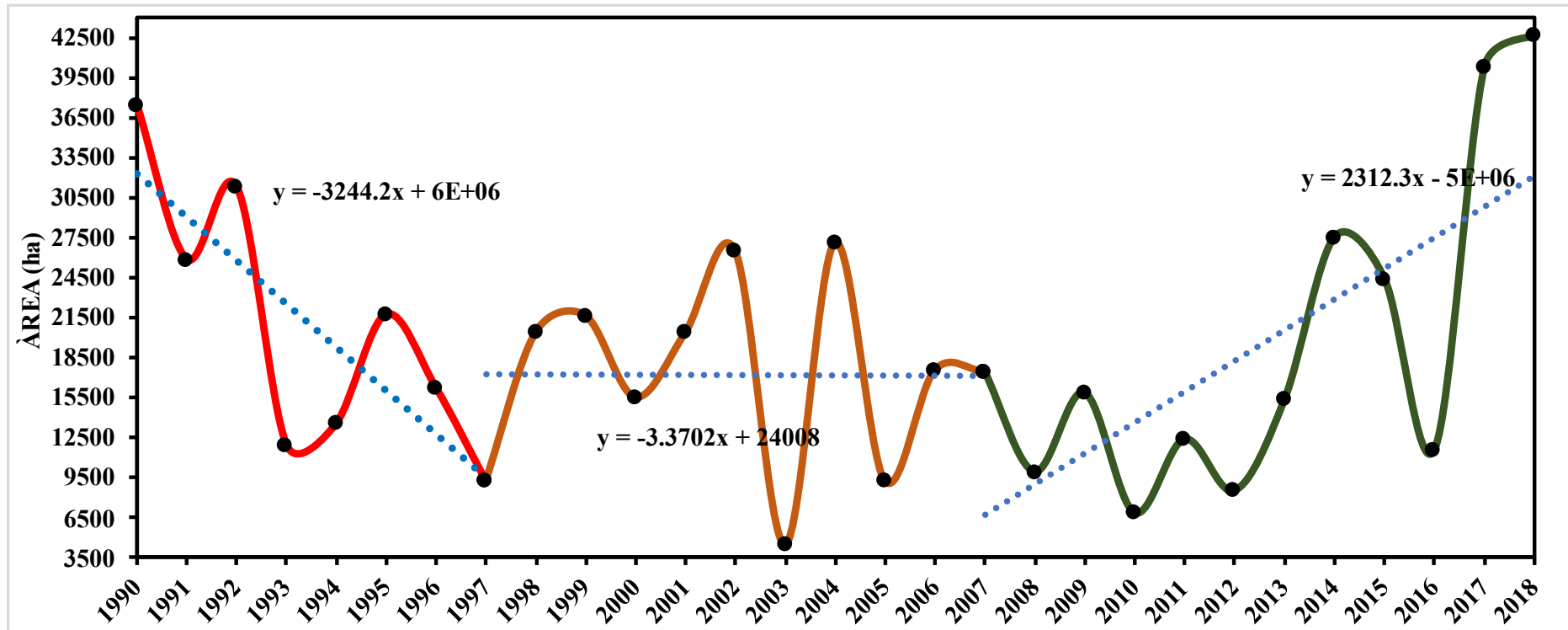


Figura 16. Variabilidad temporal de la cobertura de vegetación en las zonas de influencia de la presa Cuchoquesera.

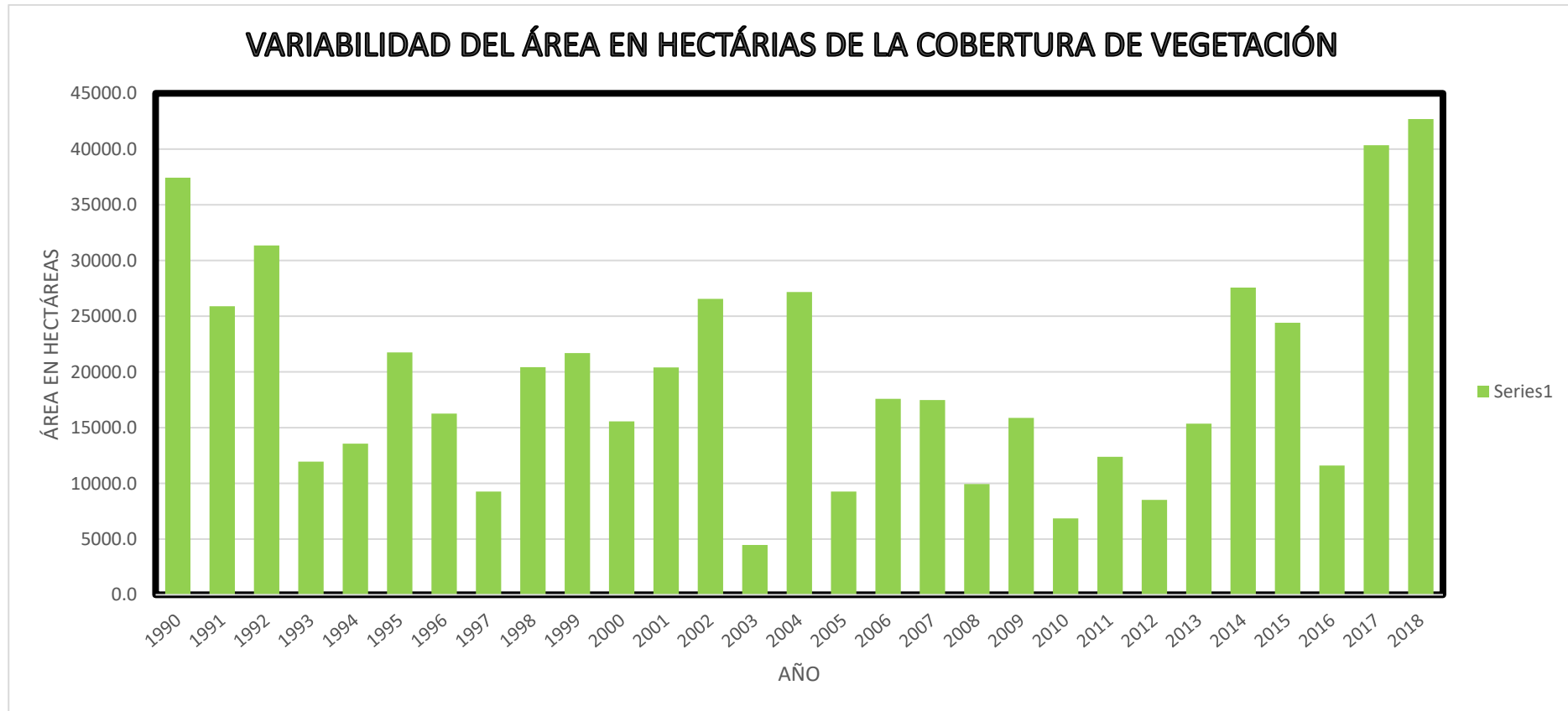


Figura 17. Variabilidad en área por hectáreas la cobertura de vegetación en las zonas de influencia de la presa Cuchoquesera

4.2. Variación de la cobertura de humedad

En la tabla 10, se observa los principales parámetros estadísticos correspondiente a los tres periodos anuales seleccionados y evaluados, del área de cobertura de humedad de suelo media y alta, y la sumatoria de ambas coberturas, dado que ambas también corresponden al $NDVI \geq 0.4$, así mismo se puede apreciar la correlación

Periodo	Estadísticos	Humedad media	Humedad alta	Humedad media y alta
1990-1997	Promedio	16982.36	13261.00	30243.36
	Desv. Estand	12368.72	9826.35	20165.70
	C.V.	0.73	0.74	0.67
	b	-821.67	-1698.28	-3546.17
	r	-0.37	-0.42	-0.43
1998-2007	Promedio	7078.20	314.06	7392.26
	Desv. Estand	3678.60	445.39	4034.19
	C.V.	0.52	1.42	0.55
	b	-122.13	-55.57	-177.71
	r	-0.13	-0.38	-0.13
2008-2018	Promedio	11597.52	3241.72	14839.24
	Desv. Estand	8393.82	4896.06	12917.49
	C.V.	0.72	1.51	0.87
	b	2224.44	1156.94	3381.38
	r	0.88	0.78	0.87

Tabla 10. Resultados de variabilidad espacial y temporal del área con cobertura de humedad en el suelo.

En la figura 18 se observa la variabilidad temporal de la cobertura de humedad en las zonas de influencia de la presa Cuchoquesera, desde el año 1990 hasta el 2018, en donde se ha determinado la existencia de tres grupos o intervalos de años que se caracterizan de manera pronunciada de acuerdo con la dinámica de la cobertura de vegetación antes y después de la construcción de la presa Cuchoquesera, asimismo, en la figura 19 se observa la variabilidad espacial en área por hectáreas de la cobertura de humedad, definiéndose de esta manera tres periodos significativos en la influencia del comportamiento y aprovechamiento de los suelos agrícolas y ganaderas de la zona:

1. En el periodo de años comprendidos entre 1990 a 1997, se destaca una tendencia negativa en la cobertura de humedad medida a través del indicador denominado NDWI, esto posiblemente, porque en ese periodo de años, la zona en estudio solo dependía de la precipitación durante el estadio lluvioso.
2. En el periodo de años comprendidos entre 1998 a 2007, se destaca una tendencia constante en la cobertura humedad medida a través del indicador denominado NDWI, en este periodo se presenta el año más crítico, el año 2003 con la menor área de cobertura de humedad de 1983.594 hectáreas, esto puede ser debido que la represa empezó a funcionar el 2002 y se empezó almacenar el agua.
3. En el periodo de años comprendidos entre 2008 a 2018, se destaca una tendencia positiva en la cobertura vegetal medida a través del indicador denominado NDWI, se observa que la cobertura de humedad va aumentando progresivamente hasta que en el 2018 ya se presenta un pico de mayor cobertura humedad con un área de 42232.5225 hectáreas.

Los rangos de los índices de NDWI fueron tomados de la investigación de Moncada y Willems por tener las mismas características climatológicas y en el cual nos mencionan que son las más significativas. (Moncada y Willems, 2020)

En la investigación de (Gaziantep University, 2021) la cual evalúa la humedad antes y después de la presencia de la represa en sus resultados se observó que los valores de humedad cambiaron significativamente, antes de la construcción de la presa, se vio que cambiaba en una dirección negativa en un 1% después de la construcción. el nivel de humedad relativa mostró una tendencia decreciente; Sin embargo, la tendencia entró en un sentido opuesto dirección después que la presa estaba completamente llena. Se observaron cambios en no solo la dirección sino también la magnitud de la tendencia (1%). Sin embargo, nos dice que las fuertes tendencias que tienen una la dirección negativa desapareció después del asentamiento de la presa creando un clima más húmedo. En la presente investigación podemos ver que las áreas con presencia de humedad van en aumento después de 10 años en los que entro en funcionamiento la represa Cuchoquesera., la cual en el transcurso de esos 10 años se puede observar que la tendencia de humedad es constante misma escena o comparados con los valores calculados en imágenes procesadas en las mismas condiciones.

Por lo que la metodología aplicada facilitó la elaboración de mapas de NDWI que, en conjunto con el tratamiento informático de las imágenes satelitales, dio origen a la

discriminación de los rangos determinados, obteniendo la superficie del área con humedad respectivamente diferenciándolo del área de suelo desnudo, generando una serie de tiempo de la cobertura de humedad de suelo en la superficie del área analizada.

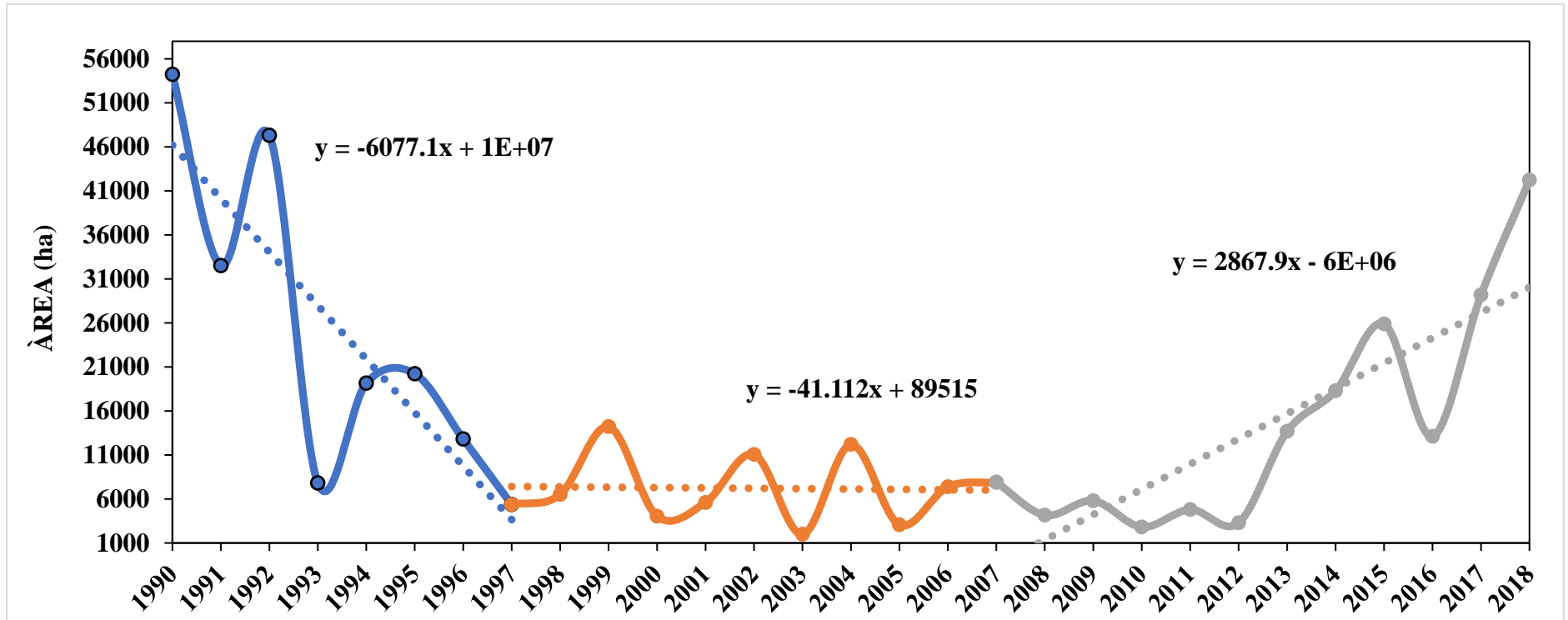


Figura 18. variabilidad de la cobertura de humedad

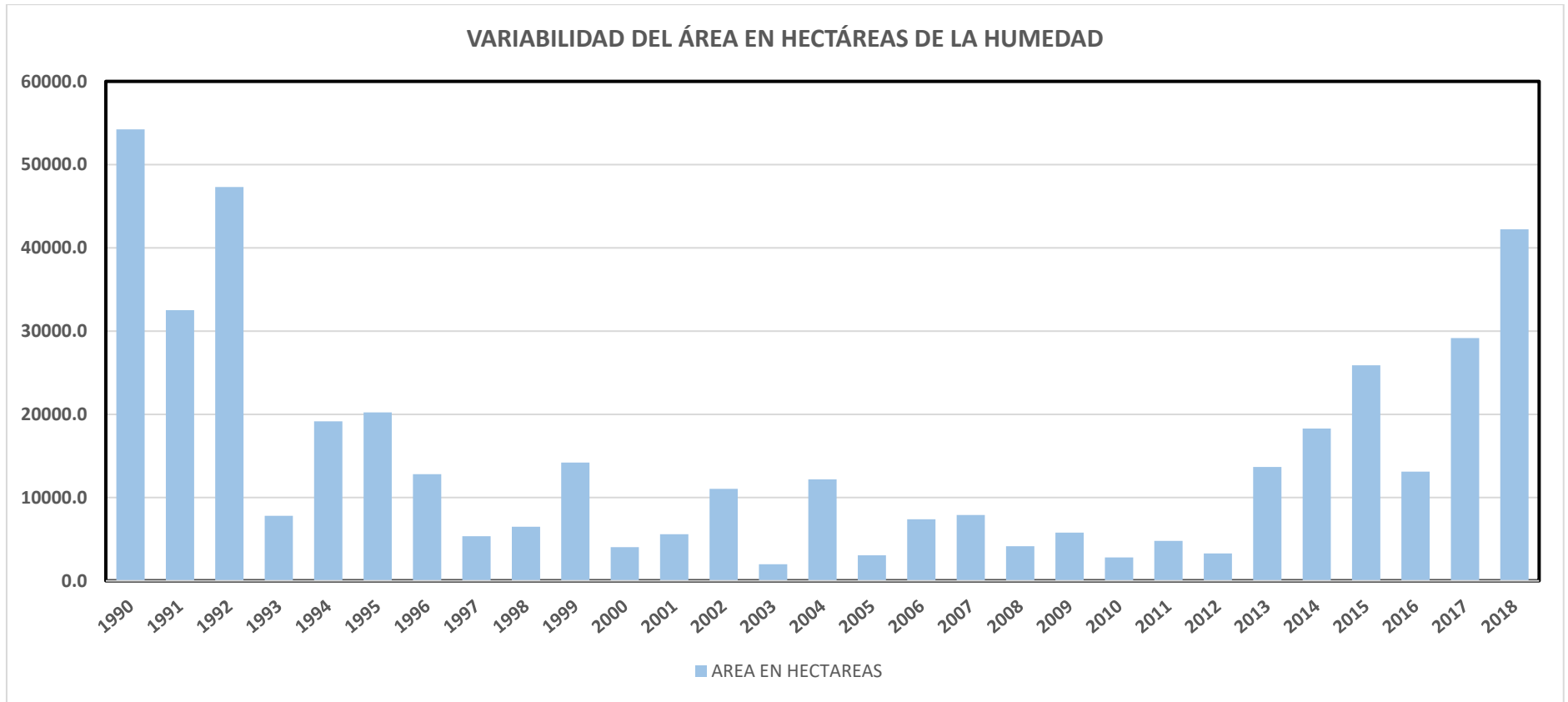


Figura 19. variabilidad espacial en área por hectáreas de la cobertura de humedad

4.2.1. Correlación de la cobertura de humedad y precipitación

En la figura 20 se muestra la comparación de la cobertura de humedad de suelo con respecto a la presencia de precipitación acumulada anual, se observa como la precipitación influye en la presencia de humedad en el suelo, el cual es coherente en algunos años, siendo los años posteriores al 2005 (funcionamiento de la presa Cuchoquesera) los que muestran mayor contenido de humedad en el suelo a pesar de la disminución de la precipitación desde el año 2004 hasta el 2012. Después de este año, 2012 la precipitación se incrementa de manera notable no mostrando mucha influencia en la cobertura de humedad del suelo dado que esta se muestra casi constante en los últimos años, con excepción del año 2015 donde la precipitación y la cobertura de humedad se correlacionan de manera positiva.

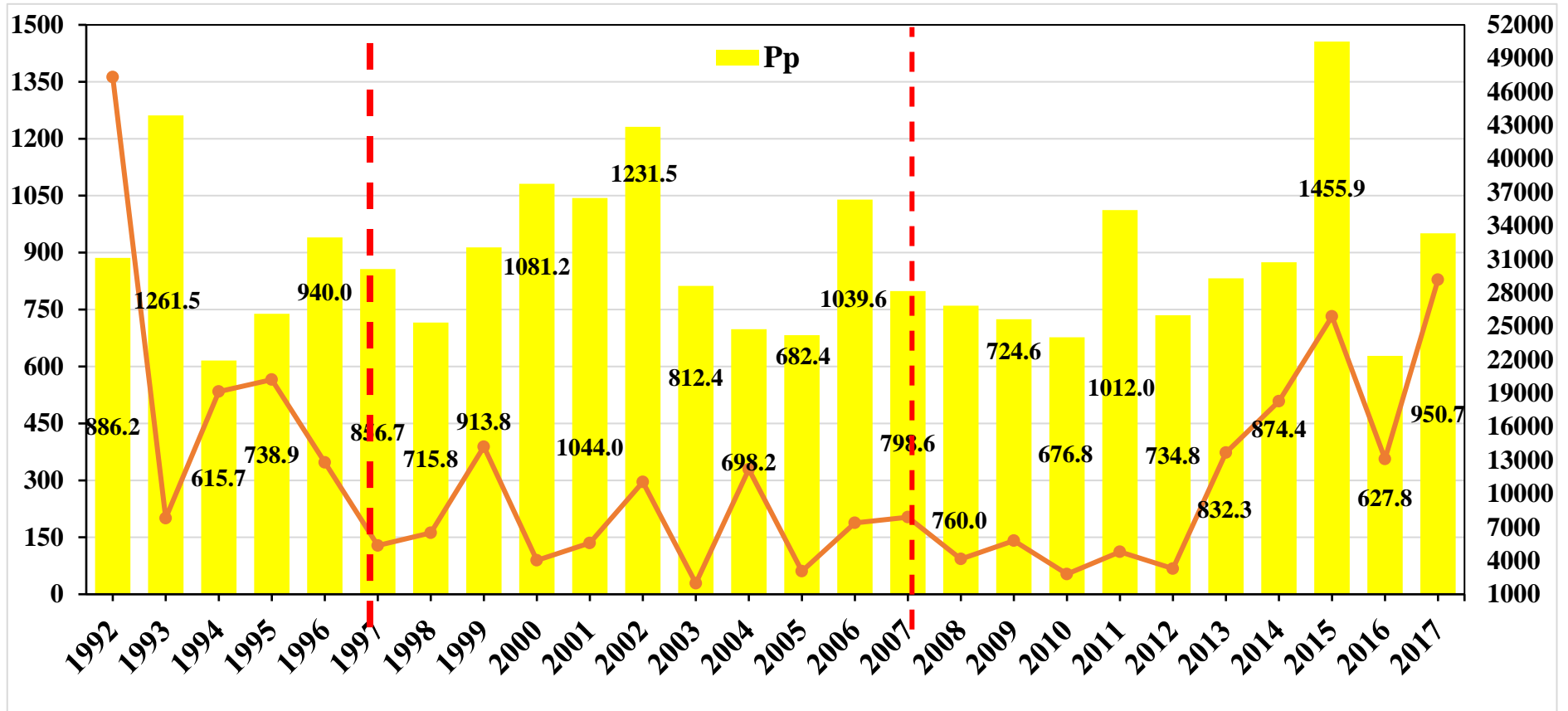


Figura 20. correlación de Cobertura de humedad y precipitación.

4.3.ANOVA de la cobertura vegetal y la humedad del suelo

La figura 21 muestra la correlación de la cobertura de vegetación, en ha, en su clase densa, con respecto a la cobertura de humedad del suelo, en ha, en su clase alta, el coeficiente de correlación indica un $R^2 = 0.49$ lo cual indica que la presencia de humedad en el suelo explica en 49 % a la presencia de vegetación en la zona.

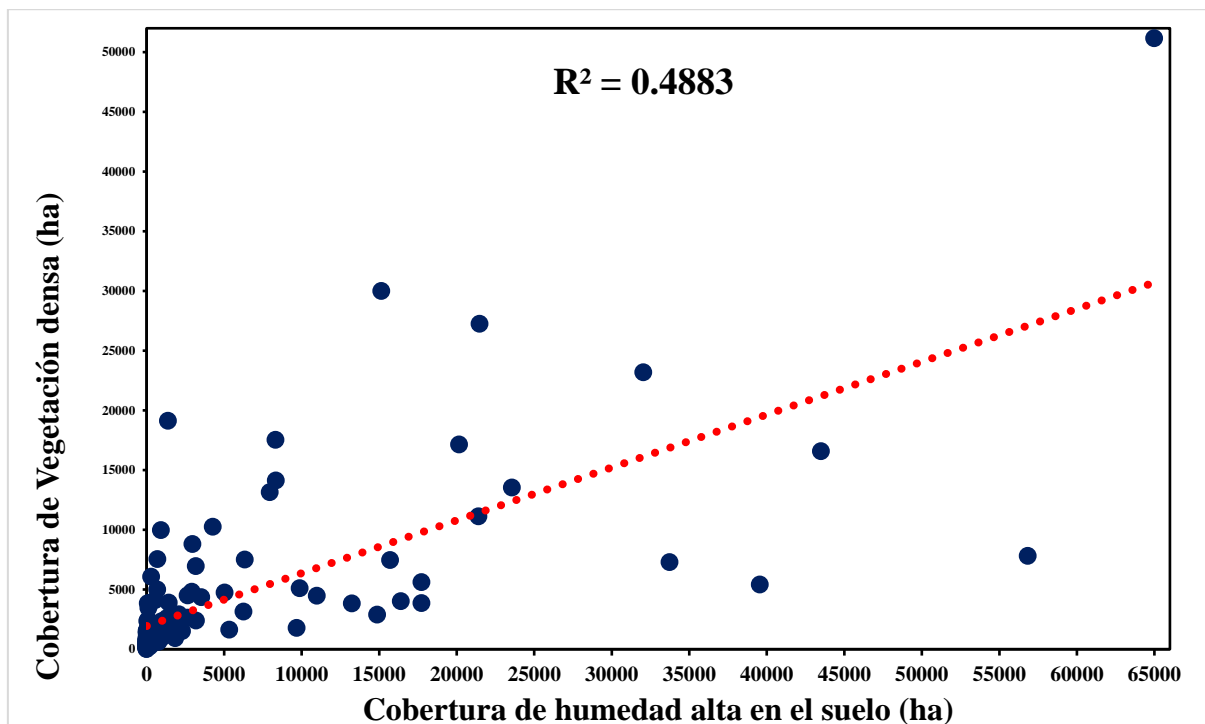


Figura 21. Corrección de cobertura vegetal y humedad.

Para validar el resultado se aplicó las pruebas no paramétricas de estudio de varianza (ANOVA), esto recomienda proponer la hipótesis nula y alternativa de la siguiente forma

Hipótesis nula: no existe diferencia significativa entre los valores del área de cobertura vegetal y humedad del suelo.

Hipótesis alternativa: si existe diferencia significativa entre los valores de las áreas de cobertura de vegetación y humedad de suelo.

La aplicación de ANOVA a ambos grupos de valores de la superficie de las áreas de cobertura de vegetación y humedad de suelo en la zona de influencia a la presa Cuchoquesera, presenta un p-valor=0.47, el cual es mayor al nivel significativo de da un p-valor = 0,47, el cual es mayor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Frente a esto rechazamos la hipótesis

nula, lo que significa que no existe diferencia importante entre los valores de la superficie de cobertura de vegetación y humedad del suelo.

A partir de los hallazgos encontrados se acepta la hipótesis alternativa general, la cual dice que, si es posible la elaboración del análisis temporal y espacial de la cobertura de humedad del suelo y de vegetación con imágenes TM, ETM+ y OLI en zonas de influencia a la presa Cuchoquesera de la Región Ayacucho.

No obstante, los resultados aquí obtenidos tienen un significativo sesgo debido a que en ciertos períodos la obtención de imágenes no fue posible por una mayor concentración de nubes, las mismas que no fueron seleccionadas disminuyendo el número de imágenes a clasificar, esto en consideración a lo mencionado por (Xue & Su, 2017) “la imagen capturada en esas condiciones no es de utilidad y los sensores pasivos no atraviesan esta”, al igual que (Vega, 2006) indica que el registro con sistemas ópticos pueden quedar restringidos.

Otro de los motivos se debe a que existe un error en las imágenes del satélite Landsat 7 a partir del año 2003.

Los materiales utilizados en la presente investigación, explícitamente las imágenes landsat 5, 7 y 8 también fueron usadas en diferentes investigaciones y según estos autores han sido de gran utilidad, por la gratuidad de estas y para la realización del monitoreo de la cobertura y humedad del suelo. Entre estos autores tenemos:

(Smith, 1997) señala que los sensores remotos han probado ser útiles en estudios ecológicos, de hidrología y geomorfológicos, también señala que las bandas en el rango de amplitud visible del infrarrojo cercano, que poseen las imágenes Landsat, sirven para una buena delineación de áreas inundadas.

Al igual que (Hewitt, 1990) demostró la utilidad de las Landsat TM, por sus características espectrales y espaciales, para el inventario de ecosistemas terrestre y acuáticos, sin embargo, (Zhang & Roy, 2016) dice que los Landsat 5, es el primer satélite donde se encontró diferentes inconsistencias durante el cálculo de NDVI.

(Itten & Meyer, 1993) mencionan que a través de las imágenes multitemporales se puede lograr la comparación de las variaciones de cubierta vegetal y de humedad de suelo, el monitoreo de recursos hídricos, entre otros.

Asimismo (Baker, Lawrence, Montagne, & Patten, 2006), describe que la clasificación de imágenes Landsat otorgan mejores resultados que otros sensores satelitales para el mapeo de zonas con presencia de humedad y vegetación.

(Thenkabail, y otros, 2003) que nos dice que el empleo de información gratuita ha resultado de valor excepcional para estudios de vegetación como es el caso de las imágenes satelitales. A pesar de tener una resolución espacial media (30 m), estas imágenes han actuado mejor o similar a otros sensores de mayor resolución espacial (Quickbird e IKONOS) en la estimación de las características de las cubiertas boscosas.

En algunos mapas de NDVI y NDWI, el área de la represa específicamente de los cuerpos de agua lo reconoce como vegetación o suelo desnudo, esto se debe que existen factores que complican la interpretación de la reflectancia del cuerpo de agua, como el material en suspensión o con el fondo del mismo cuerpo de agua, esto se debe que el agua clara absorbe en menor cuantía la energía correspondientes a la longitud de onda menores de 0,6 y se incrementa la reflectancia visible, cuando existe turbidez. Igualmente, la presencia de clorofila, en algunos microorganismos vegetales como el fitoplancton o las algas, modifican los valores de reflectancia del agua, por eso es indispensable aplicar constantes monitoreos para validar mediante percepción remota las concentraciones de este tipo de vegetación según el (Repositorio Dspace, 2002)

V. CONCLUSIONES

Se logró analizar la variabilidad espacial y temporal de la cobertura vegetal, a través del índice de NDVI en el periodo de 29 años (1990 – 2018) en el área de estudio de la represa Cuchoquesera., el cual determino los siguientes periodos de acuerdo a la dinámica de las variaciones y los cuales fueron divididos en tres periodos: un primer periodo desde 1990 al 1997 en el cual la cobertura vegetal tiene una tendencia negativa, posteriormente se mantiene con una tendencia constante en el periodo de 1997 al 2007 y luego de este año el área de cobertura vegetal asciende hasta el año 2018 el cual tiene una tendencia positiva.

Se logró analizar la variabilidad espacial y temporal de la cobertura de humedad en el periodo de 29 años (1990 – 2018) en el área de influencia de la represa Cuchoquesera., el cual fue dividido en tres periodos: un primer periodo desde 1990 al 1997 donde la humedad del suelo desciende notablemente, posteriormente se mantiene constante en el periodo de 1997 al 2007 y a partir del 2013 la humedad del suelo asciende hasta el año 2018 y tiene una tendencia positiva.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Profundizar el estudio y hacer un análisis más descriptivo el cual relacione el NDVI con otras características edáficas de la zona, detectar la firma espectral de la especie vegetales que se hallen en todos los rangos de clasificación del NDVI, así realizar un estudio más detallado y clasificar por tipo de vegetación.
2. Se recomienda realizar una investigación en torno a la erosión del suelo, ya que como obtuvimos en los resultados, el área de cobertura vegetal es cambiante, los resultados generados deberían ser actualizados cada año, ya que son importantes, estos se encuentran destinados a comprobar las variaciones existentes de la cobertura del suelo y los cambios de uso que se dan a lo largo del tiempo y espacio.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye Spot y Landsat 8 con el módulo Flaash del software Envi. *Revista geografica de america Central*, 39-59. Obtenido de <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Baker, C., Lawrence, R., Montagne, C., & Patten, D. (2006). *Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision- tree-based models*. Montana: Wetlands.
- Bense, T. (2007). *Tutorial: Introducción ala percepción remota*. Sextas Jornadas de Educación en Percepcion Remota en el Ambito del Mercosur y Primeras Uruguayas.
- Campbell, J., & Wyne, R. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. New York: The Guilford Press.
- Ccenta Alminagorda, J. A. (26 de Diciembre de 2021). *Universidad Nacional Agraria la Molina*. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4667/ccenta-alminagorta-jes%C3%BAAs-alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chuvieco, & Huete. (2010). *"Fundamentals of satellite remote sensing"* (2 ed ed.). (T. y. group, Ed.) Canada: Ariel.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Ariel Ciencia.
- Cuchoquesera, P. d. (15 de Diciembre de 2021). Cuchoquesera fuente de vida. (A. d. Huapaya, Entrevistador)
- Dedios, N.: (2009). Análisis espacial del comportamiento fenológico de la vegetación en la cuenca del rio chira usando imágenes de alta resolucion espectral. *Revista Peruana Geo-Atmosferica RPGA*, 34.
- Delrieux, C., Ramoscelli, G., & Chiaradía, D. (s.f.). *Visualizacion y procesamientos de imágenes satelitales*. Recuperado el 2 de Junio de 2021, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/21753>

- Diaz Rojas, C. U. (10 de diciembre de 2021). *Universidad Nacional de Cajamarca*. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3200>
- Doraiswamy, P., Hatfield, J., Jackson, T., Akhmedo, B., Prueger, J., & Stern, A. (2004). *Crop condition and yield simulations using landsat and MODIS*. Remote Sensing of Environment.
- Earth Observing System. (s.f.). *NDWI*. Recuperado el 15 de junio de 2020, de <https://eos.com/ndwi/es/>
- Elachi, C., & Van, Z. J. (2006). *Introduction to the physics and techniques of remote Sensing* (Primera ed.). (J. W. Sons, Ed.) New Jersey: Hoboken.
- Elpha Fox Privacy, 7 Bell Yard, Londres, WC2A 2JR. (2018). *EARTH OBSERVING SYSTEM*. Obtenido de <https://eos.com/>
- Fairbanks, D., & Mcwire, K. (2004). *Patterns of floristic richness in vegetation communities of California: Regional scale analysis with multi-temporal NDVI*. Global Ecology and Biogeography.
- Gaziantep University. (27 de diciembre de 2021). *The Influence of Dams on Surrounding Climate: The Case of Keban Dam*. Obtenido de <file:///C:/Users/Dayli/Downloads/10.21547-jss.256734-223115.pdf>
- Gestion sostenible del agua Gidahatari . (17 de setiembre de 2021). *Gidahatari*. Obtenido de Gidahatari: Gidahatari.com
- Gilabert, M., González, J., & García, J. (1997). Índices de vegetación. *Revista De Teledetección*, 8(10).
- Gill, T., Phinn, S., Armston, J., & Pailthorpe, B. (2009). *Estimating tree-cover change in australia: Challenges of using the MODIS vegetation index product*. (T. & group, Ed.) Australia: International Journal of Remote Sensing.
- Gómez, M. (2004). *Índice de vegetación en áreas del bosque seco del noroeste del Perú*. Universidad de Piura, Piura.
- Gonzaga, C. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador. (*Tesis de doctorado*). Universidad Nacional de Plata, Argentina.

- Granados Ramirez, R., Reyna Trujillo, T., Gómez Rodríguez, G., & Soria Ruiz, J. (2004). "Analysis of NOAA-AVHRR-NDVI Images for Crops Monitoring". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25-9, págs. 1615-1627.
- Gyanesh , C., Markham, B., & Helde, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* , 893-903.
- Hewitt, M. (1990). *Synoptic inventory of riparian ecosystems: The utility of Landsat Thematic Forest Ecology and Management*.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., & Ferreira, L. (2002). *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices*. Obtenido de Remote Sensing of Environment: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- INEI. (s.f.). *INEI población del 2000 al 2015*. Recuperado el 9 de junio de 2020, de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>
- INFOREGION. (2009). *Por primera vez presa de Cuchoquesera en Ayacucho alcanzó su*. Recuperado el 11 de junio de 2020, de <http://www.inforegion.pe/27275/por-primera-vez-presa-deCuchoquesera-en-ayacuchoalcanzo-su-maxima-capacidad-de-almacenamiento-de-agua>
- Itten, K., & Meyer, P. (1993). "Geometric and radiometric correction of TD Data of mountainous forested areas" (Vol. 31). IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing.
- Jackson, R., Slater, P., & Pinter, P. (1983). *Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres*. Arizona: Remote Sensing of Environment.
- Ju Hu, J., Hong Xie, Y., Tang, Y., Li, F., & Ai Zou, Y. (19 de diciembre de 2021). *Frontiers en ciencias vegetales*. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00582/full>
- Levin, N. (1999). *Fundamentals of remote sensing; 1st hydrographic data management course*. Trieste, Italia: IMO-International Maritime Academy.
- Levin, R., & Rubin, D. (1996). "Estadística para Administradores" (6 ed.). Mexico: Pearson Educación.
- López, P. (2014). *Tendencia del índice de vegetación de diferencia normalizada para*. Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, México.

- Lopresti, M., Di Bella, C., & Degioanni, A. (2015). Relationship between MODIS-NDVI data and wheat yield: A case study in northern buenos aires province, argentina. En *Information Processing in Agriculture* (págs. 73-84).
- Malik, M., & Shukla, J. (2014). *Estimation of soil moisture by remote sensing and field methods* (Vol. 3). International Journal of Remote Sensing & Geoscience.
- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmindt, F., & Blanco, F. (2011). *Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde*. Pilquen-Sección Agronomía.
- Moncada y Willems. (2020). Análisis espacial y temporal de la temperatura superficial en la microcuenca Apacheta mediante datos térmicos landsat. *REVISTA DE TELEDETECCION*, 57.
- NASA. (3 de 04 de 2021). NASA. (S. Loff, Editor) Recuperado el 14 de 05 de 2021, de <https://www.nasa.gov/>
- Palermo, J. (2014). *Técnicas espectroscópicas*. Recuperado el 5 de junio de 2020, de <http://www.qo.fcen.uba.ar/Cursos/biola/UVIR.pdf>
- Pérez Gutierrez, C., & Muñoz Nieto, A. (2006). *Teledetección, nociones y aplicaciones* (1 ed.). Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Pérez, M. (2001). Aplicaciones de la Teledetección y SIG en la caracterización de. (*Tesis de Maestría*). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Reitz, J., Milford, F., & Christy, R. (1996). *Fundamentos de la teoría electromagnética* (Cuarta ed.). Iberoamericana: Addison Wesley.
- Repositorio Dspace*. (2002). Recuperado el 14 de 04 de 2021, de <https://tesis.ipn.mx/>
- Reynolds, J., Maestre, F., Hubersannwald, E., Herrick, J., & Kemp, P. (2005). *Aspectos socioeconómico y biofísicos de la desertificación*. España: Rev.
- Rojas, S. (28 de Diciembre de 2021). *Desarrollo y propuesta metodológica para el empleo de los Campos Aleatorios de Markov aplicados a técnicas de clasificación de coberturas en imágenes de la superficie terrestre. Tesis para optar al título de Magister en Ciencias de la Información y las Co.* Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15645>

- Rouse, J. W., Haas, R. W., Schell, J. A., Deering, D. H., & Harian, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenware effect) of natural vegetation*. (N. /GSFCT, Ed.) Estados Unidos: GEENBELT MD.
- Rudjord, D. (2012). *Evaluation of FLAASH atmospheric correction*. Obtenido de https://projects.nr.no/?query=/file/1338298623/Rudjord-Trier_FLAASH_2012.pdf
- Smith, L. (1997). *Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review*. (Vol. 11). Los Angeles: Hydrological Processes.
- Thenkabail, P., Hall, J., Lin, T., Ashton, M., Harris, D., & Enclona, E. (2003). Detecting floristic structure and pattern across topographic and moisture gradients in a mixed. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 255-270.
- Towers, P., & Von Martini, A. (2002). *Conceptos Iniciales Sobre Teledetección y Su Aplicación Al Agro* (1 ed.). Buenos Aires: Agrisat.
- USGS-United States Geological Survey. (2015). *USGS*. Recuperado el 20 de Agosto de 2021, de https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS-United States Geological Survey. (2015). *USGS*. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- USGS-United States Geological Survey. (2015). *USGS*. Recuperado el 20 de agosto de 2021, de https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- Vega, L. (2006). La teledetección aplicada al inventario de humedales. *Dialnet*, 14-22.
- Xue, J., & Su, B. (23 de mayo de 2017). *Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of*. Recuperado el 10 de agosto de 2021, de <https://www.hindawi.com/journals/js/2017/1353691/>
- Zhang, H., & Roy, D. (2016). *Landsat 5 thematic mapper reflectance and NDVI 27-year*. Brookings, USA: ;Remote Sensing of Environment.

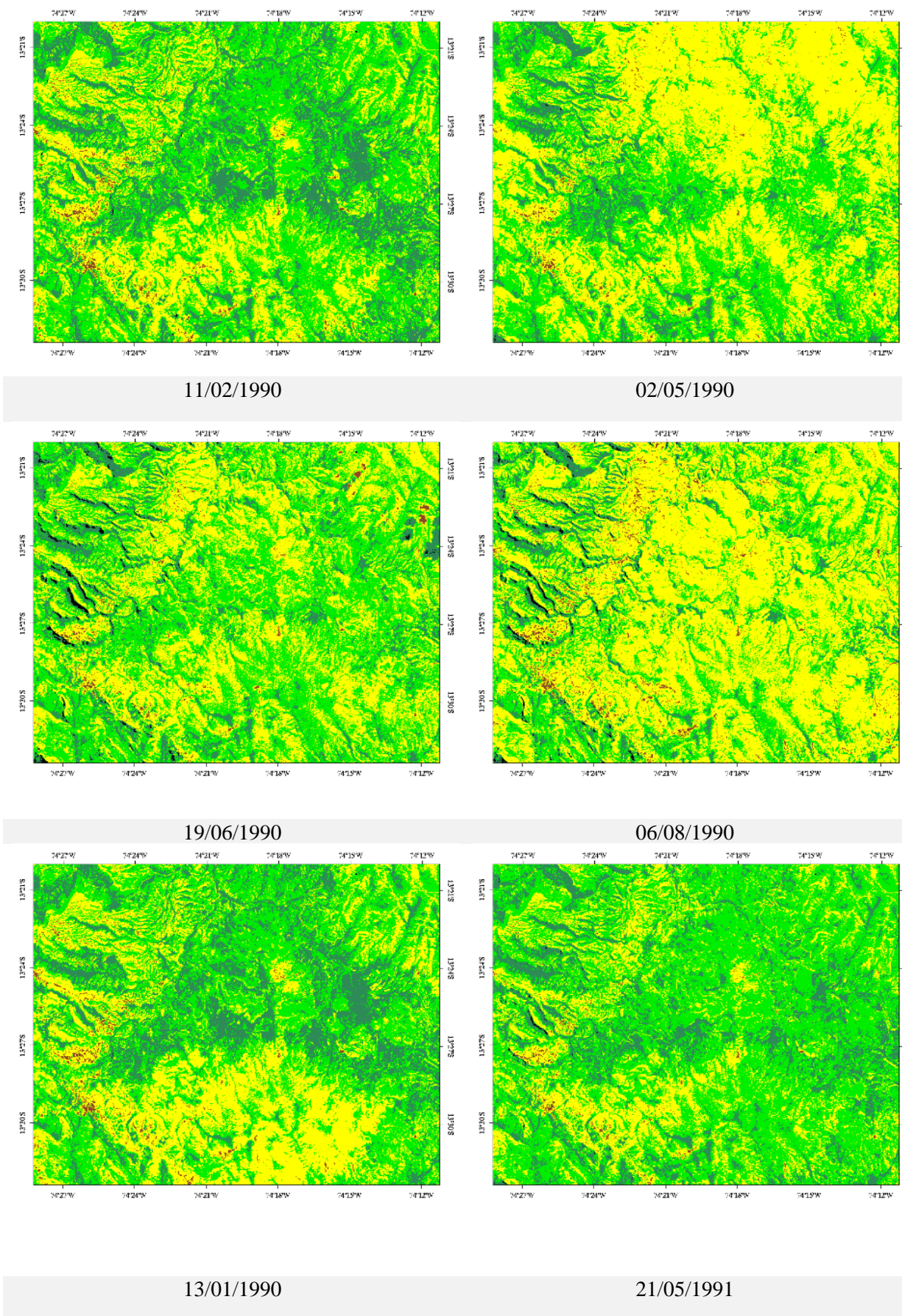
ANEXOS

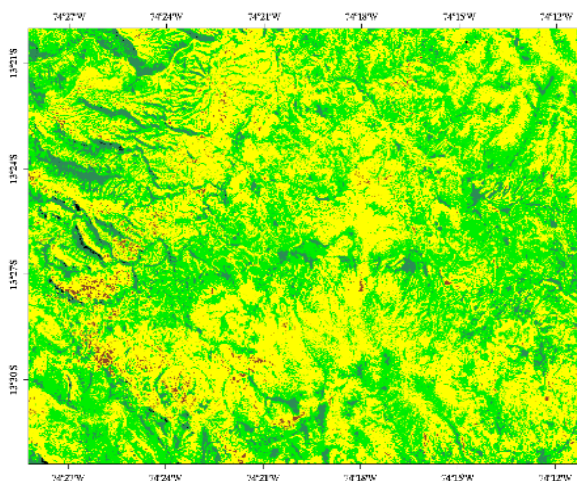
Tabla general de las áreas en hectáreas de las zonas de NDVI.

AÑO	Zona con presencia de agua y/o sombra y/o nieve	Zona de suelo desnudo seco	Zona con vegetación escasa y suelo desnudo	zona con vegetación dispersa	Zona con vegetación densa
1990	0.3	787.7	31455.9	29475.3	7959.3
1991	0.3	2400.1	41562.2	20980.9	4911.4
1992	30.3	1684.2	36846.5	25243.7	6099.2
1993	0.1	8471.2	49480.1	11086.5	863.1
1994	0.3	3599.4	52522.0	11306.0	2259.7
1995	6.5	4139.0	43952.5	10748.0	11006.1
1996	4.3	387.6	12936.6	39398.3	17139.5
1997	1.5	3274.0	57360.4	8483.5	783.4
1998	14.3	4119.1	45316.2	18363.6	2067.7
1999	23.8	2105.8	46064.8	18600.1	3094.3
2000	32.7	3451.1	50861.3	14189.6	1365.6
2001	93.1	3300.5	46104.0	18757.0	1650.2
2002	534.7	5058.7	37752.0	22338.5	4221.0
2003	332.4	5807.5	33850.9	4157.4	311.3
2004	128.3	11342.4	31260.2	19944.4	7229.6
2005	238.2	13968.8	46437.2	8424.3	836.2
2006	187.8	6725.3	45410.7	15219.5	2361.6
2007	177.7	8038.0	44215.7	14514.1	2959.3
2008	170.1	6825.0	52969.2	8700.6	1240.0
2009	180.0	13025.7	40828.4	13729.5	2141.1
2010	155.4	11413.7	51479.6	6293.5	562.7
2011	108.0	2766.6	54649.8	11078.6	1301.7
2012	245.6	6968.7	54173.9	7922.4	594.2
2013	328.9	2632.6	51488.3	12164.0	3194.8
2014	327.6	1061.2	40913.8	21772.6	5789.9
2015	243.6	1434.8	43782.2	19031.4	5384.9
2016	255.4	3665.5	54370.6	9492.2	2101.5
2017	405.1	1354.3	27802.5	25748.4	14592.2
2018	286.5	785.9	26132.0	27029.1	15667.5

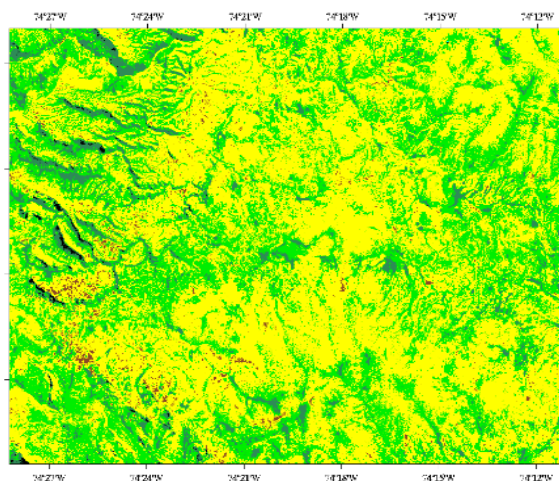
Tabla 11. Datos de NDVI

Tabla 12. Mapas de NDVI de 1990 al 2018

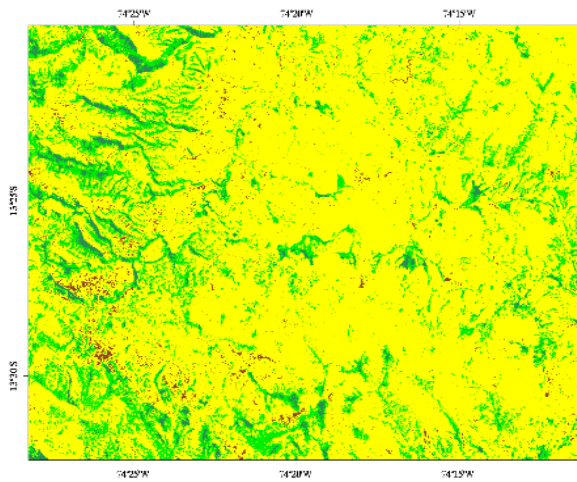




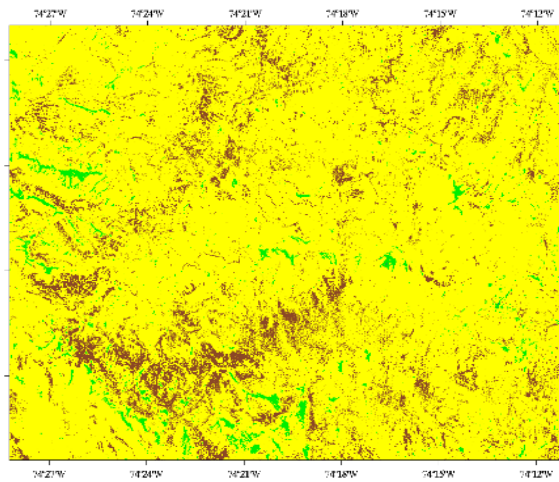
06/06/1991



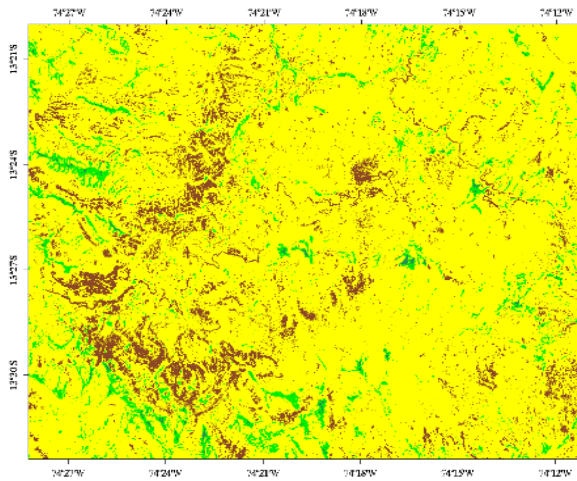
22/06/1991



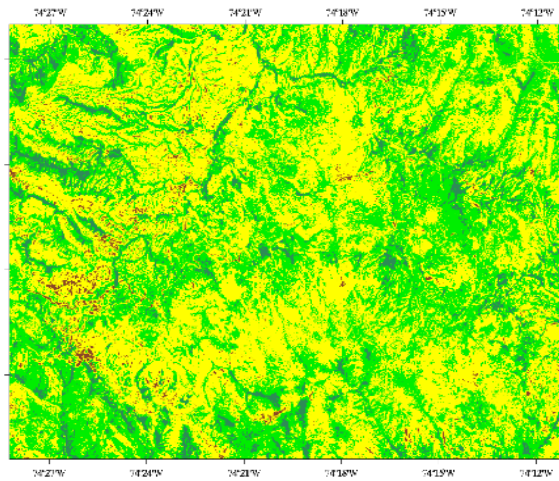
08/07/1991



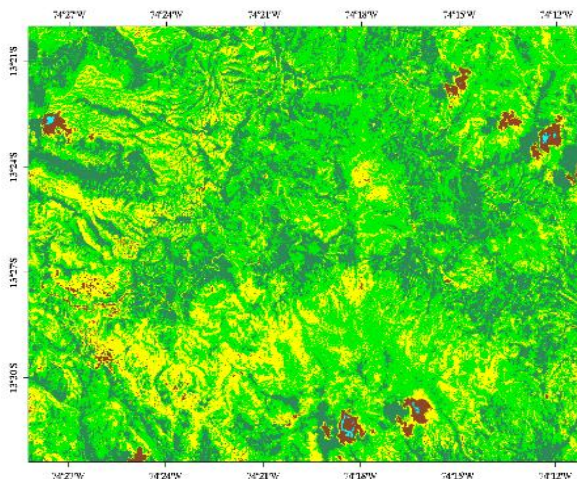
24/07/1991



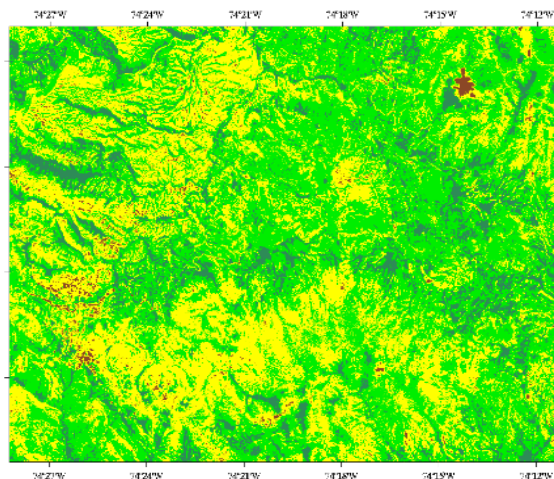
15/12/1991



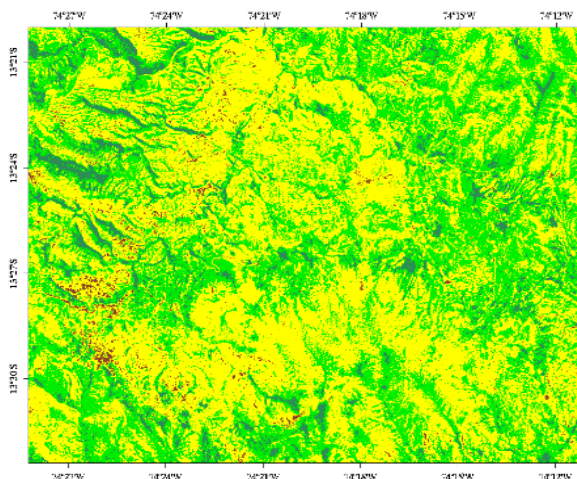
01/02/1992



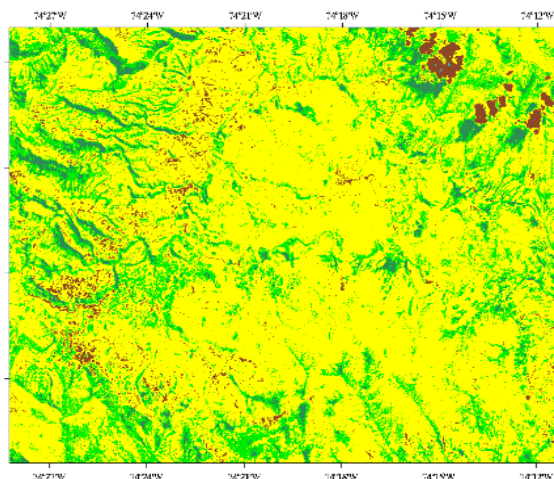
20/03/1992



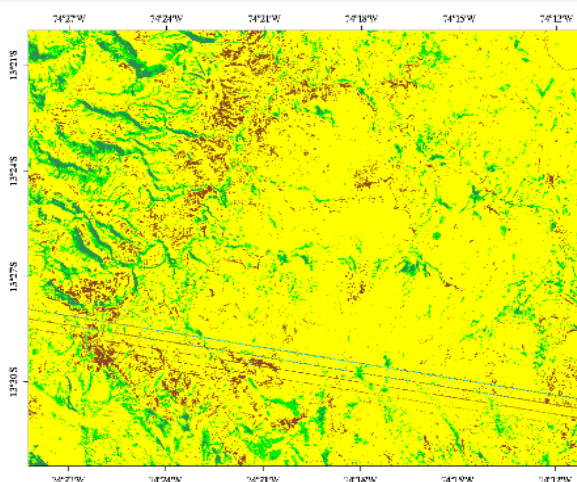
21/04/1992



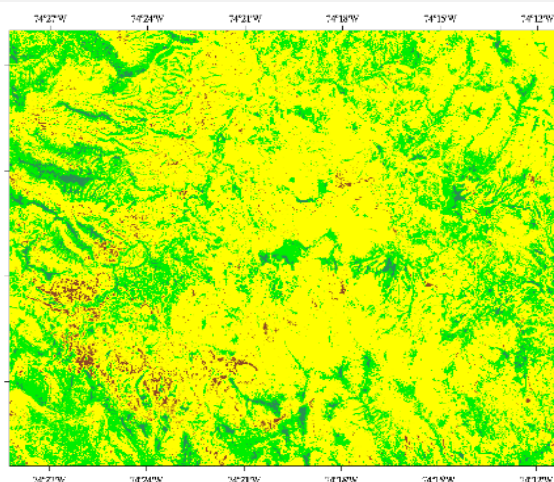
07/05/1992



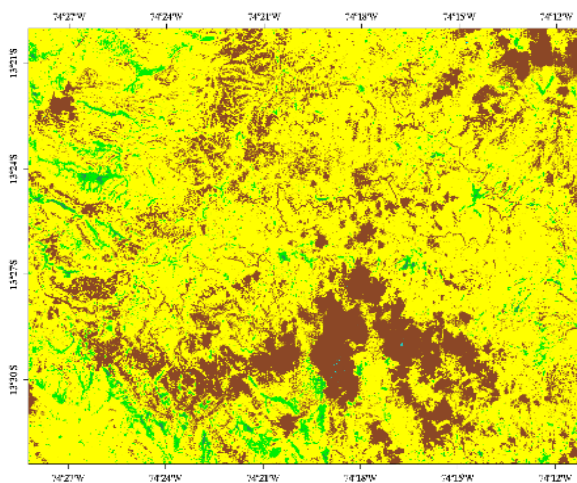
23/05/1992



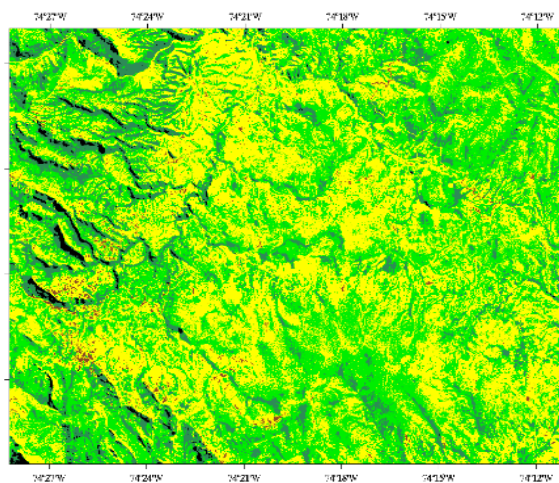
10/07/1992



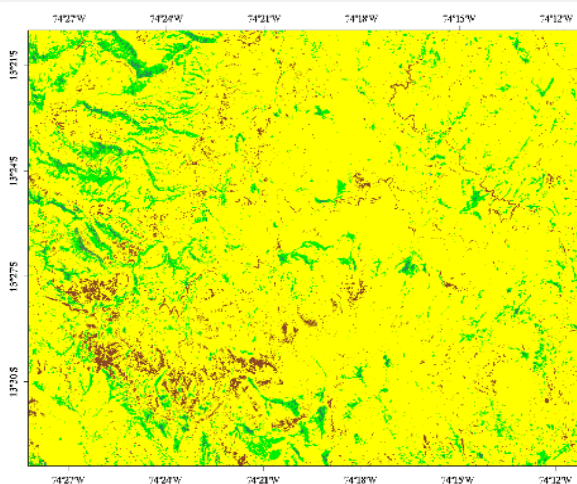
27/06/1993



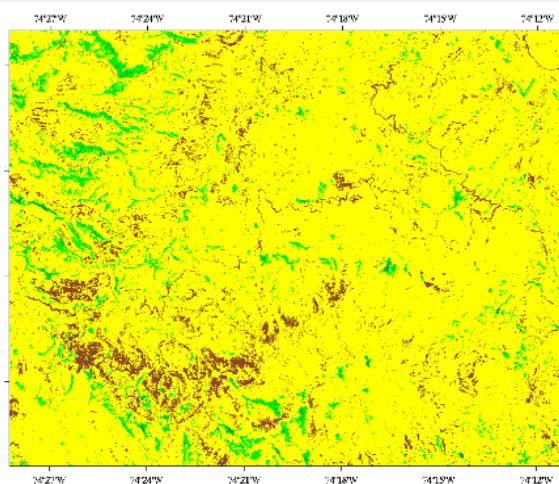
30/08/1993



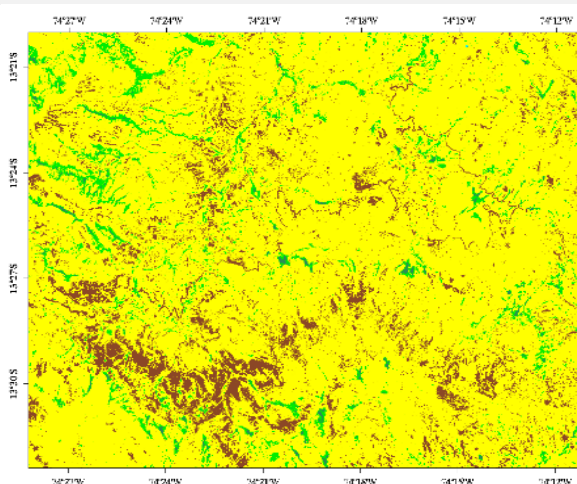
30/06/1994



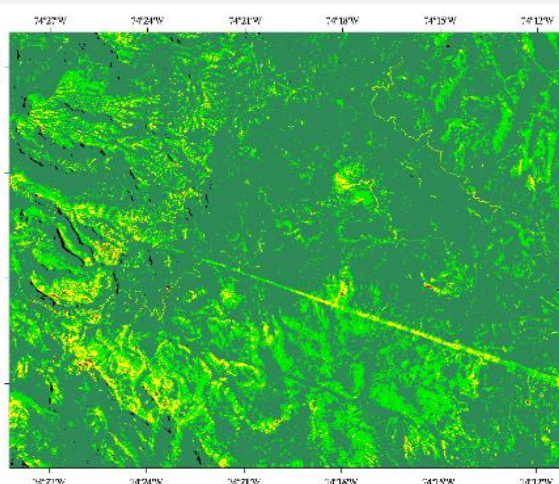
16/07/1994



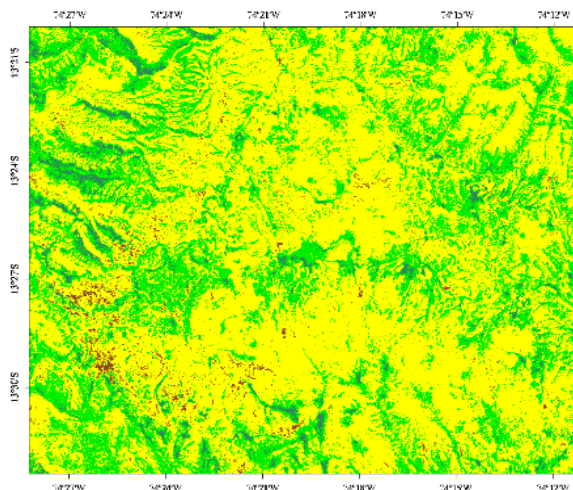
01/08/1994



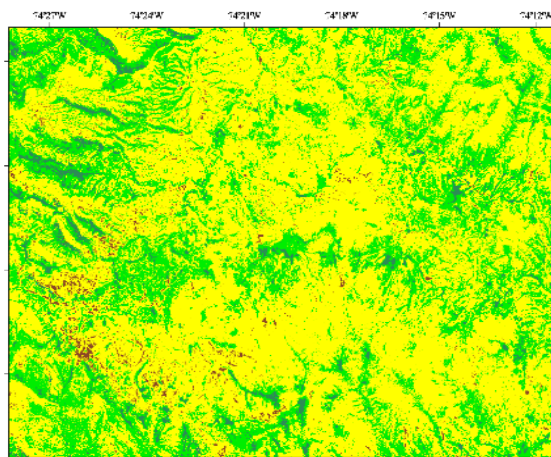
05/11/1994



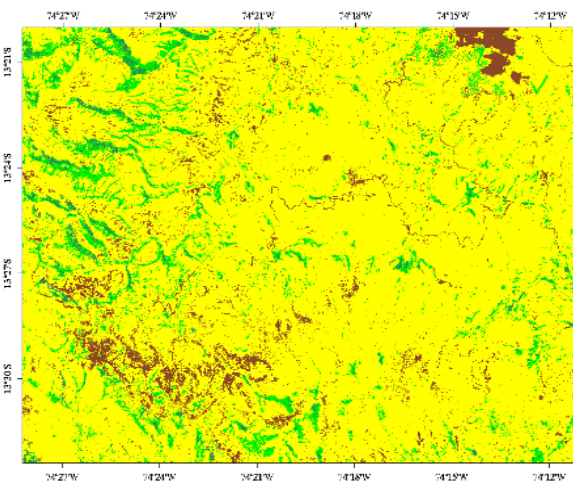
14/04/1995



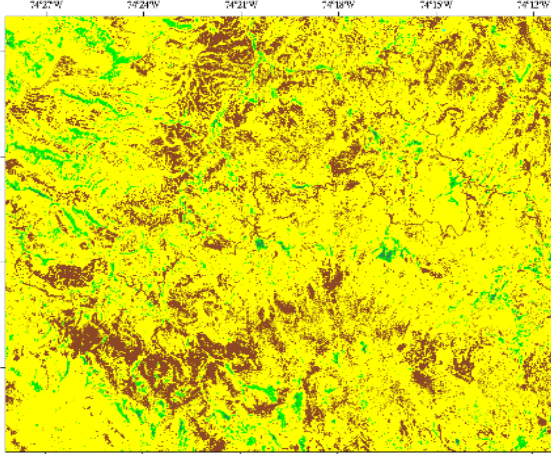
01/06/1995



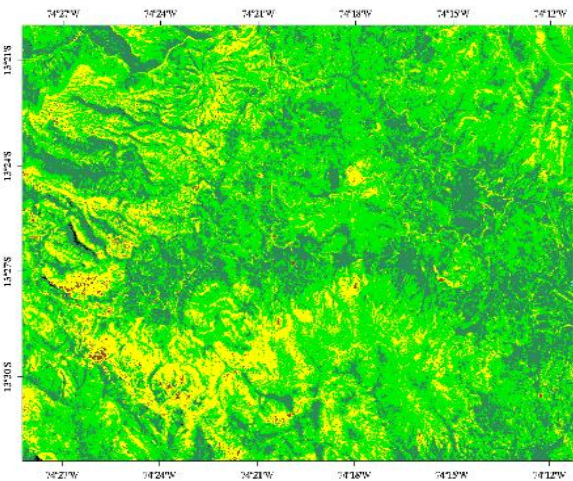
17/06/1995



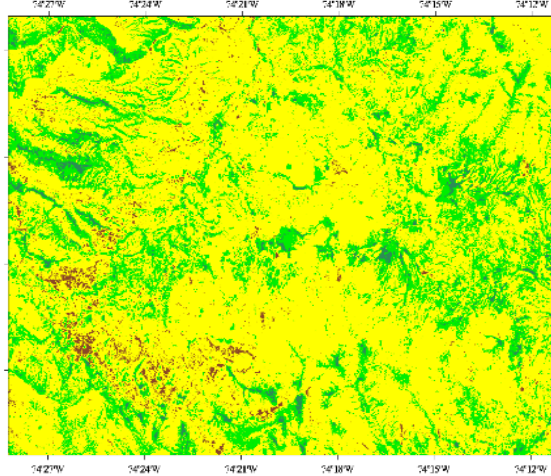
19/07/1995



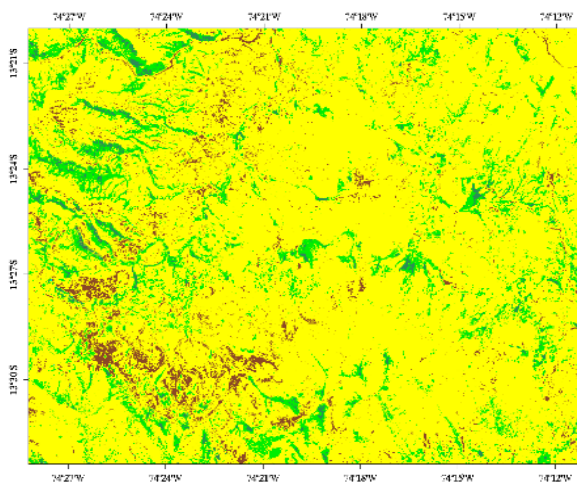
07/10/1995



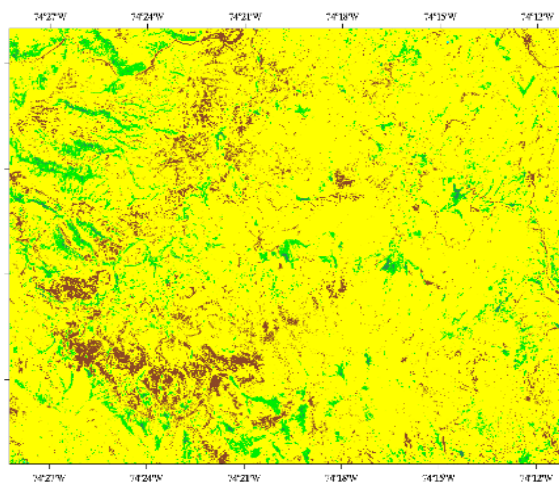
18/05/1996



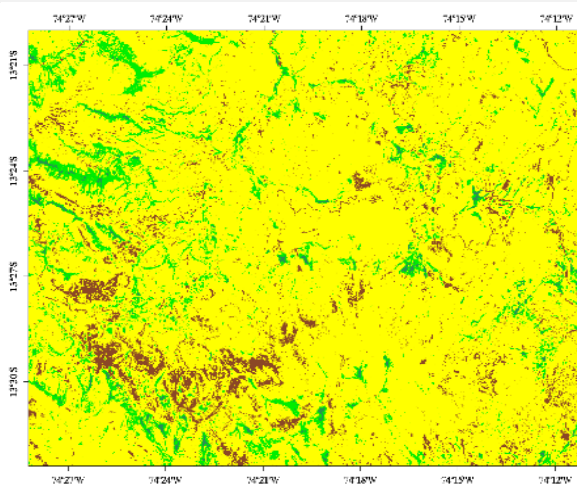
06/06/1997



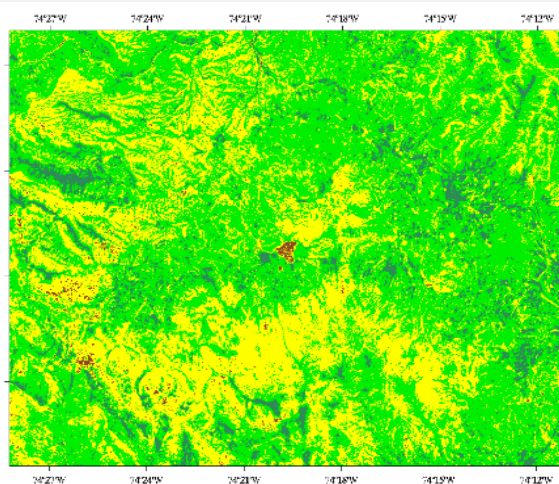
22/06/1997



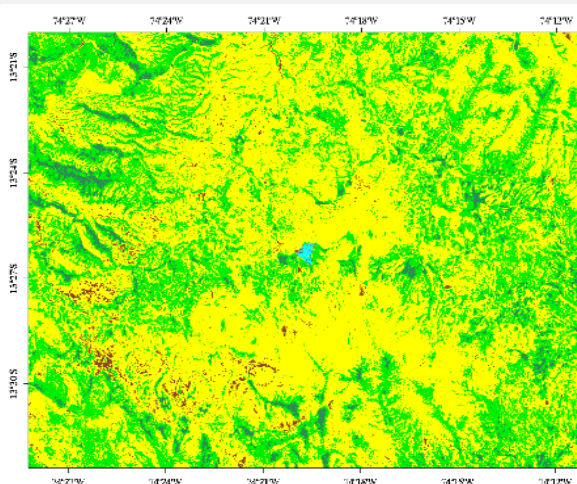
08/07/1997



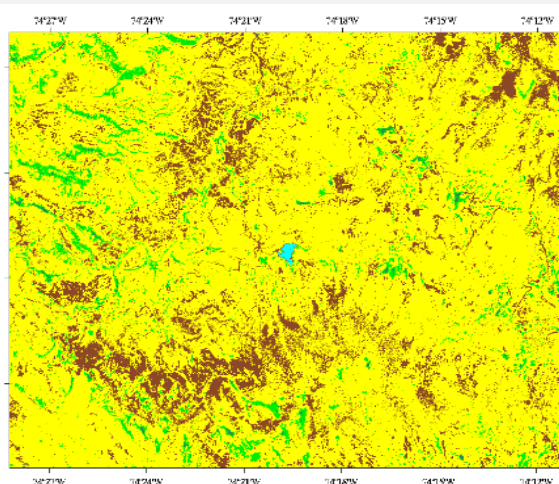
28/10/1997



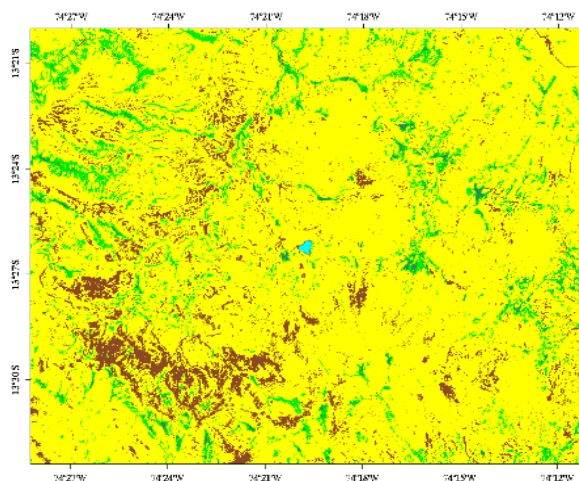
08/05/1998



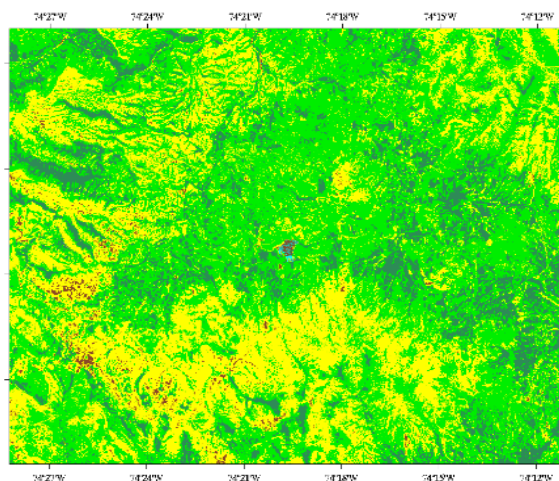
24/05/1998



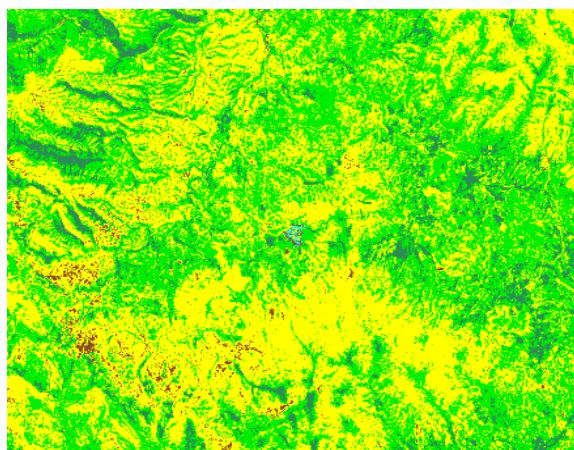
27/07/1998



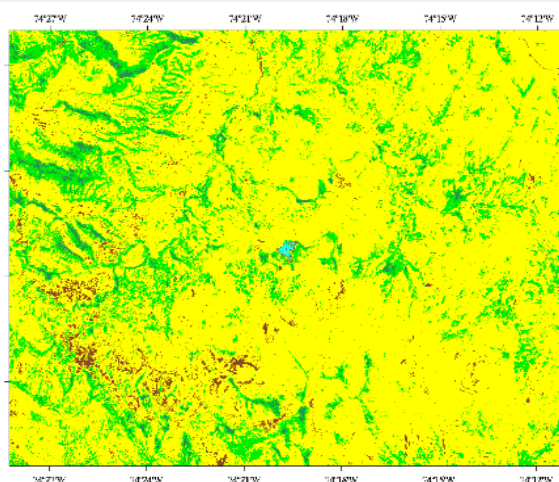
02/12/1998



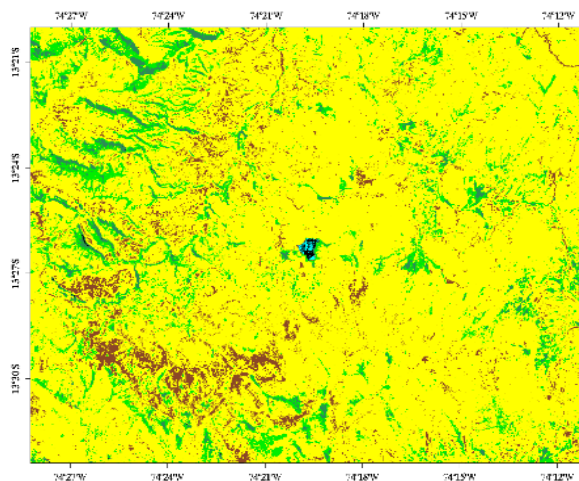
27/05/1999



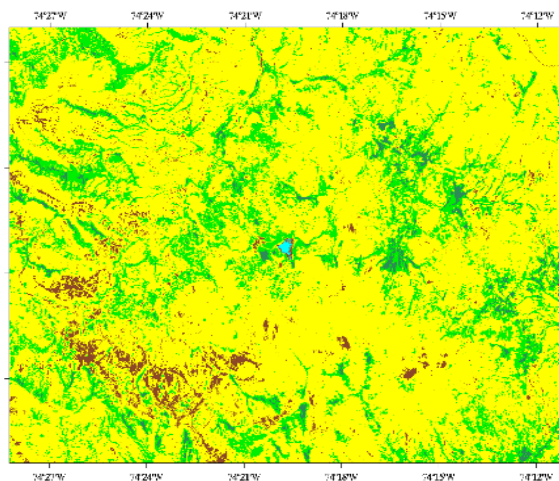
12/06/1999



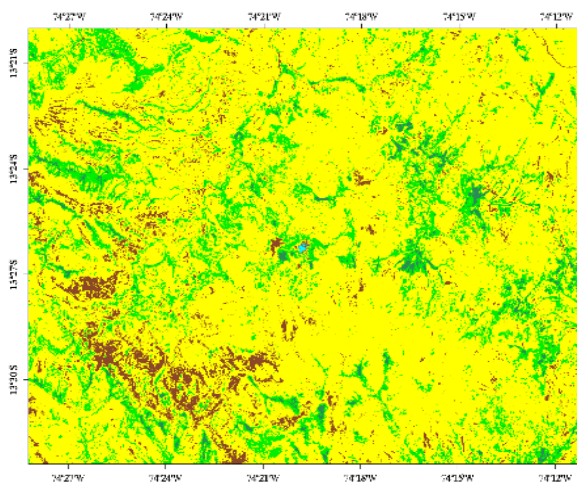
28/06/1999



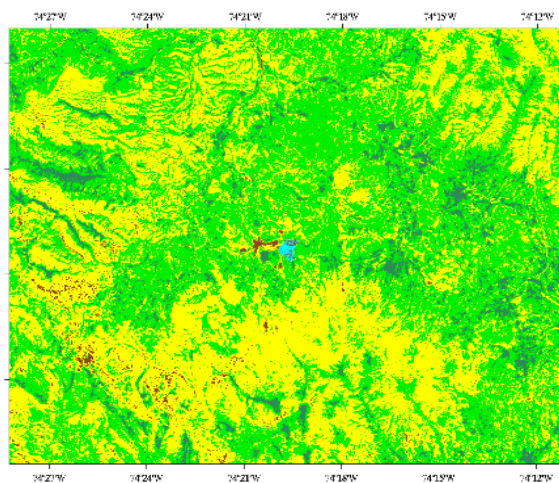
30/07/1999



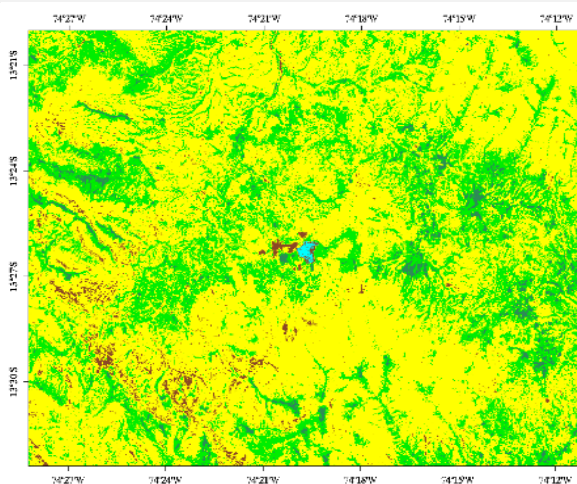
03/11/1999



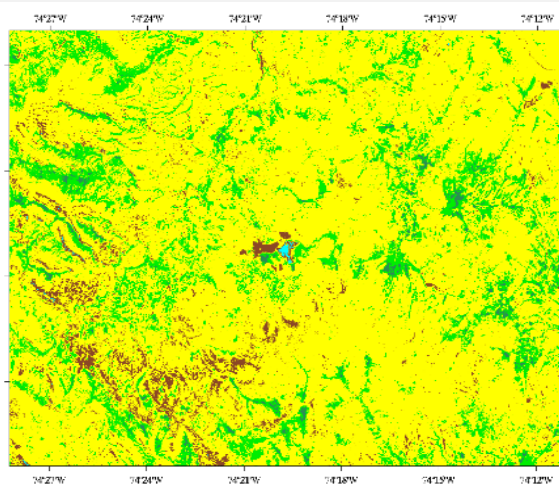
19/11/1999



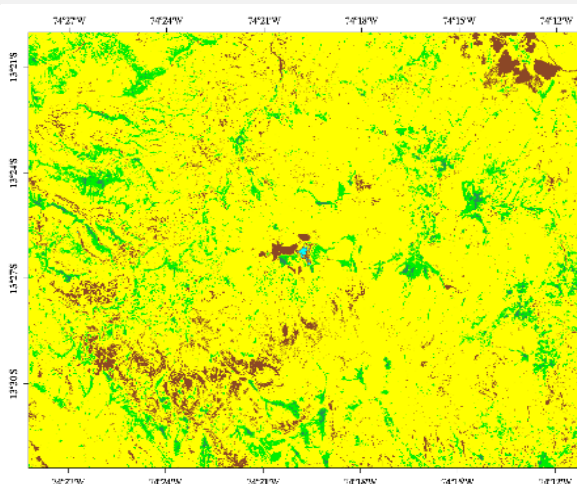
29/05/2000



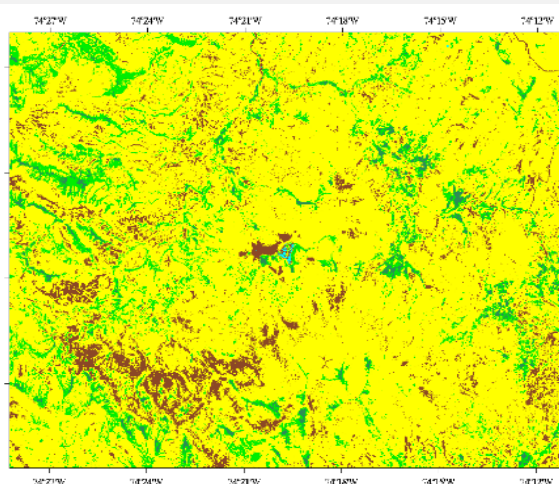
14/06/2000



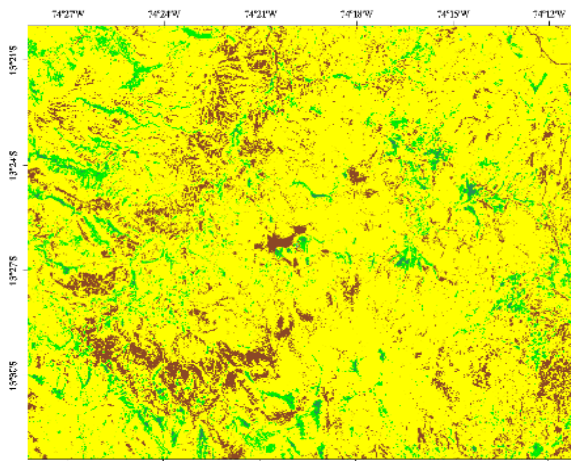
30/06/2000



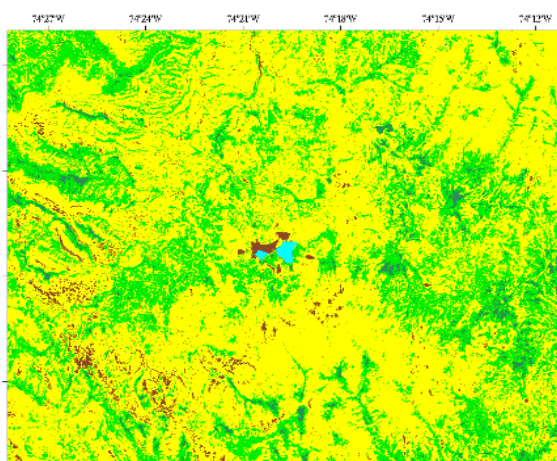
01/08/2000



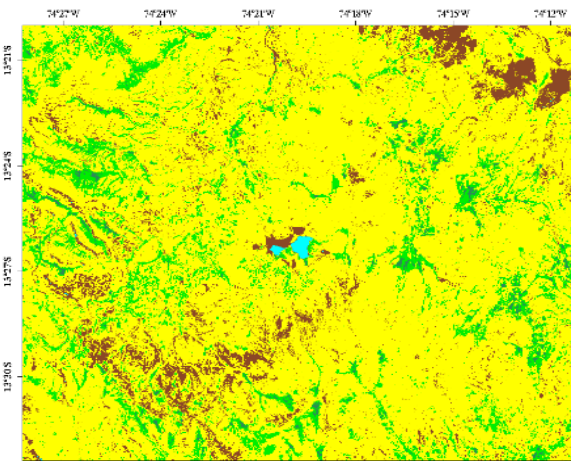
05/11/2000



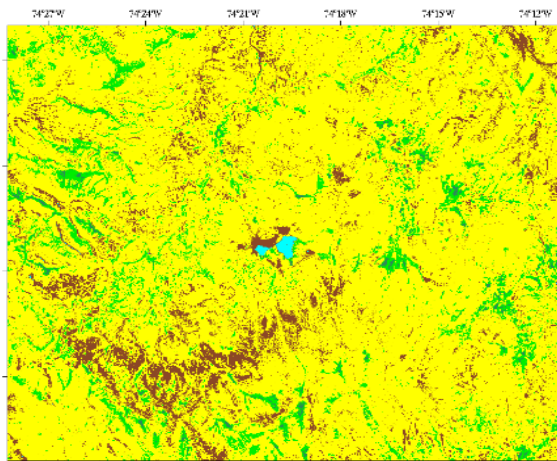
21/11/2000



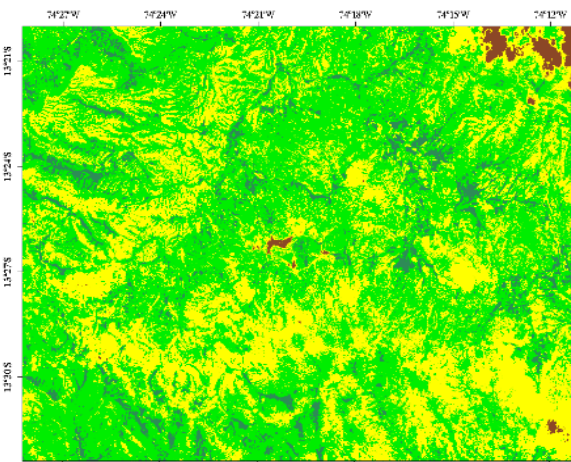
17/06/2001



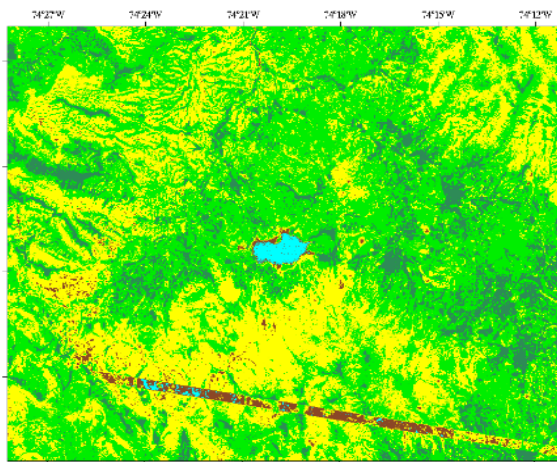
19/07/2001



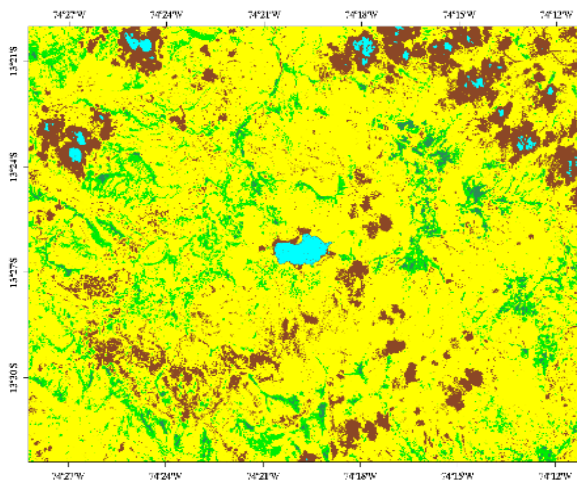
04/08/2001



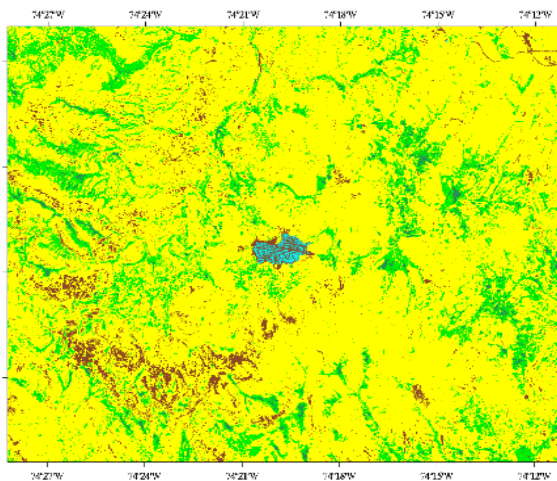
26/12/2001



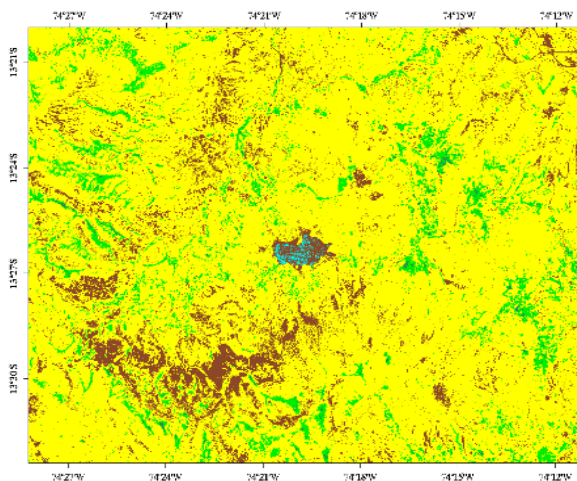
27/05/2002



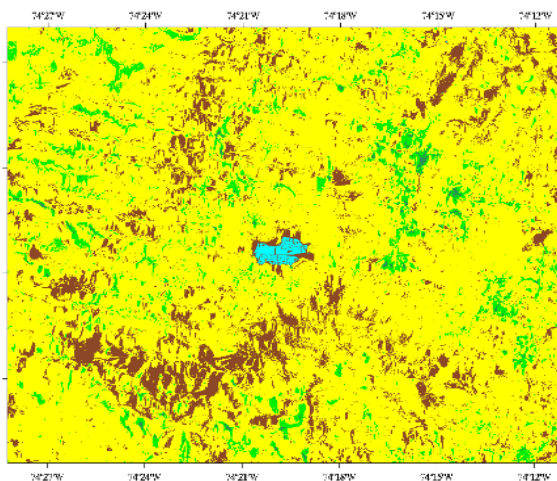
16/09/2002



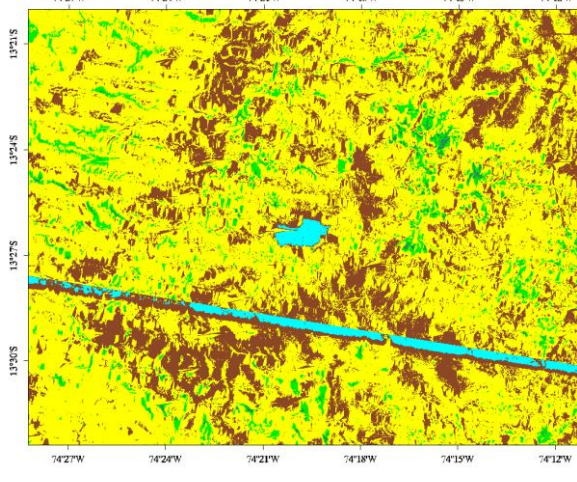
23/06/2003



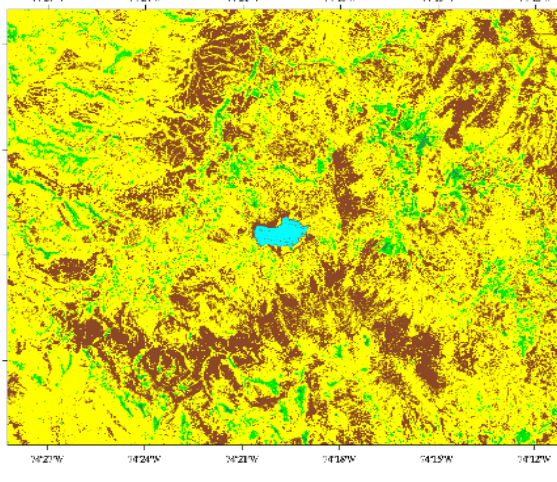
09/07/2003



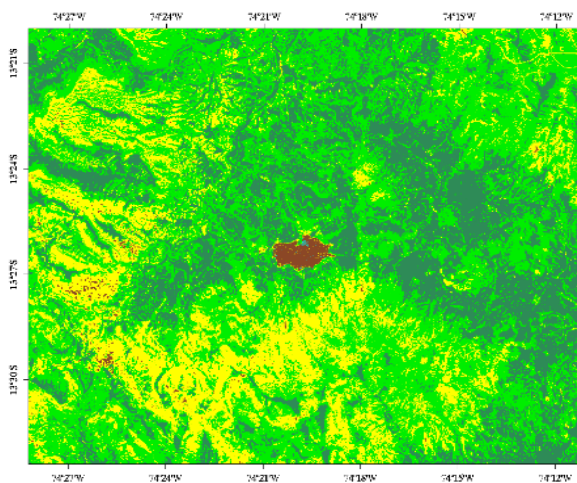
18/08/2003



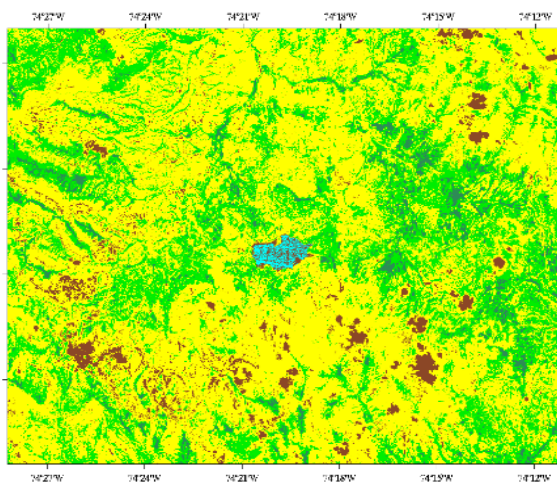
19/09/2003



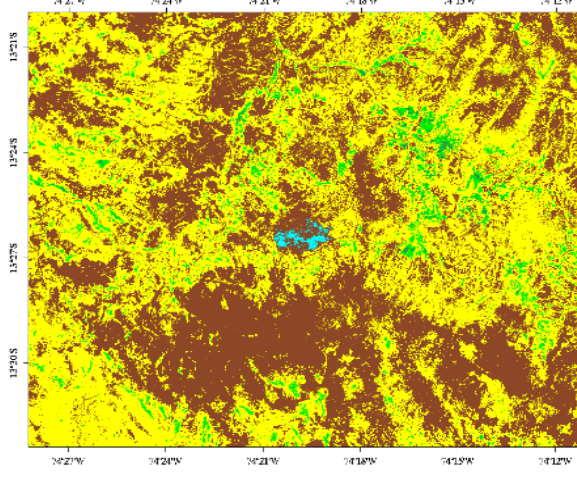
27/09/2003



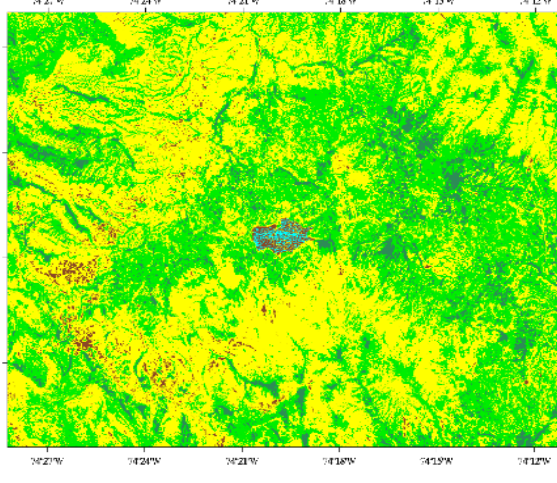
06/04/2004



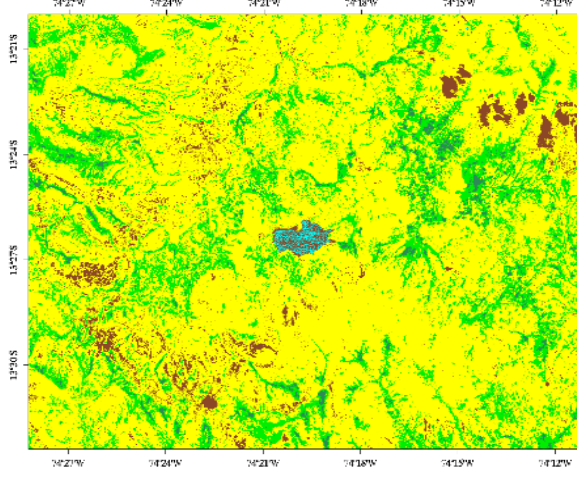
24/05/2004



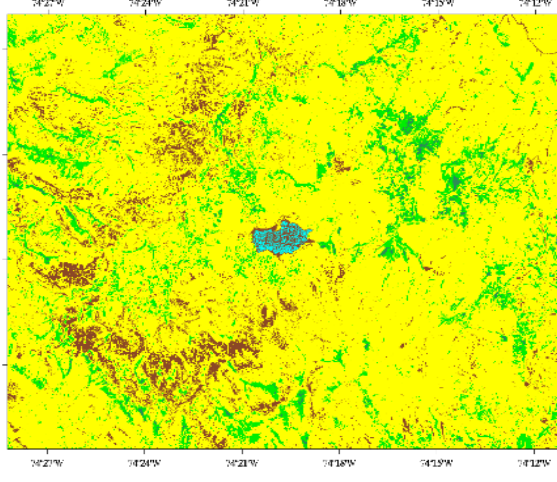
28/08/2004



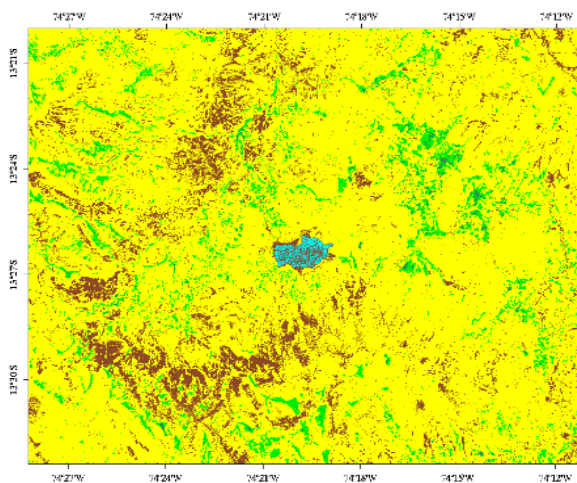
11/05/2005



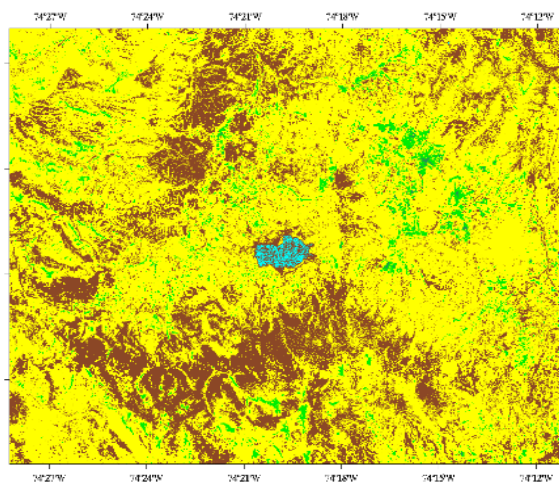
27/05/2005



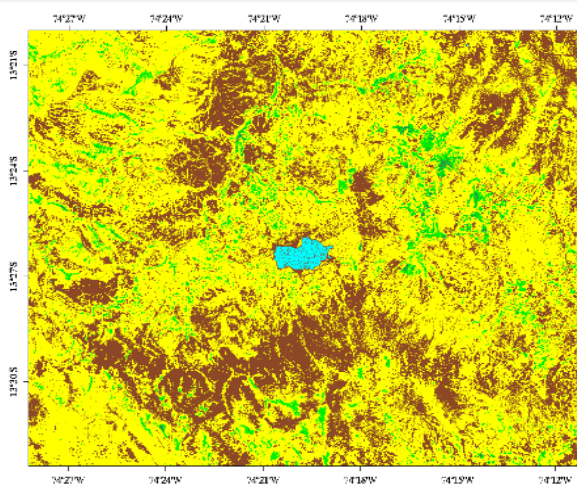
12/06/2005



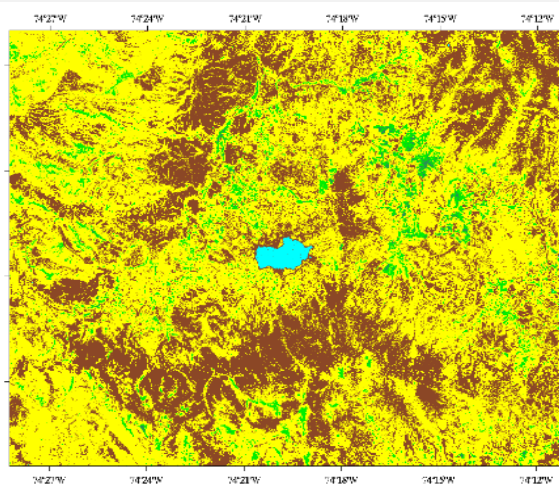
28/06/2005



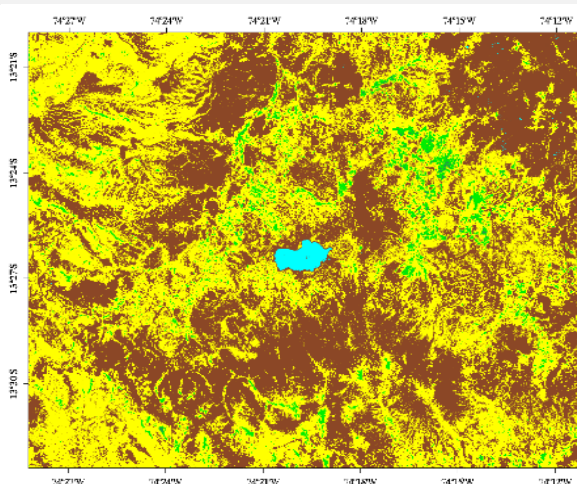
14/07/2005



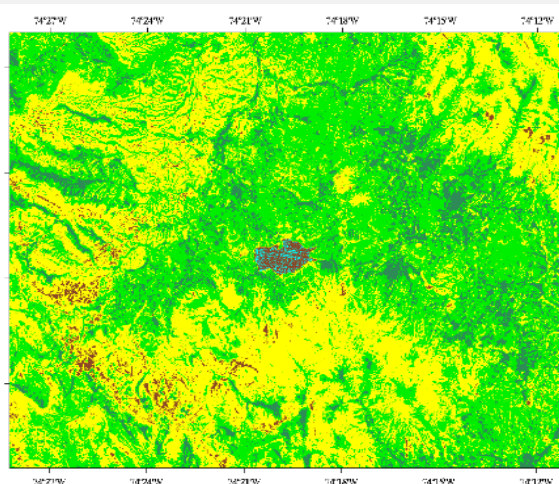
30/07/2005



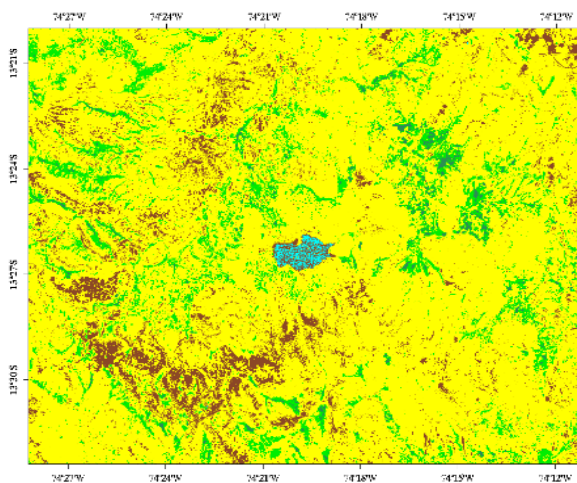
05/08/2005



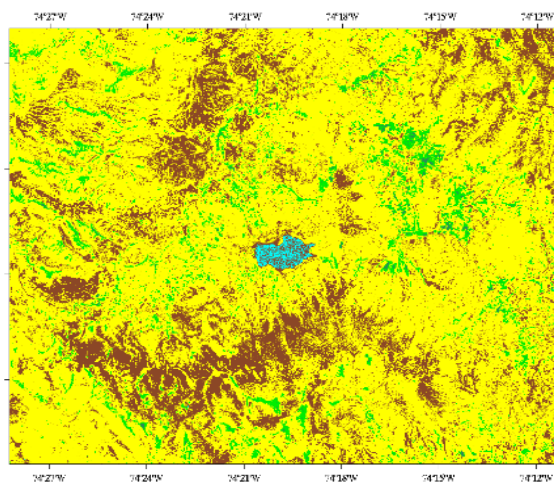
31/08/2005



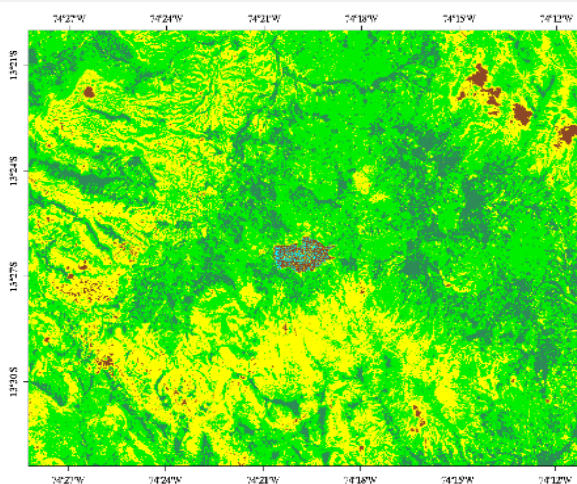
14/05/2006



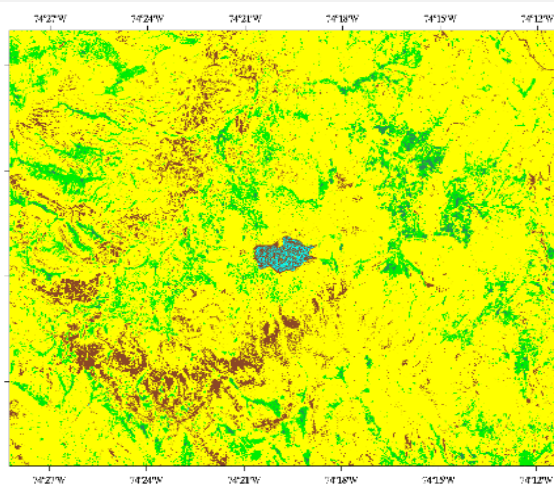
01/07/2006



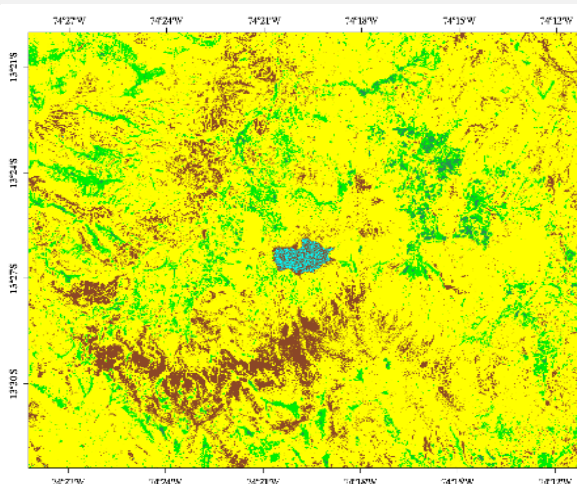
17/07/2006



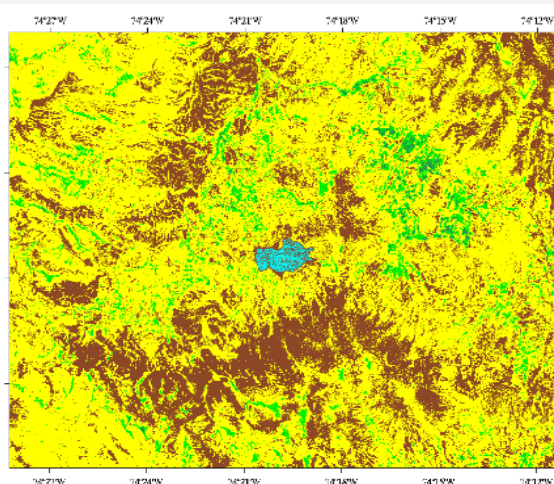
17/05/2007



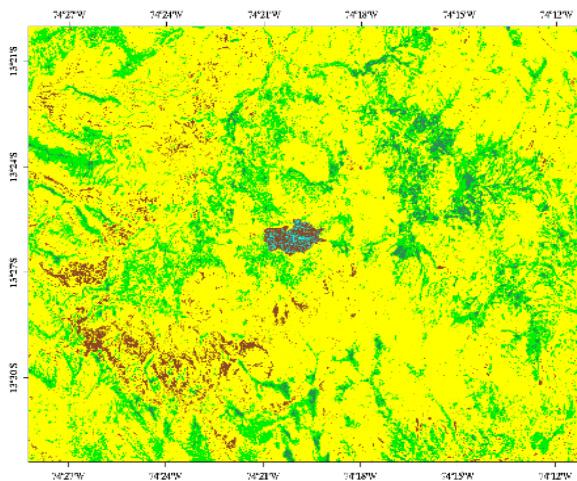
04/07/2007



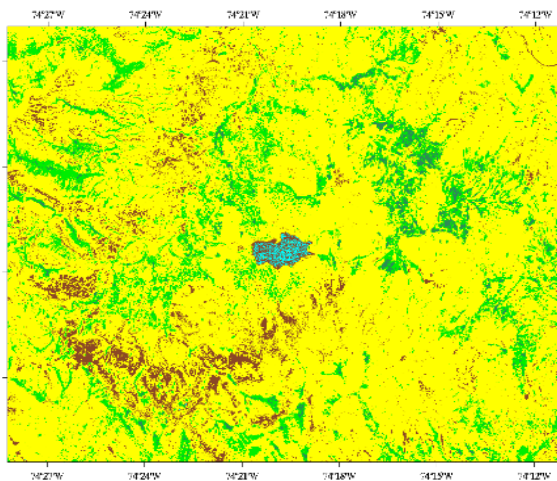
20/07/2007



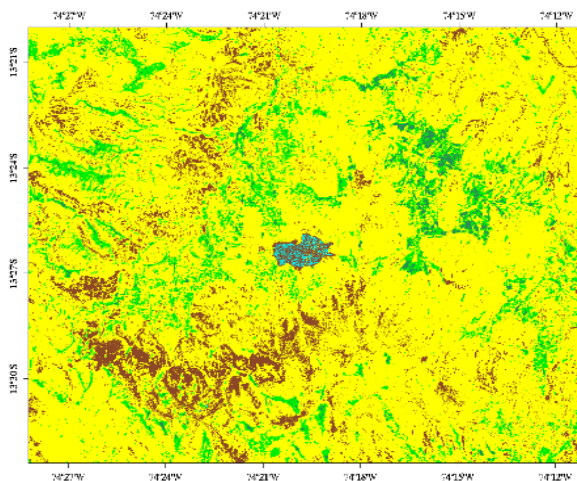
21/08/2007



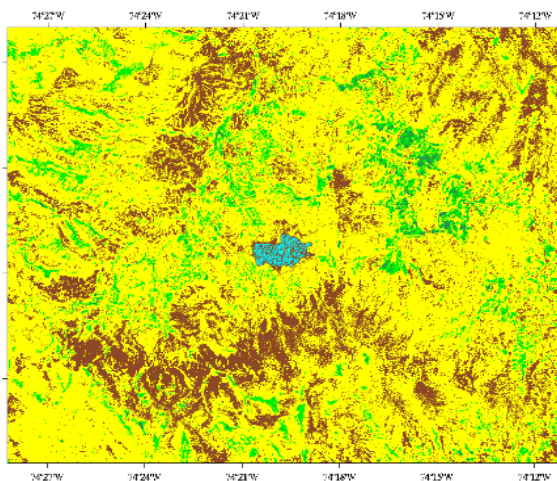
04/06/2008



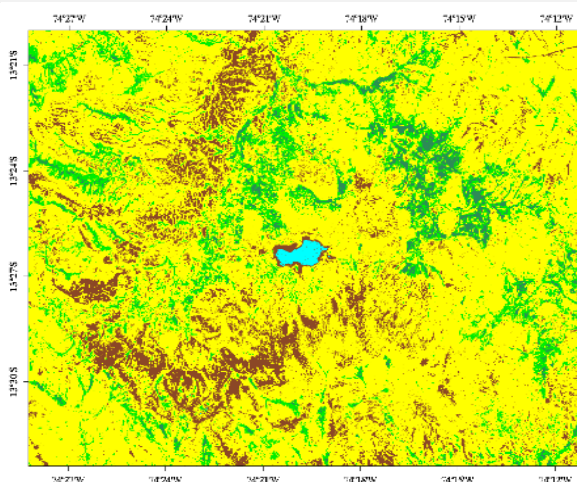
20/06/2008



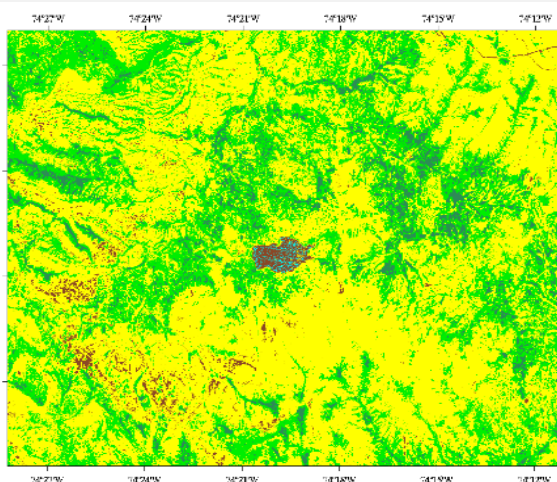
06/07/2008



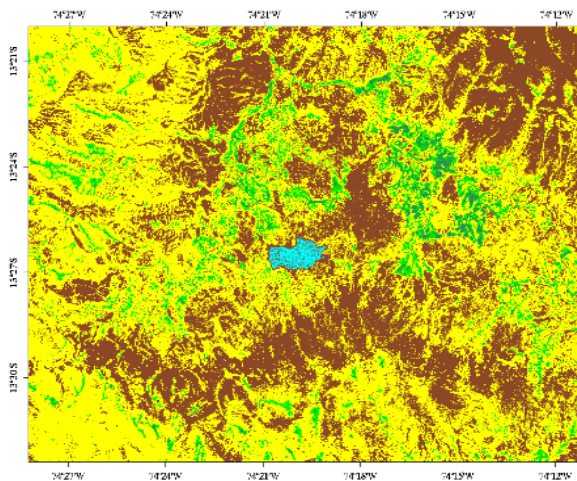
22/07/2008



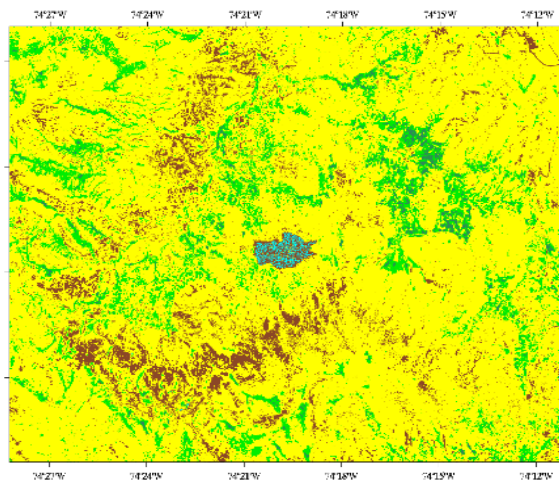
13/12/2008



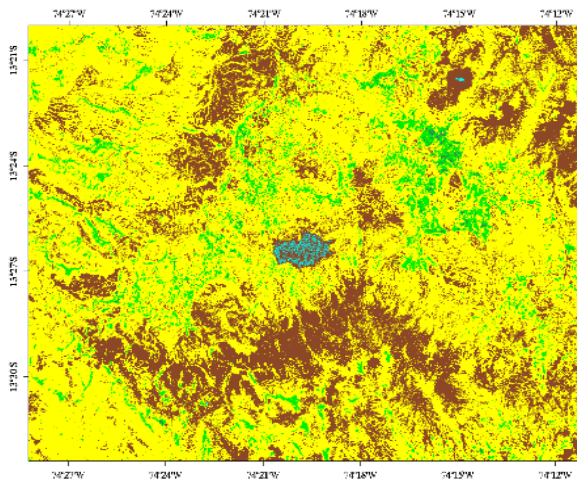
07/06/2009



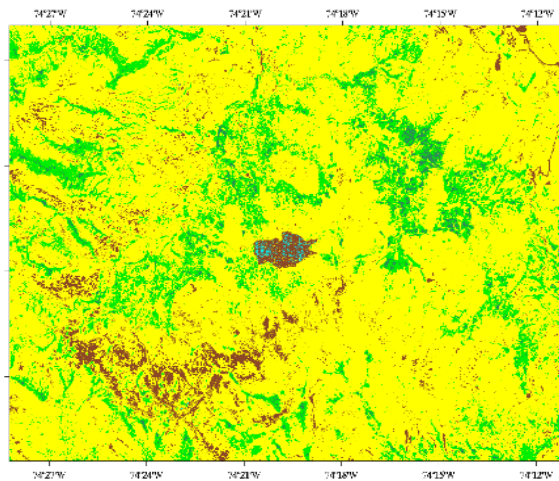
13/10/2009



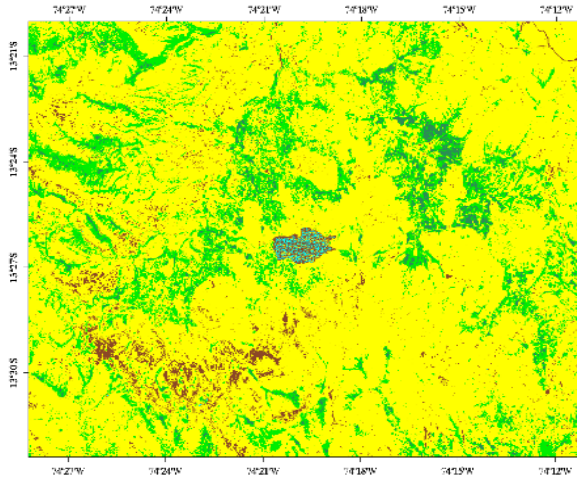
12/07/2010



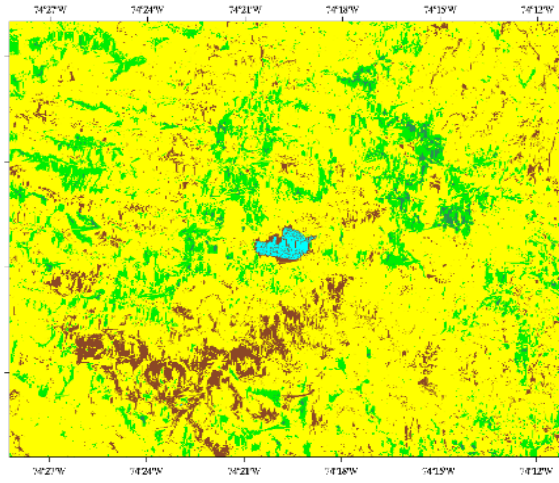
28/07/2010



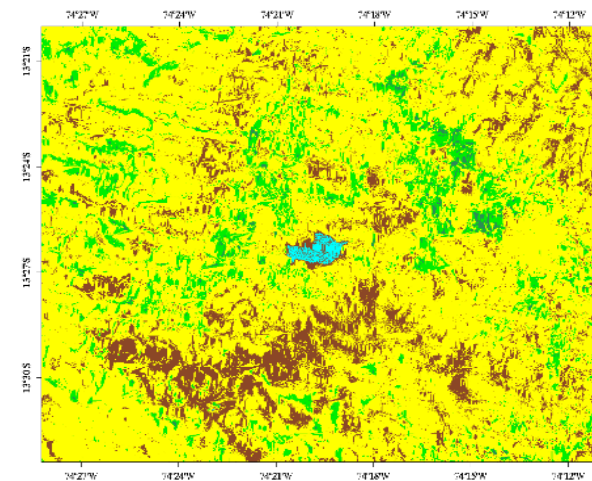
29/06/2011



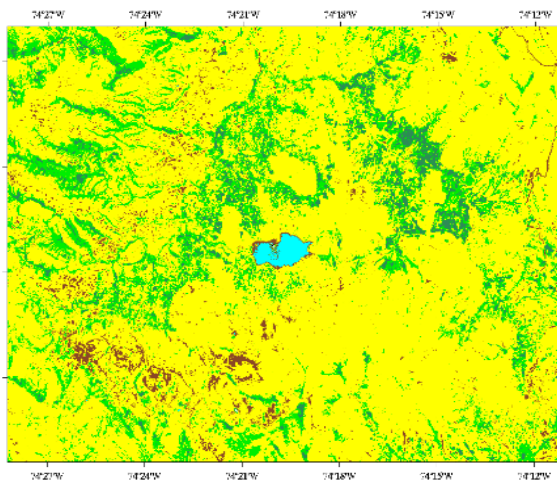
15/07/2011



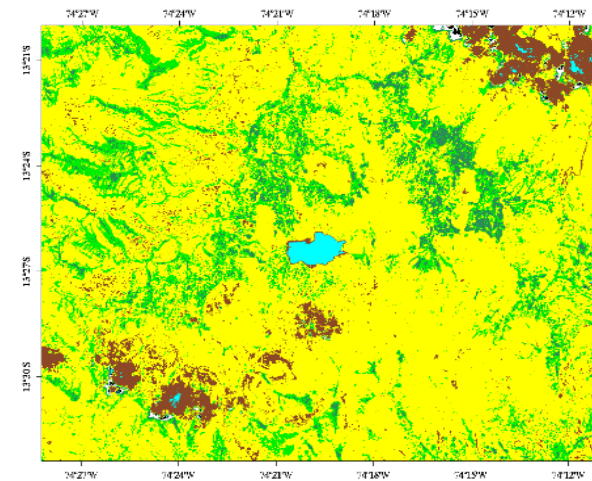
15/07/2012



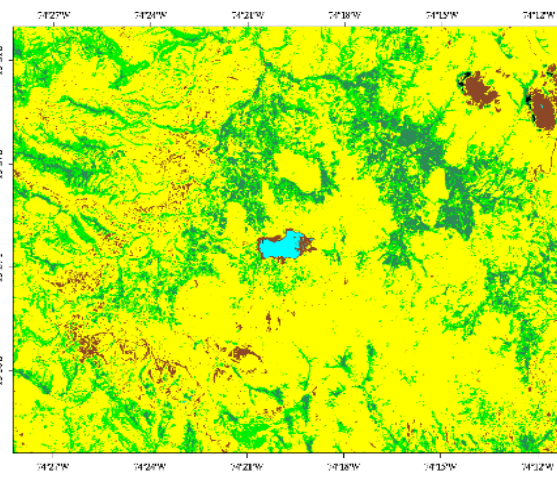
10/08/2012



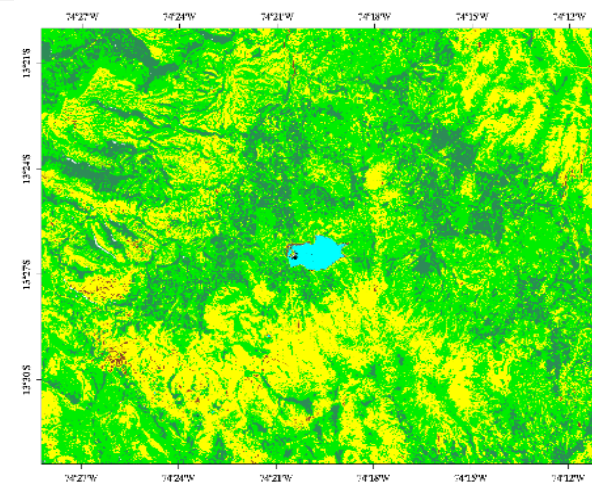
21/08/2013



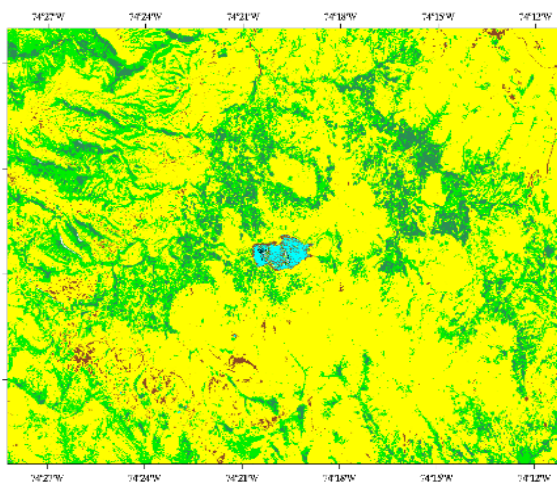
06/09/2013



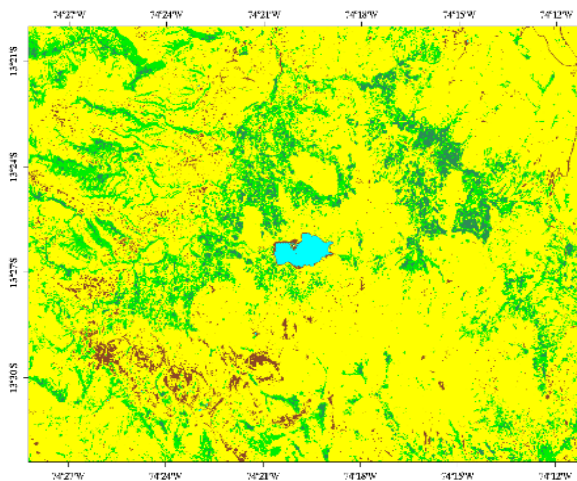
25/11/2013



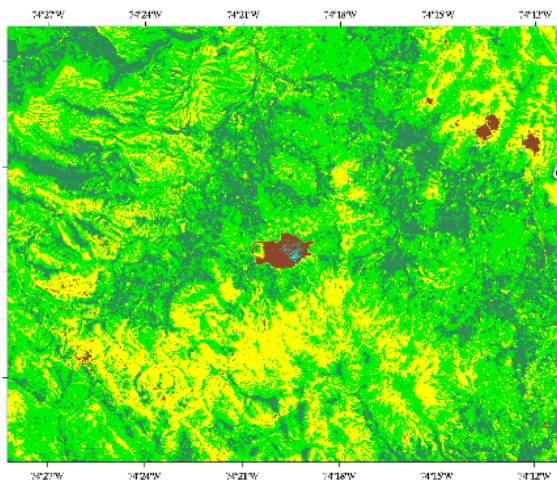
05/06/2014



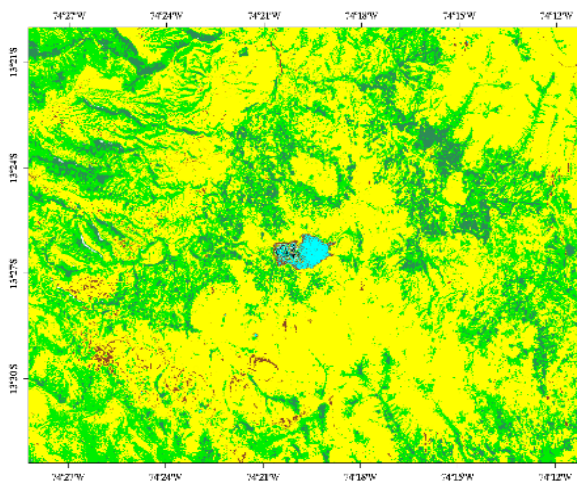
23/07/2014



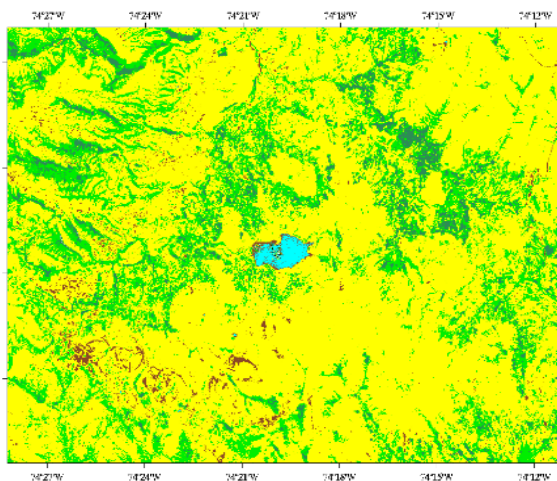
24/08/2014



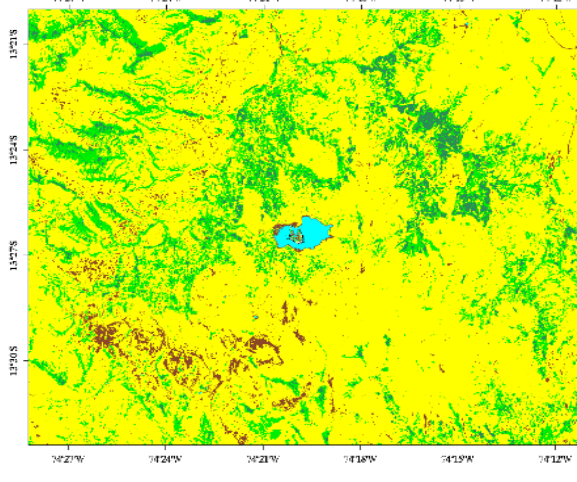
08/06/2015



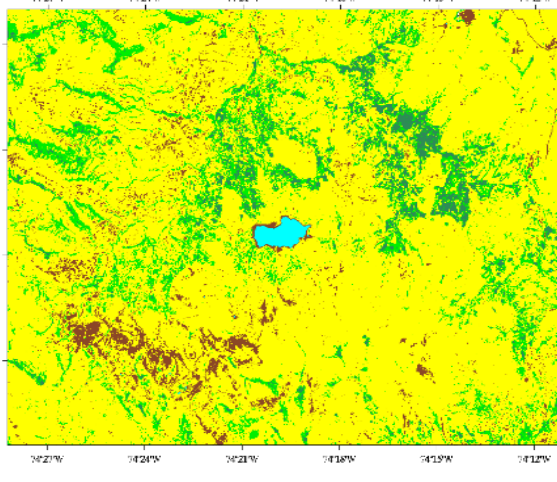
10/07/2015



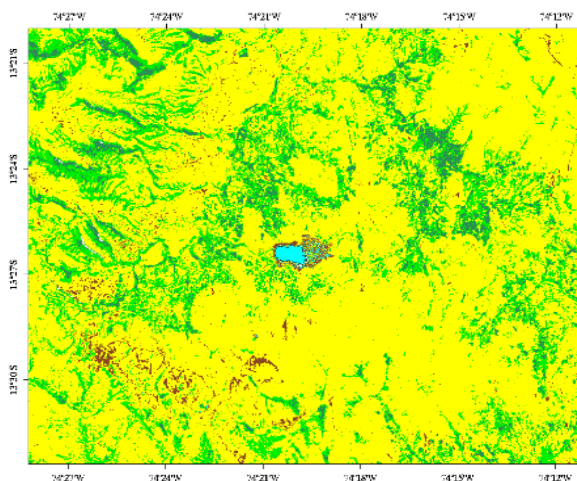
26/07/2015



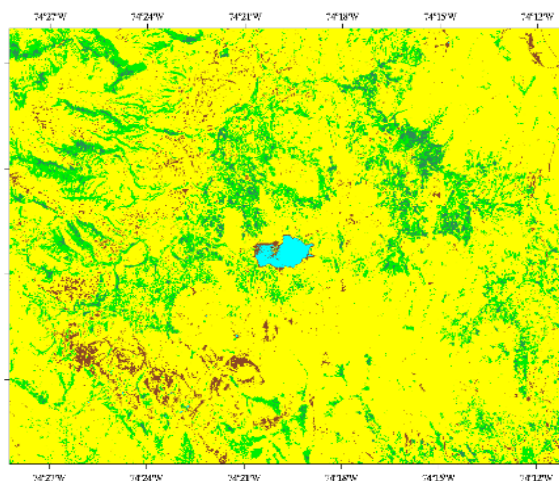
27/08/2015



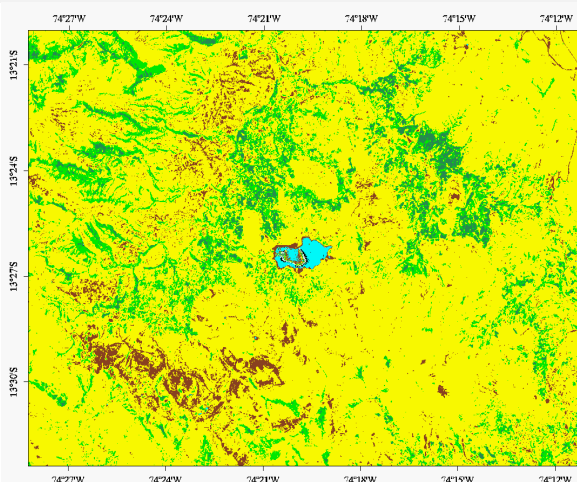
14/10/2015



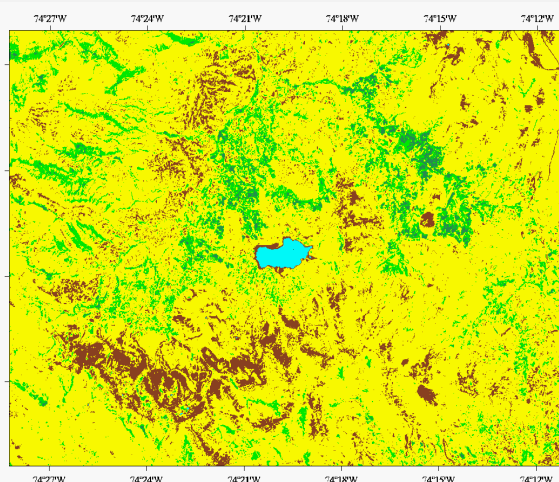
12/07/2016



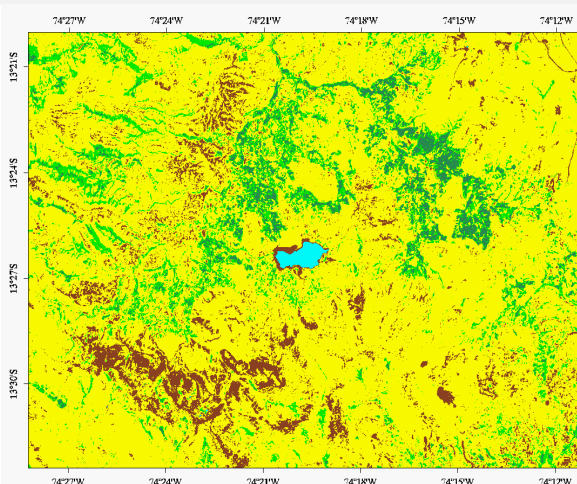
28/07/2016



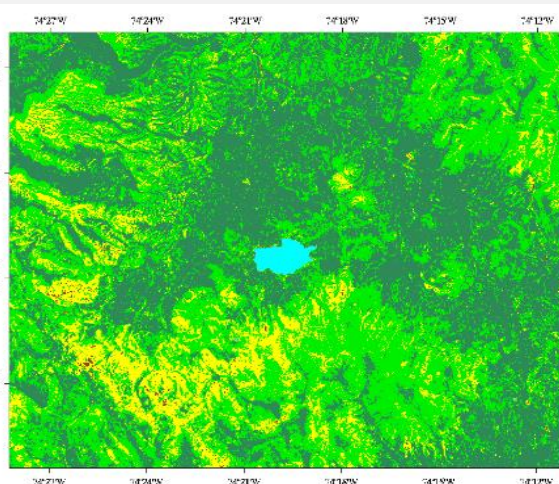
29/08/2016



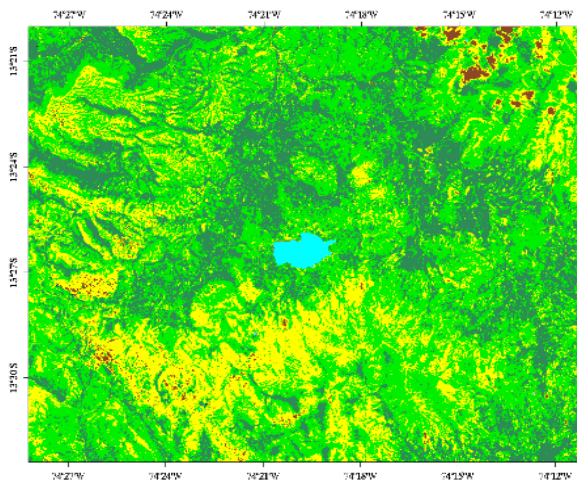
14/09/2016



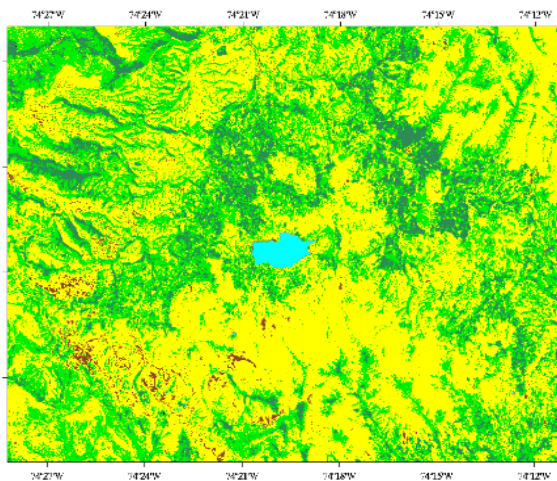
01/11/2016



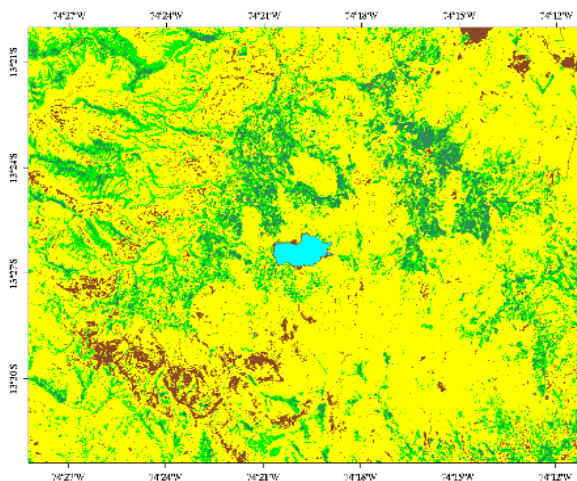
12/05/2017



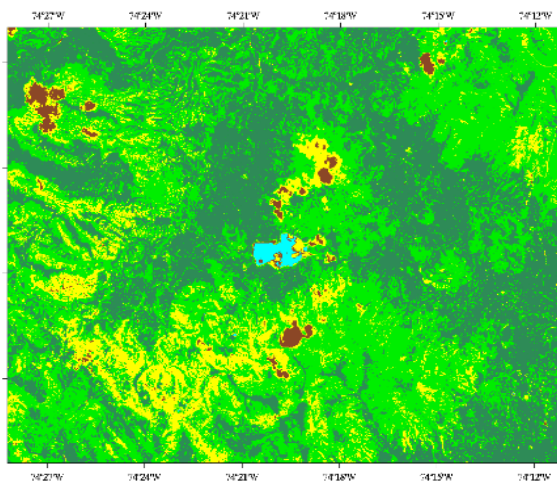
13/06/2017



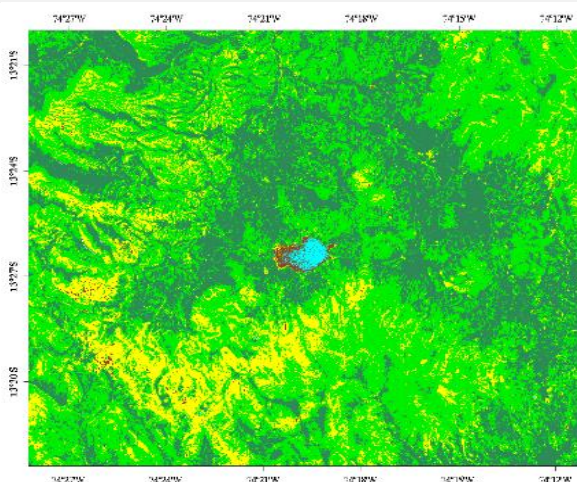
15/07/2017



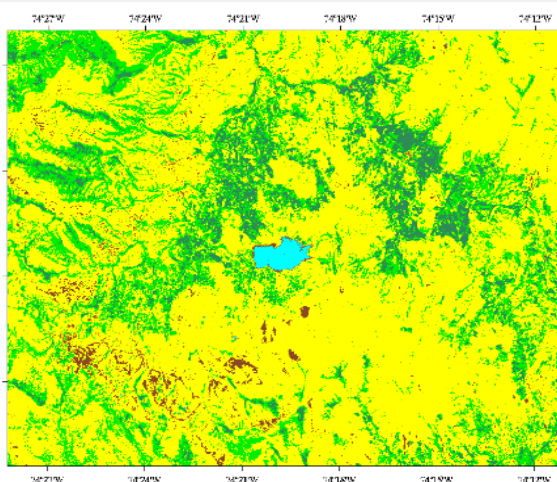
03/10/2017



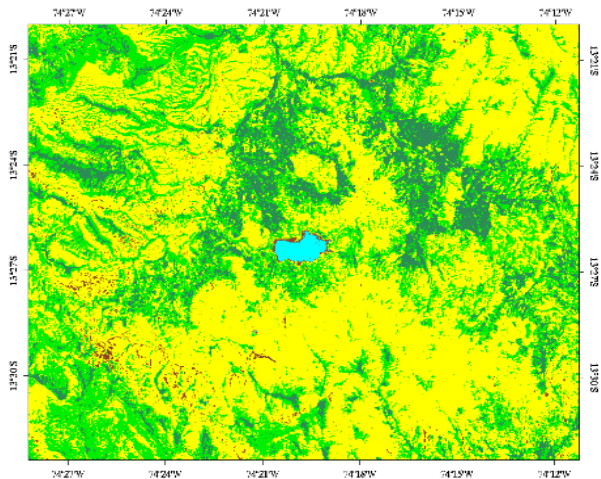
24/02/2018



15/05/2018



04/09/2018



23/11/2018

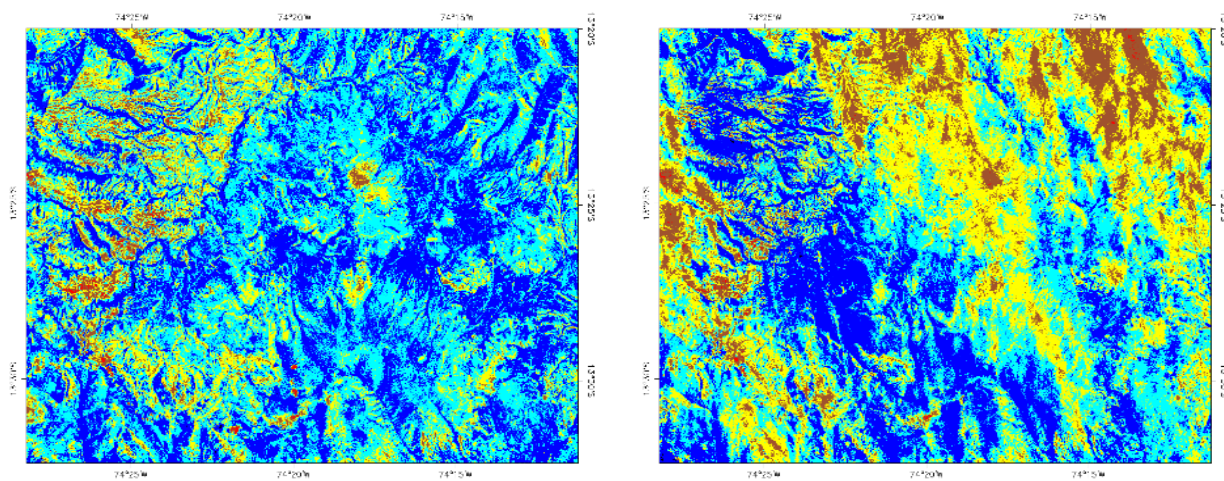


7.1.Variación de la cobertura de humedad del suelo, espacial y temporal

AÑO	Presencia de agua y/o sombra y/o nieve	Suelo desnudo seco	Húmeda baja	Humedad media	Humedad alta
1990	110.6325	3074.5575	12265.38	25580.1375	28647.8325
1991	231.441429	19874.4429	17237.1343	24095.9057	8416.13143
1992	394.695	3722.64	18469.53	27663.765	19652.07
1993	3509.46	29981.745	28599.12	7238.07	576.405
1994	159.93	20711.0925	29662.9875	4692.2175	14462.9775
1995	328.176	18052.002	31247.046	6480.522	13745.088
1996	71.82	2373.66	12089.16	35172.36	20158.83
1997	328.455	27386.4825	36825.1425	4935.915	428.6475
1998	1175.265	35709.48	26518.41	6266.4525	235.17
1999	307.995	19420.365	35958.795	12705.945	1506.09
2000	849.3	35727.99	29290.575	3994.32	42.615
2001	1206.5625	28773.6975	34331.985	5452.56	139.995
2002	4784.895	27573.12	26491.95	10696.59	358.245
2003	1050.372	42625.458	24245.406	1978.29	5.274
2004	4253.19	27939.57	25523.97	11709.36	478.71
2005	2072.41875	41937.93	22831.8525	3031.81875	30.78
2006	1138.29	30761.88	30614.64	7285.74	104.22
2007	1070.7525	33030.8775	27902.745	7660.89	239.535
2008	869.868	35660.376	29215.836	4110.354	48.366
2009	1081.17	37527.57	25499.07	5729.355	67.635
2010	1414.35	38276.865	27406.215	2792.745	14.625
2011	847.17	29711.745	34547.895	4772.52	25.47
2012	610.065	35463.825	30535.785	3291.435	3.645
2013	1090.71	13107.51	41394	11191.02	2493.21
2014	653.52	13596.18	37343.1	15474	2812.53
2015	473.508	10787.472	32365.962	20902.068	4984.794
2016	622.584	26005.302	29910.816	11152.296	1965.69
2017	837.0225	12098.7675	27797.985	22147.38	7020.0225
2018	281.295	2640.1725	24098.0625	26009.595	16222.9275

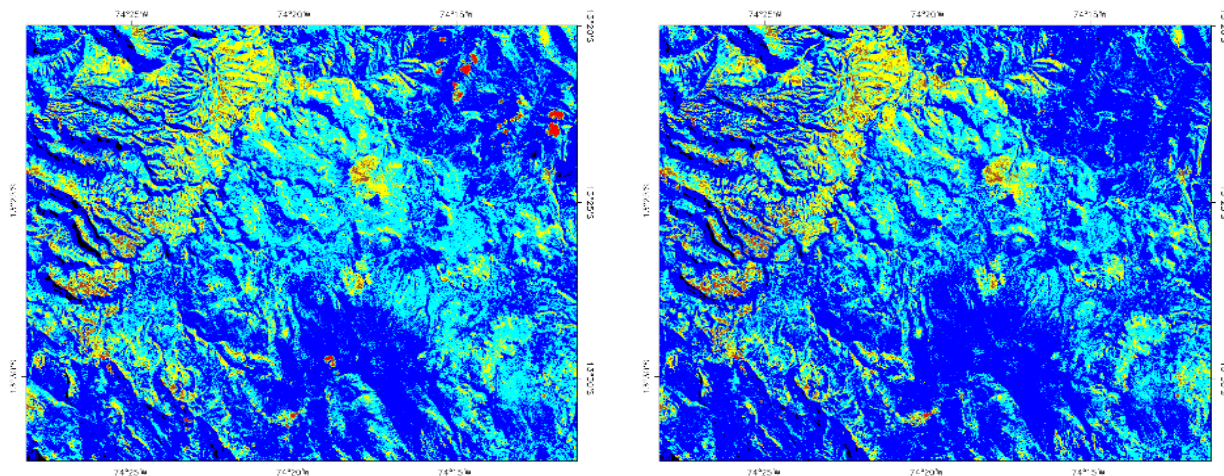
Tabla 13.Datos de NDWI

Tabla 14. Mapas de NDWI, periodo 1990-2018



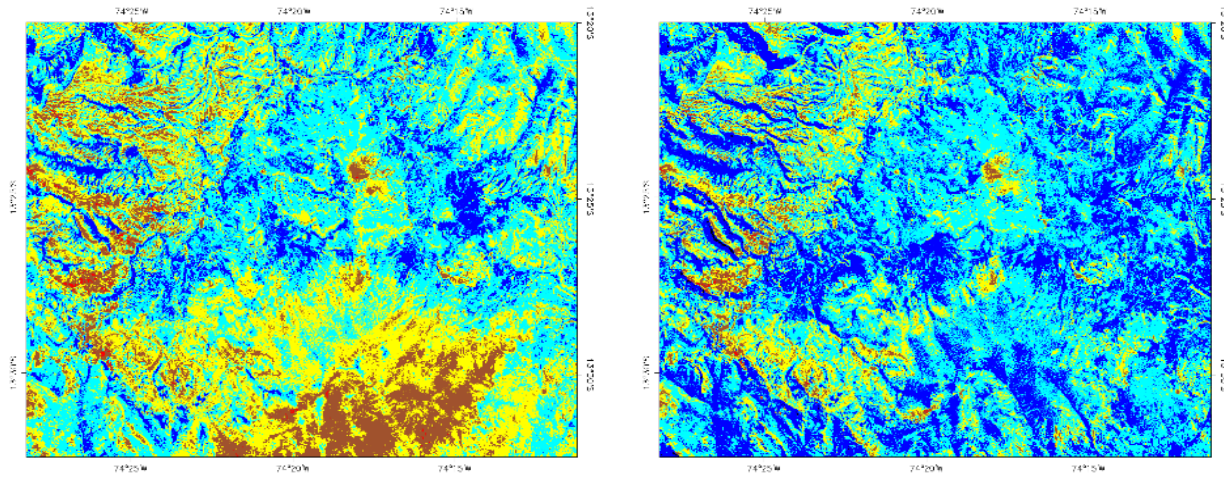
11/02/1990

02/05/1990



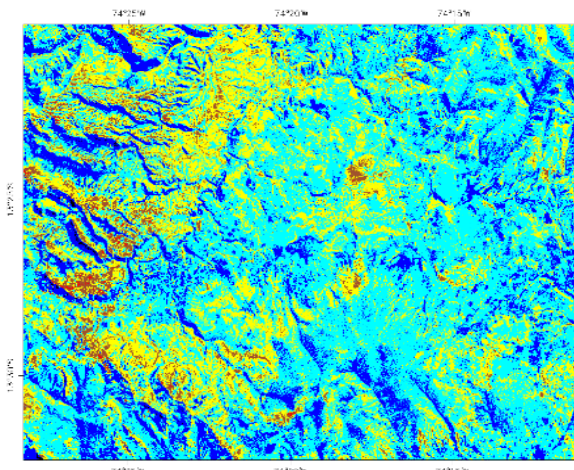
19/06/1990

06/08/1990

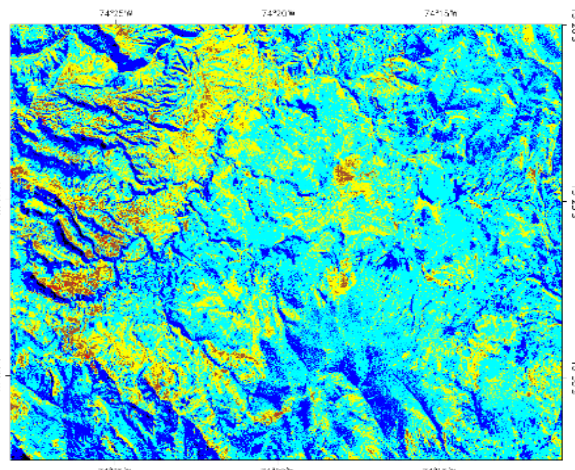


13/01/1990

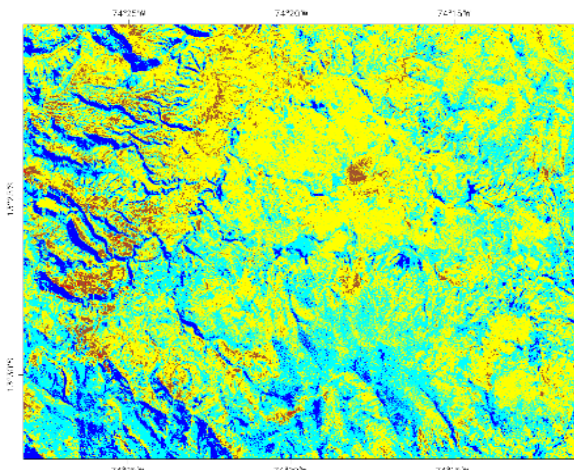
21/05/1991



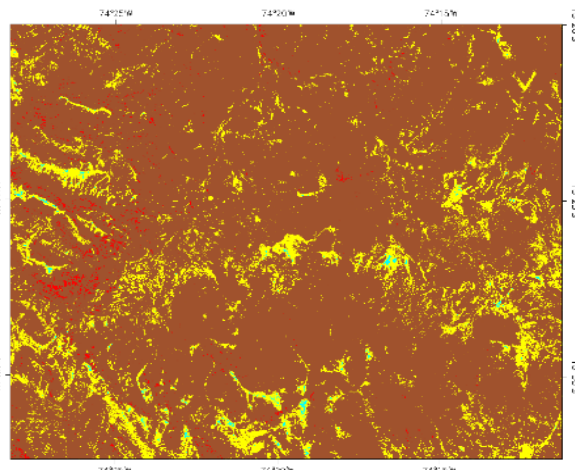
06/06/1991



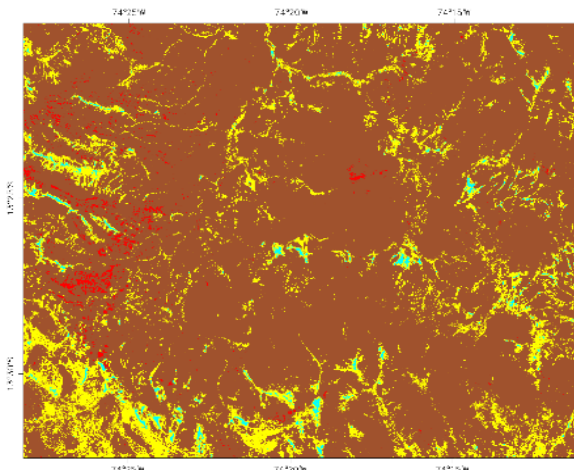
22/06/1991



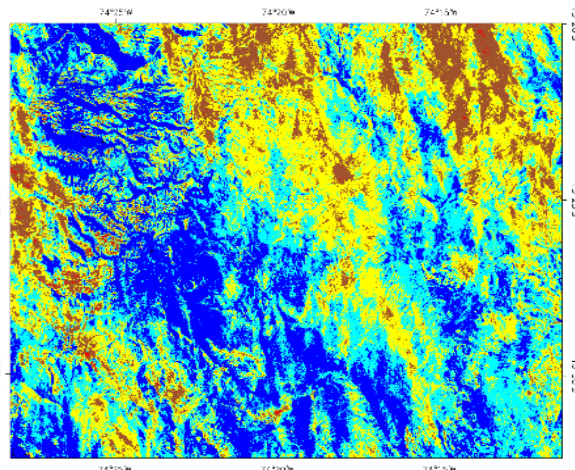
08/07/1991



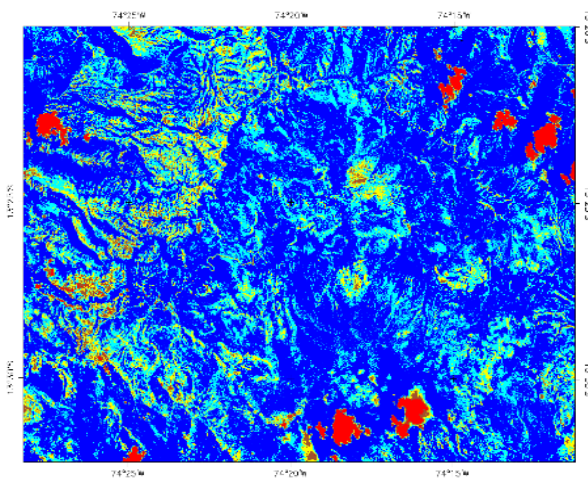
24/07/1991



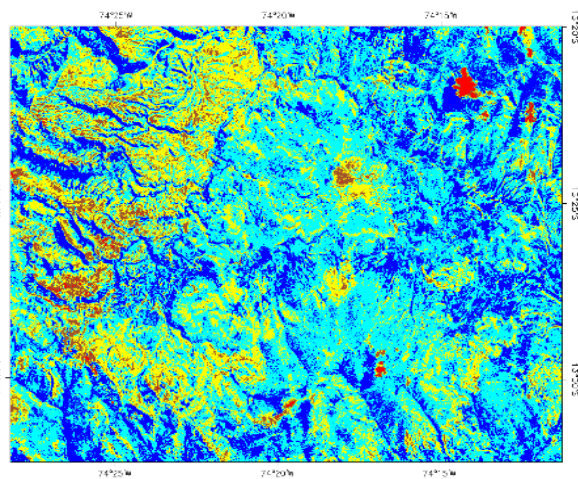
15/12/1991



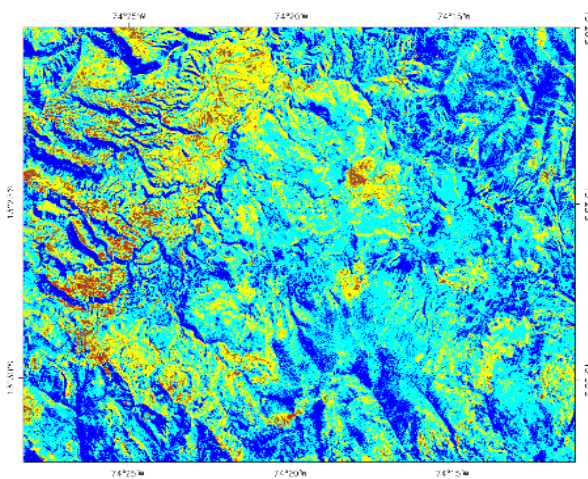
01/02/1992



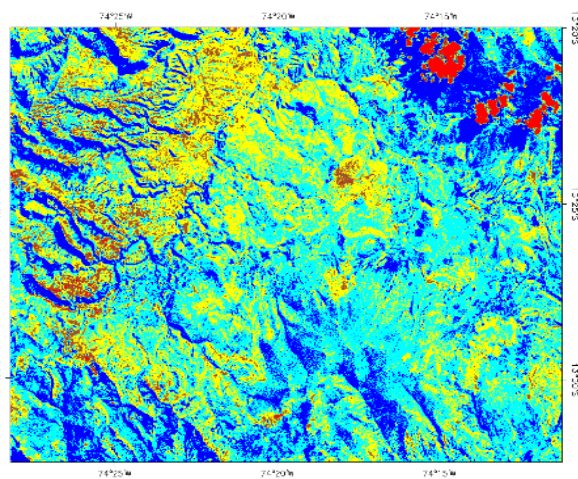
20/03/1992



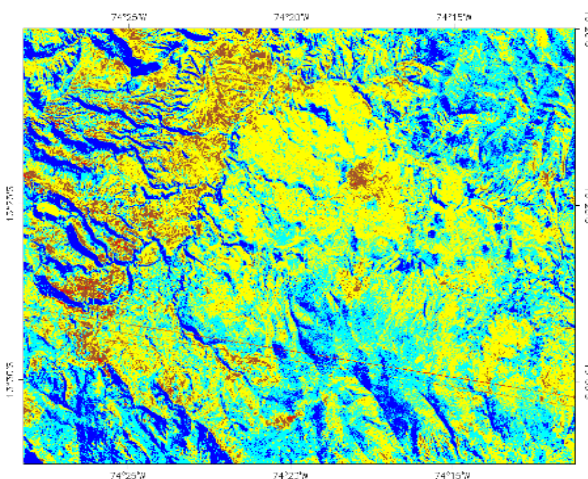
21/04/1992



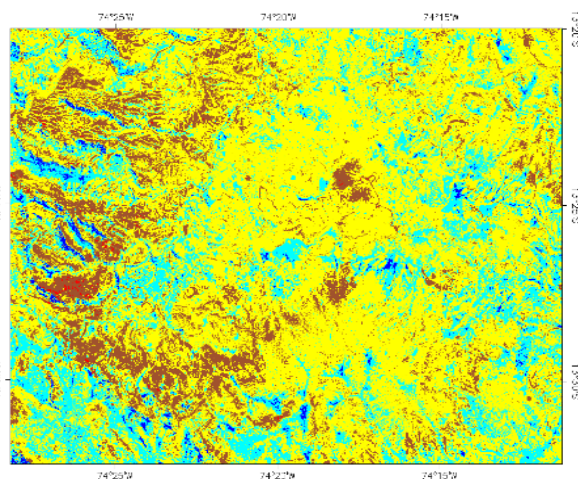
07/05/1992



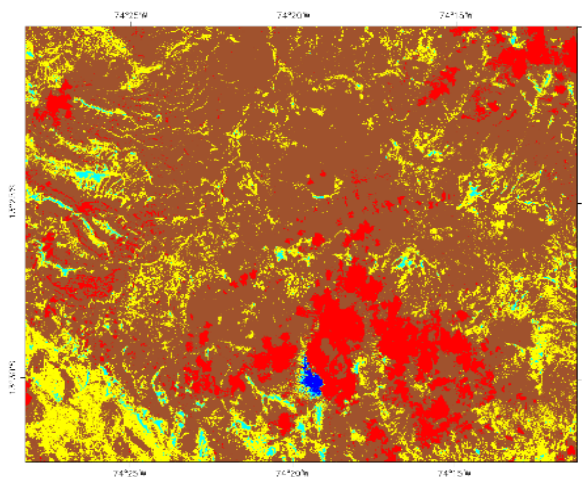
23/05/1992



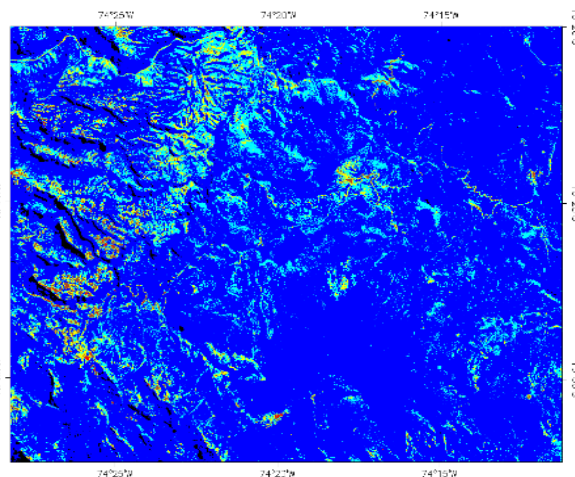
10/07/1992



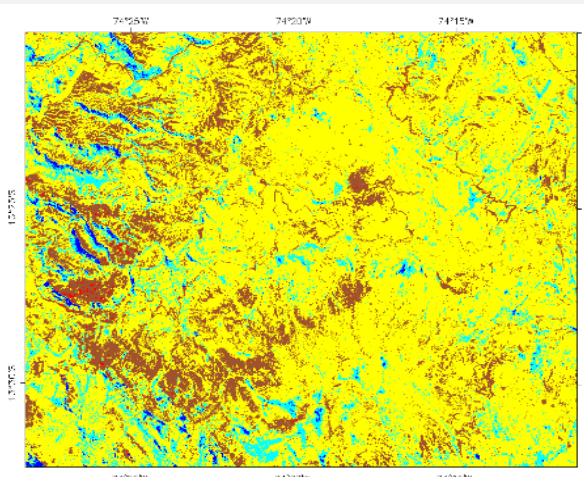
27/06/1993



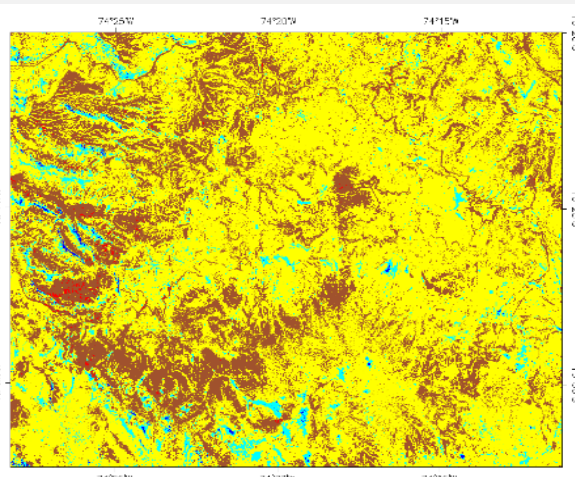
30/08/1993



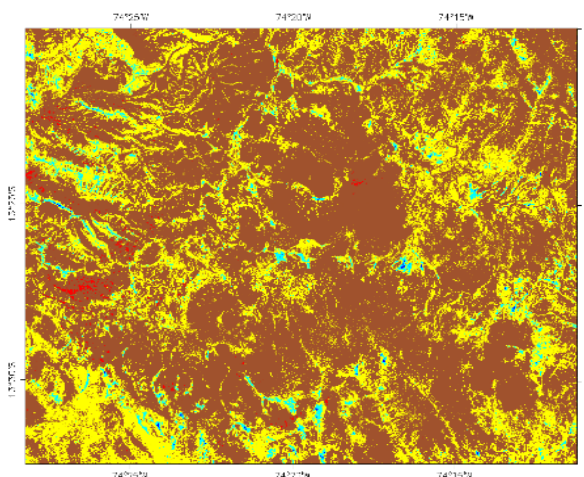
30/06/1994



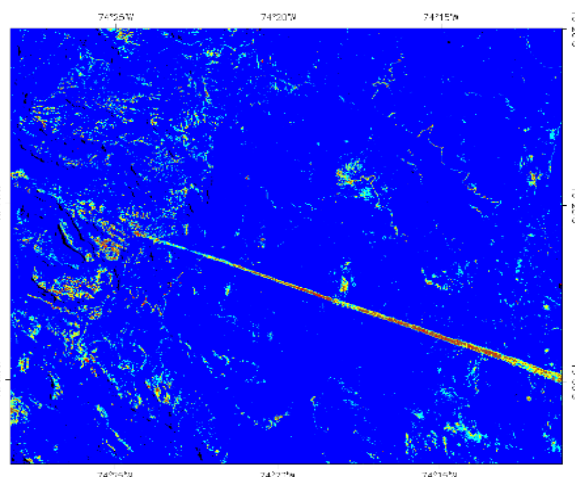
16/07/1994



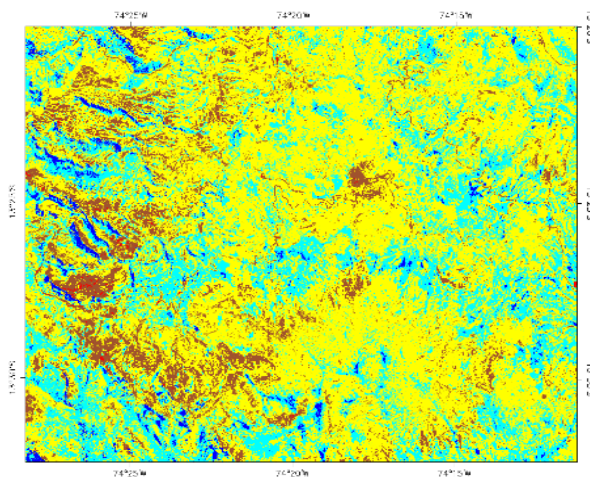
01/08/1994



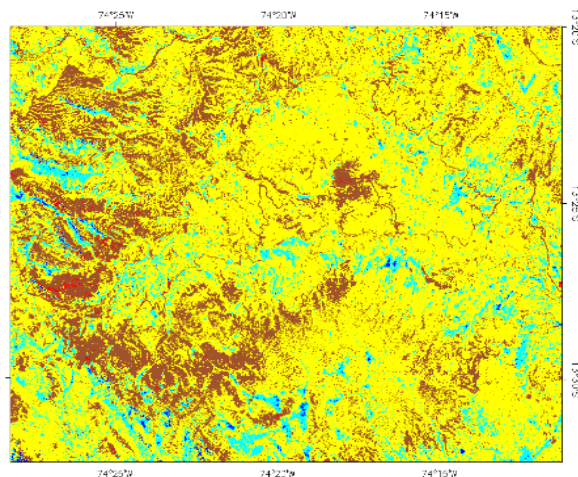
05/11/1994



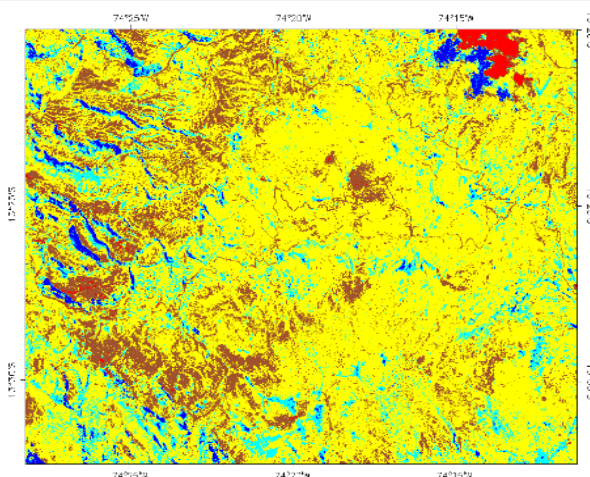
14/04/1995



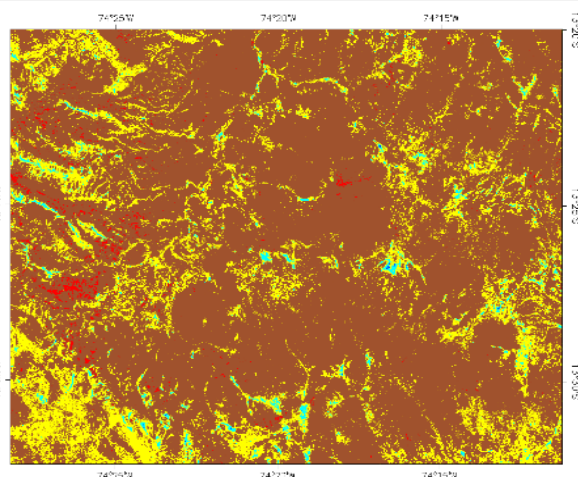
01/06/1995



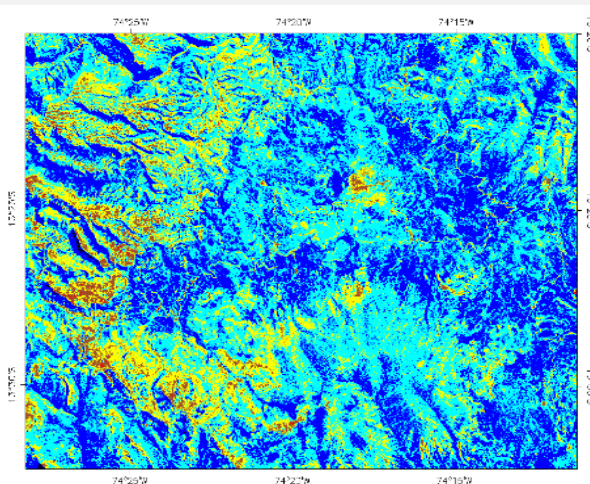
17/06/1995



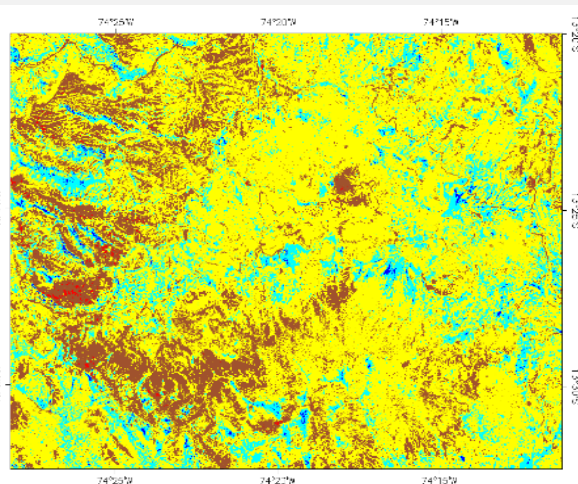
19/07/1995



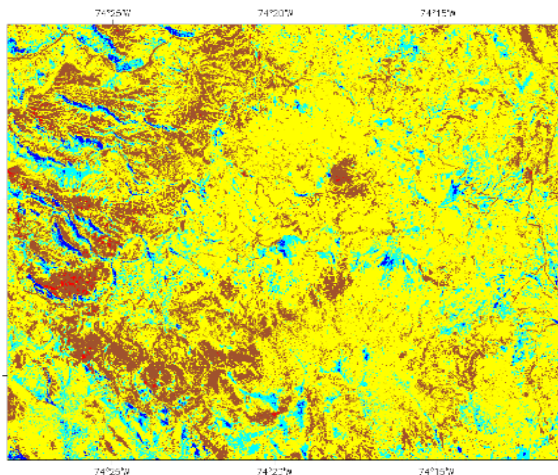
07/10/1995



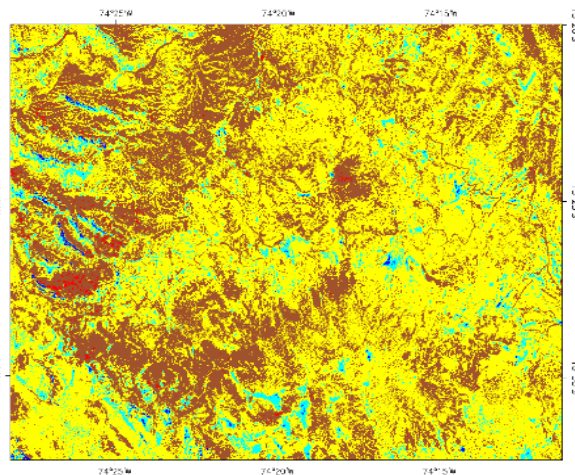
18/05/1996



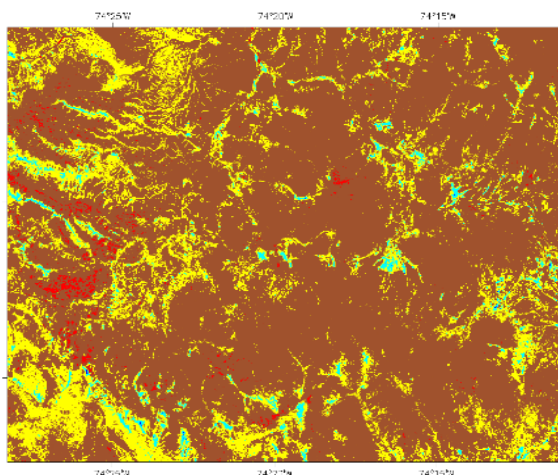
06/06/1997



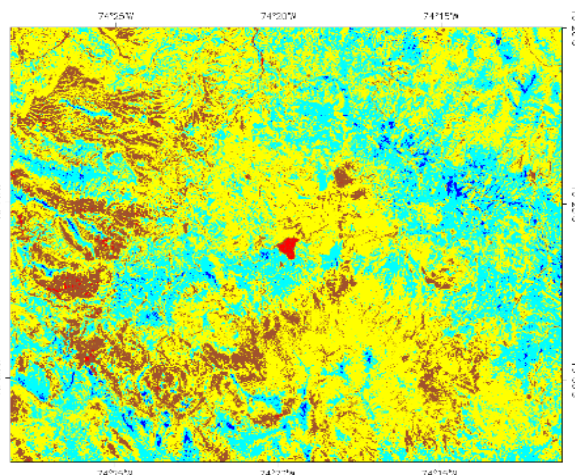
22/06/1997



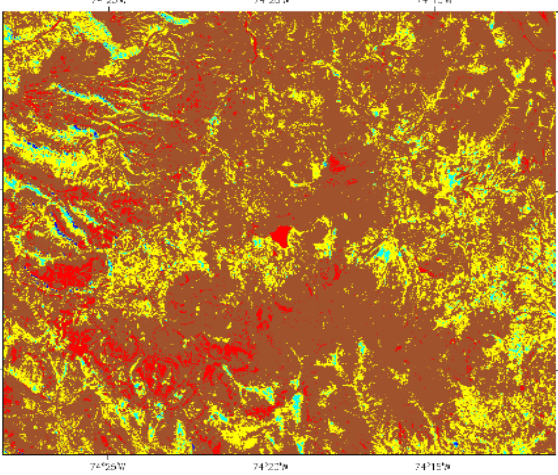
08/07/1997



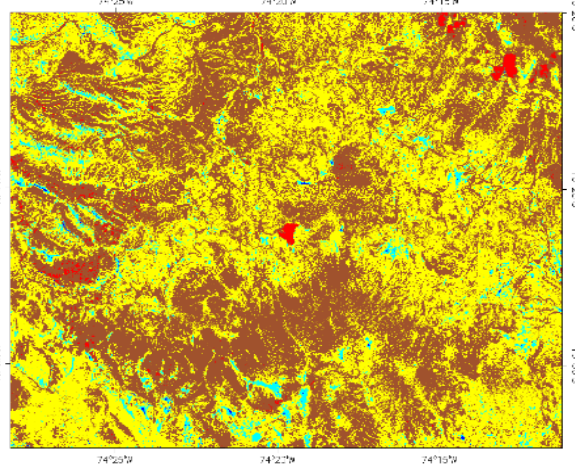
28/10/1997



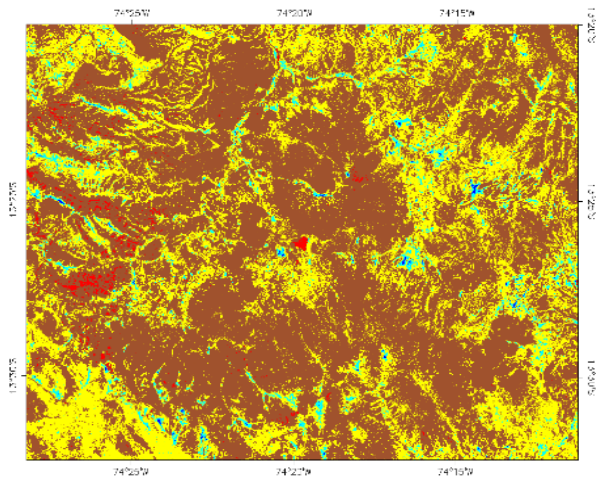
08/05/1998



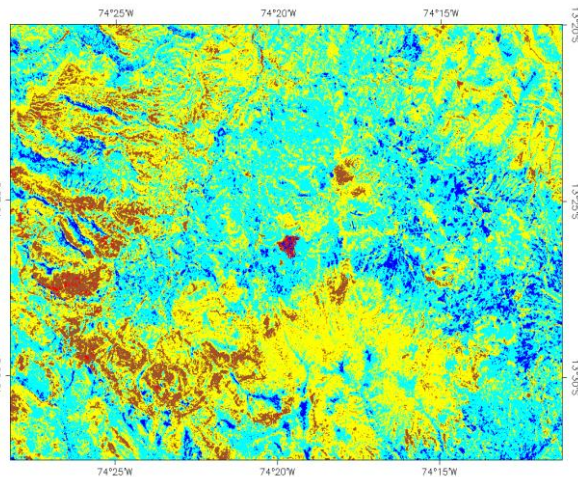
24/05/1998



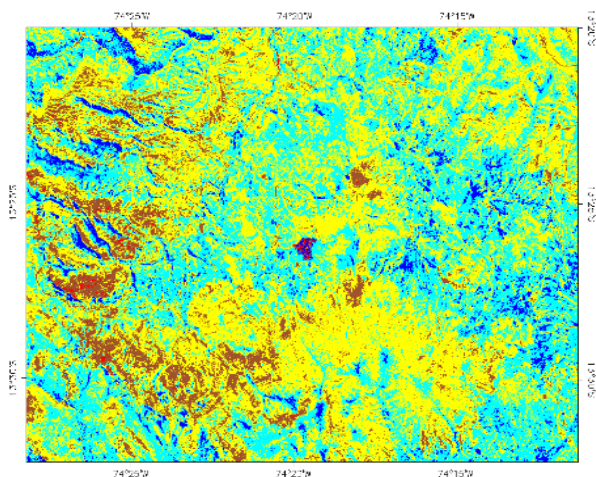
27/07/1998



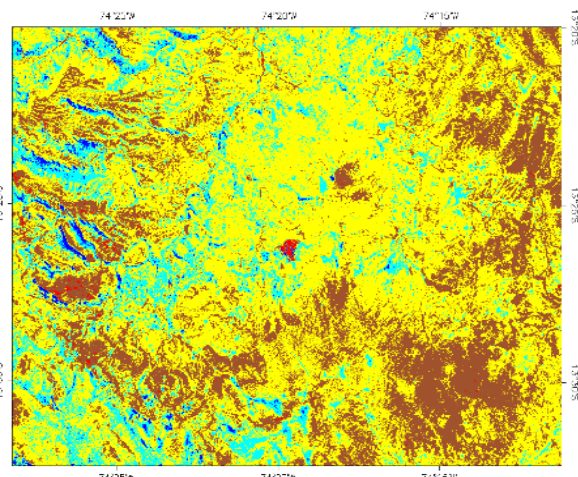
02/12/1998



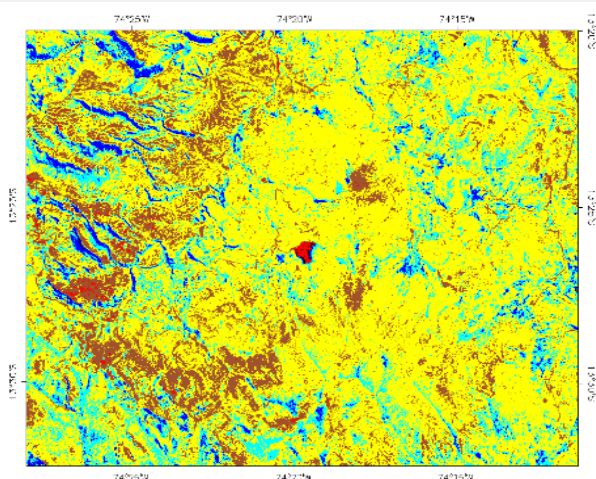
27/05/1999



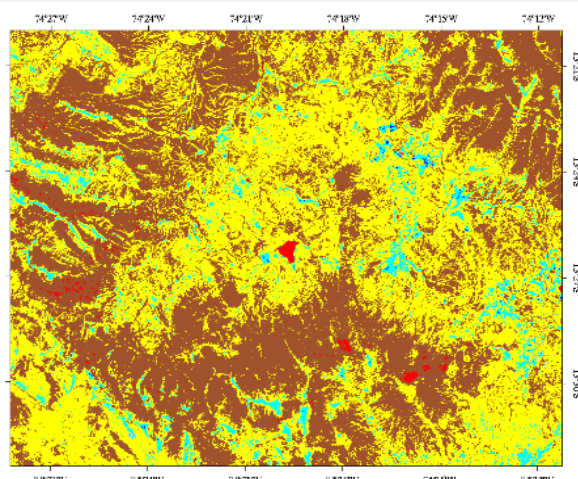
12/06/1999



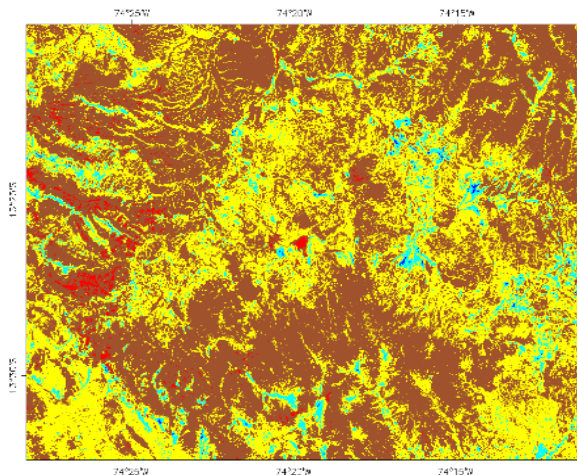
28/06/1999



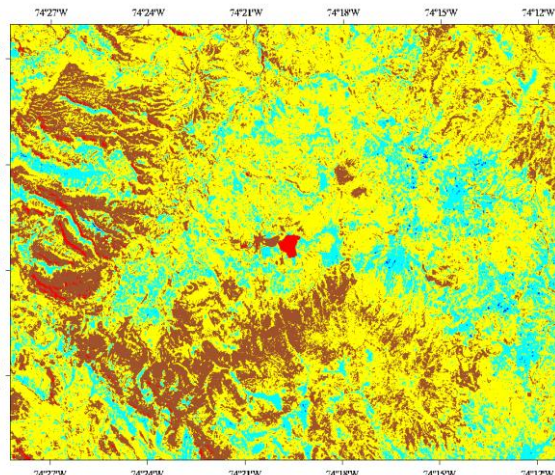
30/07/1999



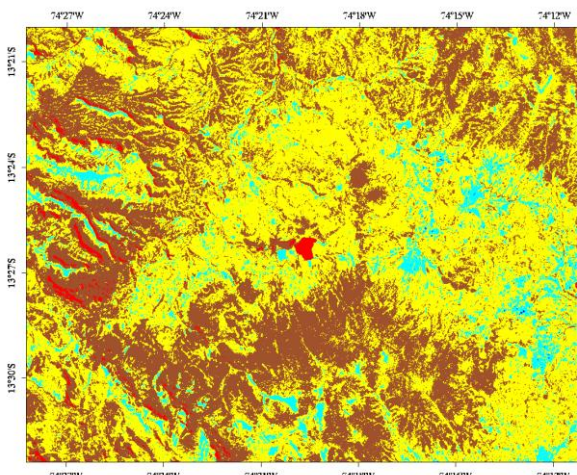
03/11/1999



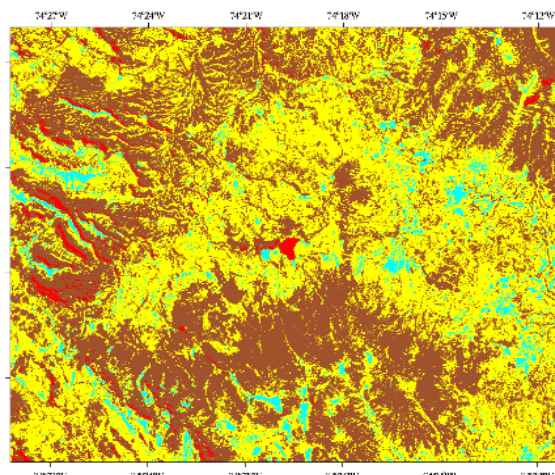
19/11/1999



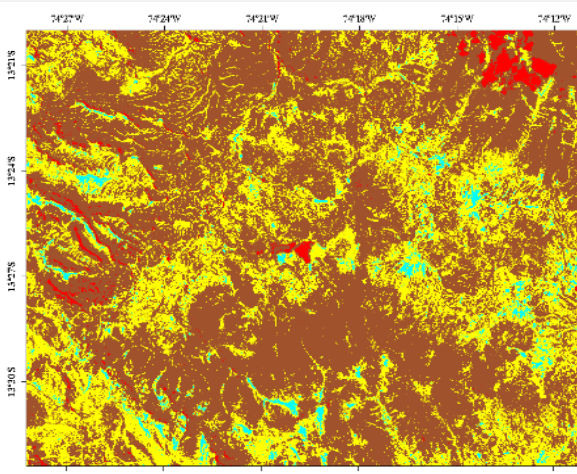
29/05/2000



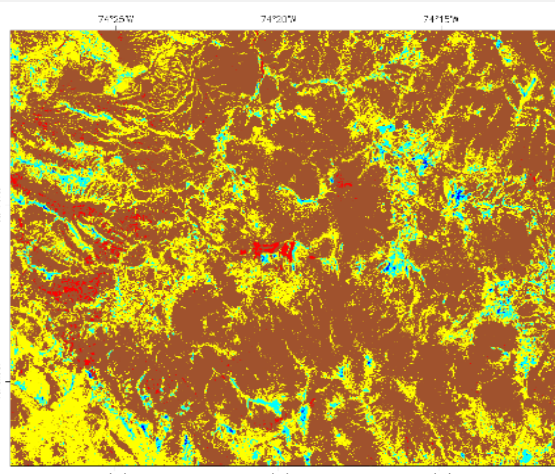
14/06/2000



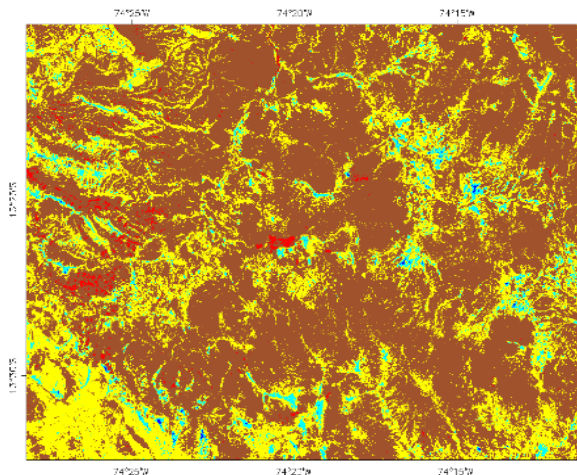
30/06/2000



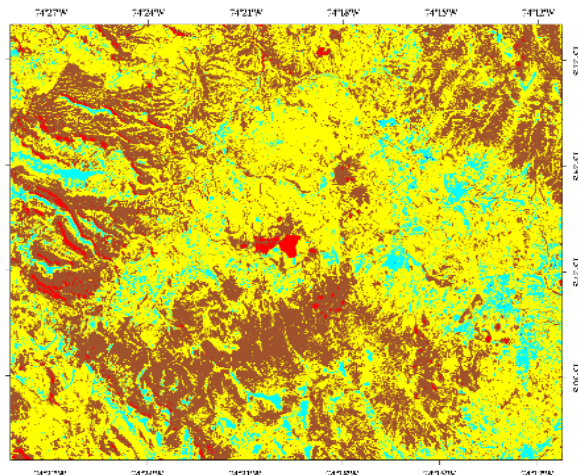
01/08/2000



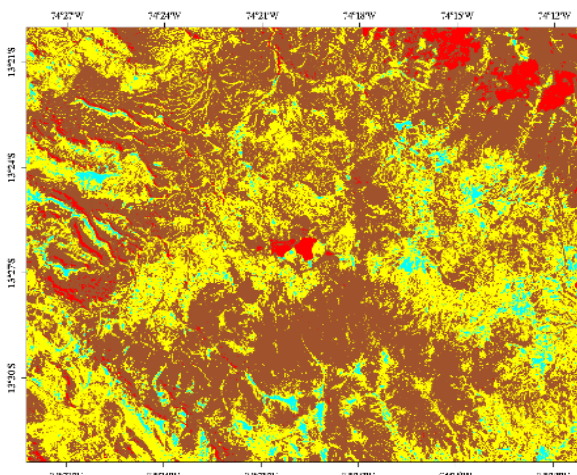
05/11/2000



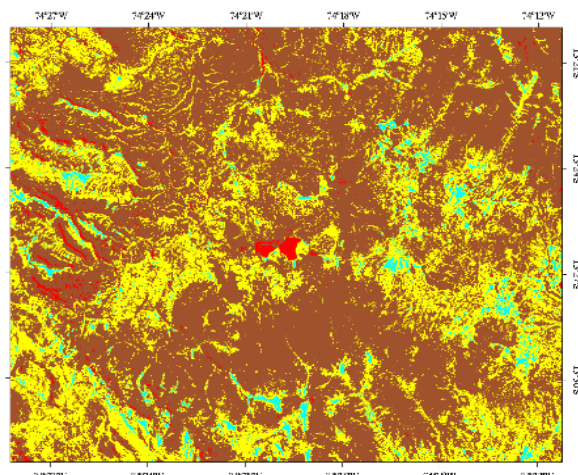
21/11/2000



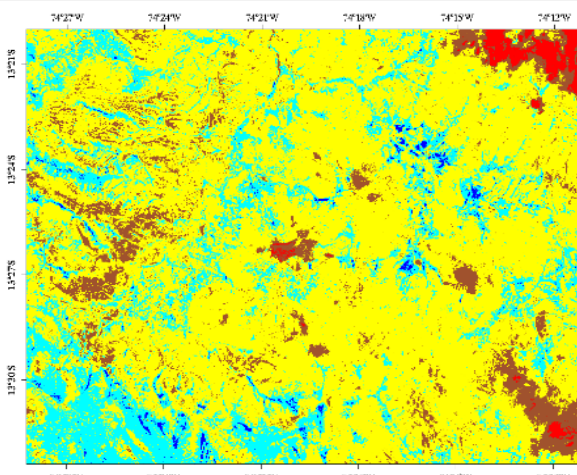
17/06/2001



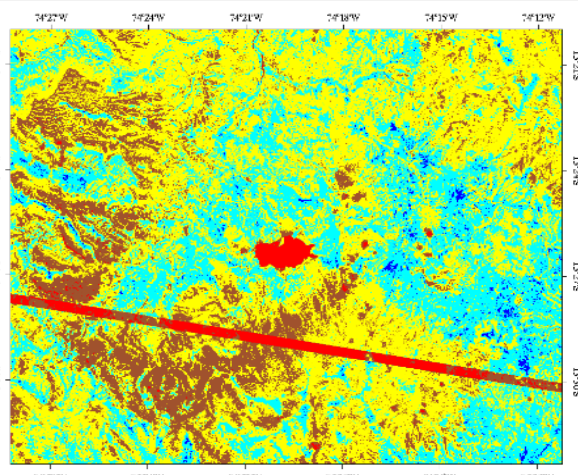
19/07/2001



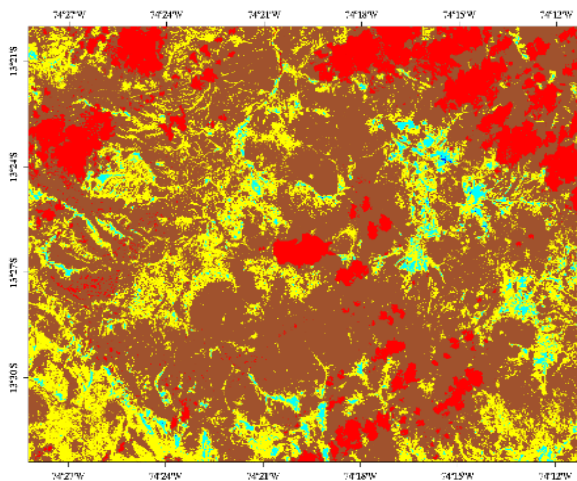
04/08/2001



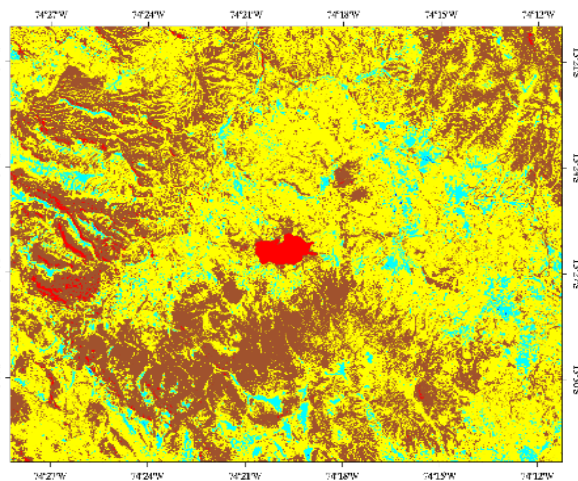
26/12/2001



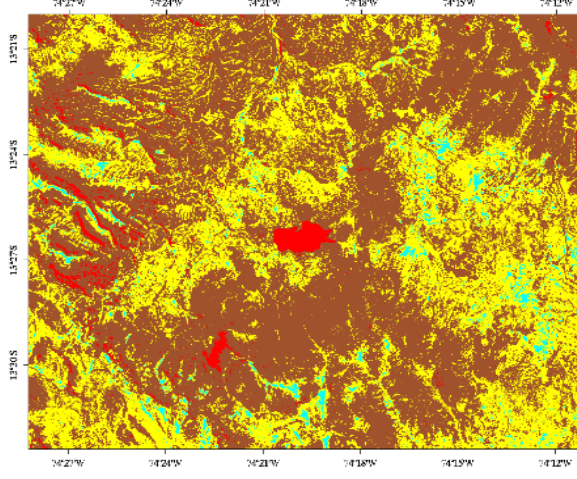
27/05/2002



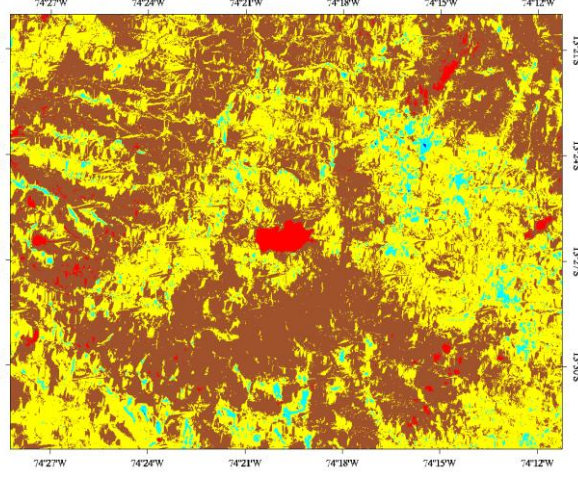
16/09/2002



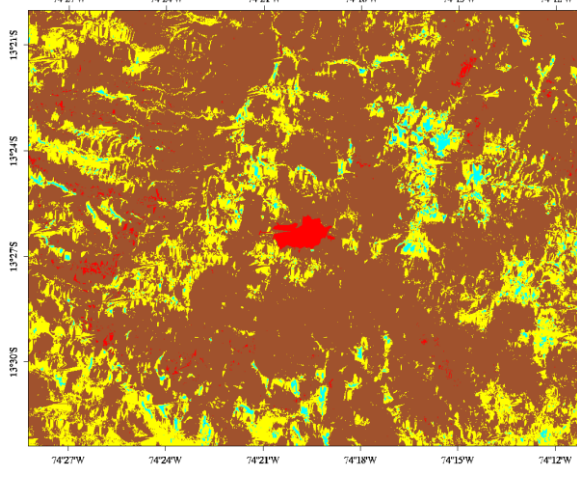
23/06/2003



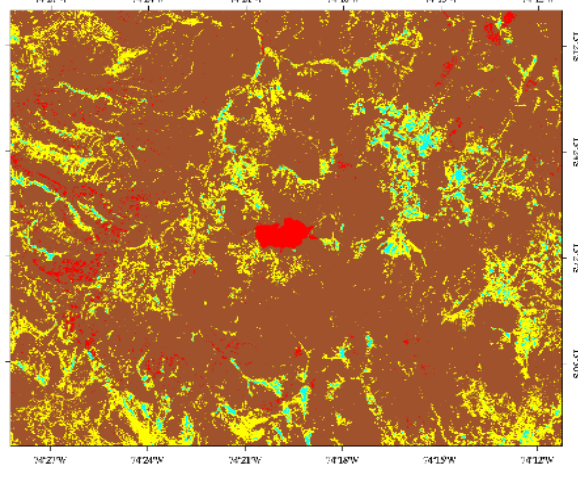
09/07/2003



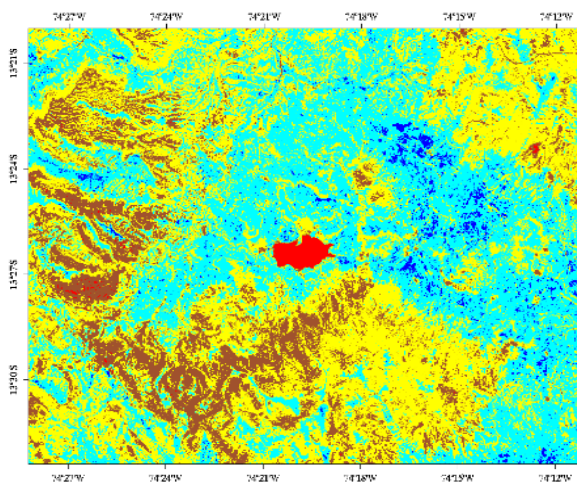
18/08/2003



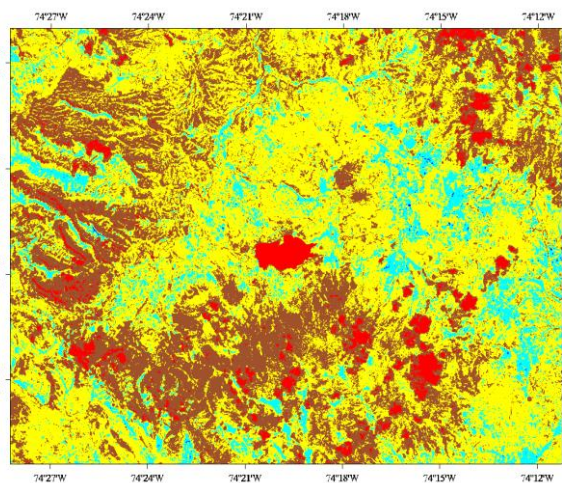
19/09/2003



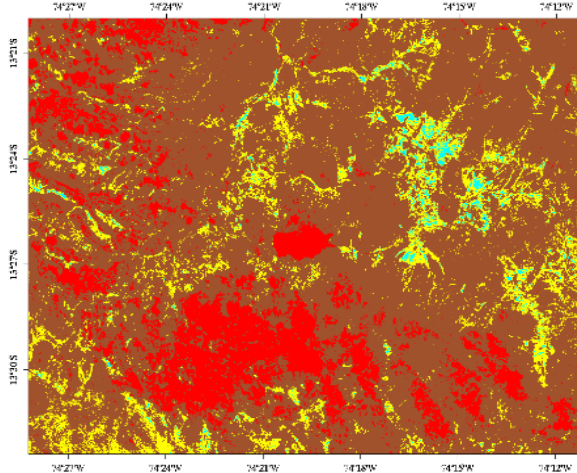
27/09/2003



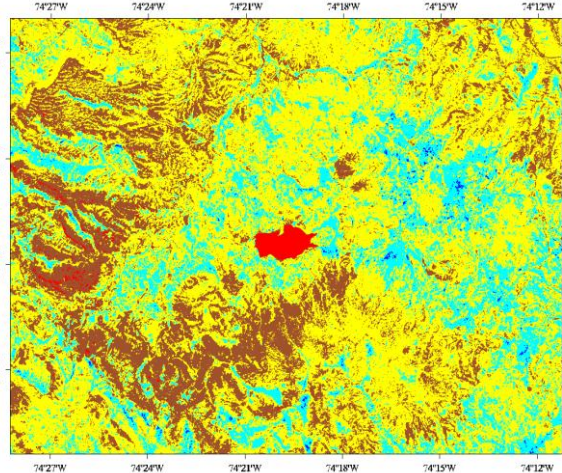
06/04/2004



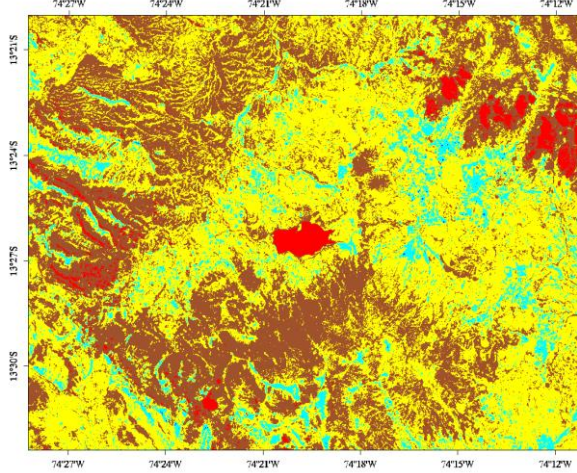
24/05/2004



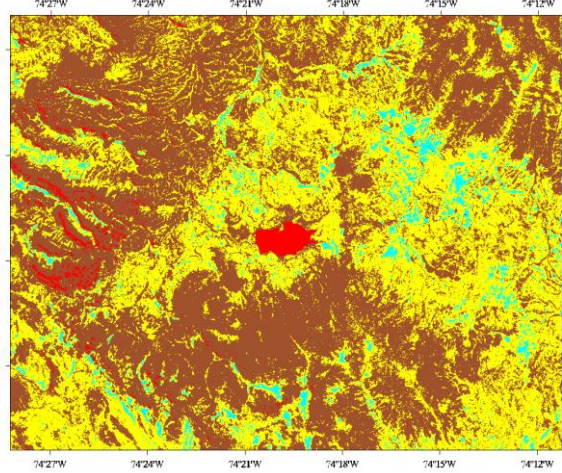
28/08/2004



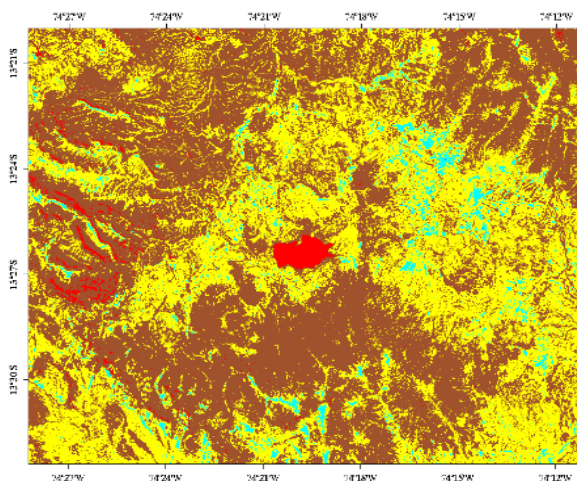
11/05/2005



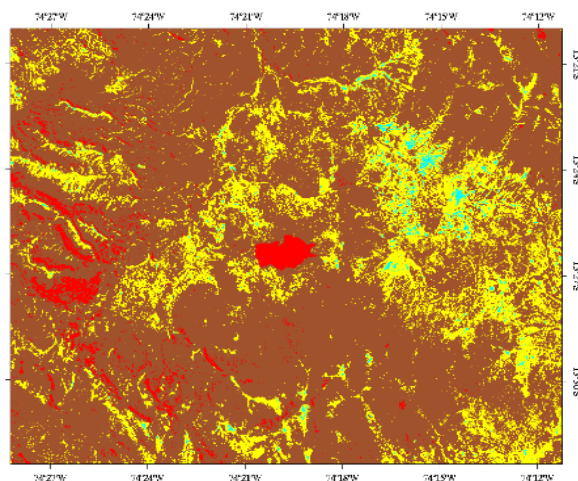
27/05/2005



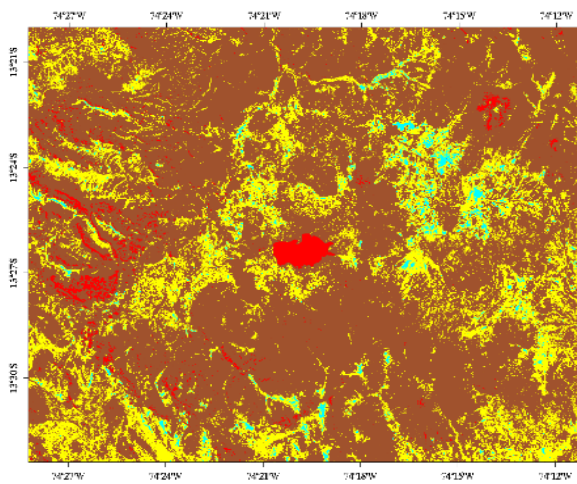
12/06/2005



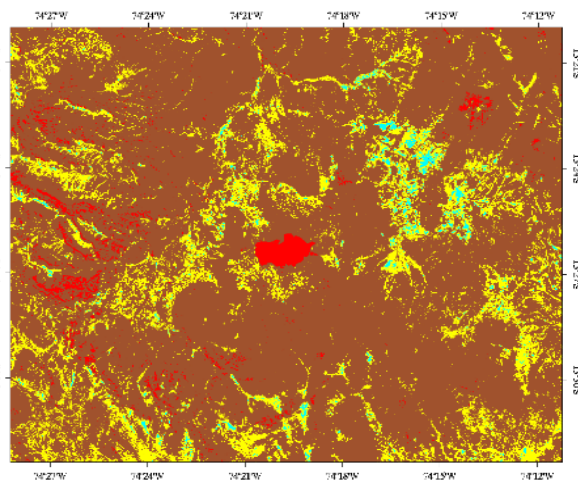
28/06/2005



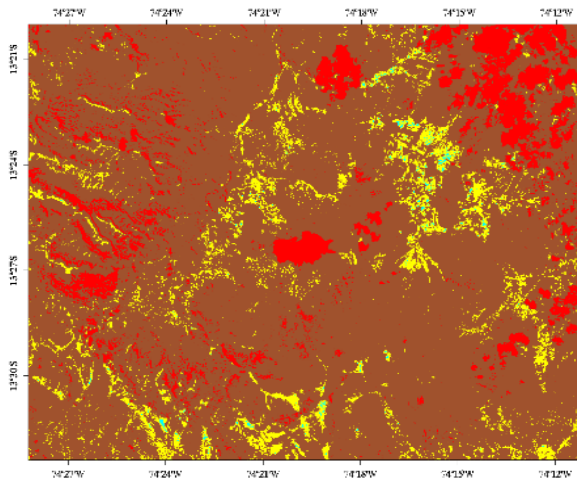
14/07/2005



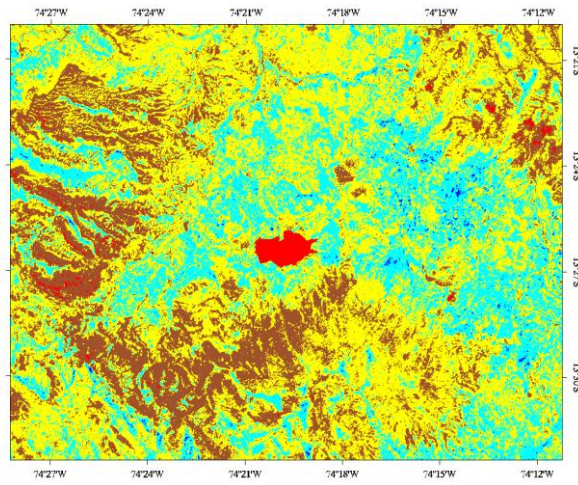
30/07/2005



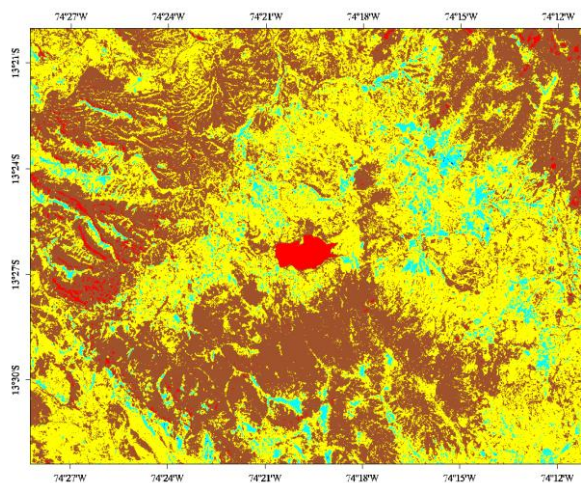
05/08/2005



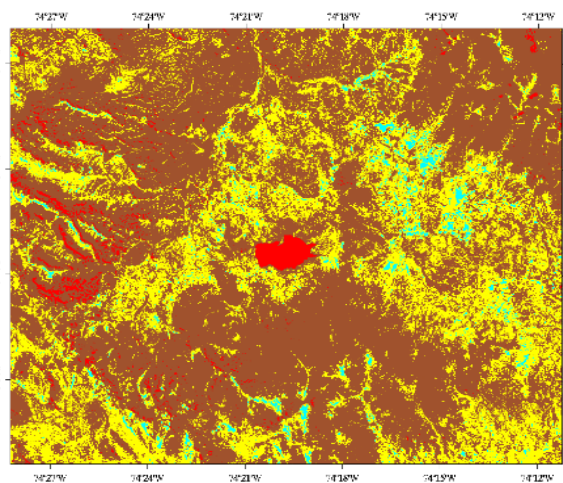
31/08/2005



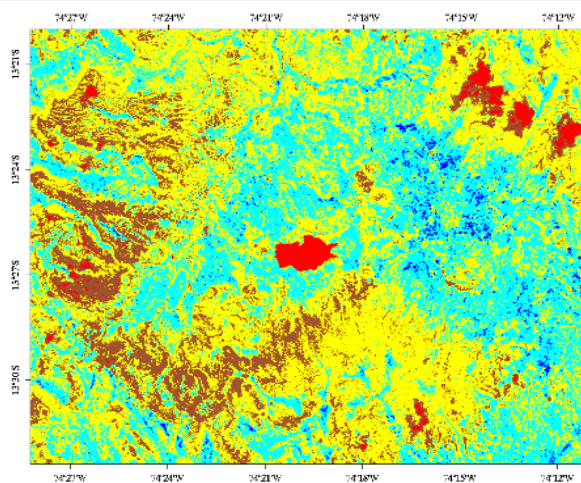
14/05/2006



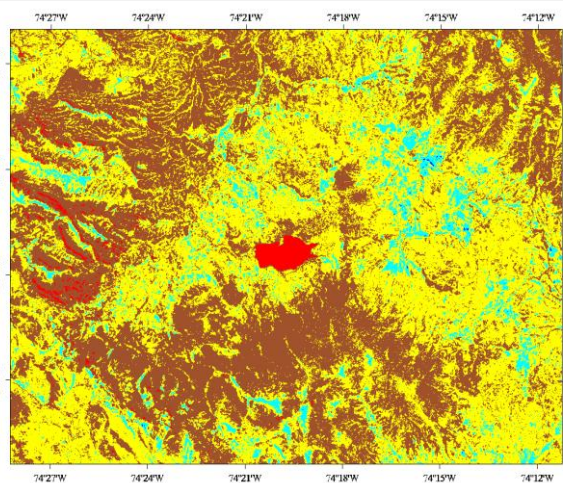
01/07/2006



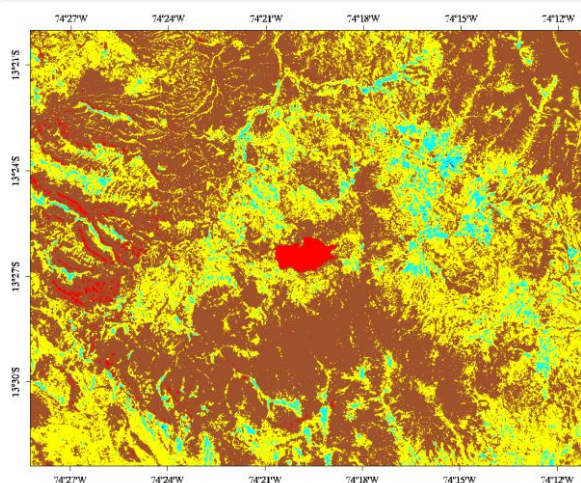
17/07/2006



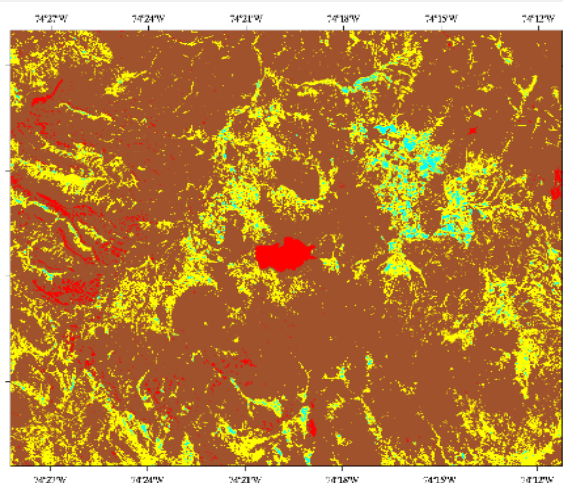
17/05/2007



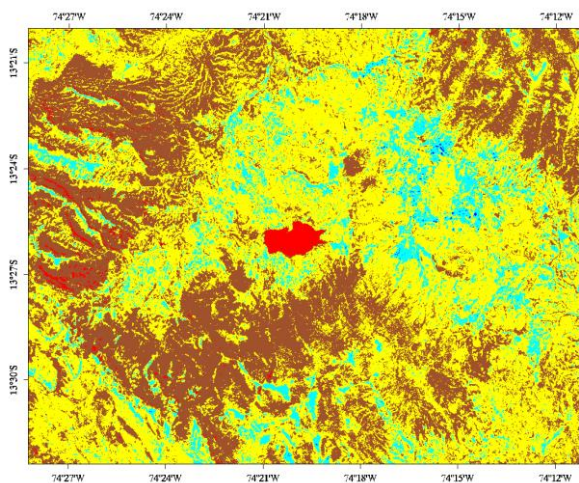
04/07/2007



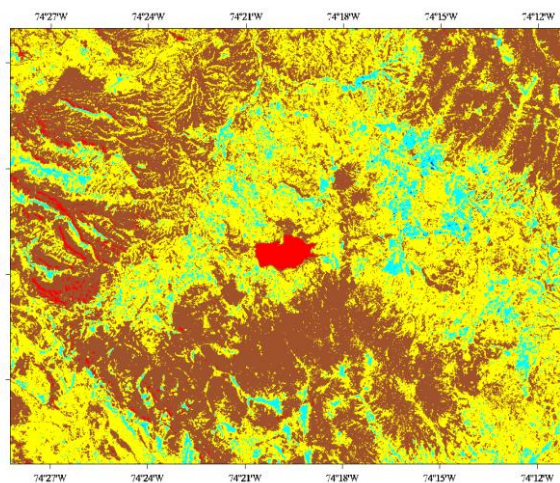
20/07/2007



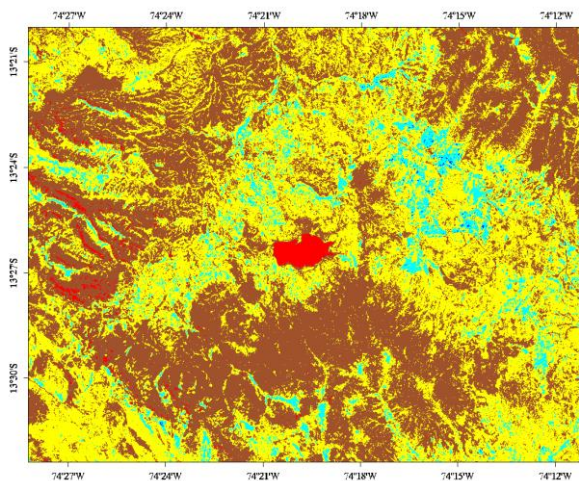
21/08/2007



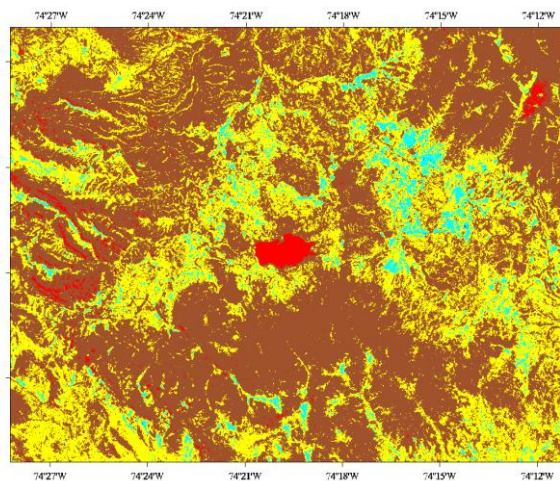
04/06/2008



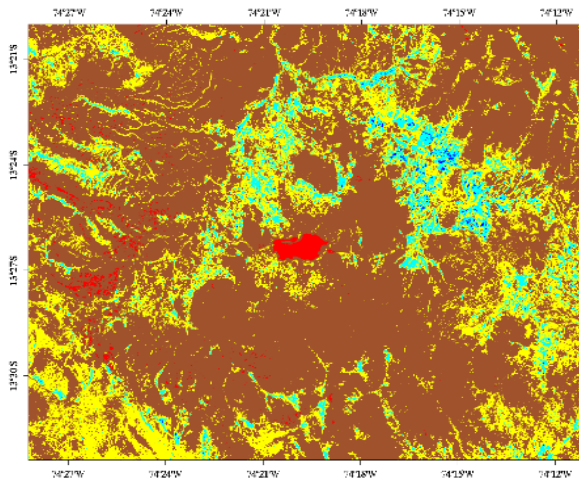
20/06/2008



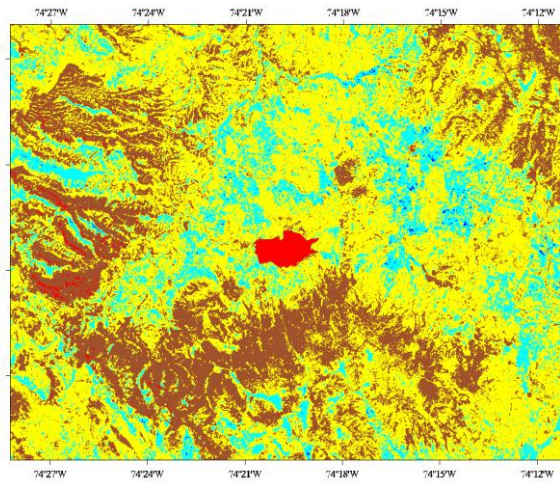
06/07/2008



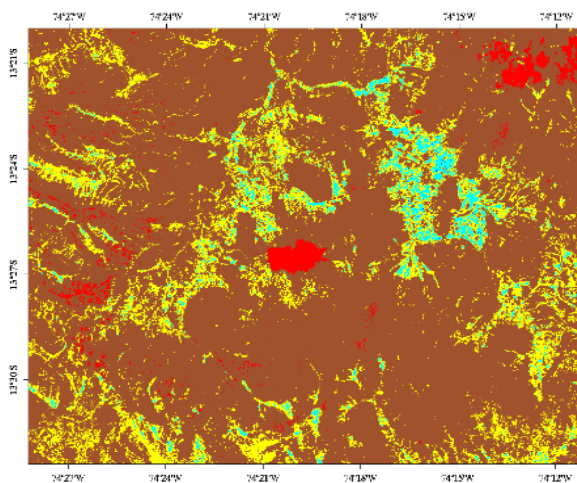
22/07/2008



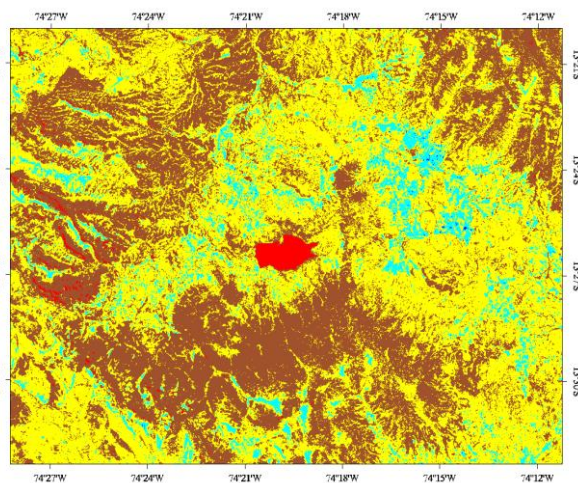
13/12/2008



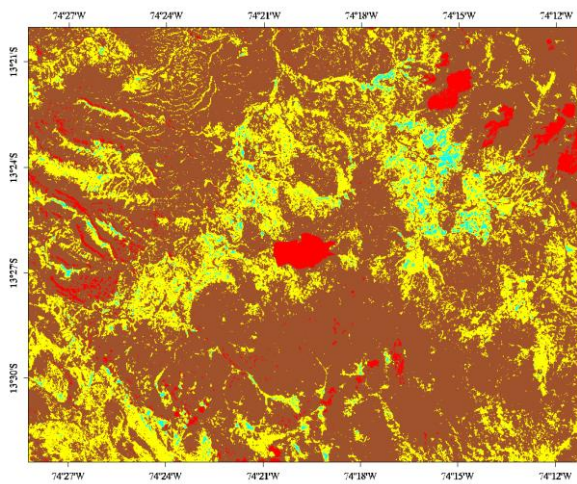
07/06/2009



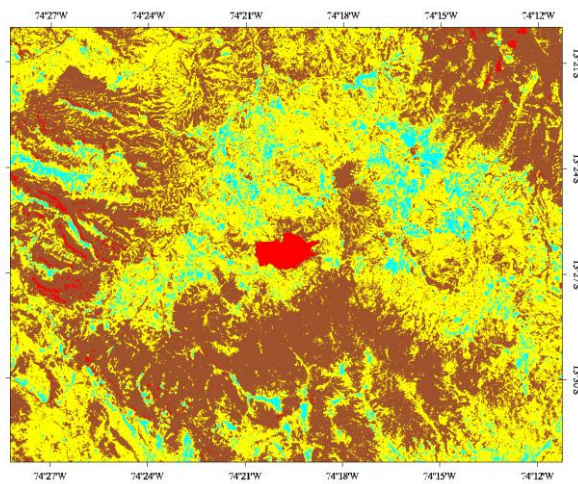
13/10/2009



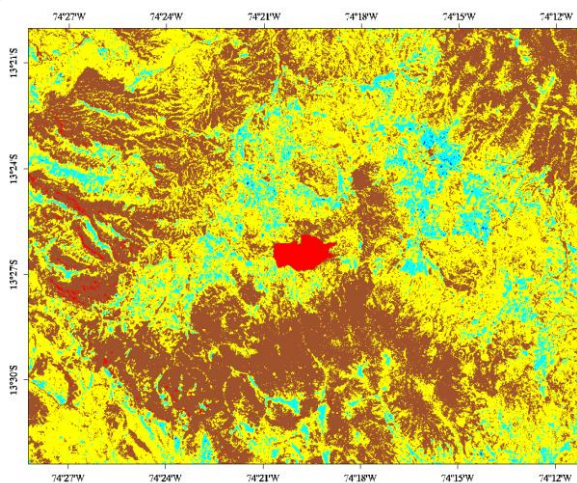
12/07/2010



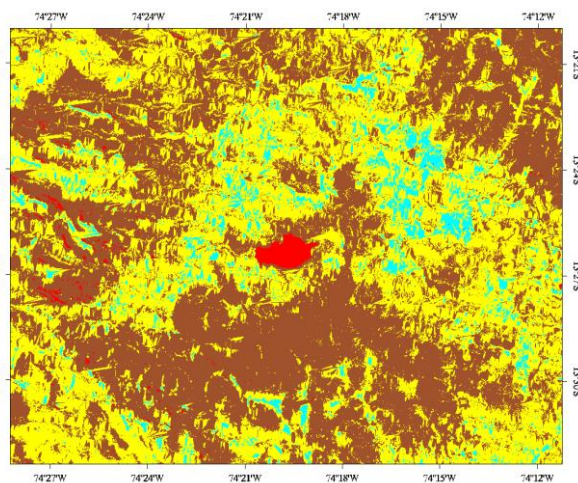
28/07/2010



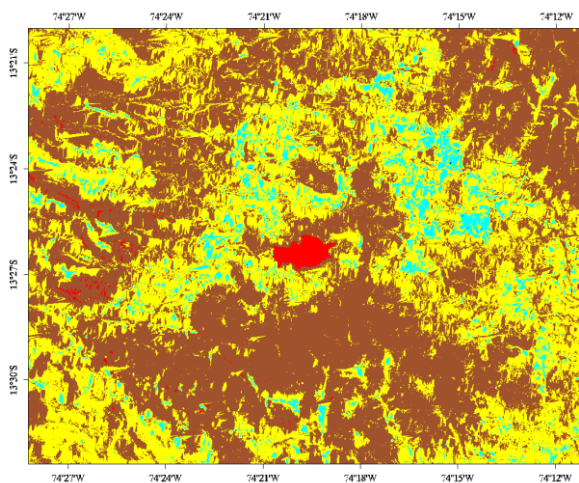
29/06/2011



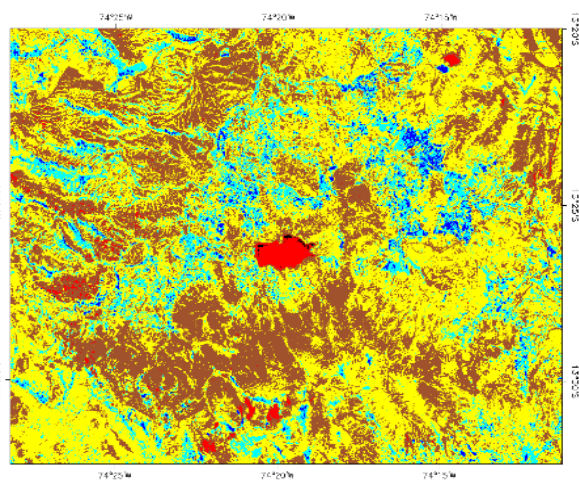
15/07/2011



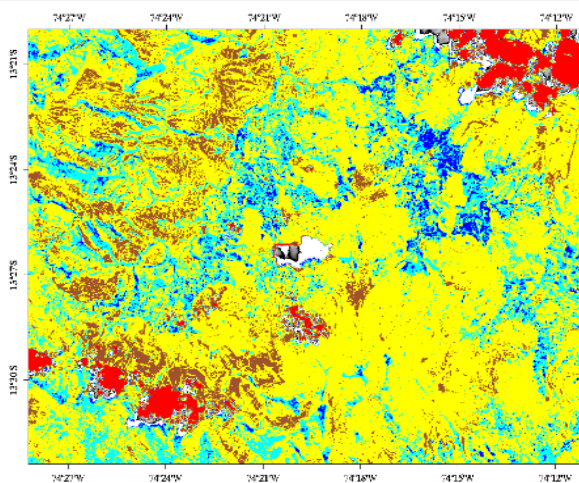
15/07/2012



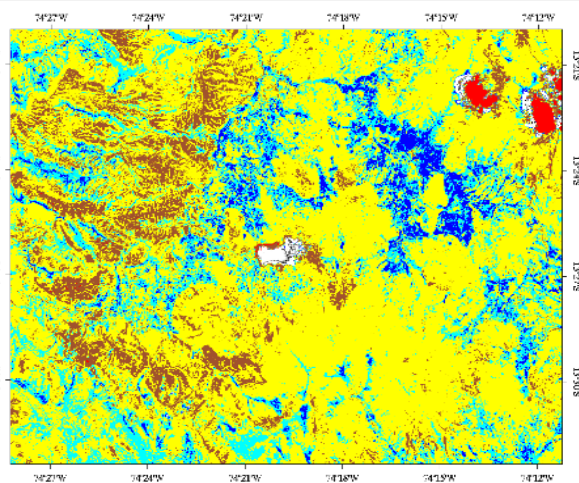
10/08/2012



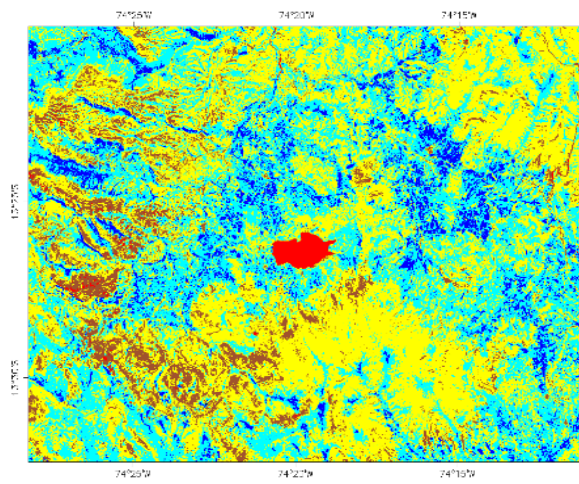
21/08/2013



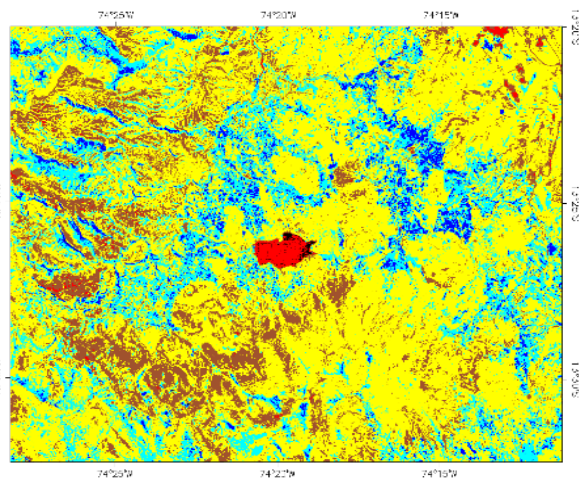
06/09/2013



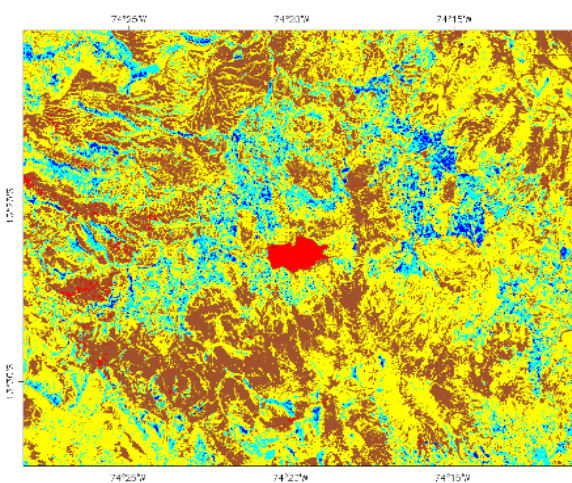
25/11/2013



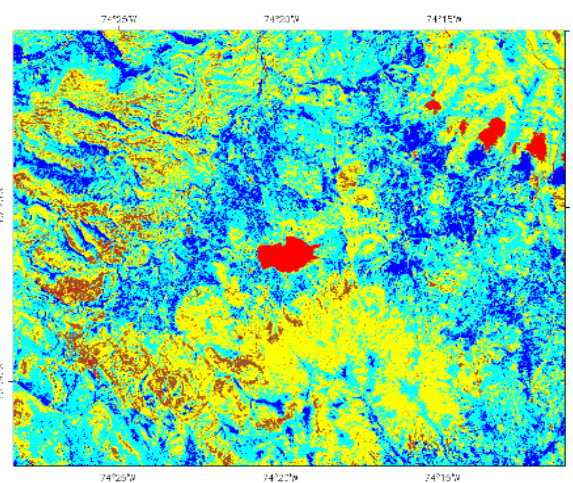
05/06/2014



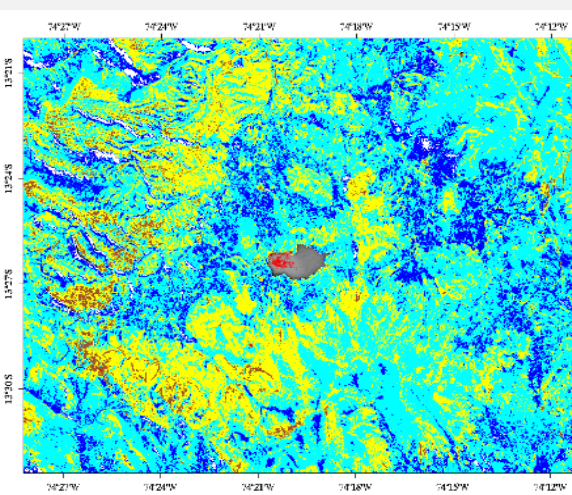
23/07/2014



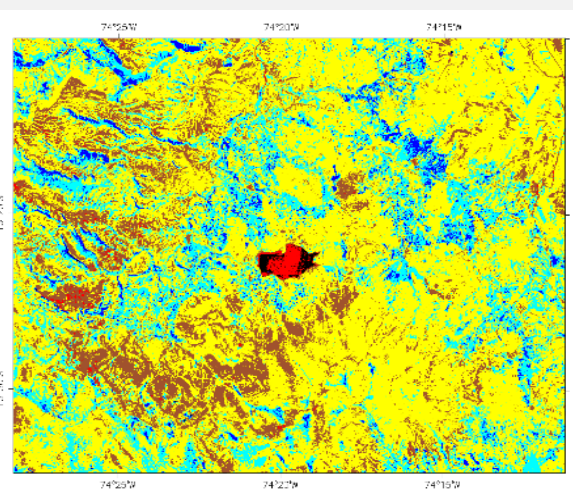
24/08/2014



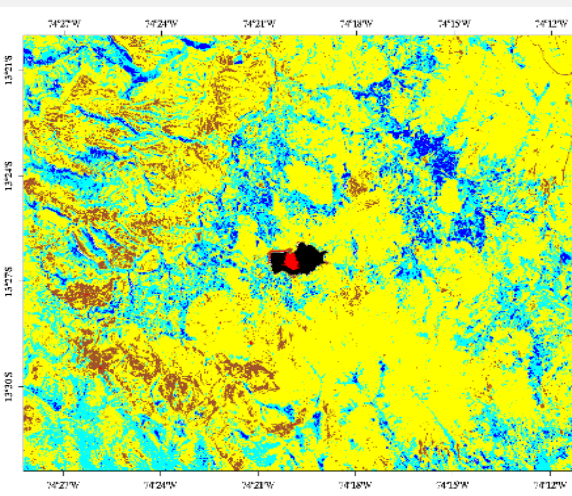
08/06/2015



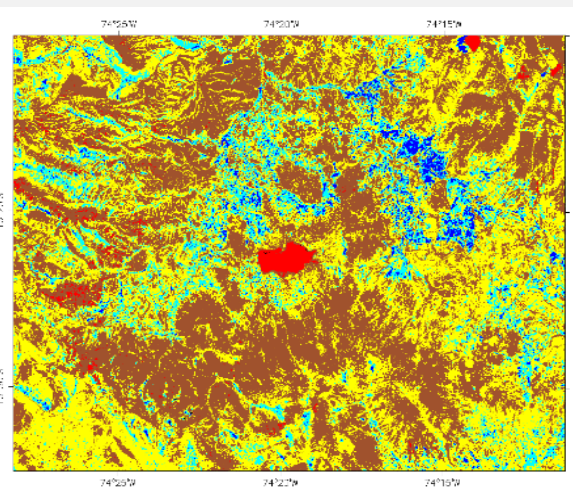
10/07/2015



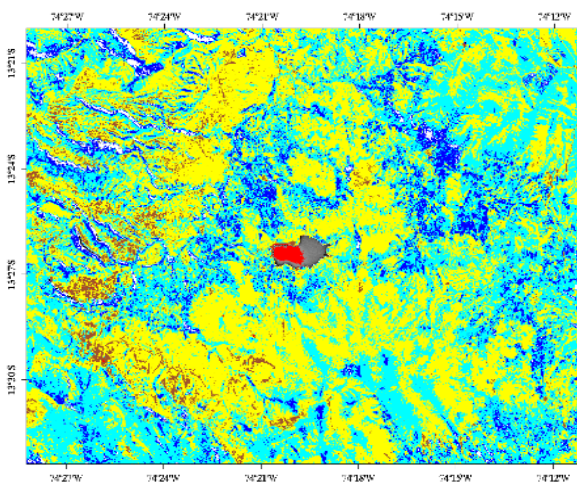
26/07/2015



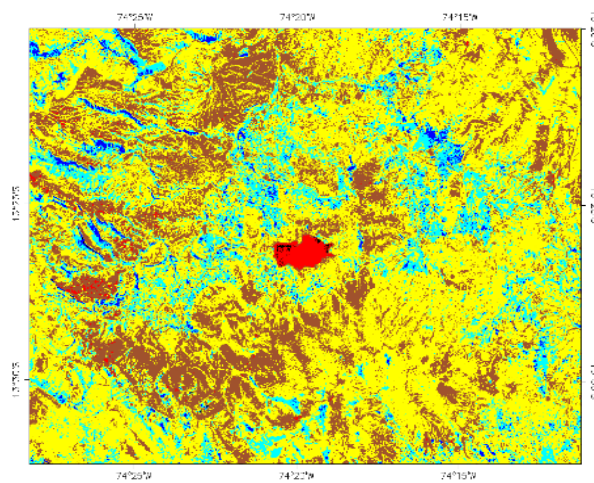
27/08/2015



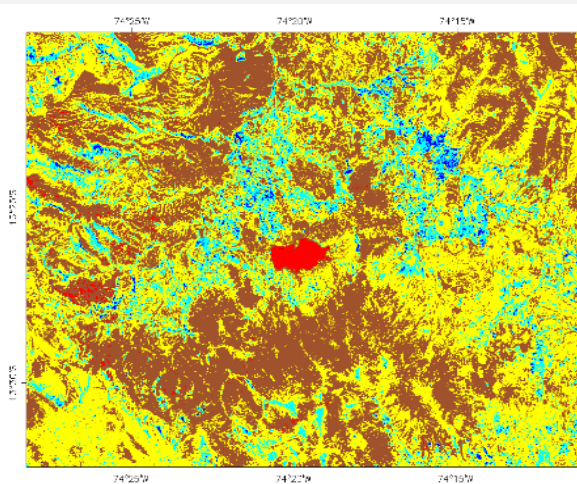
14/10/2015



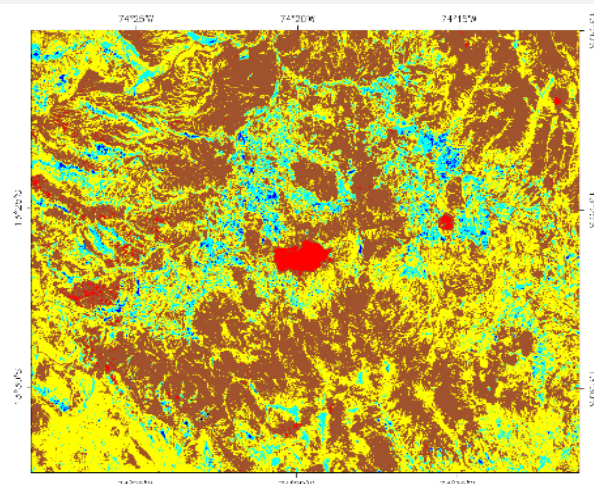
12/07/2016



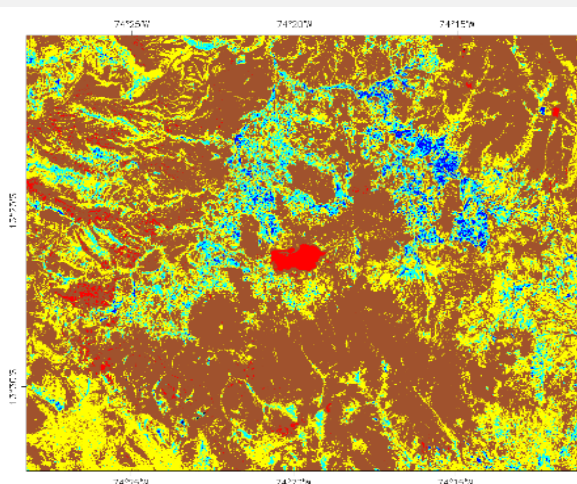
28/07/2016



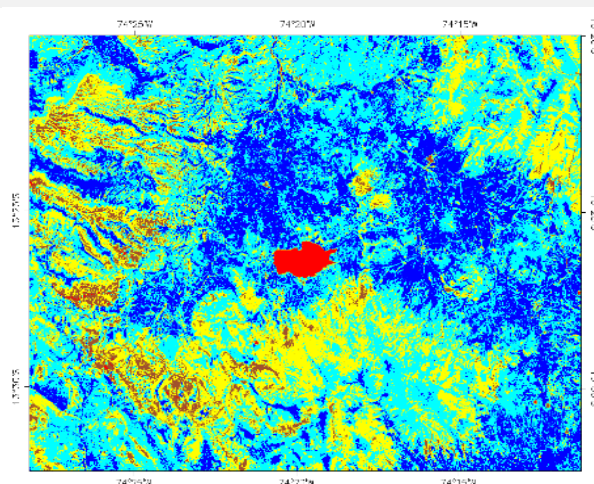
29/08/2016



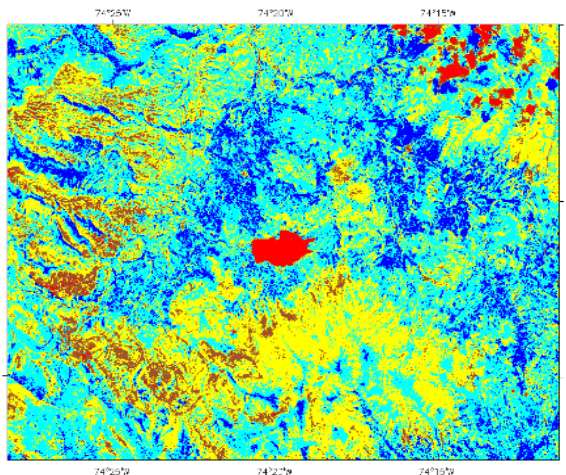
14/09/2016



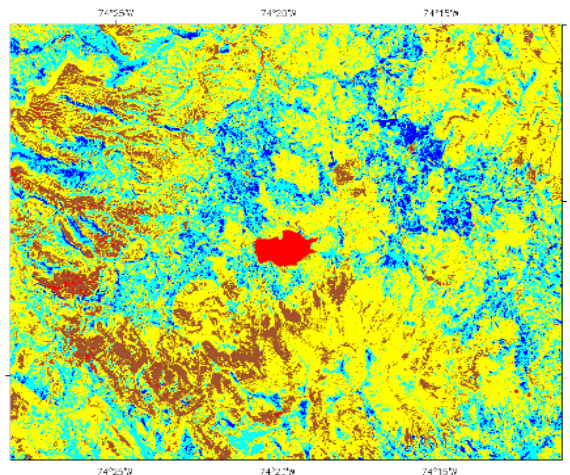
01/11/2016



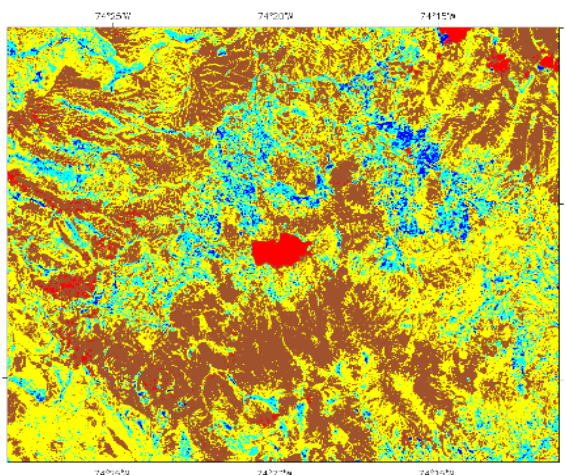
12/05/2017



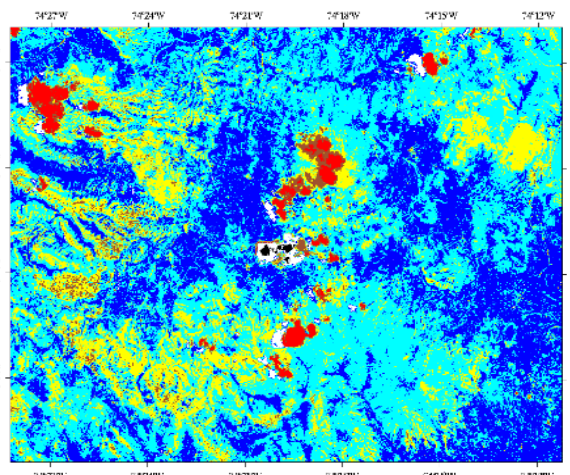
13/06/2017



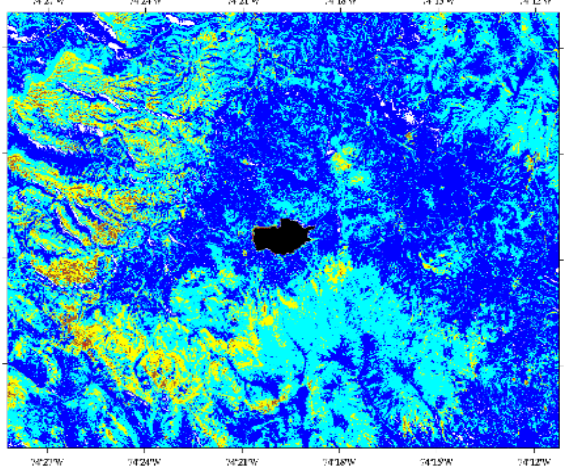
15/07/2017



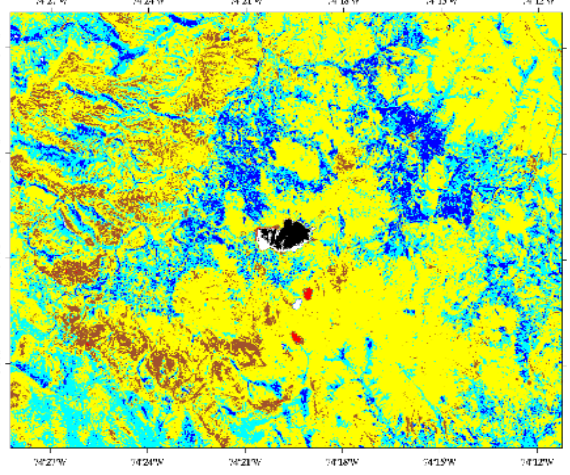
03/10/2017



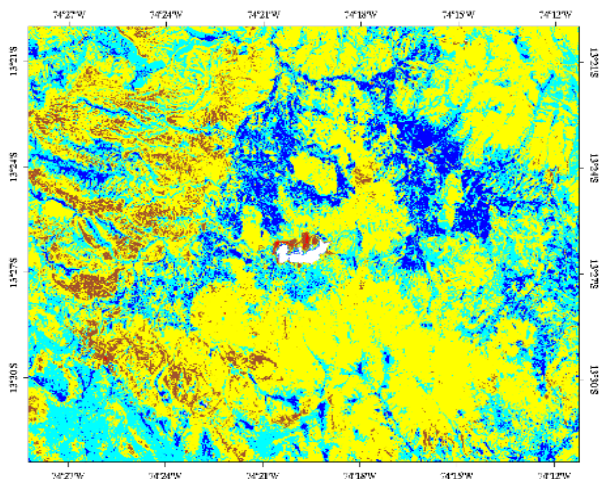
24/02/2018



15/05/2018



04/09/2018



23/11/2018

